



УДК 811

АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Гурбанбердыев Гурбангельди, Нурыев Гурбангулы, Байрамова Байрамгуль

преподаватели

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Анализ аэродинамических характеристик зданий сложной геометрической формы представляет собой важнейший этап проектирования современных высотных объектов и уникальных архитектурных комплексов. В условиях глобальной урбанизации, когда мегаполисы растут вверх, а архитекторы стремятся уйти от монотонных прямоугольных объемов к текучим, закрученным и фрактальным формам, ветровые воздействия становятся главным фактором, определяющим надежность и безопасность сооружений. Ветровой поток, встречая на своем пути нестандартную преграду, порождает сложнейшие гидродинамические явления: локальные срывы потока, нестационарные вихревые следы, пульсации давления и опасные явления аэродинамической неустойчивости, такие как галопирование или флаттер. Традиционные нормативные методики расчета, ориентированные на простые геометрические тела, оказываются совершенно неприменимыми для объектов с переменным по высоте сечением, сквозными проемами или изрезанным фасадным контуром.

Ключевые слова: аэродинамика зданий, сложная геометрия, ветровая нагрузка, вычислительная гидродинамика, аэродинамическая труба, срыв вихрей, вихревой резонанс, пешеходный комфорт, пульсации давления, цифровой двойник.

ANALYSIS OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF BUILDINGS WITH COMPLEX GEOMETRIC SHAPES

Gurbanberdyev Gurbangeldi, Nuryyev Gurbanguly, Bayramova Bayramgul

Lecturers

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. The analysis of aerodynamic characteristics of buildings with complex geometric shapes represents a critical imperative in modern structural engineering, especially as contemporary architecture evolves from traditional rectangular forms toward twisted, tapered, and fluid structures. When high-velocity wind streams encounter non-standard structural boundaries, they generate

complex fluid dynamic phenomena such as non-stationary vortex shedding, localized pressure fluctuations, and wake turbulence that cannot be calculated using standard building codes. To mitigate these forces, structural engineers use computational fluid dynamics to numerically solve the Navier-Stokes equations within a virtual wind tunnel, establishing digital twins that map real-time pressure distributions and airflow trajectories around the facade geometry.

Keywords: building aerodynamics, complex geometry, wind engineering, computational fluid dynamics, wind tunnel testing, vortex shedding, aeroelastic resonance, pressure distribution, pedestrian wind comfort, fluid-structure interaction.

Введение

Важнейшей задачей пространственного анализа нестандартной архитектуры является минимизация аэродинамического сопротивления объекта за счет оптимизации его внешней формы на самых ранних стадиях эскизного проектирования. Современные формообразующие стратегии включают в себя скручивание здания вокруг вертикальной оси, сужение силуэта кверху, скругление или скашивание острых углов, а также устройство сквозных аэродинамических отверстий в теле башни. Скручивание небоскреба позволяет эффективно «запутать» ветровой поток, предотвращая одновременный срыв вихрей по всей высоте здания и кардинально снижая амплитуду поперечных резонансных колебаний. Скругление углов минимизирует зоны локального разрежения воздуха на боковых фасадах, что существенно облегчает конструкцию крепления стеклянных панелей. Устройство сквозных проемов на верхних уровнях позволяет части воздушных масс беспрепятственно проходить сквозь объект, ослабляя общее лобовое давление ветра на каркас сооружения.

Основным цифровым инструментом исследования воздушных потоков выступает вычислительная гидродинамика, базирующаяся на численном решении уравнений Навье — Стокса, определяющих движение вязкой сжимаемой среды. Инженеры создают детализированные трехмерные расчетные модели зданий, помещают их в виртуальную аэродинамическую трубу и воспроизводят реальный профиль ветра с учетом турбулентности земной поверхности. Для моделирования мелкомасштабных вихревых структур и пульсаций давления применяются современные математические подходы, такие как метод моделирования крупных вихрей или метод решения уравнений Рейнольдса, дополненный специальными моделями турбулентности. Компьютерная симуляция позволяет получить полную, непрерывную визуализацию полей давлений, скоростей и траекторий движения воздушных масс вокруг объекта под любым углом атаки ветра. Цифровой двойник дает возможность оперативно протестировать десятки различных вариантов конфигурации фасадов перед переходом к стадии физического макетирования.



Физические основы взаимодействия потока с препятствием

При обтекании зданий сложной формы возникают специфические явления:

- **Вихревое возбуждение (Vortex Shedding):** при достижении критических скоростей ветра происходит отрыв вихрей, что может вызвать резонансные колебания конструкции.
- **Эффект Вентури:** ускорение потока между близко стоящими зданиями или в узких пролетах сложной геометрии.
- **Верховой поток (Downwash):** перенос высокого давления с верхней части фасада к основанию здания, создающий дискомфорт для пешеходов.

Несмотря на высокую точность современного софта, обязательным этапом верификации проектных решений для уникальных объектов остается физическое тестирование масштабных моделей в специализированных аэродинамических трубах архитектурно-строительного направления. Макет здания, оснащенный сотнями встроенных датчиков давления, изготавливается с высочайшей точностью на трехмерном принтере и устанавливается на поворотный стол внутри рабочей части трубы. В процессе испытаний моделируется не только само исследуемое здание, но и вся окружающая существующая городская застройка в радиусе нескольких сотен метров, так как соседние дома могут работать как аэродинамические экраны или, наоборот, усиливать потоки воздуха. Датчики фиксируют средние и пиковые значения давлений на поверхностях стен, а также суммарные опрокидывающие моменты и сдвигающие силы, действующие на фундамент. Сопоставление результатов численного моделирования и физического эксперимента позволяет полностью исключить риск проектных ошибок и гарантирует математическую обоснованность каждого конструктивного решения.

Заключение

В заключение важно подчеркнуть, что анализ аэродинамических характеристик зданий сложной геометрической формы определяет стандарты безопасности, устойчивости и комфорта в архитектуре двадцать первого века. Дальнейший прогресс в этой области неразрывно связан с развитием искусственного интеллекта для предиктивного аэродинамического формообразования, усложнением алгоритмов вычислительной гидродинамики и созданием адаптивных динамических фасадов. Города будущего призваны состоять из зданий, которые не борются с ветровыми потоками, а гармонично взаимодействуют с ними, возможно, попутно генерируя чистую энергию с помощью встроенных миниатюрных ветровых турбин.

Список литературы:

1. Горлин С. М., Зиборова С. П. Аэродинамические характеристики элементов строительных конструкций. Москва: Издательство МГУ, 1971.



2. Попов С. А. Вычислительная аэродинамика в проектировании высотных зданий. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2019.
3. Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. Ленинград: Стройиздат, 1972.
4. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. Москва: Стройиздат, 1984.