

УДК 69.056.52

В.С. БЕЛЯЕВ, канд. техн. наук, ОАО «Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий» (Москва)

Теплопередача в стыках наружных стен крупнопанельных зданий при двухмерной фильтрации воздуха

Показана необходимость разработки как методики экспериментальных исследований, так и теории теплопередачи через стык при двухмерной фильтрации, соответствующей физической сущности этого процесса, в первую очередь для крупнопанельного домостроения.

Ключевые слова: двухмерная фильтрация воздуха через стык, теплопередача, коэффициент теплообмена, теплопотери.

В панельных наружных стенах важное значение в обеспечении теплозащиты имеют стыковые соединения. От правильного исполнения стыковых соединений в значительной степени зависят эксплуатационные качества стен. Теплопотери через стыки панельных зданий достигают 20% теплопотерь через глухую часть стены. В зимних условиях эксплуатации теплозащита стыков характеризуется температурой его внутренней поверхности и количеством наружного воздуха, проникающего через него в помещение.

Поскольку на теплозащитные качества стыков оказывает влияние их воздухопроницаемость, целесообразны специальные меры, учитывающие ее для всех типов стыков. В числе этих мер «Методика определения фактической (продольной и поперечной) воздухопроницаемости и методы теплотехнического расчета стыков с учетом их воздухопроницаемости».

Следует отметить, что аналитические расчеты теплопередачи через стыки, как правило, не учитывают фильтрации наружного воздуха, а если и учитывают, то только величину общей воздухопроницаемости стыков, которая условно принимается одномерной. Однако входящие в общую воздухопроницаемость величины поперечной и продольной воздухопроницаемости в различной степени влияют на теплопередачу. Сквозная или поперечная воздухопроницаемость характеризует фильтрацию воздуха поперек конструкции, а продольная – вдоль нее. Поэтому помимо аналитических расчетов при применении новых решений конструкций стыковых соединений необходимо проводить их экспериментальную проверку.

Так, например, исследования, проведенные специалистами ОАО «ЦНИИЭПжилища», показали, что общая воздухопроницаемость нижнего шва горизонтального стыка лоджии (под перекрытием) при $\Delta P=1-6,6$ мм вод. ст. (10–66 Па) составляет 37 кг/(м·ч); поперечная воздухопроницаемость 0,5 кг/м (легких навесных панелей).

Температура на внутренней поверхности этого шва при $\Delta P=6,6$ мм вод. ст. (66 Па) составляла в среднем 9,4°C, т. е. близка к допустимой. Общая воздухопроницаемость верхнего шва (над перекрытием) горизонтального стыка при

6,6 мм вод. ст. (66 Па) составила 13,2 кг/(м·ч) (сквозная (поперечная) воздухопроницаемость 5,8 кг/(м·ч)).

Однако температура его внутренней поверхности опускалась до -11°C. Это объясняется тем, что величина сквозной (поперечной) воздухопроницаемости нижнего шва, за счет которой происходило основное понижение температуры внутреннего шва стыка, в 11 раз меньше сквозной (поперечной) воздухопроницаемости верхнего шва. Указанное выше иллюстрирует необходимость как практического, так и теоретического разделения обоих видов фильтрации. Решения уравнений теплопередачи при двухмерной фильтрации воздуха в стыках представлены автором в трех вариантах.

Рассмотрим *первый вариант* решения (В.С. Беляев. «Теплопередача в стыках при двухмерной фильтрации» / Научные труды ЦНИИЭП жилища, «Тепловая эффективность жилых зданий», 1980), основанный на уравнениях баланса тепла на стенках стыка и решении краевой задачи для уравнения Лапласа с помощью метода Фурье.

Приняты следующие условные обозначения размерных индексов: $t_{в}$ и $t_{н}$ – температура внутреннего и наружного воздуха; $t_{o(x)}$ – температура инфильтрующего воздуха; $\tau_{н}$ – температура ограждения; $\alpha_{в}$ и $\alpha_{н}$ – коэффициент теплообмена на внутренней и наружной поверхности; V – скорость движения воздуха в стыке; ρ_{o} – плотность инфильтрующегося воздуха; C_{o} – теплоемкость инфильтрующегося воздуха; δ_{z} – эквивалентная толщина ограждения; λ – теплопроводность материала ограждения и безразмерных комплексов.

Двухмерное стационарное температурное поле ограждения, разделяющего две среды с температурой $t_{с}$, с температурой $t_{в}$ и наружную с температурой $t_{н}$. Коэффициенты теплообмена на соответствующих поверхностях ограждения равны $\alpha_{в}$ и $\alpha_{н}$. Ограждение имеет стык, по которому со скоростью V движется наружный воздух плотностью ρ_{o} , теплоемкостью C_{o} , вязкостью ν_{o} и теплопроводностью λ_{o} . Заданными являются толщина ограждения δ , его теплопроводность λ и коэффициент теплообмена воздуха в стыке α_{o} .

$$G_o = \frac{t_{o(x)} - t_{н}}{t_{в} - t_{н}}; \quad G_{(x,y)} = \frac{\tau_{н} - t_{н}}{t_{в} - t_{н}}; \quad g_z = Pe \frac{h}{\delta_1}; \quad \beta = \frac{N_n}{g_z}; \quad Pe = \frac{\rho_o C_o V h}{\lambda_o};$$

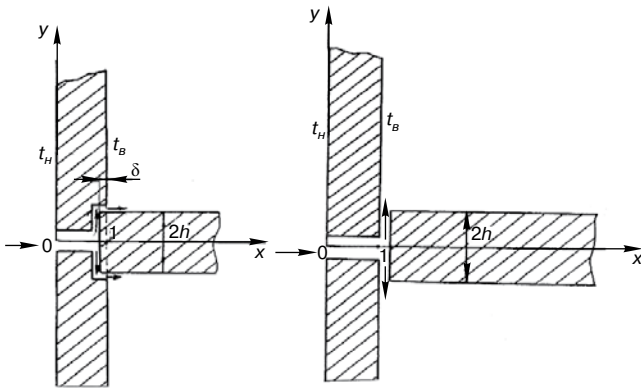


Рис. 1. Схемы к расчету теплопередачи через стык при двухмерной фильтрации

$$\alpha = \frac{a}{f \cdot N_u}; \quad a = \frac{\lambda}{\lambda_0}; \quad f = \frac{\delta z}{h}; \quad N_u = \frac{\alpha_0 \cdot h}{\lambda_0}.$$

Граничные условия 3-го рода на поверхности ограждения заменим граничными условиями 1-го рода. Совместим ось абсцисс со стыком, а ось ординат с наружной поверхностью ограждения (рис. 1).

Для полубесконечной полосы $0 \leq X \leq 1$, $0 \leq y$ решаем крайнюю задачу уравнения Лапласа:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

при следующих граничных условиях:

$$\frac{\partial G_{(x,y)}}{\partial y} \Big|_{y \rightarrow \infty} = 0; \quad (2)$$

$$G_{(0,y)} = 0; \quad (3)$$

$$G_{(1,y)} = 1 \text{ при } y > h. \quad (4)$$

На участке $0 \leq X \leq 1$ имеет место условие:

$$\frac{d G_{0(x,0)}}{dX} = \beta [G_{(x,0)} - G_0]; \quad G_{(x,0)} = G_{0(x,0)} + \alpha \frac{\partial G_{(x,0)}}{\partial y} \quad (5)$$

или с учетом того, что температура инфильтрующегося воздуха при $X=0$, $G_0=0$:

$$G_{(x,0)} = \beta \int_0^x G_{(\tau,0)} e^{-\beta(x-\tau)} d\tau + \alpha \frac{\partial G_{0(x,0)}}{\partial y} \quad (6)$$

На участке $0 \leq y \leq h$ уравнение баланса тепла на стенках стыка:

$$\frac{d G_{0(1,y)}}{dy} = \beta [G_{(1,y)} - G_{0(1,y)}]; \quad G_{(1,y)} = G_{0(1,y)} + \alpha \frac{\partial G_{(1,y)}}{\partial y} \quad (7)$$

или с учетом того, что температура инфильтрующегося воздуха при $X=1$ равна:

$$G_{(1,0)} = \beta \int_0^x G_{(\tau,0)} e^{-\beta(1-\tau)} d\tau, \quad (8)$$

уравнение (8) может быть записано при $0 \leq y \leq h$:

$$G_{(1,y)} = G_{0(1,0)} + \beta \int_0^y G_{(1,\tau)} e^{-\beta(y-\tau)} d\tau + \alpha \frac{\partial G_{(1,y)}}{\partial X} \quad (9)$$

Решаем задачу методом Фурье. Принимаем $G_{(x,y)} = T_{1(x)} \cdot T_{2(y)}$, тогда уравнение Лапласа будут иметь вид:

$$T_{2(y)} \frac{d^2 T_{1(x)}}{dX^2} + T_{1(x)} \frac{d^2 T_{2(y)}}{dy^2} = 0 \quad (10)$$

или:

$$\frac{1}{T_{1(x)}} \frac{d^2 T_{1(x)}}{dX^2} = -\frac{1}{T_{2(y)}} \frac{d^2 T_{2(y)}}{dy^2} = \text{const} = C. \quad (11)$$

Из первого условия следует, что при $y \rightarrow \infty$, $\frac{\partial G}{\partial y} = 0$, тогда $C = -n^2$,

$$T_{1(x)}^{II} + (-n)^2 T_{1(x)} = 0; \quad (12)$$

$$T_{1(x)} = A \cdot \sin nx + B \cdot \cos nx. \quad (13)$$

Так как по условию задачи при $X=0$, $G(x)=0$,

$$T_{1(x)} = A \cdot \sin nx. \quad (14)$$

Для уравнения $T_{2(y)}^{II} - n^2 T_{2(y)} = 0$ имеем решение $T_{2(y)} = C e^{-ny}$ (15) (16)

В (16) учтено условие, что $\frac{\partial G}{\partial y} \Big|_{y \rightarrow \infty} = 0$.

Окончательно получаем:

$$G_{(x,y)} = G_{2(x)} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin n\eta \cdot X \cdot e^{-ny}. \quad (17)$$

Постоянные $C_{2(x)}$, C_n и спектр частот η можно определить из условий (4), (6) и (9).

Приведенный метод пригоден также для случая сквозной и продольной фильтрации из тела панели в стык.

При этом:

$$G_{x,y} = \frac{t_h - t_n}{t_b - t_h}, \quad (19)$$

где t_h – искомая минимальная температура в углу стыка.

Далее рассмотрим второе решение, основанное на принципах суперпозиции и уравнении Лапласа с заменой точных вспомогательных функций сглаженными двойниками без учета сглаживания во второй производной (В.С. Беляев. «Исследование теплопередачи в стыках наружных ограждающих конструкций при фильтрации воздуха» // Научные труды ЦНИИЭП жилища, «Теплозащитные качества и микроклимат жилых зданий», 1982).

Решаем уравнение теплопередачи при двухмерной фильтрации через стык с примыканием внутренней стены (перекрытия).

Решаем уравнение при граничных условиях:

$$\frac{\partial G}{\partial x}(x, \infty) = 0; \quad G(0; y) = 0;$$

$$G(1; y) = \begin{cases} 1; & y > h \\ G_0(1; 0) + \beta \int_0^y G(1; \tau) e^{-\beta(y-\tau)} \alpha \tau + \alpha \frac{\partial G}{\partial x}(1; y); \end{cases} \quad (20)$$

$$G(x; 0) = \beta \int_0^x G(\tau; 0) e^{-\beta(x-\tau)} \alpha \tau + \alpha \frac{\partial G}{\partial y}(x; 0). \quad (21)$$

Приводим (20) к более удобному виду, для чего возьмем его производную по y от левой и правой частей и рассмотрим случай:

$$0 \leq y \leq h;$$

$$\frac{\partial G}{\partial y}(1; y) = 0 + \beta G(1; y) - \beta^2 \int G(1; y) e^{-\beta(y-\tau)} + \alpha \tau + \alpha \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y}(1; y),$$

где $\beta G(1; y)$ получается дифференцированием интегралов по верхнему пределу:

$$\frac{\alpha}{\alpha \tau_a} \int_0^\beta F(q; \tau) \alpha \tau = F(q; \tau) / \tau = b = F(q; b).$$

Из (20) имеем:

$$\beta \int_0^y G(1; \tau) e^{-\beta(y-\tau)} \alpha \tau = G(1; y) - G_0(1; 0) - \frac{\partial G}{\partial x}(1; y), \quad 0 \leq y \leq h.$$

Преобразованное условие можно записать в виде:

$$\frac{\partial G}{\partial y}(1; y) = \beta G(1; y) - \beta G_0(1; 0) + \alpha \beta \frac{\partial G}{\partial x} + \alpha \frac{\partial G}{\partial y} \frac{\partial G}{\partial x} \quad 0 \leq y \leq h$$

или:

$$\frac{\partial G}{\partial x}(x; 0) = \gamma_\phi = \frac{\partial G}{\partial y}(x; 0) + \alpha \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y}(x; 0),$$

где $\gamma_\phi = \alpha \beta$.

Условия (20) и (21) можно записать в более удобном виде:

$$\frac{\partial G}{\partial y}(1; y) \begin{cases} 0; & y > h \\ \beta G_0(1; 0) + \gamma_\phi \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y}(1; y) + \alpha \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y}(1; y); & 0 \leq y \leq h; \end{cases} \quad (20')$$

$$\frac{\partial G}{\partial x}(x; 0) = \gamma_\phi = \frac{\partial G}{\partial y}(x; 0) + \alpha \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y}(x; 0). \quad (21')$$

Руководствуясь принципом суперпозиции, найдем функции $U_\phi, V_\phi, W_\phi(x; y)$ при их подстановке в уравнение Лапласа.

Из (20') и (21') для определения A и B имеем алгебраическую систему:

$$\begin{cases} A - \gamma_\phi B - \alpha AB = 0 \\ B - \gamma_\phi A - \alpha AB = 0, \end{cases} \quad (21'')$$

решениями которой являются $A_1 = B_1 = 0$ и $A_2 = B_2 = \frac{1 - \gamma_\phi}{\alpha}$.

Из-за скачка граничных условий в (20) [или (20')] вспомогательные функции U_ϕ, V_ϕ, W_ϕ удовлетворяют условию $Y=h$ (рис. 2). По-видимому, соответствующим образом подбирая постоянные, можно избежать разрыва на этой прямой самих функций, например выбором $V_\phi(x; y) = y-h$. Невозможно получить непрерывные первые, а тем более вторые производные вспомогательных функций. Более того, вторые производные, видимо, будут иметь при $Y=h$ бесконечный скачок типа δ -функции. Таким образом, на границе $Y=h$ решение едва ли возможно.

В связи с этим сделаем следующее приближение: заменим точные вспомогательные функции приближенными двойниками, но не учтем влияния сглаживания во второй производной, считая область сглаживания, а следовательно, и ее влияние малыми.

Точному решению соответствовало бы уравнение с неограниченностью, содержащее обобщенные функции (типа δ -функции). С учетом вышеуказанного для $F(x; y)$ имеем задачу:

$$\frac{\partial F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + \Phi(x; y; c) = 0;$$

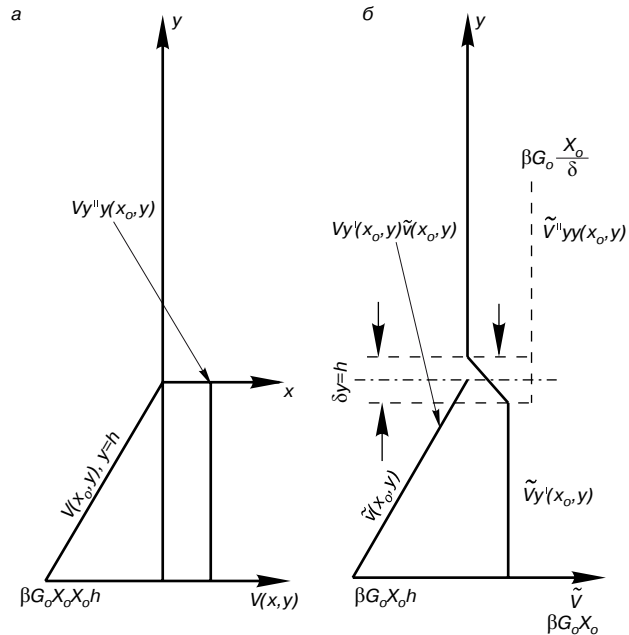


Рис. 2. Схема к расчету теплопередачи через стык при двумерной фильтрации: а – при «негладких» функциях; б – при сглаженном разрыве, соответствующем действительным условиям

$$F_{(0; y)} = \frac{\partial F}{\partial y}(x, \infty) = \frac{\partial F}{\partial x}(x, 0) = \frac{\partial F}{\partial y}(1; y) \equiv 0. \quad (23)$$

Далее имеем решение $F_{(x; y)} = F_{\text{частн.}}(x; y) + F^{(0)}(x; y)$, где $F_{\text{частн.}}(x; y)$ – частное решение уравнения (23); $F^{(0)}(x; y)$ – решение однородного уравнения:

$$F^{(0)}(x; y) = \sum_n (A_n \cdot \sin(nx) + B_n \cdot \cos(nx)) e^{-ny}. \quad (24)$$

Далее с помощью обратного Фурье преобразования по теореме о вычетах получены решения $y(p)$ при различных соотношениях y и h (в статье В.С. Беляева «Исследование теплопередачи в стыках наружных ограждающих конструкций при фильтрации воздуха» / Научные труды ЦНИИЭП жилища, «Теплозащитные качества и микроклимат жилых зданий», 1982).

При $X=1$ уравнение (24) имеет вид:

$$F^{(0)}(1; y) = \sum_{n=1}^{1000} \frac{1 - \gamma_\phi}{\alpha} \cos ny \cdot l^{-ny}.$$

При решениях были приняты следующие исходные данные и обозначения: t_b – температура внутреннего воздуха; t_n – температура ограждения; d_0 – коэффициент теплообмена в стыке; S – плотность фильтрующегося воздуха; C – теплоемкость фильтрующегося воздуха; δ_Σ ; δ_1 – толщина ограждения и стыкового шва; λ ; λ_0 – приведенный коэффициент теплопроводности материала ограждения и фильтрующегося воздуха.

$$\gamma_\phi = \alpha \beta;$$

$$G_0 = \frac{t_{0(x)} - t_n}{t_b - t_n}; \quad G_{(x; y)} = \frac{\tau_n - t_n}{t_b - t_n}; \quad g_z = P_e \frac{\delta_1}{\delta_z}; \quad \beta = 2 \frac{N_u}{g_z}; \quad P_e = \frac{P_0 C_0 V \delta_1}{\lambda_0};$$

$$\alpha = \frac{a}{f \cdot N_u}; \quad a = \frac{\lambda}{\lambda_0}; \quad f = \frac{\delta_\Sigma}{\delta_1}; \quad N_u = \frac{d_0 \delta_1}{\lambda_0}.$$

И третьим вариантом решения уравнения Лапласа (В.С. Беляев. «Теплопередача в узлах ограждающих конструкций при двухмерной фильтрации наружного воздуха» / Научные труды НИИСФ, «Исследования теплоизоляции зданий», 1985), имеющего вид:

$$F_{(x,y)}^{(0)} = \sum_n (A_n \cdot \sin(nx) + B_n \cdot \cos(nx)) e^{-ny}, \quad (24')$$

являлась задача с краевыми условиями $0 \leq m \leq \mu$, $0 < h < N$.

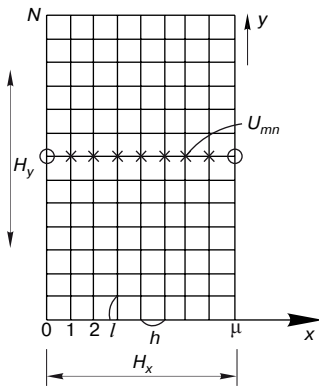


Рис. 3. Схема для решения задачи с краевым условием

Разобьем исследуемую область на квадраты (рис. 3) со сторонами $h = H_x/M$, $L = H_y/N$, где H_x – толщина панели; H_y – высота панели.

В узлах сетки, т. е. лежащих внутри области, решение уравнения $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ с краевым условием на границе $f(x,y)$ идентично решению системы линейных алгебраических уравнений с краевыми условиями, полученными заменой интегралов линейными функциями с использованием формулы Симпсона:

$$u_{10} = \beta \left(\frac{u_{00} + u_{10}}{2} \right) R + \alpha \left(\frac{u_{11} - u_{10}}{l} \right); \quad (25)$$

$$u_{20} = \beta \left(u_{10} l^{-\beta l} + \frac{u_{20}}{2} h + \frac{\alpha (u_{21} - u_{20})}{l} \right); \quad (26)$$

$$u_{30} = \beta \left(\frac{u_{30}}{2} + u_{10} l^{-2\beta h} + u_{20} l^{-\beta h} \right) h + \frac{\alpha (u_{31} - u_{30})}{l}. \quad (27)$$

Формула Симпсона имеет вид:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{f(a) + f(b)}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} f(x_i) \Delta x,$$

где $\int_a^b f(x) dx = \sum$ – сумма площадей трапеций с узлами в точках $y_i = f(x_i)$; $\int_{tr}^i = \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \Delta x$; $\Delta x = \frac{b-a}{n-1}$; n – число точек разбивки; $(n-1)$ – число интервалов разбивки отрезка интегрирования $\sum = \frac{y_1 + y_2}{2} \Delta x + \frac{y_2 + y_3}{2} \Delta x + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \Delta x = \frac{y_1}{2} + y_2 + \dots + y_{n-1} \frac{y_n}{2} \Delta x$, $y_1 = f(a)$, $y_2 = f(a + \Delta x)$, $y_3 = f(a + 2\Delta x)$, $y_4 = f(b)$.

Выразив значение U_{10} , U_{20} , U_{30} в (25)–(27) через остальные значения U_{\dots} , т. е. через U_n , U_2 , обозначим векторы и запишем уравнения в векторной форме, используя формулу Симпсона для $Sf_{(x)} dx$ и граничные условия.

Введя обозначения:

$$B_m^j = \frac{\beta h + \beta l e^{\beta l}}{2 \left(1 - \frac{\beta l \cdot L}{2 \cdot h} \right)}; \quad (28)$$

$$B_j = \frac{\beta h}{\left(1 - \frac{\beta l \cdot L}{2 \cdot h} \right)} \cdot e^{-(m-j)\beta h} \quad j = 1, \dots, m-1; \quad (29)$$

$$F_i = \frac{\beta l e^{\beta l \cdot i}}{\left(1 - \frac{\beta l \cdot L}{2 \cdot h} \right)} \cdot e^{-(m-i)\beta h} \quad i = 1, \dots, m-1, \quad (30)$$

запишем:

$$\begin{aligned} U_{m1} &= B_1 U_{10} + B_2 U_{20} + \dots + B'_m U_{m0} - DU_{m-11}; \\ U_{m2} &= B_1 U_{10} + \dots + B_{m-1} U_{m-10} + B^2_m U_{m0} + F_i U_{m1} - DU_{m-12}; \\ U_{m3} &= B_1 U_{10} + \dots + B_{m-1} U_{m-10} + B^3_m U_{m0} + F_2 U_{m1} + F_1 U_{m2} - DU_{m-13}; \\ U_{m4} &= B_1 U_{10} + \dots + B_{m-1} U_{m-10} + B^4_m U_{m0} + F_3 U_{m1} + \\ &+ F_2 U_{m2} + F_1 U_{m3} - DU_{m-14}. \end{aligned} \quad (31)$$

Далее методом матричной прогонки получим систему линейных уравнений:

$$u_1 = \sigma_1 u_2;$$

$$A_2 u_3 + \sigma_2 u_2 + c_2 u_1 + Q_{(2)} u_1 = 0;$$

$$A_3 u_4 + \sigma_3 u_3 + c_3 u_2 + Q_{(3)} u_1 = 0;$$

$$A_4 u_5 + \sigma_4 u_4 + c_4 u_3 + Q_{(4)} u_1 - DF_{(1,4)} u_2 = 0;$$

$$A_5 u_6 + \sigma_5 u_5 + c_5 u_4 + Q_{(5)} u_1 - DF_{(1,5)} u_2 - DF_{(2,5)} u_3 = 0;$$

$$\begin{aligned} A_n u_{n+1} + \sigma_n u_n + c_n u_{n-1} + Q_{(n)} u_1 - DF_{(1,n)} u_2 - \\ - DF_{(2,n)} u_3 - \dots - DF_{(n-3,n)} u_{n-2} = 0, \end{aligned} \quad (32)$$

где A_n , σ_n , c_n – матрицы размерности $(M-1) \times (M-1)$; $u_1 \dots u_{n-1}$ – векторы размерности $(M-1)$

$$u_1 = \begin{Bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_{M-n} \end{Bmatrix} \quad u_{n1} = \begin{Bmatrix} u_1 n_1 \\ \vdots \\ u_{M-1} n. \end{Bmatrix} \quad (33)$$

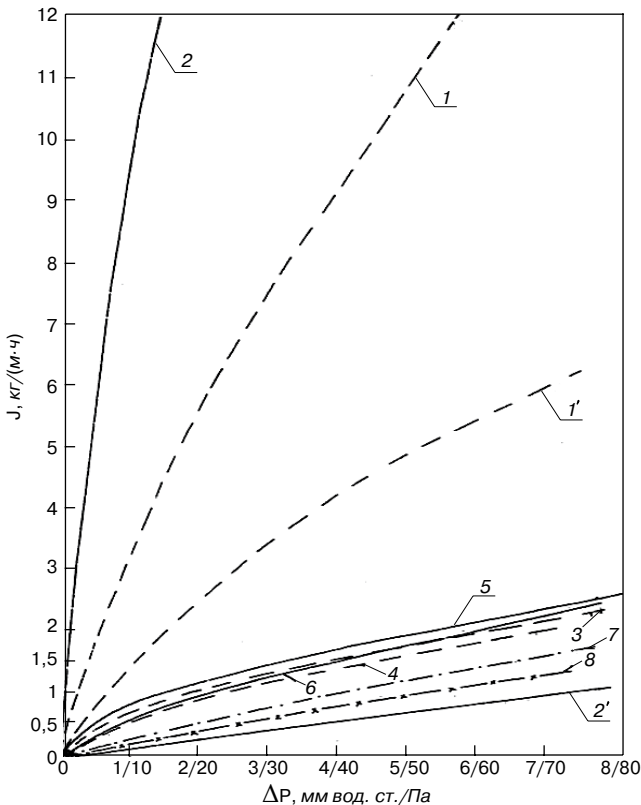


Рис. 4. Зависимость от разности давления общего (1, 2) и поперечного (1', 2') расхода воздуха: 1, 1' – верхний шов горизонтального стыка лоджии легких навесных панелей; 2, 2' – то же, нижний; 3 – через стыковой шов над перекрытием с неутепленным устьем трехслойных керамзитобетонных панелей (рис. 3, 4) без утепляющего вкладыша; 4 – то же, с утепленным устьем; 5 – через стыковой шов под перекрытием с неутепленным устьем; 6 – то же, с утепленным устьем; 7 – через стыковой шов с утепляющим вкладышем с правой стороны внутренней стены; 8 – то же, с левой стороны внутренней стены

При $n > n_1$:

$$A_n u_{n+1} + \epsilon_n u_n + c_n u_{n-1} + D_n = 0;$$

$$D_n = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ — вектор.}$$

Подставляя последовательно значения (28) – (30) в уравнение (31), получим:

$$\begin{aligned} u_1 &= \beta_1 u_2; \\ u_2 &= \beta_2 u_3; \\ u_3 &= \beta_3 u_4 \text{ и т. д.,} \end{aligned} \quad (31)$$

где β_i – матрицы, выражаемые через матрицы A_i , ϵ_i , c_i , $\epsilon_1 \dots \epsilon_{i-1}$.

Для оценки предложенных методов были сопоставлены расчетные и экспериментальные значения температуры поверхностей в области угловых вертикальных стыков однослойных панелей, а также трехслойных керамзитобетонных панелей с утепляющим вкладышем из пенополистирола. Значения температур в области стыков рассчитывались по методике, учитывающей одномерную фильтрацию через стык в виде сквозной щели, и по методике, учитывающей двухмерную фильтрацию. Экспериментальные значения определены с учетом метода определения поперечной (сквозной) воздухопроницаемости (рис. 4).

В результате расчетов и эксперимента получены следующие данные:

	Однослойные панели	Трехслойные панели
Экспериментальные значения температуры, °С	9,5	10,9
Расчетные значения температуры, °С		
– при одномерной фильтрации	8,6	9
– при двухмерной фильтрации	9,4	10,6

Из приведенных значений видно, что при количественном учете поперечной и продольной воздухопроницаемости расчетные значения температуры на поверхности стыков несущественно (не более чем на 0,3°С) отличаются от эксплуатационных. Разница значений, рассчитанных при одномерной фильтрации температур, и экспериментальных будет составлять более 2°С.

Исследования стыков керамзитобетонных и легких навесных панелей по специально разработанной методике [1] позволили количественно разделить общую воздухопроницаемость на поперечную (сквозную) и продольную с известной долей приближения. Поперечная воздухопроницаемость легких навесных панелей составляет 0,5–40% от общей (рис. 4).

Литература

1. *Беляев В.С., Граник Ю.Г., Матросов Ю.А.* Энергоэффективность и теплозащита зданий. М.: АСВ, 2012. 400 с.



ЦНИИЭП жилища Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий

предлагает

Стандарт организации «Энергоэффективность и теплозащита зданий»
СТО 01922789–13

В СТО 01922789–13 представлены требования к энергоэффективности и теплозащите зданий, современные методы теплотехнических расчетов в соответствии с новым СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02.

Приведены методики расчета и определения продольной и поперечной воздухопроницаемости, введенной в СП 50.13330.2012.

В институте также разработаны «Рекомендации по проектированию энергоэкономичных жилых и общественных зданий с применением наружных ограждений с рекуперацией тепла», где изложены основные положения теплового проектирования таких зданий, технические решения элементов наружных стен, результаты испытаний, представлены основы теории, методики и примеры расчетов, выявлены закономерности изменения теплового эффекта.

Для приобретения СТО и Рекомендаций обращайтесь к руководителю работ
Беляеву Владимиру Сергеевичу

Телефоны: (499) 976-40-35, (499) 254-67-53

e-mail: gabreel4@li.ru