

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-24-32

^{1,*}Дацюк Т.А., ¹Уляшева В.М., ²Верховский А.А.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет²Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН)

*E-mail: tdatsuk@mail.ru

ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Воздушный режим многоэтажных зданий формируется под действием ветрового давления, воздухопроницаемости ограждающих конструкций, особенностей функционирования систем вентиляции. Комплексная задача обеспечения нормируемых параметров воздушной среды в высотных зданиях является достаточно сложной в связи с наличием стек-эффекта, действие которого в холодный период года приводит к увеличению инфильтрации и энергопотребления. В проектной практике расчет инфильтрации проводится по инженерным методикам, которые не дают идентичных решений. Для оценки влияния инфильтрации на воздушный режим уникальных зданий применяют численные расчеты или моделирование в аэродинамических трубах, которые имеют определенную степень достоверности. В работе проведен обзор работ по влиянию стек-эффекта на расположение нейтральной оси здания и инфильтрацию. Одно из основных мероприятий по снижению инфильтрации – применение фасадных конструкций с незначительной воздухопроницаемостью. Выбор фасадных конструкций более надежно проводить с учетом результатов испытаний. Приведены экспериментальные данные определения воздухопроницаемости фрагмента модульного фасада и их сравнение с нормативными требованиями РФ и разных стран. Показано расхождение результатов расчета по инженерным методикам и результатов испытаний. Предложено использовать коэффициент объемного расхода для определения объемов инфильтрационного воздуха при изменении разности давлений в широком диапазоне. Испытанные конструкции могут быть рекомендованы для высотных зданий для обеспечения требуемой герметичности.

Ключевые слова: ветровое давление, воздухопроницаемость, стек-эффект, фасадные конструкции.

Введение. Воздушный режим многоэтажных зданий формируется под действием ветрового давления, воздухопроницаемости ограждающих конструкций и особенностей функционирования систем вентиляции. Кроме того, для высотных зданий характерно наличие стек-эффекта, который приводит к увеличению инфильтрации вследствие значительного перепада давлений и к дополнительному расходу энергоресурсов [1–3]. В инженерной практике оценка энергопотребления высотных зданий проводится с использованием методики, которая, к сожалению, не дает достоверных результатов вследствие того, что при расчете затрат энергии на нужды вентиляции вклад инфильтрации учитывается весьма приближенно. Известно, что объемы инфильтрация зависят от положения нейтральной оси здания (NPL), так как считается, что наружный воздух поступает в здание через его оболочку ниже NPL. Обзор зарубежных работ, посвященных этой проблеме в высотных зданиях, приведен в работах [4–7]. Так как инфильтрация имеет место до высот, где разность давлений положительная, то весьма важно корректно определять положение нейтральной оси зданий.

В связи с наличием стек-эффекта отмечается так же ряд негативных явлений таких как возникновение шума в лифтовых шахтах и проблемы с

открыванием дверей лифтов, а также поступление в здание вредных веществ при высоком уровне загрязнения воздуха у фасадов зданий. Однако существует мнение, что в переходный и теплый периоды года наличие стек-эффекта [2, 3] оказывает, наоборот, положительное влияние за счет увеличения расхода наружного воздуха, поступающего в здания без энергозатрат.

Для снижения инфильтрации в высотных зданиях проводятся комплексные исследования и разрабатываются мероприятия, направленные на стабилизацию внутреннего давления, с учетом изменения ветрового воздействия на оболочку здания [5, 8–11]. Предложено, например, зонирование зданий, повышение герметичности верхней части фасада, регулирование внутреннего давления за счет работы систем вентиляции.

Особо отмечается влияние на инфильтрацию и теплопотери зданий не только герметичности оболочки, но и герметичности внутренних ограждений (перегородок, дверей квартир, лифтов). При исследовании воздушного режима 25 этажного здания, расположенного в Скандинавии [12], было показано, что снижение воздухопроницаемости оболочки здания с $3,0 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ до $0,5 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ при разности давлений $\Delta P = 50 \text{ Па}$ позволяет снизить энергопотребление на 10 %, а при герметизации внутренних конструкций до

0,0012 м²/м² еще на 10 %, обеспечив нормативные параметры микроклимата при удельной тепловой нагрузке 40 кВт·ч/м². Рекомендуемая гер-

метичность для внутренних конструкций согласно требованиям ASHRAE приведена в таблице 1 [5].

Таблица 1

Показатели герметичности внутренних конструкций

Внутренние конструкции	Герметичность, м ² /м ²
Стены – высокая герметичность	0,14 10 ⁻⁴
Стены – средняя герметичность	0,11 10 ⁻³
Стены – малая герметичность	0,35 10 ⁻³
Пол/потолок	0,52 10 ⁻⁴

Примечание. Герметичность – отношение площади неплотностей на 1 м² конструкции

Все методы, применяемые для определения положения NPR и определения инфильтрации – приближенные.

Особенности взаимодействия зданий с ветровым потоком и распределение давления по высоте зданий определяют либо с применением CFD моделирования [6, 13], либо при испытаниях в аэродинамических трубах (АТ) [10 - 12, 14]. Результаты, полученные при CFD моделировании, зависят от корректности постановки задачи, выбора граничных условий и модели турбулентности, которая наиболее приемлема для характеристик пограничного слоя атмосферы (ПСА).

Обеспечить полное соблюдение требований теории подобия при моделировании ПСА достаточно сложно и реализуется, в основном, в метеорологических АТ больших размеров. В связи с этим при изучении вопросов взаимодействия зданий с ветровым потоком используют приближенное моделирование, например, [6, 12]. Моделируется нижняя часть ПСА при условии нейтральной стратификации, где силы трения превышают силы Кориолиса, а профиль скорости ветра с высотой задается, как правило, степенной зависимостью с показателем степени $n=0,14$ для свободной поверхности или $n=0,33$ для потока в городской среде. Для получения достоверных результатов требуется также моделировать профили интенсивности турбулентности, так как форма и размеры зон циркуляции и отрыва потока, а, следовательно, и аэродинамические коэффициенты зданий с острыми кромками зависят от интенсивности и масштаба турбулентности потока.

Разработка мероприятий по сокращению инфильтрации приобретет особую актуальность в связи с введением с 01 января 2023 г. более жестких требований по энергопотреблению вновь создаваемых зданий. Величина удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию снижена на 40 % по сравнению с действующими ранее значениями.

В настоящее время для высотных офисных зданий часто применяют модульные фасады

(КФС). В этом случае проблема определения объемов инфильтрации упрощается и может быть выполнена по результатам испытаний. Фрагменты таких фасадов тщательно исследуются в аккредитованных испытательных центрах, так как к ним предъявляются повышенные требования по теплотехническим характеристикам, воздухопроницаемости и звукоизоляции. На основании сравнительных испытаний нескольких конструкций выбирается наиболее подходящий вариант для оболочки здания, который обеспечивает перечисленные выше требования.

В связи с вышеизложенным целесообразно рассмотреть методы определения инфильтрации, используемые в РФ, и особенности их применения к современным зданиям. Кроме того, определенный интерес для проектной практики представляет сравнение расчетных данных по нормативным методикам и результатов испытаний в аккредитованных испытательных центрах, а также с нормами других стран.

Методы. Для определения разности давлений по высоте офисного модульного здания высотой 300 м и объемов инфильтрации использованы:

- расчетные методы по нормативным документам согласно СП 60.13330 и СП 50.13330;
- экспериментальный – по результатам определения воздухопроницаемости фасадных конструкций (КФС) в ИЦ «Фасады-СПК» НИИСФ.

Приводятся сравнение расчетных объемов инфильтрации согласно СП 60.13330 и СП 50.13330 и определенных по результатам испытаний, а также выполнено сравнение с нормами разных стран.

Согласно СП 60.13330 разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций ΔP , Па, рекомендуется определять по формуле:

$$\Delta P = H(\rho_n - \rho_v) g/2 + \rho_n \cdot \frac{v^2}{4} (C_n - C_z) k z, \quad (1)$$

где H – высота здания, м; $g = 9,81$ м/с² ускорение свободного падения; ρ_v , ρ_n , – соответственно плотность внутреннего и наружного воздуха,

кг/м³; v – расчетная скорость ветра в холодный период года, м/с; C_n и C_s – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаемые по СП 20.13330 для зданий прямоугольной формы 0,8 и минус 0,6; k_z – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания.

Для холодного периода года приняты: температура наружного воздуха минус 24 °С, плотность воздуха $\rho_v = 1,2$ кг/м³, $\rho_n = 1,4$ кг/м³, скорость ветра на высоте 10 м – 5 м/с.

На рисунке 1 показано распределение разности давлений для здания высотой 300 м с исполь-

зованием метода СП 60.13330. При учете скорости ветра и его изменения с высотой положение нейтральной зоны располагается выше на 50 м. Для сравнения приводится также расчет по СП 50.13330 для разности давлений, которое принимается при расчете сопротивления воздухопроницаемости конструкций и определяется по формуле:

$$\Delta P = 0,55H(\rho_n - \rho_v)g + 0,3\rho_n \cdot v^2, \text{ Па} \quad (2)$$

где v – скорость ветра (максимальное значение скорости ветра из тех румбов за январь месяц, для которых повторяемость ветра составляет 16 % и более), $v = 5$ м/с.

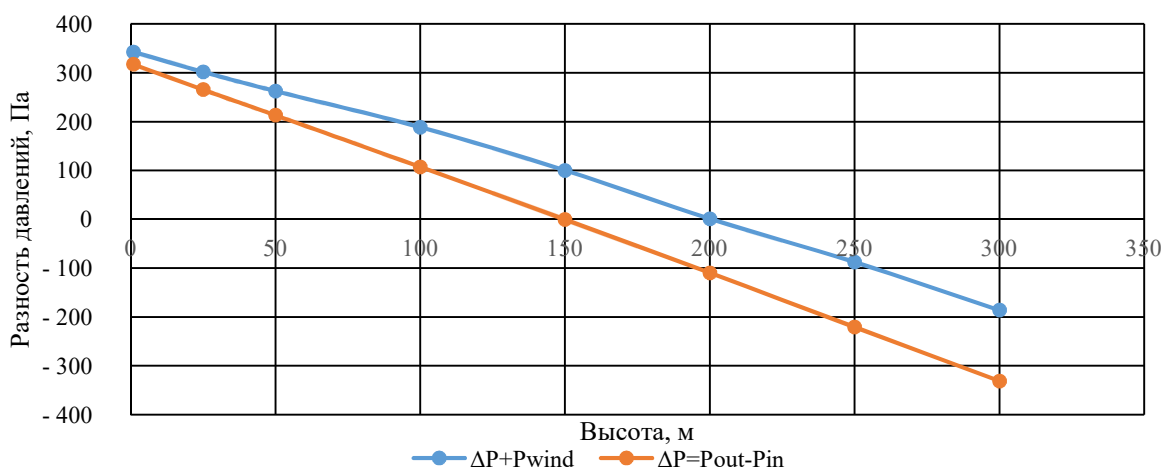


Рис. 1. Распределение давлений с использованием СП 60.13330
 P_{in} , P_{out} – соответственно, давление внутри и снаружи здания, P_{wind} – давление ветра

Разность давлений, определенная по формуле (2), соответствует середине здания. Изменение скорости ветра с высотой не учитывается.

Однако следует отметить, что нет однозначного мнения по поводу расчета разности давлений воздуха, которое используется для оценки объемов инфильтрации [15–19]. Например, в [1, 17, 20] для определения изменения разности давлений по высоте здания предложена зависимость, которая учитывает характер изменения по высоте температуры воздуха и скорости ветра, особенности подстилающей поверхности, барометрическое давление.

Основные научные результаты. Неоднозначность расчетных методов подтверждается

сравнением результатов расчетов, представленных на рисунке 2. В качестве примера приведено сравнение распределения разности давлений по высоте для здания высотой 300 м по методике СП 20]. Из графика видно, что нейтральная ось располагается на высоте 50–60 м при расчете, а разность давлений на высоте здания составляет минус 3328 Па, что в 10 раз превышает расчетные значения по методикам нормативных документов СП 50.13330 и СП 60.13330.

Сравнение результатов расчета по вышеописанным методикам приведено в таблице 2.

Таблица 2

Анализ результатов расчета по методикам СП 60.13330, СП 50.13330 и [20]

Источник	Положение нейтральной зоны от поверхности (LNP), м	Разность давлений на 300 м, Па	Разность давлений для расчета инфильтрации, Па
СП 60.13330 (без учета ветра)	150	-331	318
СП 60.13330 (с учетом ветра)	200	-186	343
СП 50.13330 (ветер на h=10 м)	150	380	380
Источник [1, 20]	60	-3328	423

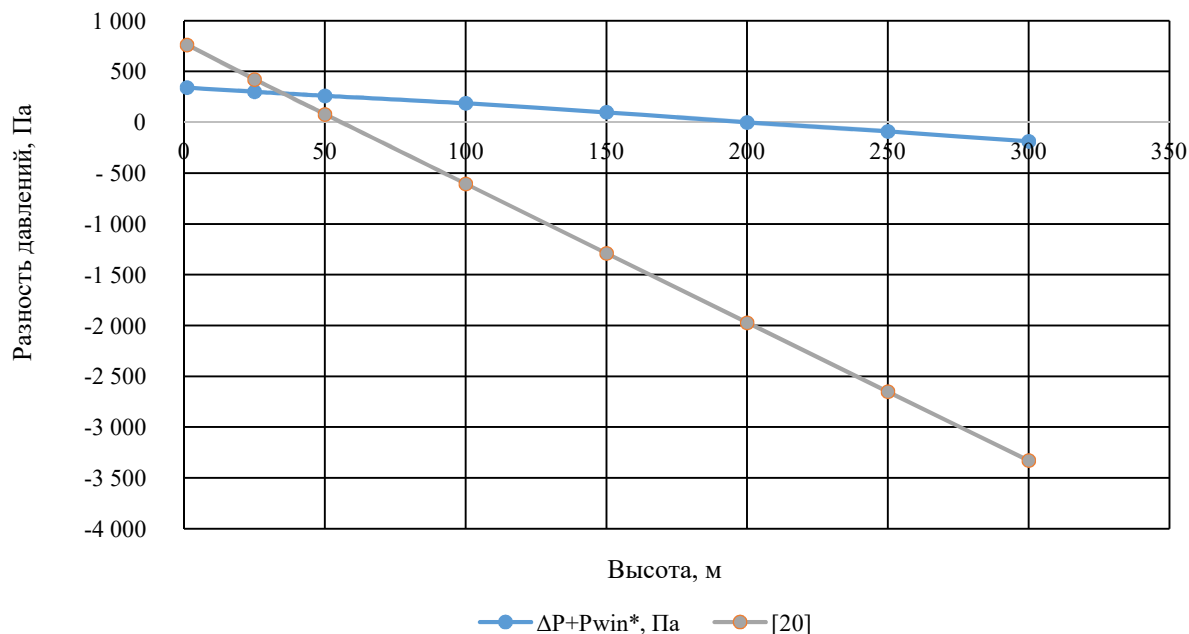


Рис. 2. Распределение разности давлений по СП 50.13330 и по данным [20]

Корректность определения положения нейтральной оси влияет на расчет объемов инфильтрации, а, следовательно, и энергопотребление зданий, так как инфильтрация воздуха имеет место через оболочку здания ниже нейтральной оси.

Учитывая вышеприведенные результаты анализа расчетных методов, становится актуальным физический эксперимент для определения воздухопроницаемости фасадных конструкций. Испытания фасадных модулей (КФС) офисного здания на воздухопроницаемость проводились на специальном стенде в Испытательном Центре «Фасады-СПК» Научно-исследовательского института строительной физики (НИИСФ РААСН) в диапазоне давлений 10-2000 Па при положительной и отрицательной разности давлений с учетом механической прочности элементов КФС. На рисунке 3 приведены результаты, полученные с использованием программного обеспечения [21], в виде зависимости объемного расхода воздуха, $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$, проходящего через модуль КФС «Schuco» площадью 20 м^2 , который включает светопрозрачные и непрозрачные элементы при положительном и отрицательном перепаде давления ΔP , Па.

В общем виде изменение воздухопроницаемости g с увеличением давления соответствует зависимости вида:

$$\ln g = a + n \ln \Delta P, \quad (3)$$

где g – объемный расход воздуха, $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$; n – показатель фильтрации; ΔP – разность давления, Па.

Показатель фильтрации варьируется в зависимости от характеристик конструкции от 0,50 до 0,78. При ориентировочных расчетах рекомендуется принимать показатель степени $n = 0,6$.

По результатам испытаний объем воздуха $V_{\text{инф}}$, проходящий через модуль КФС при расчетной разности давлений (табл. 2), определяется как

$$V_{\text{инф}} = S \cdot g, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4)$$

где S – площадь поверхности испытанного модуля, равная 20 м^2 ; g – объем воздуха при положительной разности давлений, определенный по результатам испытаний, $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$.

Для определения воздухопроницаемости фасадных модулей в диапазоне давлений 10-2000 Па предлагается использовать коэффициент объемной воздухопроницаемости C , $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{Па})$:

$$q = C \cdot \Delta P^n, \quad (5)$$

где q – расход воздуха через неплотности модуля, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP – разность давлений на исследуемом элементе, Па; n – показатель степени, определяемый экспериментально (рис. 3).

Коэффициент объемной воздухопроницаемости испытанного модуля для положительной разности давлений составит $C_+ = 14,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{Па})$.

Сравнение воздухопроницаемости, полученной для исследуемой конструкции при соответствующих значениях перепада давления, с нормативными требованиями РФ и разных стран приведено в таблице 3 [5].

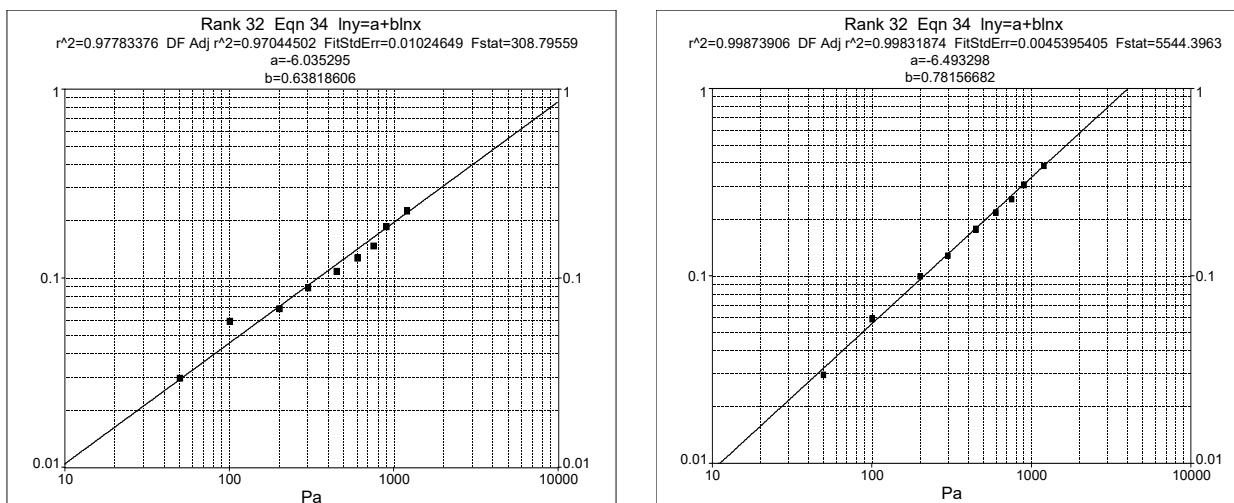


Рис. 3. Зависимость расхода воздуха g , $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$, проходящего через модуль КФС фирмы «Schuco» от перепада давления ΔP , Па:
 а) положительная разность давлений; б) отрицательная разность давлений

Таблица 3

Сравнение нормативных требований по воздухопроницаемости фасадов разных стран

Источник	Воздухопроницаемость фасада, $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$	Испытания, $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$
ASTM E283 (американский код)	0,95 при $\Delta P = 300$ Па	0,09
EN-12152-2002 (европейский код)	1,50 при $\Delta P = 600$ Па	0,14
GB/T 21086-2007 (Китай)	0,50 при $\Delta P = 10$ Па	0,01
Россия СП 50.13330	0,50 при $\Delta P = 10$ Па	0,01

Из таблицы 3 видно, что нормативные требования западных стран практически в 10 раз превышают результаты испытаний, а требования нормативных документов РФ и Китая в 50 раз превышают воздухопроницаемость испытанного модуля.

В качестве примера представлен расчет инфильтрации по результатам испытаний модуля фасада для здания высотой 300 м, имеющего отапливаемый объем $240 \cdot 10^3 \text{ м}^3$, площадь фасада $36\ 000 \text{ м}^2$ (количество модулей 1800 шт.), пло-

щадь светопрозрачных элементов 18000 м^2 . Отсюда получен объем воздуха, поступающего в здание вследствие инфильтрации через модульный фасад для разности давлений 380 Па (табл. 2.), используя формулу (4):

$$V = 14,9 \cdot 10^{-6} \cdot 380^{0,64} \cdot 1800 = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В таблице 4 приведено сравнение расчетных значений количества инфильтрирующего воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$, поступающего в здание и по данным испытаний.

Таблица 4

Анализ результатов расчета по методике 60.13330 и результатам испытаний

Источник	Площадь фасада, A , м^2	Разность давлений для расчета инфильтрации, Па	Количество инфильтрирующего воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$
Результаты испытаний	36000/24000	343	*4326/2703
СП 50.13330 п.Г.3 $G=0,2 \cdot 0,85 \cdot V_{от}$	$V_{от} = 240\ 000$	380	**40 800

Примечание: * $A=24000 \text{ м}^2$ площадь фасада ниже нейтральной оси здания;

** – количество инфильтрирующего воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$, рекомендуемое для общественных зданий по СП 50.13330 при сбалансированной вентиляции 168 ч в неделю.

Разность давлений на фасадах зданий зависит от их размеров, конфигурации, особенно для зданий с острыми кромками, когда имеет место срыв потока с образованием вихревых зон. Поэтому наиболее надежную информацию можно получить при исследовании моделей зданий в АТ

или CFD моделировании с учетом характеристик пограничного слоя атмосферы.

Использование нормативных документов СП 50.13330 и СП 60.13330 для определения количества инфильтрирующего воздуха не позволяет получить достоверные результаты (табл. 4).

Для соблюдения требований энергосбережения и обеспечения минимальных объемов инфильтрации выбор элементов модульных фасадов рекомендуется проводить на базе экспериментальных исследований, определяя приведенное сопротивление теплопередаче модуля фасада и его коэффициент объемной воздухопроницаемости.

Испытанные модульные конструкции имеют хорошую герметичность и могут быть рекомендованы для высотных зданий выше 300 м.

Для определения воздухопроницаемости модульных фасадов общественных зданий, состоящих из светопрозрачной и непрозрачной частей, требуется разработка инженерных методов расчета и нормативного документа, включающего так же определение их теплотехнических характеристик.

Выводы.

Показано, что на формирование воздушного режима многоэтажных зданий влияют внешние и внутренние факторы, такие как ветровое давление, объемно-планировочные решения здания, воздухопроницаемость ограждающих конструкций, соотношение расходов приточного и удаляемого воздуха, в том числе с учетом инфильтрации и эксфильтрации воздуха.

2. Установлена неоднозначность инженерных методов расчета инфильтрации, представленных в нормативных документах, что не позволяет с достаточной степенью достоверности определить необходимые энергозатраты здания для компенсации потерь теплоты.

3. Получены экспериментальные зависимости для определения воздухопроницаемости современной фасадной конструкции, имеющие существенные преимущества при сравнении с нормативными требованиями РФ и других стран.

4. Полученные результаты могут стать основой для разработки нового инженерного метода с учетом экспериментальных зависимостей, полученных для новых фасадных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.

2. Chen Y., Tong Z., Malkawi A. Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations // *Build. Environ.* 2017. 122. Pp. 386–396.

3. Wang E., Li X., Huang Q., Wang G. Research on the Influence of Natural Wind Pressure in Deep Mines on Ventilation Stability // *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2022, Article ID 8789955. DOI: 10.1155/2022/8789955

4. Yu J.Y., Song K.D., Cho D.W. Resolving Stack Effect Problems in a High-Rise Office Building by Mechanical Pressurization // *Sustainability* 2017. 9. 1731. DOI:10.3390/su9101731.

5. Mijorski S., Cammelli S. Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review // *International Journal of High-Rise Buildings*. December 2016. Vol 5. No. 4. Pp. 327–338. DOI: 10.21022/IJHRB.2016.5.4.327

6. Chang G., El Mokhtari K., Richman R., McArthur J.J. Evaluating Stack Effect Impact of Thermal Comfort in High Rise Office Towers. DOI: 10.26868/25222708.2021.30421

7. Lovatt J.E., Wilson A.G. Stack Effect in Tall Buildings; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers // Inc.: Atlanta, GA, USA, 1994, Pp. 420–431.

8. Jo J.H., Lim J.H., Song S.Y., Yeo M.S., Kim K.W. Characteristics of pressure distribution and solution to the problems caused by stack effect in high-rise residential buildings // *Build. Environ.* 2007. 42. Pp. 263–277.

9. Chang G., Mokhtari K. E. ets. Evaluating Stack Effect Impact of Thermal Comfort in High Rise Office Towers // *Proceedings of the 17th IBPSA Conference Bruges, Belgium, Sept. 1-3, 2021*. DOI: 10.26868/25222708.2021.30421

10. Гувернюк С.В., Синявин А.А., Гагарин В.Г. Метод экспресс-оценки интегральных ветровых нагрузок на высотное здание // *Жилищное строительство*. 2019. № 6. С. 43–48.

11. Сатанов А.А., Поздеев М.Л., Симонов А.В., Помазов А.П., Хазов П.А. Экспериментальное исследование распределения аэродинамических коэффициентов на высотное здание // *Приволжский научный журнал*. 2022. №3. С. 43–51.

12. Risto Kosonen, Juha Jokisalo and et a.l. Methods to Reduce Stack Effect and Improve Energy Efficiency in a Nordic High Rise Residential Building // *Proceedings of the 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*. Jinan, China Duration: 19-22 Oct 2017. Pp. 2212–2317.

13. Tong Z., Chen Y., Malkawi A. Estimating natural ventilation potential for high-rise buildings considering boundary layer meteorology // *Appl. Energy*. 2017. 193. Pp. 276–286.

14. Wong N., Heryanto H. The study of active stack effect to enhance natural ventilation using wind tunnel and computational fluid dynamics (CFD) simulations // *Energy and Buildings*. 2004. 36(7). Pp. 668–678.

15. Савин В.К. Строительная физика: энерготенос, энергоэффективность, энергосбережение. М.: «Лазурь». 2005. 432 с.

16. Tamblyn R.T. HVAC system effects for tall buildings // ASHRAE Trans. 1993. 99. Pp. 789–792.

17. Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Расчет разности давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций высотных зданий // АВОК. 2021. № 3. С. 14–20.

18. Picozzi V., Malasomma A., Avossa A.M., Ricciardelli F. The Relationship between Wind Pressure and Pressure Coefficients for the Definition of Wind Loads on Buildings // Buildings. 2022. 12(2). 225. DOI:10.3390/buildings12020225

19. Jendzelovsky N., Antal R. CFD and Experimental Study of Wind Pressure Distribution on the High-Rise Building in the Shape of an Equilateral Acute Triangle // Fluids. 2021. 6(2). 81. DOI: 10.3390/fluids6020081

20. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 199 с.

21. Математический пакет TableCurve. <https://www.androidphonesoft.com/blog/tablecurve-2d-review-simplify-your-graphing-with-this-powerful-software/> (Дата обращения 14.12.2023).

Информация об авторах

Дацюк Тамара Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры строительной физики и химии. E-mail: tdatsuk@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно - строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Уляшева Вера Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно - строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Верховский Алексей Адольфович, кандидат технических наук, руководитель испытательного центра «Фасады». E-mail: v250815@gmail.com. Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН). Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д.21.

Поступила 16.01.2023 г.

© Дацюк Т.А., Уляшева В.М., Верховский А.А., 2024

^{1,*}*Dataciuk T.A.*, ¹*Ulyasheva V.M.*, ²*Verhovskiy A.A.*
¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*
²*Research Institute of Building Physics*
**E-mail: tdatsuk@mail.ru*

AIR REGIME OF HIGH-RISE BUILDINGS

Abstract. *The air regime of multi-stores buildings is formed under the influence of wind pressure, air permeability of enclosing structures, and the characteristics of the functioning of ventilation systems. The complex task of ensuring standardized air parameters in high-rise buildings is quite complex due to the presence of the stack effect, the action of which in the cold season leads to an increase in infiltration and energy consumption. In design practice, infiltration calculations are carried out using engineering methods that do not provide identical solutions. To assess the impact of infiltration on the air regime of unique buildings, numerical calculations or modeling in wind tunnels are used, which have a certain degree of reliability. The paper reviews the work on the influence of the stack effect on the location of the neutral axis of the building and infiltration. One of the main measures to reduce infiltration is the use of façade structures with low air permeability. The selection of façade structures is more reliably carried out taking into account test results. Experimental data are presented for determining the air permeability of a fragment of a modular facade and their comparison with the regulatory requirements of the Russian Federation and different countries. The discrepancy between the calculation results using engineering methods and test results is shown. It is proposed to use the volume flow coefficient to determine the volume of infiltration air when the pressure difference changes over a wide range. Tested structures can be recommended for high-rise buildings to ensure the required tightness.*

Key words: *wind pressure, air permeability, stack effect, facade structures.*

REFERENCES

1. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings: a monograph [Matematicheskoe

modelirovanie i optimizaciya teplovoj effektivnosti zdaniy: monografiya]. M.: ABOK-PRESS, 2002. 194 p. (rus)

2. Chen Y., Tong Z., Malkawi A. Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations. *Build. Environ.* 2017. Vol. 122. Pp. 386–396.
3. Wang E., Li X., Huang Q., Wang G. Research on the Influence of Natural Wind Pressure in Deep Mines on Ventilation Stability. *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2022, Article ID 8789955. DOI: 10.1155/2022/8789955
4. Yu J.Y., Song K.D., Cho D.W. Resolving Stack Effect Problems in a High-Rise Office Building by Mechanical Pressurization. *Sustainability* 2017. 9. 1731. DOI:10.3390/su9101731.
5. Mijorski S., Cammelli S. Stack Effect in High-Rise Buildings: A Review. *International Journal of High-Rise Buildings*. December. 2016. Vol 5. No. 4. Pp. 327–338. DOI: 10.21022/IJHRB.2016.5.4.327
6. Chang G., El Mokhtari K., Richman R., McArthur J.J. Evaluating Stack Effect Impact of Thermal Comfort in High Rise Office Towers. DOI: 10.26868/25222708.2021.30421
7. Lovatt J.E., Wilson A.G. Stack Effect in Tall Buildings; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.: Atlanta, GA, USA, 1994, Pp. 420–431.
8. Jo J.H., Lim J.H., Song S.Y., Yeo M.S., Kim K.W. Characteristics of pressure distribution and solution to the problems caused by stack effect in high-rise residential buildings. *Build. Environ.* 2007. 42. Pp. 263–277.
9. Chang G., Mokhtari K. E. ets. Evaluating Stack Effect Impact of Thermal Comfort in High Rise Office Towers. *Proceedings of the 17th IBPSA Conference Bruges, Belgium, Sept. 1-3, 2021*. DOI: 10.26868/25222708.2021.30421
10. Guvernuyuk S.V., Sinyavin A.A., Gagarin V.G. Method of Rapid Assessment of Integral Wind Loads on a High-Rise Building. *Housing Construction*. 2019. No 6. Pp. 43–48. DOI:10.3P1659/0044-4472-2019-6-43-48 (rus)
11. Satanov A.A., Pozdeev M.L., Simonov A.V., Pomazov A.P., Khazov P.A. Experimental Research of the Distribution of Aerodynamic Coefficients on the High-Rise Building. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2022. No. 3. Pp. 43–51. (rus)
12. Kosonen R., Jokisalo J. and et a.l. Methods to Reduce Stack Effect and Improve Energy Efficiency in a Nordic High Rise Residential Building. *Proceedings of the 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*. Jinan, China Duration (Oct. 19 – 22, 2017). Pp. 2212–2317.
13. Tong Z., Chen Y., Malkawi A. Estimating natural ventilation potential for high-rise buildings considering boundary layer meteorology. *Appl. Energy*. 2017. 193. Pp. 276–286.
14. Wong N., Heryanto H. The study of active stack effect to enhance natural ventilation using wind tunnel and computational fluid dynamics (CFD) simulations. *Energy and Buildings*. 2004. 36(7). Pp. 668–678.
15. Savin V.K. Building physics: energy transfer, energy efficiency, energy saving: a monograph [Stroitel'naya fizika: energoperenos, energoeffektivnost', energosberezhenie: monografiya]. M.: «Lazur». 2005. 432 p. (rus)
16. Tamblyn R.T. HVAC system effects for tall buildings. *ASHRAE Trans.* 1993. Vol. 99. Pp. 789–792.
17. Tabunschikov Yu.A., Shilkin N.V. Calculation of Air Pressure Difference on Outer and Inner Surfaces of High-rise Building Envelope [Raschet raznosti davlenij vozduha na naruzhnoj i vnutrennej poverhnostyah ograzhdayushchih konstrukcij vysotnyh zdaniij]. *ABOK*. 2021. No 3. Pp. 14-20. (rus)
18. Picozzi V., Malasomma A., Avossa A.M., Ricciardelli F. The Relationship between Wind Pressure and Pressure Coefficients for the Definition of Wind Loads on Buildings. *Buildings*. 2022. 12(2). 225. DOI:10.3390/buildings12020225
19. Jendzelovsky N., Antal R. CFD and Experimental Study of Wind Pressure Distribution on the High-Rise Building in the Shape of an Equilateral Acute Triangle. *Fluids*. 2021. 6(2). 81. DOI: 10.3390/fluids6020081
20. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N. V. Energy efficient buildings: a monograph [Energoeffektivnye zdaniya: monografiya]. M.: ABOK-PRESS, 2003. 199 p. (rus)
21. TableCurve. <https://www.androidphonesoft.com/blog/tablecurve-2d-review-simplify-your-graphing-with-this-powerful-software/> (date of treatment: 14.12.2023).

Information about the authors

Datciuk, Tamara A. DSc, Professor. E-mail: tdatsuk@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoahmeiskaya st., 4.

Ulyasheva, Vera M. DSc, Professor. E-mail: ulyashevavm@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoahmeiskaya st., 4.

Verhovskiy, Alexey A. PhD, head of the Facades testing center. E-mail:v250815@gmail.com. Research Institute of Building Physics. Russia, 127238, Moscow, Lokomotivnyj proezd, 21.

Received 16.01.2024

Для цитирования:

Дацюк Т.А., Уляшева В.М., Верховский А.А. Воздушный режим высотных зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №2. С. 24–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-24-32

For citation:

Datciuk T.A., Ulyasheva V.M., Verhovskiy A.A. Air regime of high-rise buildings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 2. Pp. 24–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-24-32