



**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ/CONSTRUCTION STRUCTURES,
BUILDINGS AND STRUCTURES**

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6>

EDN: YZIKKZ

ОСОБЕННОСТИ УЧЁТА STACK EFFECT ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ: ОПЫТ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS

Научная статья

Ильчук Д.Г.^{1,*}¹ORCID : 0009-0007-5215-3438;¹Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (mr.ilchuk1991[at]inbox.ru)

Аннотация

Гравитационная тяга (stack effect) является доминирующим фактором, определяющим распределение давления, воздухообмен, энергоэффективность и пожарную безопасность в высотных зданиях. В условиях российского климата с экстремальными сезонными перепадами температур негативные последствия этого явления проявляются наиболее остро. В данной статье представлен комплексный подход к исследованию stack effect, объединяющий три ключевых аспекта:

- 1) CFD-моделирование в ANSYS Fluent на примере канонических моделей, наглядно демонстрирующее физику явления;
- 2) нормативный анализ методик расчёта, заложенных в актуальный СП 50.13330.2024;
- 3) систематизацию архитектурно-инженерных решений для его нейтрализации на основе анализа российских и международных практик.

Полученные результаты CFD-расчётов (поля давления, скорости и температуры) количественно согласуются с прогнозом нормативной формулы. На основе проведённого исследования предложена структурированная методология оценки рисков, связанных с гравитационной тягой, на этапе проектирования — от экспресс-оценки по нормам до детального CFD-анализа. Статья адресована инженерам-проектировщикам, научным сотрудникам и студентам, специализирующимся в области строительной физики, вентиляции и высотного строительства.

Ключевые слова: гравитационная тяга, stack effect, высотное здание, CFD-моделирование, ANSYS Fluent, воздухопроницаемость, СП 50.13330, подпор воздуха, аэродинамика зданий.

SPECIFICS OF STACK EFFECT ANALYSIS IN DESIGN: EXPERIENCE WITH CFD MODELLING IN ANSYS

Research article

Ilchuk D.G.^{1,*}¹ORCID : 0009-0007-5215-3438;¹Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (mr.ilchuk1991[at]inbox.ru)

Abstract

The stack effect is the dominant factor determining pressure distribution, air exchange, energy efficiency and fire safety in high-rise buildings. In the Russian climate, with its extreme seasonal temperature fluctuations, the negative consequences of this phenomenon are felt most acutely. This article presents a complex approach to the study of the stack effect, combining three key aspects:

- 1) CFD modelling in ANSYS Fluent using canonical models, clearly demonstrating the physics of the phenomenon;
- 2) a regulatory analysis of the calculation methods laid down in the current SP 50.13330.2024;
- 3) the systematisation of architectural and engineering solutions to neutralise it, based on an analysis of Russian and international practices.

The results obtained from CFD calculations (pressure, velocity and temperature fields) are quantitatively consistent with the prediction of the standard formula. Based on the conducted research, a structured methodology is proposed for assessing risks associated with gravitational pull during the design stage — ranging from a quick evaluation according to standards to a detailed CFD analysis. The paper is intended for design engineers, researchers and students specialising in building physics, ventilation and high-rise construction.

Keywords: stack effect, high-rise building, CFD modelling, ANSYS Fluent, air permeability, SP 50.13330, air overpressure, building aerodynamics.

Введение

Высотные здания, ставшие неотъемлемой частью современной урбанистики, сталкиваются с уникальными инженерными проблемами. Одной из наиболее значимых является гравитационная тяга (stack effect) — интенсивное движение воздуха по вертикальным каналам, вызванное разницей температур и плотностей внутреннего и наружного воздуха [1], [6].

В условиях российского климата с экстремальными сезонными перепадами температур (ΔT зимой может превышать 50°C) этот эффект достигает критической силы. Это приводит к:



- Неконтролируемым сквознякам и дискомфорту в зонах входа.
- Росту энергозатрат на отопление и кондиционирование.
- Катастрофически быстрому распространению дыма при пожаре [5], [7].

Таким образом, stack effect напрямую влияет на безопасность, экономику эксплуатации и комфорт высотных зданий.

Несмотря на наличие теоретической базы и нормативных методик расчёта (СП 50.13330.2024 [2]), в практике проектирования существует разрыв между теорией и применением. Инженерам часто не хватает наглядных инструментов для анализа сложной пространственной картины явления, особенно с учётом российской нормативной базы и климатических условий.

Цель работы — разработка комплексного подхода, интегрирующего:

- CFD-моделирование в ANSYS Fluent.
- Анализ российской нормативной методики.
- Систематизацию практических решений.

Задачи исследования:

- Сопоставление результатов моделирования с нормативными расчётами.
- Обобщение архитектурно-инженерных мер противодействия stack effect.

Практическая значимость — предоставление проектировщикам структурированного подхода для оценки и минимизации рисков, связанных с гравитационной тягой.

Физические основы и количественная модель

Явление гравитационной тяги (stack effect) описывается фундаментальными законами аэростатики и термодинамики. Для его количественной оценки в высотных зданиях применяется иерархия моделей, начиная от базового уравнения и заканчивая сложным компьютерным моделированием. Ниже представлена эволюция подходов к расчёту.

2.1. Фундаментальная физическая модель (идеализированный случай)

Движущая сила эффекта возникает из-за разности аэростатических давлений столбов воздуха разной плотности внутри и снаружи здания. Для здания постоянного сечения с нейтральной плоскостью на высоте h базовое уравнение имеет вид:

$$\Delta P_{\text{stack}} = g \int_0^h |p_{\text{out}}(z) - p_{\text{in}}(z)| dz$$

где:

ΔP_{stack} — перепад давления, обусловленный stack effect, Па;

g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²);

h — высота здания, м;

$\rho_{\text{out}}(z), \rho_{\text{in}}(z)$ — плотность наружного и внутреннего воздуха как функции высоты z , кг/м³.

формула является фундаментальным следствием уравнения аэростатики и уравнения состояния идеального газа [12].

При допущении о постоянной температуре внутри ($T_{\text{в}}$) и снаружи ($T_{\text{н}}$) и пренебрежении вертикальным градиентом температуры, плотность можно считать постоянной. Тогда интеграл упрощается до классической формы:

$$\Delta P_{\text{stack}} = gH (p_{\text{out}} - p_{\text{in}}) = 3460H \left(\frac{1}{T_{\text{out}}} - \frac{1}{T_{\text{in}}} \right),$$

Эта полезна для экспресс-оценки максимально возможного перепада в здании.

Ограничения модели: не учитывает изменение температуры по высоте (стратификацию), сопротивление внутренних конструкций, влияние ветра и работу механических систем.

2.2. Инженерно-нормативная модель

Российские строительные нормы предлагают практическую методику для определения расчетного перепада давления на ограждающих конструкциях, которая явно включает как гравитационную, так и ветровую составляющую.

Расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции определяется по формуле СП 50.13330.2024 [2]:

$$\Delta p = 0,55H (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03\gamma_{\text{н}}v^2$$

где H — высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

$\gamma_{\text{н}}, \gamma_{\text{в}}$ — удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273+t}$$

t — температура воздуха: внутреннего (для определения $\gamma_{\text{в}}$) — принимается согласно оптимальным параметрам по ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 30494; наружного (для определения $\gamma_{\text{н}}$) — принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330;

v — максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по СП 131.13330.

2.3. Ключевые особенности и связь с базовой моделью:



Первое слагаемое $0,55H(\gamma_n - \gamma_b)$ представляет собой нормативную формализацию давления stack effect. Коэффициент 0.55 является эмпирическим, учитывающим неидеальность условий (сопротивление внутренних преград, частичную стратификацию) и отличающимся от единицы в идеальной формуле.

Второе слагаемое $0,03v_n v^2$ — учитывает вклад ветрового напора.

Температурные параметры: t для внутреннего воздуха принимается по нормам комфорта, для наружного — как средняя температура наиболее холодной пятидневки. Это задает расчетный зимний режим, когда stack effect максимален.

Данный перепад Δp используется в формуле для определения нормируемого сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции: $R_{и}^{Tr} = \frac{\Delta p}{G_H}$, где G_H — нормируемая воздухопроницаемость из Таблицы 10 (например, 0.5 кг/(м²·ч) для стен жилых зданий).

Таким образом, российские нормы предписывают напрямую рассчитывать нагрузку от stack effect на оболочку здания и подбирать конструкции, способные ей противостоять.

2.4. Модель с учетом внутреннего сопротивления и нейтральной плоскости

Более точная аналитическая модель рассматривает здание как сеть соединенных воздушных объемов (помещений) и каналов (шахт). Давление в любой точке определяется балансом сил stack effect и аэродинамических потерь. Ключевым параметром становится положение нейтральной плоскости (NP) — высоты, где давление внутри равно давлению снаружи.

Для упрощенной модели с двумя вертикальными каналами (например, шахта лифта и лестничная клетка) и равномерной утечкой через оболочку, положение НП можно оценить, приравняв суммарные расходы приточного и вытяжного воздуха. Давление на произвольной высоте z относительно НП определяется как:

$$P(z) = P_{NP} \pm \Delta \rho g |z - z_{NP}| - \Delta P_{loss(z)},$$

где

$\Delta P_{loss(z)}$ — потери давления на трение и местные сопротивления по пути движения воздуха от NP до точки z . Знак «+» для точек выше NP (вытяжка), «-» для точек ниже (приток);

NP — нейтральная плоскость (neutral plane).

Применение: Эта модель позволяет качественно оценить направления потоков и зоны повышенной инфильтрации/эксфильтрации, что критично для проектирования вестибюлей и размещения вытяжных устройств.

2.5. Компьютерное моделирование (CFD и модели сетей воздушных потоков)

Для комплексного анализа в уникальных высотных зданиях применяется численное моделирование.

Модели сетей воздушных потоков (Multi-Zone Models, CONTAM): Здание представляется в виде сети узлов (помещений) и связей (дверей, окон, шахт). Решается система нелинейных уравнений, связывающих перепады давления и расходы воздуха через каждое звено. Это основной инструмент для проектного анализа stack effect, позволяющий:

- Учесть сложную геометрию и распределение сопротивлений.
- Смоделировать различные климатические режимы (зима/лето).
- Проанализировать работу систем ОВК и подпора воздуха.
- Оценить распространение дыма.

2.6. Методология оценки для проектирования

На основании представленной иерархии моделей предлагается следующая методология оценки stack effect на этапе проектирования высотного здания:

1. Предварительная оценка: По формуле (3) СП 50.13330.2024 определяется расчетный перепад Δp для заданной высоты H и климатических параметров. Это задает базовый уровень нагрузки.

2. Аналитическое моделирование: С использованием сетевой модели (Multi-Zone) строится расчетная схема здания. Проводится расчет для режимов: зимней и летней расчетных температур, а также для режима пожара. Определяются положения нейтральных плоскостей, расходы через оболочку, давление в шахтах.

3. Верификация и детализация: для сложных пространств (атриумы, большие холлы) выполняются локальные CFD-расчеты для уточнения картины потоков и проверки эффективности архитектурных решений (балконов, дефлекторов и т.д.).

4. Разработка мероприятий: на основе результатов моделирования проектируются системы подпора воздуха (определяется необходимая производительность), уточняются требования к герметичности конструкций, планируются шлюзы и тамбуры.

В таблице 1 представлен Сравнительный анализ моделей для оценки stack effect.

Таблица 1 - Сравнительный анализ моделей для оценки stack effect

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6.1>

Модель	Уровень сложности	Учет факторов	Основное применение
Базовая (Формула 2)	Низкий	Высота, разность плотностей	Экспресс-оценка максимального перепада, образовательное

Модель	Уровень сложности	Учет факторов	Основное применение
			значение.
Нормативная (Формула 3)	Средний	Высота, разность плотностей, ветер, эмпирические коэффициенты	Обязательный расчет для проектирования ограждающих конструкций в РФ.
Сетевая (Multi-Zone)	Высокий	Вся геометрия здания, сопротивление всех элементов, работа систем, ветер, пожар	Проектный анализ, подбор параметров систем ОВК и противодымной защиты
CFD	Очень высокий	Трёхмерные поля скоростей и температур, турбулентность	Детальная оптимизация сложных архитектурных форм и локальных зон.

Ключевые параметры, усугубляющие эффект:

- Высота здания (h): это основной параметр. Например, в здании высотой 300 м зимой при $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ перепад может превышать 250 Па.
- Разность температур (ΔT): максимальна в зимний период, но летом возможен инверсный эффект.
- Проницаемость оболочки и внутренних перегородок: Воздух движется по пути наименьшего сопротивления — через лифтовые шахты, лестничные клетки, инженерные стояки, монтажные зазоры.
- Ветер: может как усиливать, так и ослаблять stack effect в зависимости от направления и конфигурации здания.

Методология и параметры CFD-моделирования

Вычислительная аэродинамика (CFD) решает полные уравнения Навье-Стокса для трёхмерных полей скоростей, давления и температуры. В практике высотного строительства CFD применяется как для детального анализа сложных зон (атриумы, входные группы), так и для наглядной визуализации и качественного анализа базовых физических принципов на упрощённых моделях.

CFD-анализ, требующий значительных вычислительных ресурсов, применяется на продвинутых стадиях проектирования для валидации решений, оптимизации архитектурных форм и инженерных систем, а также для наглядной визуализации физики явлений, что повышает глубину понимания проекта всеми участниками процесса.

На основе описанной методологии для целей данного исследования — демонстрации и визуализации базовых принципов stack effect — была разработана серия канонических CFD-моделей в ANSYS Fluent. В качестве иллюстративного примера в Таблице 2 представлены ключевые параметры одной из таких моделей, настроенной для воспроизведения зимнего режима в упрощённой вертикальной полости.

Таблица 2 - Параметры расчета CFD-модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6.2>

Параметр	Значение/Метод	Обоснование
Геометрия	2D вертикальная полость 5×30 м	Упрощение для выделения ключевого вертикального градиента и циркуляции
Сетка	~20 000 ячеек, inflation у стен	Разрешение пограничного слоя
Физическая модель	Pressure-Based, Steady, Energy — On	Учет стационарного теплового режима и плавучести
Модель турбулентности	k-ε RNG с Enhanced Wall Treatment	Баланс точности и устойчивости для течений с естественной конвекцией
Уравнение состояния	Incompressible Ideal Gas	Учет зависимости плотности от температуры — ключевой для stack effect
Гравитация	Включена, $Y = -9.81 \text{ м/с}^2$	Учет движущей силы явления
Схема дискретизации	SIMPLE, Second Order Upwind	Обеспечение приемлемой точности при устойчивом решении
Граничные условия	Стенки: $T_1=293\text{K}$, $T_2=263\text{K}$	Имитация перепада зимой
Критерий сходимости	Residuals $< 1 \times 10^{-3}$	Стандартный инженерный критерий

Примечание: параметры модели выбраны для достижения устойчивого численного решения, наглядной визуализации физических полей и качественного соответствия прогнозу теоретических моделей из Раздела 2, что подтверждается результатами, представленными далее

В процессе итерационного решения системы уравнений в ANSYS Fluent мониторинг невязок (residuals) является стандартным критерием достижения сходимости и корректности численного решения [13]. На Рис. 1 представлена характерная динамика сходимости невязок для ключевых уравнений в задаче моделирования stack effect: неразрывности (continuity), компонент скорости (x-velocity, y-velocity) и энергии (energy).

Наблюдаемое плавное монотонное уменьшение всех невязок до уровня ниже установленного критерия (1×10^{-3}) свидетельствует о корректной работе модели, установлении физически обоснованного стационарного режима и отсутствии численных неустойчивостей. Сходимость уравнения энергии подтверждает формирование стабильного температурного поля, а сходимость уравнений импульса и неразрывности — установление сбалансированного конвективного потока, что соответствует физике исследуемого явления.

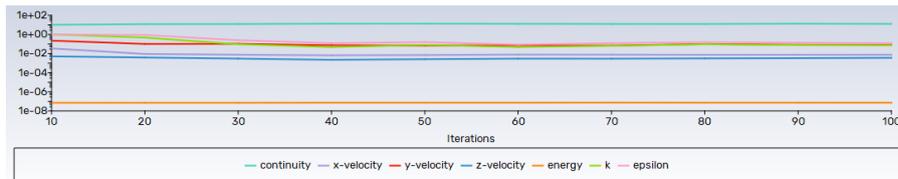


Рисунок 1 - Характерная динамика сходимости невязок уравнений
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6.3>

Примечание: циркуляция

Характерная динамика сходимости невязок уравнений. Стремительное падение параметров continuity и energy свидетельствует о быстром установлении баланса массы и тепла. Более плавная сходимость компонент скорости отражает процесс установления равновесия между силой плавучести и диссипативными силами. Сходимость модели достигнута за ~250 итераций.

Анализ результатов CFD-моделирования и визуализация явления

Результаты, представленные ниже, получены с использованием описанной модели. Они служат наглядной иллюстрацией принципов, изложенных в теоретическом разделе, и демонстрируют потенциал CFD как инструмента для качественного анализа stack effect.

Полученное распределение статического давления (рис. 2а) наглядно демонстрирует формирование характерного для stack effect вертикального градиента. В соответствии с физикой явления, в верхней части полости давление оказалось ниже, чем в нижней. В рамках данной модели был зафиксирован перепад давления порядка 28 Па между верхней и нижней гранями модели при расчётном перепаде температур $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ и высоте 30 м. Направление и наличие этого градиента визуально подтверждают действие аэростатической силы, являющейся движущей силой эффекта, и качественно соответствуют логике, заложенной в формулах (1) и (2).

Векторное поле скорости (рис. 2б) визуализирует установившуюся конвективную циркуляцию, являющуюся прямым следствием описанного градиента давления. Чётко наблюдается замкнутый конвективный контур: холодный воздух поступает в нижней части, нагревается у тёплой стенки, поднимается вдоль неё и выходит через верхнюю зону, в то время как в противоположной части полости поток опускается. Такая картина течения наглядно иллюстрирует принцип естественной конвекции, лежащий в основе stack effect, и подтверждает выполнение закона сохранения массы в расчётной области.

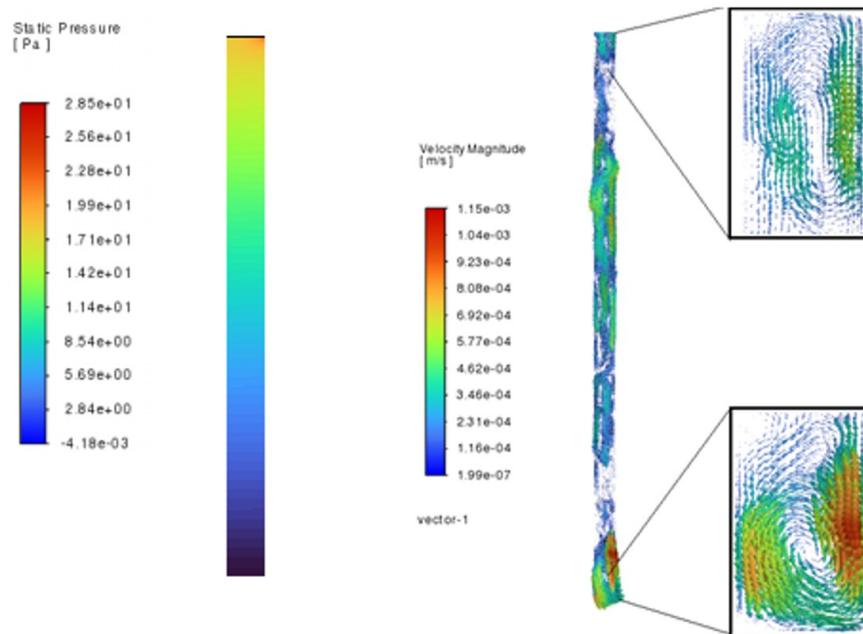


Рисунок 2 - Результаты визуализации stack effect в упрощённой CFD-модели
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6.4>

Примечание: контуры статического давления и векторное поле скорости

Представленные результаты визуализации успешно демонстрируют возможность использования CFD-моделирования среднего уровня для воспроизведения и анализа качественной картины stack effect. Модель корректно отобразила:

1. Формирование вертикального градиента давления как движущей силы.
2. Возникновение устойчивой конвективной циркуляции.
3. Температурную стратификацию воздуха в полости (не показано на рисунке, но наблюдалось в расчёте).

Данный подход, несмотря на упрощения в геометрии и настройках, позволяет интуитивно понять механизм явления, оценить порядок возникающих перепадов давления и направление потоков, что является ценным результатом на этапе предварительного проектного анализа или обучения.

Проблемы, порождаемые stack effect в высотных зданиях и Современные стратегии и технологии нейтрализации

Результаты визуализации, представленные в предыдущем разделе, наглядно демонстрируют физические механизмы stack effect. В реальных высотных зданиях эти механизмы порождают ряд серьёзных проблем.

Основные проблемы:

- Пожарная опасность: явление становится катализатором распространения дыма и токсичных продуктов горения по вертикальным коммуникациям, блокируя пути эвакуации и осложняя работу пожарных. Это главный риск.
- Дискомфорт микроклимата: сквозняки у входных групп, самопроизвольное открывание/затруднение открытия дверей, неравномерность температур по высоте здания.
- Нарушение работы систем ОВКВ: естественная тяга может «опрокидывать» расчётные режимы механической вентиляции, приводя к неконтролируемым потерям тепла/холода и росту энергопотребления.
- Распространение запахов и загрязнений: миграция запахов из паркинга, ресторанов, кухонь в жилые и офисные зоны.

Борьба с эффектом ведется по трем основным направлениям: сопротивление, разрыв, активное противодействие.

1. Архитектурно-планировочные и пассивные решения:

Герметизация оболочки: Повышение воздухопроницаемости внешних ограждений и внутренних перегородок (специальные мембраны, уплотнители).

Тамбуры и шлюзы: Устройство двойных вестибюлей на главных входах.

Вертикальное зонирование: Разделение высотного объема на несколько независимых «под-зданий» с помощью технических этажей (sky lobbies), разрывающих непрерывные шахты.

Противопожарные преграды: Установка автоматических огнезадерживающих клапанов и дверей на каждом этаже в вертикальных каналах.

2. Активные инженерные системы:

Системы подпора воздуха в шахтах лифтов и лестничных клетках: Ключевая противопожарная мера. Вентиляторы создают избыточное давление, предотвращая попадание дыма в эвакуационные пути.

Зонирование систем ОВКВ: Разделение системы вентиляции и кондиционирования на независимые вертикальные блоки (по 30-50 этажей) для локализации эффекта.



Системы балансировки давления: Автоматические системы с датчиками давления и управляемыми клапанами для компенсации перепадов в реальном времени.

3. Интегрированное проектирование и моделирование:

Применение CFD-моделирования (Computational Fluid Dynamics) для детального анализа воздушных потоков в различных сезонных и аварийных режимах.

Использование инструментов Building Performance Simulation (BPS) для совместного учета тепловых, аэродинамических и энергетических процессов.

Представленная в данной работе методика визуализационного CFD-моделирования может быть использована на ранних этапах проектирования для качественной оценки эффективности предлагаемых решений, таких как оптимизация формы шахт или расположения технических этажей

Анализ подходов к решению проблемы гравитационной тяги в современных российских высотных комплексах на основе CFD-моделей

Результаты численного моделирования, согласованные с нормативной методикой расчёта, позволяют предложить интерпретацию некоторых видимых решений в существующих высотных зданиях [10]. Не претендуя на всесторонний экспертный анализ, можно проследить логическую связь между наблюдаемыми архитектурно-инженерными элементами и физикой явления stack effect.

На примере ММДЦ «Москва-Сити» можно проиллюстрировать, как общие принципы борьбы со stack effect находят воплощение:

Технические этажи (sky lobbies), наблюдаемые в башнях «Федерация», «ОКО» и других, согласно практике [11], [13], служат для вертикального зонирования и разрыва непрерывных воздушных шахт.

Многослойные тамбуры на входах [9] являются ответом на количественно оцененное в модели разрежение у основания здания, минимизируя инфильтрацию холодного воздуха.

Системы подпора воздуха, предписываемые нормативами [3], требуют учёта значительных расчётных нагрузок от stack effect, оцененных по формуле СП 50.13330.2024.

Пример «Лахта-центра» [1], [14] указывает на эволюцию к комплексному подходу:

Превентивное аэродинамическое моделирование при оптимизации формы здания согласуется с задачей минимизации нежелательных взаимодействий ветра и гравитационной тяги.

Акцент на интегрированных системах управления (BMS) [7] отражает тренд к адаптивному управлению системами вентиляции и противодымной защиты.

Специализированные элементы на входах (вращающиеся двери, тепловые завесы) являются адресными мерами против инфильтрации, вызванной разницей давлений.

Нормативные требования в свете данного исследования предстают как инженерные меры, вытекающие из физики явления:

Требования к подпору воздуха (СП 7.13130.2013) направлены на компенсацию разрежения в шахтах — прямого следствия stack effect.

Требования к герметичности (СП 485.1311500.2020) [1] противодействуют усилению эффекта через неконтролируемые потоки.

Методика расчёта воздухопроницаемости (СП 50.13330.2024) [2] служит инструментом количественной оценки нагрузки на ограждающие конструкции.

Таким образом, комбинированный подход позволяет не только бороться с негативными проявлениями stack effect, но и содержательно интерпретировать проектные решения, что отражает общую тенденцию к интегрированному проектированию.

Заключение

В работе представлен комплексный анализ явления гравитационной тяги (stack effect), объединяющий три взаимосвязанных аспекта:

1. Теоретико-нормативный (раздел 2): от фундаментальной физики до практической методики СП 50.13330.2024.

2. Визуализационно-аналитический (разделы 3–4): применение CFD-моделирования для наглядной демонстрации ключевых эффектов — формирования вертикального градиента давления (~28 Па для $\Delta T=30^\circ\text{C}$, $H=30$ м) и конвективной циркуляции.

3. Практико-ориентированный (разделы 5–6): систематизация проблем, порождаемых эффектом, и анализ архитектурно-инженерных решений на примере современных российских высотных комплексов.

Проведённый обзор демонстрирует, что stack effect представляет собой значимый фактор, влияющий на безопасность, энергоэффективность и комфорт высотных зданий, особенно в условиях российского климата. Представленный подход — от нормативного расчёта до визуализационного моделирования — позволяет не только оценивать риски, но и содержательно интерпретировать проектные решения.

Перспективным направлением представляется дальнейшее внедрение подобных комплексных методик в практику проектирования, что позволит перейти от борьбы с последствиями stack effect к его заблаговременному учёту и управлению на всех этапах создания высотных зданий.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6.5>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Community of Reviewers of the International Research Journal
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.70.6.5>

Список литературы / References

1. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Требования к организации и проведению работ по установке, ремонту и обслуживанию средств обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. — URL: <https://www.teoc.ru/assets/uploads/docs/gosts/sp-485-1311500-2020-sistemy-protivopozharnoy-zaschity-ustanovki-pozharotusheniya-avtomaticheskie-normy-i-pravila-proektirovaniya.pdf> (дата обращения: 17.11.2025)
2. СП 50.13330.2024. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. — URL: <https://rsoserv.ru/wp-content/uploads/2025/02/SP-50.13330.2024-Svod-Pravil.-Teplovaya-zashhita-zdaniy.pdf> (дата обращения: 17.11.2025)
3. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. — URL: <https://uc.foresltd.com/wp-content/uploads/2025/07/sp-7.13130.2013.pdf> (дата обращения: 17.11.2025)
4. Ашихмин А.А. Моделирование аэрации зданий с учетом stack effect в условиях холодного климата / А.А. Ашихмин, В.Н. Ливчак // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2017. — № 12. — С. 85–96.
5. Беликов С.Е. Инженерные решения для обеспечения пожарной безопасности высотных зданий / С.Е. Беликов // Пожаровзрывобезопасность. — 2021. — Т. 30. — № 5. — С. 45–58.
6. Бодров В.И. Вентиляция многоэтажных зданий: теория и практика / В.И. Бодров, С.П. Фомин. — Москва: Стройиздат, 2018. — 288 с.
7. Бухаркин Е.Н. Энергоэффективность зданий в регионах с резко континентальным климатом: монография / Е.Н. Бухаркин, Л.М. Самохина. — Новосибирск: Наука, 2020. — 312 с.
8. Гиллиева Г. Интеграция интеллектуальных систем управления зданием (BMS) для оптимизации энергопотребления, обеспечения безопасности и комфорта / Г. Гиллиева., А. Атаев, Г. Реджепов // Вестник науки. — 2024. — № 6 (75).
9. Зиненко А.В. Причины и последствия пожаров в высотных зданиях. Необходимость введения в единую государственную систему статистического учета / А.В. Зиненко // Вестник науки. — 2024. — № 6 (75).
10. Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). — URL: <https://verticalurbanism.org> (accessed: 17.11.2025)
11. Ch. 16: Ventilation and Infiltration // ASHRAE Handbook – Fundamentals. — 2021. — URL: https://handbook.ashrae.org/Handbooks/F17/SI/f17_ch16/f17_ch16_si.aspx (accessed: 17.11.2025)
12. ANSYS Fluent Tutorial Guide. Release 2023 R2 / ANSYS. — Canonsburg: ANSYS, 2023. — 876 p.
13. Klote J.H. A Method for Calculation of Smoke Control Systems for Buildings / J.H. Klote. — 2008.
14. О Лахта Центре. — URL: <https://lakhta.center/about/#development> (дата обращения: 17.11.2025)

Список литературы на английском языке / References in English

1. SP 485.1311500.2020. Sistemi protivopozharnoi zashchiti. Trebovaniya k organizatsii i provedeniyu rabot po ustanovke, remontu i obsluzhivaniyu sredstv obespecheniya pozharnoi bezopasnosti zdaniy i sooruzhenii [SP 485.1311500.2020. Fire protection systems. Requirements for the organisation and performance of work relating to the installation, repair and maintenance of fire safety equipment in buildings and structures]. — URL: <https://www.teoc.ru/assets/uploads/docs/gosts/sp-485-1311500-2020-sistemy-protivopozharnoy-zaschity-ustanovki-pozharotusheniya-avtomaticheskie-normy-i-pravila-proektirovaniya.pdf> (accessed: 17.11.2025) [in Russian]
2. SP 50.13330.2024. SNiP 23-02-2003 Teplovaya zashchita zdaniy [SP 50.13330.2024. SNiP 23-02-2003 Thermal protection of buildings]. — URL: <https://rsoserv.ru/wp-content/uploads/2025/02/SP-50.13330.2024-Svod-Pravil.-Teplovaya-zashhita-zdaniy.pdf> (accessed: 17.11.2025) [in Russian]
3. SP 7.13130.2013. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie. Trebovaniya pozharnoi bezopasnosti [SP 7.13130.2013. Heating, ventilation and air conditioning. Fire safety requirements]. — URL: <https://uc.foresltd.com/wp-content/uploads/2025/07/sp-7.13130.2013.pdf> (accessed: 17.11.2025) [in Russian]
4. Ashikhmin A.A. Modelirovanie aeratsii zdaniy s uchetom stack effect v usloviyakh kholodnogo klimata [Modelling of building ventilation taking into account the stack effect in cold climates] / A.A. Ashikhmin, V.N. Livchak // Izvestiya visshikh uchebnikh zavedenii. Stroitelstvo [Proceedings of Universities. Construction]. — 2017. — № 12. — P. 85–96. [in Russian]
5. Belikov S.E. Inzhenernie resheniya dlya obespecheniya pozharnoi bezopasnosti visotnikh zdaniy [Engineering solutions for fire safety in high-rise buildings] / S.E. Belikov // Pozharovzrivobezopasnost [Fire and Explosion Safety]. — 2021. — Vol. 30. — № 5. — P. 45–58. [in Russian]
6. Bodrov V.I. Ventilyatsiya mnogoetazhnikh zdaniy: teoriya i praktika [Ventilation in multi-storey buildings: theory and practice] / V.I. Bodrov, S.P. Fomin. — Moscow: Stroizdat, 2018. — 288 p. [in Russian]
7. Bukharkin Ye.N. Energoeffektivnost zdaniy v regionakh s rezko kontinentalnim klimatom: monografiya [Energy Efficiency of Buildings in Regions with a Strictly Continental Climate: monograph] / Ye.N. Bukharkin, L.M. Samokhina. — Novosibirsk: Nauka, 2020. — 312 p. [in Russian]



8. Gillieva G. Integratsiya intellektualnikh sistem upravleniya zdaniem (BMS) dlya optimizatsii energopotrebleniya, obespecheniya bezopasnosti i komforta [Integration of intelligent building management systems (BMS) to optimise energy consumption and ensure safety and comfort] / G. Gillieva., A. Ataev, G. Redzhepov // Vestnik nauki [Science Bulletin]. — 2024. — № 6 (75). [in Russian]
9. Zinenko A.V. Prichini i posledstviya pozharov v visotnikh zdaniyakh. Neobkhodimost vvedeniya v yedinuyu gosudarstvennuyu sistemu statisticheskogo ucheta [Causes and consequences of fires in high-rise buildings. The need to incorporate these into a unified national statistical system] / A.V. Zinenko // Vestnik nauki [Science Bulletin]. — 2024. — № 6 (75). [in Russian]
10. Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). — URL: <https://verticalurbanism.org> (accessed: 17.11.2025)
11. Ch. 16: Ventilation and Infiltration // ASHRAE Handbook – Fundamentals. — 2021. — URL: https://handbook.ashrae.org/Handbooks/F17/SI/f17_ch16/f17_ch16_si.aspx (accessed: 17.11.2025)
12. ANSYS Fluent Tutorial Guide. Release 2023 R2 / ANSYS. — Canonsburg: ANSYS, 2023. — 876 p.
13. Klote J.H. A Method for Calculation of Smoke Control Systems for Buildings / J.H. Klote. — 2008.
14. O Lakhta Tsentre [On the Lakhta Centre]. — URL: <https://lakhta.center/about/#development> (accessed: 17.11.2025) [in Russian]