

Нормальная скорость воздуха в щели:

$$v_x = \kappa \sqrt[n]{\frac{2\Delta p_x}{\rho}}, \quad (5)$$

где v_x — скорость воздуха в каналах, сообщающих помещение с атмосферой, м/с; n — показатель степени, принимаемый в зависимости от характера течения воздуха в каналах; κ — аэродинамический коэффициент каналов, по которым проходит воздух; Δp_x — разность давлений [Па] по разные стороны на входе и выходе из каналов для:

□ атмосферного давления;

□ гравитационного давления:

$$\Delta p_x = (p_n - p_v) = H(\rho_n - \rho_v)g; \quad (6)$$

□ ветрового давления:

$$\Delta p_x = c_n \frac{\rho_n W_x^2}{2}, \quad (7)$$

где ρ — плотность воздуха (ρ_n — вне здания, ρ_v — внутри здания); H — высота расположения от нейтральной зоны, м; g — ускорение свободного падения; W_x — текущая скорость атмосферного воздуха, м/с; c_n — аэродинамический коэффициент здания с наветренной стороны.

Иногда вместо плотности воздуха ρ [кгс·с²·м⁴] целесообразно использовать её связь с температурой, которая выражается зависимостью:

$$\rho = 0,0473 \frac{B}{T}, \quad (8)$$

где B — барометрическое давление, мм рт. ст.; T — температура (T_n — наружного воздуха, T_v — внутреннего воздуха), К.

Разность плотностей воздуха математически можно описать зависимостью:

$$\rho_n - \rho_v = 0,0473 B \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_v} \right) = 0,0473 \frac{B}{T_n T_v} (T_v - T_n). \quad (9)$$

Примем $B = 760$ мм рт. ст., а произведение $T_n T_v = 68\,269$ (с точностью 2% для параметров, используемых в отопительной технике), тогда:

$$\begin{aligned} \rho_n - \rho_v &= 0,5265 \times 10^{-3} (T_v - T_n), \text{ кгс·с}^2\cdot\text{м}^4, \text{ или} \\ \rho_n - \rho_v &= 5,165 \times 10^{-3} (T_v - T_n), \text{ кг/м}^3. \end{aligned} \quad (10)$$

В дальнейшем будем пользоваться как $\rho_n - \rho_v$, так и

$$0,0473 \frac{B}{T_n T_v} (T_v - T_n).$$

Массовое количество воздуха, поступившего в помещение за промежуток $d\tau$, составляет:

$$dm = \kappa f_{\text{кан}} \rho_v \sqrt[n]{\frac{2\Delta p_x}{\rho_n}} d\tau. \quad (11)$$

Используя уравнение (1), получаем связь количества воздуха, поступившего в помещение объёмом V_0 с установившимся в нём избыточным давлением p_x :

$$dp_x = dm \frac{RT_v}{V_0 M} = \kappa f_{\text{кан}} \rho_v \sqrt[n]{\frac{2\Delta p_x}{\rho_n}} d\tau. \quad (12)$$

где $f_{\text{кан}}$ — суммарная площадь всех каналов, по которым воздух поступает в помещение, м².

Обозначим:

$$\Pi = \kappa f_{\text{кан}} \rho_v \frac{RT_v}{V_0 M} \sqrt[n]{\frac{2}{\rho_n}},$$

тогда уравнение (12) запишется как:

$$dp_x = \Pi \sqrt[n]{\Delta p_x} d\tau = \frac{RT_v}{V_0 M} dm. \quad (12.1)$$

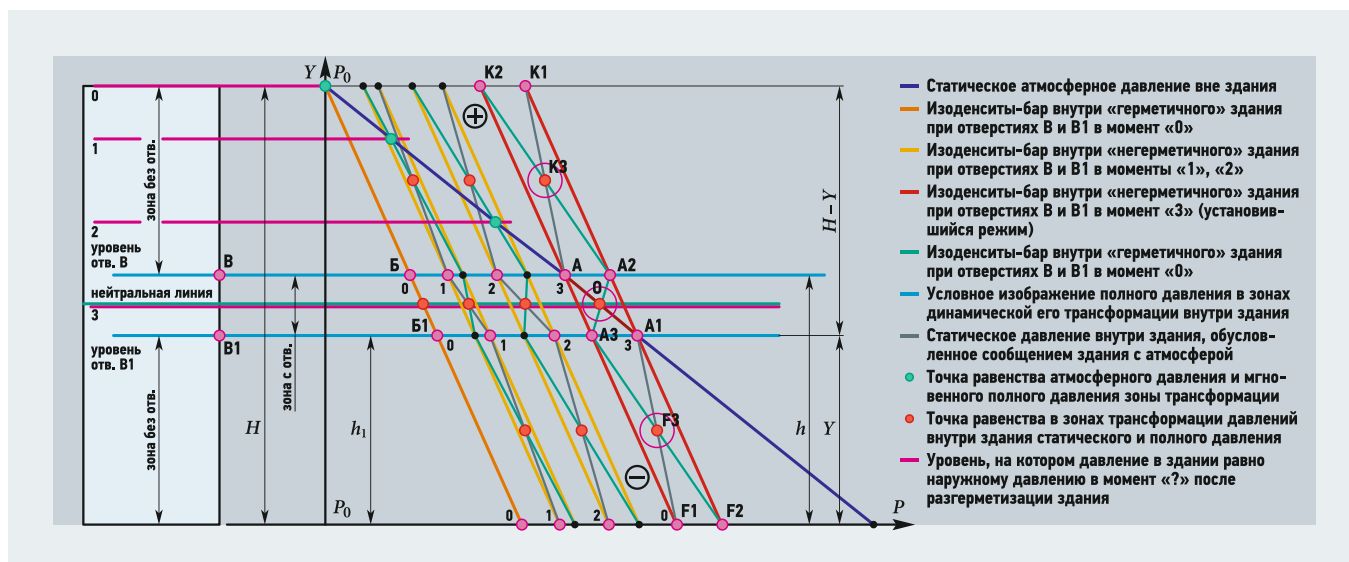


Рис. 1. Динамика эпюр давления внутри рассматриваемого здания (в моменты времени [0, 1, 2, 3]) при его разгерметизации

Если давление внутри здания выше атмосферного, тогда:

$$\frac{d\Delta p_x}{\eta \Delta p_x} = \Pi d\tau. \quad (12.2)$$

Из (12) следует, что внутреннее давление (атмосферное) в помещении объемом V_0 , при неизменных конструктивных характеристиках воздухопроводящих каналов в ограждениях здания и постоянной температуре воздуха, определяется атмосферным давлением наружного воздуха. Степень влияния атмосферного давления наружного воздуха на внутреннее атмосферное давление в помещении переменна во времени. Это предопределяет переменность разности давлений по разные стороны ограждения.

Выше отмечены три принципиально отличных друг от друга способа образования разностей давления на ограждения: атмосферное, гравитационное (6) и ветровое (7).

Проанализируем способы образования разности давлений по разные стороны ограждения:

- при постоянстве теплотехнических параметров внутреннего и наружного воздуха при разгерметизации здания;
- при изменении в течение суток теплотехнических параметров наружного воздуха;
- при ветровом воздействии.



А. В первом случае необходимо иметь в виду, что внутреннее атмосферное давление в помещении (сразу после его разгерметизации) в процессе взаимодействия с наружным воздухом изменяется в сечении В от Б до А и в сечении В1 от В1 до А1 (см. рис. 3 в [1]). Давление от А до А1 (красно-коричневая линия) является атмосферным давлением внутри помещения, установившимся в результате длительного воздействия неизменного наружного давления (ветровое воздействие отсутствует).

На рис. 1 приведена динамика изменения эпюр давления в здании сразу после разгерметизации здания — от момента образования отверстий В и В1 до момента, когда давления вне и в здании уравниваются (установившийся режим).

Цифрами на графике отмечены временные состояния эпюр давлений внутри здания: 0 — характеризует эпюру давлений внутри здания в момент полной герметизации здания; 3 — отображает эпюру давлений внутри разгерметизированного здания в момент установившегося режима; 1 и 2 — иллюстрируют эпюры давлений внутри разгерметизированного здания в промежуточные моменты. Зелеными точками обозначены координаты высоты и атмосферного давления, через которые в данный текущий [0, 1, 2, 3] момент после разгерметизации здания проходит нейтральная линия, делящая здание на зоны с давлением выше атмосферного и ниже.

Анализ этих точек даёт основание считать, что при разгерметизации здания происходит возмущение давления в здании и меняется положение нейтральной линии — от верха здания она опускается до нейтральной линии, обусловленной установившимся режимом в зоне разгерметизации (момент 3).

На эпюре она обозначена красным цветом и точкой О, так как в этой зоне отверстий разгерметизации зелёная точка совпадает с красной.

Физически красные точки, отмеченные на эпюре, определяют для каждой характерной зоны координаты равенства статического и полного давлений внутри этой зоны здания, то есть центры внутренней циркуляции в зоне. Но точка О — особая точка, в ней внутреннее давление в здании совпадает с атмосферным, которое определяет характер эпюр давлений внутри здания. Проведённая через точку О линия (нейтральная) делит здание на части: верхнюю часть здания, в которой внутреннее давление выше атмосферного, и нижнюю, в которой давление ниже атмосферного. Красные точки на нейтральной линии характеризуют внутреннее давление в здании в соответствующий момент после разгерметизации.

Для определения характера изменения внутреннего давления в зоне отверстий проинтегрируем уравнение (12.2) для случая $p_b \leq p_n$ и геометрических обозначений, принятых на рис. 1:

$$p_{b\tau} = p_0 + \left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) \gamma_n - \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right] \times \\ \times \left[1 - \frac{(n-1) \Pi \tau}{n \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right]^{\frac{n-1}{n}}}\right]^{\frac{n}{n-1}}. \quad (13)$$

Из данной зависимости следует, что при $\tau = 0$:

$$p_{b\tau=0} = p_0 + \left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) \gamma_b.$$

Для помещений, расположенных в здании на высоте x , внутреннее давление во времени в общем случае описывается зависимостью:

$$p_{b\tau} = p_0 + \left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) \gamma_n - \left(x - \frac{h_1 + h}{2}\right) \gamma_b - \\ - \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right] \left[1 - \frac{(n-1) \Pi \tau}{n \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right]^{\frac{n-1}{n}}}\right]^{\frac{n}{n-1}}. \quad (13.1)$$

где $h_1 \leq x \leq h$.

Предельная величина давления внутри здания достигается после разгерметизации через $\tau_{в\tau\kappa}$, и она равна атмосферному давлению:

$$\tau_{в\tau\kappa} = \frac{n}{\Pi(n-1)} \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right]^{\frac{n-1}{n}}, \quad (14)$$

где $\Pi = \kappa f_{кан} \rho_b \frac{RT_b}{V_0 M} \sqrt{\frac{2}{\rho_n}}$,

Эта зависимость характеризует период, за который абсолютное давление в помещении стабилизируется, то есть вызванное возмущение давлений прекращается.

Разность между атмосферным давлением и давлением внутри здания после его разгерметизации на нейтральной линии во времени характеризуется:

$$\Delta p_\tau = (p_n - p_b)_\tau = \left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b) \times \\ \times \left[1 - \frac{(n-1) \Pi \tau}{n \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right]^{\frac{n-1}{n}}}\right]^{\frac{n}{n-1}}. \quad (15)$$

То же, на высоте x от нейтральной:

$$\Delta p_\tau = \left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b) \left[1 - \frac{(n-1) \Pi \tau}{n \left[\left(H - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b)\right]^{\frac{n-1}{n}}}\right]^{\frac{n}{n-1}} + \\ + \left(x - \frac{h_1 + h}{2}\right) (\gamma_n - \gamma_b), \quad (15.1)$$

где $h_1 \leq x \leq h$.

Из (15) следует, что максимальная разность давлений наблюдается в начальный момент разгерметизации (возникновения возмущения). С увеличением продолжительности разгерметизации здания разность давлений уменьшается и вырождается через $\tau_{в\tau\kappa}$ (14) в атмосферное давление. Только через $\tau_{в\tau\kappa}$ (14) разность давлений на ограждения здания однозначно определяется разностью удельных весов наружного и внутреннего воздуха и минимальна при установившемся режиме.

Только при установившемся режиме 3, когда давление в здании сравнивается с наружным атмосферным давлением, первый поток (внутреннее циркуляционное кольцо) и второй поток совмещаются. В этом случае часть отверстий этой зоны здания будет в области разрежения, а часть — в области повышенного давления

Анализируя динамику изменения эпюр давления внутри здания (рис. 1) при его разгерметизации нетрудно заметить следующую особенность: в здании в начальный момент образуются два характерных потока. Первый поток — внутренний циркуляционный [1–1, 2–2, ...] и второй поток, обусловленный эпюрами наружного атмосферного давления (синяя линия) и изоденситатами-бар негерметичного здания в соответствующие моменты (тонкие жёлтые линии). Именно второй поток в зоне отверстий здания определяет взаимодействие объёма здания с атмосферой, то есть инфильтрацию. Сравнивая данные эпюры в различные моменты [0, 1, 2, 3] видно, что в ранние моменты зона отверстий в здании находится полностью под разрежением и через все отверстия зоны наружный воздух поступает в здание.

Границы деления здания на разрежение для различных моментов показаны на рис. 1 фиолетовыми горизонталями. С увеличением продолжительности разгерметизации (возмущения давления) от момента её начала, давление внутри здания повышается, а объём здания, находящийся под разрежением, сокращается. Только при установившемся режиме 3, когда давление в здании сравнивается с наружным атмосферным давлением, первый поток (внутреннее циркуляционное кольцо) и второй поток совмещаются. В этом случае часть отверстий этой зоны здания будет в области разрежения, а часть — в области повышенного давления. Часть отверстий будут работать на приток наружного воздуха в здание, а часть — на вытяжку.

В промежуточные моменты, когда зона отверстий здания находится под разрежением, все отверстия в здании работают на приток. Именно избыток поступающего в здание воздуха обуславливает рост внутреннего атмосферного давления в здании.

Изменение ординаты границы деления здания по атмосферному давлению сказывается и на характере формирования воздушного потоков в здании. Так, при расположении этой границы выше нейтральной линии установившегося режима следует ожидать, что поток наружного воздуха, поступающий в здание в зоне отверстий, будет распределяться по всему объёму здания до момента, когда граница деления не совпадёт с нейтральной линией зоны отверстий здания (установившийся режим).





Выявленные выше особенности деформации эпюр внутреннего давления в здании (при взаимодействии внутреннего объема с атмосферой) дают основания считать, что приведённая в [1] зависимость для ординаты нейтральной линии (10) носит частный характер. Наиболее информативна здесь зависимость (17) [1], определяющая положение нейтральной линии из условия баланса масс воздуха, перемещающихся между зданием и атмосферой. Именно она даёт возможность оценить положение нейтральной линии в зоне отверстий здания по конструктивным особенностям ограждения и степени их герметичности. Нейтральную линию можно расположить на любой отметке между отметками крайних отверстий.

Отмеченные особенности трансформации эпюр давления в здании характерны для всех случаев возникновения внезапных факторов возмущений, влияющих на величины давления внутри здания и вне его (неустановившийся режим).

Б. Рассмотрим теперь особенности формирования давления в здании при изменяющихся в течение суток теплотехнических параметрах наружного воздуха.

Исходными данными принимаем: установившийся режим давления в здании; температура воздуха в здании постоянна, а температура наружного воздуха в течение суток меняется (ночью минимальная, а в полдень — максимальная). Для упрощения и формализации примем: минимальную температуру за сутки как $T_{\min}$, максимальное отклонение от неё обозначим через A_T ; текущую температуру наружного воздуха — $T_{н.х}$; изменение температуры от минимальной до максимальной и обратно происходит прямолинейно и выглядит так, от минимальной температуры до максимальной (от утра до полудня):

$$T_{н.х} = T_{\min} + \frac{A_T \tau_x}{12}; \quad (16.1)$$

соответственно, от максимальной температуры до минимальной (после полудня):

$$T_{н.х} = T_{\min} + \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12}. \quad (16.2)$$

Здесь цифра 12 определяет суточную продолжительность (в часах) изменения температуры наружного воздуха от минимального значения до максимального (полдень) и от максимальной до минимальной (после полудня); τ_x — текущее время суток, которое не может превышать в первой зависимости 12, а во второй — 24.

Так как характер изменения температуры наружного воздуха за сутки нами охарактеризован двумя периодами, то и характер изменения плотности по разные стороны ограждения в течение суток будет описываться двумя зависимостями, до полудня:

$$p_n - p_b = 0,5265 \times 10^{-3} \left(T_b - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right), \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^4; \quad (17.1)$$

после полудня:

$$p_n - p_b = 0,5265 \times 10^{-3} \left[T_b - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right], \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^4. \quad (17.2)$$

Тогда разность давлений по разные стороны на входе и выходе каналов в зоне отверстий здания на нейтральной линии, до полудня:

$$\begin{aligned} \Delta p_{x1} &= p_n - p_b = \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right) (\gamma_n - \gamma_b) g = \\ &= 0,5265 \times 10^{-3} \left(T_b - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right); \end{aligned} \quad (18.1)$$

после полудня:

$$\begin{aligned} \Delta p_{x2} &= p_n - p_b = \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right) (\rho_n - \rho_b) g = \\ &= 0,5265 \times 10^{-3} \left[T_b - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right]. \end{aligned} \quad (18.2)$$

Аналогичные зависимости для уровней вне нейтральной линии (на отметке x) в зоне отверстий здания будут отличаться геометрической величиной $[H - 0,5(h_1 + h)]$, которую следует представить как $[H + x - (h_1 + h)]$. В дальнейшем все рассуждения и математические выкладки будут вестись для нейтральной линии установившегося режима зоны здания с отверстиями, то есть для $[H - 0,5(h_1 + h)]$.

Цифра 12 определяет суточную продолжительность изменения температуры наружного воздуха от минимального значения до максимального и от максимальной до минимальной

Зависимости для нормальной скорости воздуха в щели примут соответствующий вид:

$$\begin{aligned} v_{x1} &= \kappa^n \sqrt{\frac{2 \Delta p_{x1}}{\rho_n}} = \\ &= \sqrt[n]{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_n} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right) \left(T_b - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right)}; \end{aligned} \quad (19.1)$$

$$\begin{aligned} v_{x2} &= \kappa^n \sqrt{\frac{2 \Delta p_{x2}}{\rho_n}} = \\ &= \sqrt[n]{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_n} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right) \left[T_b - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right]}. \end{aligned} \quad (19.2)$$

Массовое количество воздуха, поступающего или покидающего помещение за промежуток $d\tau$, определяется как:

$$\begin{aligned} dm_1 &= \kappa f_{\text{кан}} \rho_b \times \\ &\times \sqrt[n]{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_n} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right) \left(T_b - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right)} d\tau_x; \end{aligned} \quad (20.1)$$

$$\begin{aligned} dm_2 &= \kappa f_{\text{кан}} \rho_b \times \\ &\times \sqrt[n]{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_n} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right) \left[T_b - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right]} d\tau_x. \end{aligned} \quad (20.2)$$

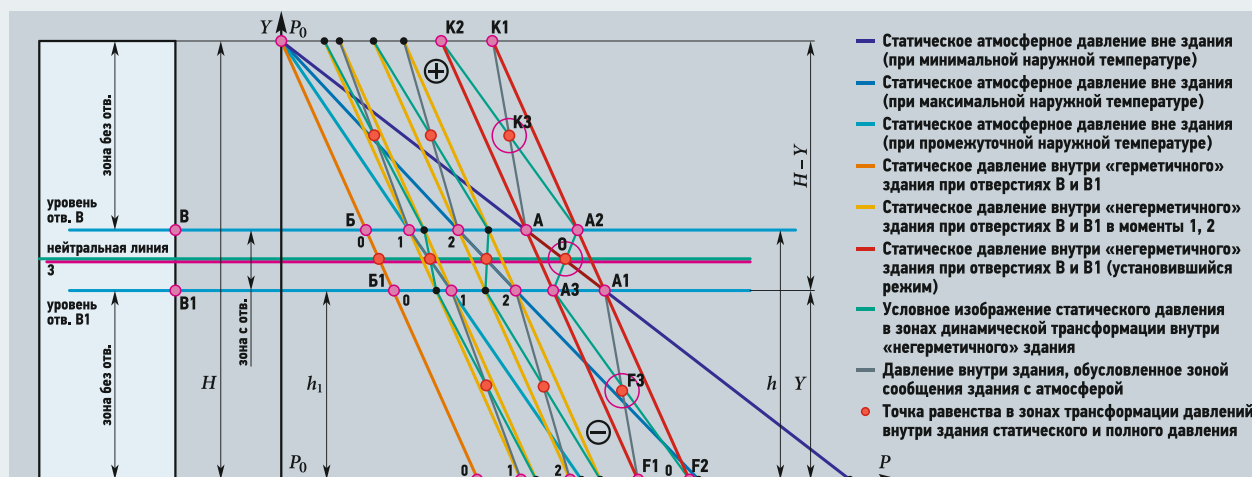


Рис. 2. Динамика (в моменты времени [0, 1, 2, A]) трансформации эпюр давления внутри здания при изменении внешнего атмосферного давления

Обозначив:

$$\Pi_1 = \kappa f_{\text{кан}} \rho_B \sqrt{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_H} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right)},$$

вышеприведённые зависимости примут вид:

$$dm_1 = \Pi_1^n \left(T_B - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right) d\tau_x; \quad (21.1)$$

$$dm_2 = \Pi_1^n \left[T_B - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right] d\tau_x. \quad (21.2)$$

Характер изменения давления внутри помещения (на нейтральной линии):

$$\begin{aligned} \Delta p_{x1} &= \Pi_1 \frac{RT_0}{V_0 M} \sqrt{\left(T_B - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right)} d\tau_x = \\ &= \Pi_2 \sqrt{\left(T_B - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right)} d\tau_x; \end{aligned} \quad (22.1)$$

$$\begin{aligned} \Delta p_{x2} &= \Pi_1 \frac{RT_0}{V_0 M} \sqrt{\left[T_B - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right]} d\tau_x = \\ &= \Pi_2 \sqrt{\left[T_B - T_{\min} - \frac{A_T (24 - \tau_x)}{12} \right]} d\tau_x, \end{aligned} \quad (22.2)$$

$$\text{где } \Pi_2 = \Pi_1 \frac{RT_0}{V_0 M} = \frac{RT_0}{V_0 M} \kappa f_{\text{кан}} \rho_B \sqrt{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_H} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right)}.$$

Проинтегрировав эти выражения, получаем уравнения, описывающие характер изменения давления в помещении в зоне отверстий здания, на нейтральной линии во времени:

$$p_{x\tau} - p_{x0} = \Pi_3 \left[\left(T_B - T_{\min} \right)^{\frac{n+1}{n}} - \left(T_B - T_{\min} - \frac{A_T \tau_x}{12} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right],$$

$$\begin{aligned} \text{где } \Pi_3 &= \Pi_2 \frac{12n}{A_T (1+n)} = \\ &= \frac{12n}{A_T (1+n)} \frac{RT_0}{V_0 M} \kappa f_{\text{кан}} \rho_B \sqrt{\frac{10,33 \times 10^{-3}}{\rho_H} \left(H - \frac{h_1 + h}{2} \right)}; \end{aligned} \quad (23.1)$$

$$p_{x\tau} - p_{x1} = \Pi_3 \left[\left(T_B - T_{\min} - 2A_T + A_T \frac{\tau_x}{12} \right)^{\frac{n+1}{n}} - \left(T_B - T_{\min} - 2A_T \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (23.2)$$

На рис. 2 представлены эпюры трансформации давления внутри здания в различные моменты меняющейся температуры наружного воздуха в течение суток (24 часа). На рис. 2 рассмотрен только один (первый) суточный цикл. Эпюры давления в здании изображены для трёх временных моментов. Полдень — максимальная температура наружного воздуха (левое), полночь — минимальная температура наружного воздуха (правое, красное) и промежуточный момент (слева от красного). Эпюры показаны условно, как для установившихся режимов, однако трансформация эпюр одного временного момента в другой физически происходит по аналогии, как это осуществляется в ранее рассмотренном случае А.

С изменением температуры наружного воздуха изменяется внутренний объём здания, находящийся под разрежением, а это, как отмечено при анализе рис. 1, обуславливает соответствующее перераспределение воздушных потоков как в объёме здания, так и в отверстиях зоны отверстий ограждающих конструкций здания. Меняется соотношение площадей отверстий, работающих на приток и вытяжку и, как следствие, перемещается нейтральная линия, делящая здание по давлению на части и обуславливающая величины гравитационных давлений.

Эпюры давления в здании изображены для трёх временных моментов. Полдень — максимальная температура наружного воздуха, полночь — минимальная температура наружного воздуха и промежуточный момент. Эпюры показаны условно, как для установившихся режимов

В случае, если необходимо проанализировать несколько последовательных суточных изменений температур, то обязательно следует обратить внимание на особенности сочетания времени τ и соответствующего ему внутреннего давления на границах перехода.

Процесс изменения температуры наружного воздуха постоянен и влияет не только на гравитационное давление, но и непосредственно на общее атмосферное давление в здании.

Некоторым недостатком иллюстрирования деформации эпюр давлений на рис. 2 представляется тот факт, что не учтено влияние температуры наружного воздуха на величину атмосферного давления p_0 на уровне кровли здания и выше.

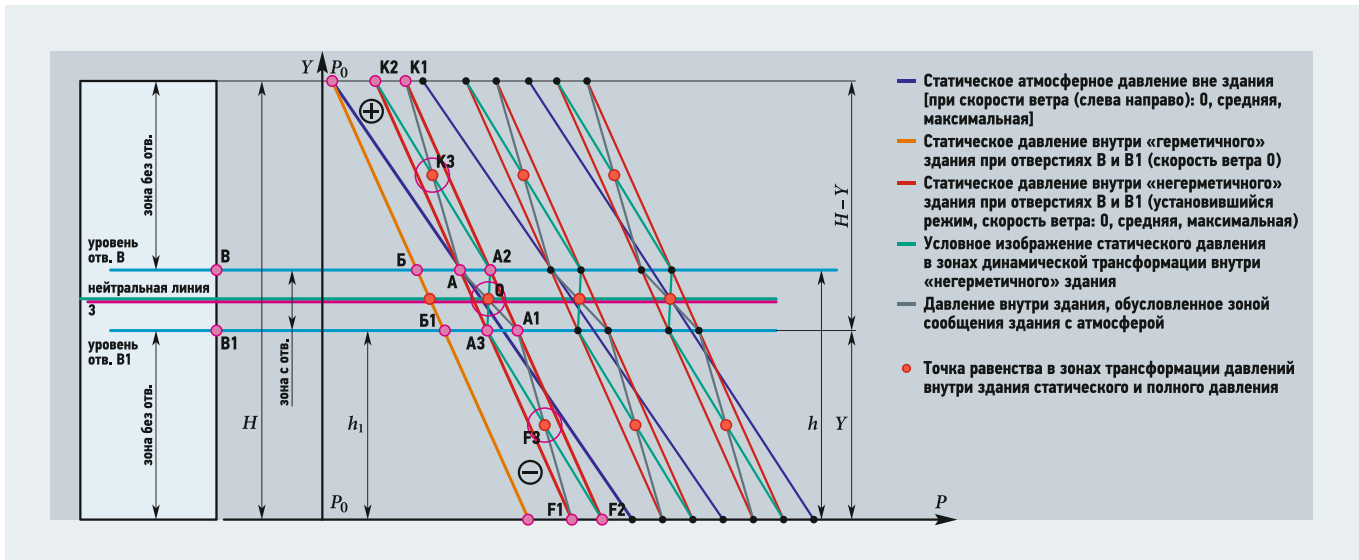


Рис. 3. Динамика (в моменты времени [0, 1, 2, A]) трансформации эпюр давления внутри здания при изменении внешнего атмосферного давления

В. Ветровое воздействие на формирование эпюр давлений внутри здания рассмотрим при условии, что в начальный момент, перед ветровым воздействием, в здании имеет место установившийся режим давления (левая эпюра рис. 3).

При возникновении ветра на внешнем ограждении здания повышается давление (синие линии слева направо), которое временно из-за непостоянства скорости ветра. Ветру, как правило, свойственен импульсный характер — он возникает и прекращается. Скорость ветра может меняться как от нуля и выше, так и от любого промежуточного значения в ту или другую сторону.

На рис. 3 изображены эпюры давления в здании при воздействии на здание только набегающего потока ветра для трёх возможных скоростей ветра: отсутствие ветра (левая), максимальная скорость (правая) и промежуточная величина (средняя).

Для обеспечения математической формализации примем, что ветер дует порывами с периодичностью T_w , диапазон изменения скорости ветра $[0 - W_{\max}]$, максимальное давление ветра на ограждение:

$$\Delta p_{w\max} = c_n \frac{\rho_n W_{\max}^2}{2}, \quad (24)$$

где $\Delta p_{w\max}$ — максимальное давление ветра на ограждение, Па; $W_{\max}$ — максимальная скорость ветра, м/с; ρ_n — плотность наружного воздуха; c_n — аэродинамический коэффициент здания с наветренной стороны.



Изменение давления ветра на ограждение пропорционально времени:

$$\Delta p_{wX}^{0-1} = \frac{2\Delta p_{w\max} \tau_x}{T_w}, \quad \text{для } 0 \leq \tau_x \leq 0,5 T_w; \quad (25.1)$$

$$\Delta p_{wX}^{1-0} = \frac{2\Delta p_{w\max} (\tau_x - 0,5 T_w)}{T_w}, \quad \text{для } 0,5 T_w \leq \tau_x \leq T_w. \quad (25.2)$$

Данные зависимости применимы только при $0 \leq \tau_x \leq T_w$. Подставив их в уравнение (12.1), получаем следующее дифференциальное уравнение для внутреннего давления в здании при воздействии ветра:

$$\Delta p_{wB}^{0-1} = \Pi^n \sqrt{\Delta p_{wX}^{0-1}} d\tau = \Pi^n \sqrt{\frac{2\Delta p_{w\max} \tau_x}{T_w}} d\tau, \quad \text{для } 0 \leq \tau_x \leq 0,5 T_w; \quad (26.1)$$

$$\Delta p_{wB}^{1-0} = \Pi^n \sqrt{\Delta p_{wX}^{1-0}} d\tau = \Pi^n \sqrt{\frac{2\Delta p_{w\max} (\tau_x - 0,5 T_w)}{T_w}} d\tau, \quad \text{для } 0,5 T_w \leq \tau_x \leq T_w. \quad (26.2)$$

Временной характер изменения внутреннего давления в здании на нейтральной линии при воздействии порыва ветра представляется как:

$$\Delta p_{wB\tau}^{0-1} = \int \Pi^n \sqrt{\Delta p_{wX}^{0-1}} d\tau = \int \Pi^n \sqrt{\frac{2\Delta p_{w\max}}{T_w}} \sqrt{\tau_x} d\tau = \Pi^n \sqrt{\frac{2\Delta p_{w\max}}{T_w}} \frac{n}{1+n} (\tau_x)^{\frac{1+n}{n}}, \quad \text{для } 0 \leq \tau_x \leq 0,5 T_w; \quad (27.1)$$

$$\Delta p_{wB\tau}^{1-0} = \int \Pi^n \sqrt{\Delta p_{wX}^{1-0}} d\tau = \int \Pi^n \sqrt{\frac{2\Delta p_{w\max} (\tau_x - 0,5 T_w)}{T_w}} d\tau = \Pi^n \sqrt{\frac{2\Delta p_{w\max}}{T_w}} \frac{n}{1+n} \left[(\tau_x - 0,5 T_w)^{\frac{1+n}{n}} - (-0,5 T_w)^{\frac{1+n}{n}} \right], \quad \text{для } 0,5 T_w \leq \tau_x \leq T_w. \quad (27.2)$$

Анализ влияния ветрового давления на давление внутри здания проведём с привлечением только первого выражения. Видно, что с порывами ветра давление внутри здания на уровне нейтральной линии меняется пропорционально максимальному динамическому напору ветра в степени $1/n$, периоду ветрового порыва и техническим качествам ограждений П. Чем больше период, тем сильнее влияние ветра на давление в здании.

Инфильтрация воздуха определяется разностью давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждений.

Для анализируемого случая эта разность имеет вид:

$$\Delta p_{\text{инф}} = \frac{2\Delta p_{w\text{max}} \tau_x}{T_w} - \Pi \sqrt[n]{\frac{2\Delta p_{w\text{max}}}{T_w} \frac{n}{1+n} (\tau_x)^{\frac{1+n}{n}}} =$$

$$= \frac{2\Delta p_{w\text{max}} \tau_x}{T_w} \left[1 - \Pi \left(\frac{2\Delta p_{w\text{max}}}{T_w} \right)^{\frac{1-n}{n}} \frac{n}{1+n} \sqrt[n]{\tau_x} \right]. \quad (27.3)$$

Выражение в квадратных скобках характеризует долю динамического напора ветра, используемого при инфильтрации. Оно равно единице только в начальный момент. Во всех других моментах оно не превышает единицы, а с увеличением продолжительности воздействия ветра стремится к нулю. Иными словами, учитывать воздействие ветра на инфильтрацию в здании следует только при пульсирующем характере воздушного потока, и то не полностью. При длительном, устойчивом действии ветра инфильтрация существенно сокращается. Пользоваться выражениями (27) следует только для одного порыва ветра и при учёте скачка давления на временной границе периодов порыва ветра. При изучении давления на нескольких порывах ветра необходимо рассмотреть во взаимосвязи несколько порывов. Другой особенностью данного рассмотрения является то, что на рис. 3 показаны эпюры давлений для условно установившихся режимов и не отражено изменение границ деления объёма здания на напорную часть и разрежения. Оно аналогично приведённому в первом случае А.

Выводы

Резюмируя всё вышеприведённое, отметим:

1. Любое возмущение внешнего давления вызывает изменение давления внутри здания, а также независимо от величины возмущения вызывает изменение в соотношениях частей объёма здания, находящихся под повышенным или пониженным давлением (относительно расположения нейтральной линии).
2. Устойчивое положение нейтральной линии возможно в здании в зоне отверстий и только при установившемся режиме, когда абсолютные величины внутреннего и внешнего давления неизменны, а также постоянны конструктивные элементы ограждений (площади отверстий, гидравлические характеристики воздушных каналов, размеры зоны отверстий в здании и т.п.).
3. Плавающий характер «нейтральной линии» предопределяет переменность не только в количестве инфильтрующегося воздуха, но и его направленности. Отверстия, работающие на приток, начинают работать на вытяжку, и при этом может изменяться этажность.
4. Перепад давлений, обуславливающий наибольшую ин-экс-фильтрацию, имеет место в начальный момент возмущения и наименьший — при установившемся режиме. При установившемся режиме давлений ветровое воздействие влияния на ин-экс-фильтрацию не оказывает, но влияет на величину давления непосредственно внутри здания.
5. Проведённый анализ эпюр давления в здании позволяет несколько иначе посмотреть на работу системы естественной вентиляции (и дать ей оценку), особенно в случае помещений в зонах здания с отсутствием отверстий и в зонах, расположенных ниже и выше зоны здания с отверстиями. В связи с повсеместным строительством подземных помещений (гаражей, магазинов и т.п.) и глухих технических этажей в настоящее время это особо важно. ●

1. Аничкин А.Г. Ещё раз о воздушном режиме // Журнал С.О.К., 2016. №7. С. 42–48.

* References — see page 95.

Once again about the air mode of the building. An external conditions that change. Pp. 72–79.

A. G. Anichkhin, PhD

-
1. Anichkhin A.G. Eshhe raz o vozdushnom rezhime [Once again about air mode of the building] // Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.) [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2016. No. 7. Pp. 42–48.