

Научная статья

Original article

УДК 711.4:532.5

doi: 10.55186/2413046X_2025_10_11_259

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СМЯГЧЕНИЮ
НЕГАТИВНЫХ ВЕТРОВЫХ ЭФФЕКТОВ НА ОСНОВЕ CFD-
АНАЛИЗА
CFD-BASED URBAN PLANNING STRATEGIES FOR MITIGATING
ADVERSE WIND EFFECTS**



Цветков Олег Юрьевич, кандидат географических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, E-mail: ocvetkov@lan.spbgasu.ru

Терещенко Татьяна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, E-mail: tereschenko@lan.spbgasu.ru

Tsvetkov Oleg Yurevich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, E-mail: ocvetkov@lan.spbgasu.ru

Tereshchenko Tatyana Yuryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, E-mail: tereschenko@lan.spbgasu.ru

Аннотация. В последние годы метод CFD - Computational Fluid Dynamics (вычислительной гидрогазодинамики) прочно вошёл в арсенал инженерных инструментов. Причина роста заключается в возможности детального изучения поведения жидких и газообразных сред не в лабораторных условиях, а на компьютере. Практики ценят CFD за два неоспоримых

достоинства: результаты получаются быстро и при этом являются достоверными; метод легко адаптируется к задачам из самых различных сфер деятельности человека.

В данной статье авторы сосредоточились на информации о том, как CFD применяется в градостроительстве. Главный акцент — моделирование ветровых нагрузок на застроенных территориях. Не ограничиваясь общими рассуждениями приведены реальные примеры из строительной практики, которые наглядно показывают, насколько точны расчёты. Рассмотрены факторы, от которых зависит качество этих расчётов и какие особенности встречаются в процессе проектирования.

Суть метода заключается в численном моделировании ветровых потоков. С его помощью инженер может вычислить ключевые параметры среды: температуру, скорость и направление движения, расход, плотность, давление.

Но главным является то, что CFD позволяет «заглянуть» внутрь сложных пространственных структур и предсказать, как поведёт себя ветровой поток на застроенной территории. Для градостроительства это критически важно так как именно от понимания аэродинамических процессов зависит, насколько здание получится энергоэффективным, безопасным и комфортным для людей.

Так CFD превращается из абстрактной математической модели в практический инструмент, без которого сегодня сложно представить проектирование современной городской среды. Показательно, что CFD анализ применяется не только в градостроительстве, но и металлургии, машиностроении, судостроении, медицине, а также во многих других областях.

В заключение сделан вывод о важности CFD моделирования в качестве инструмента для инженеров-проектировщиков, способствующего повышению качества строительных проектов и ускорению процесса принятия решений.

Abstract. Computational Fluid Dynamics (CFD) has become firmly established in recent years as an indispensable instrument within the engineering repertoire. This growing adoption is driven by its capacity for the in-depth analysis of fluid and gas behavior through computational simulation, superseding the need for traditional laboratory experiments.

Practitioners value CFD for two principal advantages: the rapid generation of reliable results and the method's inherent adaptability to a diverse spectrum of applied tasks.

This article investigates the application of CFD within urban planning, with a particular focus on simulating wind loads in built environments. Beyond theoretical discussion, it presents empirical case studies from construction practice that demonstrate the high accuracy achievable through these simulations. The study examines the factors governing calculation quality and identifies specific challenges encountered during the design process.

The core of the method lies in the numerical simulation of wind flow patterns. It enables engineers to compute critical environmental parameters, including temperature, velocity and direction, flow rates, density, and pressure.

Crucially, CFD provides the unique capability to examine the internal dynamics of complex spatial configurations and predict wind behavior across urban landscapes. For urban planning, this is critically important, as the aerodynamic performance of a building directly determines its ultimate energy efficiency, safety, and occupant comfort.

Thus, CFD transcends its origins as an abstract mathematical model to become a practical instrument that is now integral to the design of contemporary urban environments. It is noteworthy that CFD analysis finds application not only in urban planning but also in fields such as metallurgy, mechanical engineering, naval architecture, medicine, and numerous other disciplines.

In conclusion, the study affirms the significance of CFD modeling as a vital tool for design engineers, contributing to both enhanced quality in construction projects and a more streamlined decision-making process.

Ключевые слова: градостроительное проектирование, информационное моделирование, движение жидкостей и газов, моделирование воздушного потока, CFD анализ, вычислительная гидрогазодинамика

Keywords: urban design, information modeling, fluid and gas flow, airflow modeling, CFD analysis, computational fluid dynamics

Основной принцип технологии CFD анализа заключается в обработке массивов данных с последующей визуализацией для идентификации зон с повышенными и пониженными показателями скорости ветрового потока.

Процесс CFD-моделирования состоит из трёх основных этапов, каждый из которых может быть детализирован на отдельные блоки. При необходимости возможна замена отдельных компонентов или программного обеспечения для достижения специфических результатов, соответствующих различным градостроительным задачам.

Подготовительный этап. Наиболее важной стадией является сбор исходных данных для построения трёхмерной модели исследуемой территории. Доступным решением для этого является использование настольной ГИС QGIS 3.16.5 "Hannover". Указанное программное обеспечение позволяет получать пространственные данные из открытых источников. С помощью плагина QuickOSM из ресурса OpenStreetMap экспортируются данные о зданиях в пределах области моделирования, а также связанная с ними атрибутивная информация. Результатом является слой векторных данных с атрибутами [1, 2].

Этап вычислений. На этой стадии задаются необходимые параметры модели с применением методов визуального программирования и выполняется запуск симулятора.

Аналитический этап. Заключительная стадия включает визуализацию полученных результатов и их последующий анализ.

По сравнению с традиционными методами физического моделирования применение CFD-анализа обладает рядом преимуществ:

1. Экономическая эффективность. Для крупных или сложных конструктивных систем цифровое моделирование ветровых потоков экономически более целесообразно, чем натурные эксперименты, поскольку исключает затраты на изготовление прототипов, обеспечение безопасности испытательных помещений и использование специализированного оборудования [3, 4].
2. Сокращение временных затрат. Процедура настройки и проведения собственно моделирования требует значительно меньше времени благодаря глубокой автоматизации процесса [5].
3. Итеративность процесса. Допускается многократная проверка и усовершенствование в виртуальной среде до создания физического прототипа [6].
4. Детализация и гибкость анализа. Обеспечивается моделирование сложных физических явлений (распределение давления, турбулентность), которые трудно или невозможно воспроизвести в натуральных условиях. Возможно произвольное масштабирование модели без необходимости создания новых прототипов [7, 12].
5. Ресурсосбережение и экологичность. Снижение потребления энергетических и материальных ресурсов достигается за счёт минимизации количества физических экспериментов и производства прототипов, что соответствует общим принципам устойчивого развития [8, 11].
6. Высокая точность и аналитические возможности. Метод позволяет моделировать сложную геометрию и взаимодействие воздушных потоков с высокой точностью, обеспечивая анализ малозаметных эффектов в контролируемых условиях, что способствует оптимизации применения конструктивных систем [9, 10].

На основании проведённого CFD-моделирования ветровых потоков на территории города Мурино Ленинградской области сформулированы следующие рекомендации для проектирования и градостроительного планирования:

С целью минимизации образования вихревых потоков на углах зданий рекомендуется избегать наличие острых углов, отдавая предпочтение сглаженным или тупым угловым решениям.

Следует избегать линейного расположения зданий на широких улицах в непосредственной близости друг от друга, так как это приводит к усилению ветровых потоков. В случае невозможности изменения планировки рекомендуется использовать полосовое озеленение вдоль таких участков.

Для предотвращения эффекта Вентури, вызывающего увеличение скорости ветра в сужающихся каналах, рекомендуется установка искусственных ветрозащитных экранов или использование зелёных насаждений.

При проектировании закрытых дворовых пространств необходимо обеспечивать эффективную ветрозащиту без нарушения естественной вентиляции. Отсутствие воздухообмена может привести к накоплению выхлопных газов в зимний период и нарушению функционала систем вентиляции зданий в летний период.

Для снижения турбулентности в районах с однотипной этажностью рекомендуется применять ступенчатое повышение этажности в группах последовательно расположенных зданий.

При невозможности изменения архитектурной конфигурации рекомендуется увеличивать шероховатость фасадов для повышения аэродинамического сопротивления. Этого можно достичь за счёт использования декоративных элементов, "зелёных стен" или архитектурных деталей, таких как балконы.

Все вышеперечисленные рекомендации требуют детального анализа и предварительного моделирования для каждого конкретного случая с целью достижения максимального эффекта.

Проведенное исследование демонстрирует неоспоримую ценность CFD-моделирования как современного, точного и экономически эффективного инструмента в арсенале градостроителя и инженера-проектировщика.

Возможность прогнозировать и анализировать ветровые режимы на этапе проектирования позволяет принимать решения, направленные на формирование безопасной, комфортной и экологически устойчивой городской среды.

Реализация предложенных рекомендаций, таких как отказ от острых углов, применение ветрозащитных экранов и озеленения, а также грамотное проектирование дворовых пространств, позволяет смягчить негативные ветровые эффекты и повысить качество жизни в городских кварталах. Таким образом, интеграция CFD-анализа в стандартные процедуры проектирования представляется стратегически важным шагом для развития современных, умных и ориентированных на человека городов. Для достижения максимального эффекта любые планировочные и архитектурные решения должны в обязательном порядке сопровождаться предварительным расчётным моделированием.

Список источников

1. Евграфова А. В., Сухановский А. Н. Лабораторное моделирование в задачах городской климатологии // Вестник ПГУ. Физика. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/laboratornoe-modelirovanie-v-zadachah-gorodskoy-klimatologii> (дата обращения: 30.10.2025).
2. Мягков М.С., Алексеева Л.И. Особенности ветрового режима типовых форм городской застройки // АМІТ. 2014. №1 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vetrovogo-rezhima-tipovyh-form-gorodskoy-zastroyki> (дата обращения: 01.11.2025)
3. Еремеев Д.Г., Туманик Г.Н. Определение ветрового комфорта для жилой застройки на примере Новосибирска // Творчество и современность. 2018. №4 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-vetrovogo-komforta-dlya-zhiloy-zastroyki-na-primere-novosibirska> (дата обращения: 12.10.2025).
4. Мягков М.С., Губернский Ю.Д., Конова Л.И., Лицкевич В.К. Город, архитектура, человек и климат. – М.: «Архитектура-С», 2007.

5. Оленьков В.Д. Учёт ветрового режима городской застройки при градостроительном планировании с использованием технологий компьютерного моделирования // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2017. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-vetrovogo-rezhima-gorodskoy-zastroyki-pri-gradostroitelnom-planirovanii-s-ispolzovaniem-tehnologiy-kompyuternogo> (дата обращения: 01.11.2025).
6. Noor Ahmed. Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications / Noor Ahmed. // IntechOpen. – 2013. – 230 p.
7. Karpovich E. A. Experimental Study of Aerodynamic Characteristics of a Boxplane WindTunnel Model / Karpovich E. A., Kochurova N. I., Kuznetsov A. V. // Russ. Aeronaut. – 2020. – 63. – 659. – P. 659-668.
8. Sheng Risheng. Wind Tunnel study of the flow around a wall-mounted square prism immersed in an atmospheric boundary-layer / Sheng Risheng, Perret Laurent, Demouge François, Calmet I, Courtine Sébastien // Oliveira Fabrice. – 2015.
9. Ming Gu. Wind tunnel test study on effects of chamfered corners on the aerodynamic characteristics of 2D rectangular prisms / Ming Gu. // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2020. – 204. – 104305.
10. Yoshihide Tominaga. Wind tunnel measurement of three-dimensional turbulent flow structures around a building group: Impact of high-rise buildings on pedestrian / Yoshihide Tominaga. // Building and Environment. – 2021. – 206.
11. Gary N. A Primer on Direct Numerical Simulation of Turbulence –Methods, Procedures and Guidelines / Gary N. Coleman and Richard D. Sandberg // Technical Report AFM-09/01a. – 2010. – 21 p.
12. Hoyas S. Scaling of the velocity fluctuations in turbulent channels up to $Re=2003$ / Hoyas S., Jimenez J. // Annual Research Briefs, Center for Turbulence Research, NASA Ames/Stanford Univ. – 2005. – P 351–356.

References

1. Evgrafova A. V., Sukhanovsky A. N. Laboratory modeling in urban climatology tasks // Vestnik PSU. Physics. 2020. No. 4. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/laboratornoe-modelirovanie-v-zadachah-gorodskoy-klimatologii> (accessed: 30.10.2025).

2. Myagkov M.S., Alekseeva L.I. Features of the wind regime in typical urban building forms // AMIT. 2014. No. 1 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vetrovogo-rezhima-tipovyh-form-gorodskoy-zastroyki> (accessed: 01.11.2025).

3. Ereemeev D.G., Tumanik G.N. Determining wind comfort for residential development: a case study of Novosibirsk // *Tvorchestvo i sovremennost'*. 2018. No. 4 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-vetrovogo-komforta-dlya-zhiloy-zastroyki-na-primere-novosibirska> (accessed: 12.10.2025).

4. Myagkov M.S., Gubernsky Yu.D., Konova L.I., Litskevich V.K. City, Architecture, Human and Climate. – Moscow: "Arkitektura-S", 2007.

5. Olen'kov V.D. Accounting for the wind regime of urban development in urban planning using computer modeling technologies // *Vestnik of SUSU. Series: Construction Engineering and Architecture*. 2017. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-vetrovogo-rezhima-gorodskoy-zastroyki-pri-gradostroitelnom-planirovanii-s-ispolzovaniem-tehnologiy-kompyuternogo> (accessed: 01.11.2025).

6. Noor Ahmed. Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications // *IntechOpen*. – 2013. – 230 p.

7. Karpovich E. A. Experimental Study of Aerodynamic Characteristics of a Boxplane WindTunnel Model / Karpovich E. A., Kochurova N. I., Kuznetsov A. V. // *Russ. Aeronaut.* – 2020. – Vol. 63. – P. 659-668.

8. Sheng Risheng. Wind Tunnel study of the flow around a wall-mounted square prism immersed in an atmospheric boundary-layer / Sheng Risheng, Perret Laurent, Demouge François, Calmet I, Courtine Sébastien // *Oliveira Fabrice*. – 2015.

9. Ming Gu. Wind tunnel test study on effects of chamfered corners on the aerodynamic characteristics of 2D rectangular prisms // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2020. – Vol. 204. – 104305.

10. Yoshihide Tominaga. Wind tunnel measurement of three-dimensional turbulent flow structures around a building group: Impact of high-rise buildings on pedestrian // Building and Environment. – 2021. – Vol. 206. – 108389.
11. Gary N. A Primer on Direct Numerical Simulation of Turbulence – Methods, Procedures and Guidelines / Gary N. Coleman and Richard D. Sandberg // Technical Report AFM-09/01a. – 2010. – 21 p.
12. Hoyas S. Scaling of the velocity fluctuations in turbulent channels up to $Re=2003$ / Hoyas S., Jimenez J. // Annual Research Briefs, Center for Turbulence Research, NASA Ames/Stanford Univ. – 2005. – P. 351–356.

© Цветков О.Ю., Терещенко Т.Ю., 2025. Московский экономический журнал,
2025, № 11.