

## Метод моделирования ветрового воздействия на здание общественного назначения

*Ю. В. Иванова, Е. В. Куц, С. Ю. Кадокова*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

**Аннотация:** Проектирование энергоэффективных зданий основывается на анализе внешнего климатического воздействия на здания различного назначения, параметры воздушной среды внутри которых вполне определены. Климатические системы сооружений должны нейтрализовать отрицательное воздействие наружной среды, в частности, ветрового воздействия. Оно определяет как температурный режим помещения, так и чистоту воздуха внутри них. Сложность как теоретических исследований, так и организации натурных опытов или продувки макетов зданий в аэродинамической трубе обуславливает необходимость прибегнуть к математическому моделированию ветрового воздействия на здание школы на основе программы Star-CCm+. Получены поля скоростей при разных направлениях ветровой нагрузки, определены превышения теплопотерь здания по отдельным направлениям. Показана возможность проведения подобных исследований в более широком диапазоне начальных и граничных условий.

**Ключевые слова:** аэрация жилой застройки, математическое моделирование.

Повышение тепловой эффективности жилых и общественных зданий, которая определяется удельной характеристикой расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, является в настоящее время актуальной, особенно в свете призывов к экономии топливно-энергетических ресурсов. Методология проектирования энергоэффективных зданий основывается на анализе двух энергетических систем, в первую очередь, внешней – комплекса природно-климатических условий, меняющихся в течение года и характеризующейся вполне определенными параметрами, указанными в СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Окружающая природная среда оказывает непосредственное влияние на другую искусственно созданную систему в виде строительной конструкции здания различного назначения, внутренняя среда которого также должна отвечать конкретным микроклиматическим показателям для каждого вида помещений,

приведенным в нормативных документах, например, в ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Модель будущего сооружения, воплощенная в виде рабочих чертежей, определяющих местоположение здания, ограждающие строительные, в том числе и светопрозрачные, конструкции, схемные решения и техническое устройство климатических инженерных систем (отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха), должна обеспечивать нейтрализацию отрицательных воздействий наружного климата на внутренний тепловой баланс [1, 2], в первую очередь, по параметру температуры внутреннего воздуха. Также должно обеспечиваться качество воздуха внутри помещений, исходя из объема выделяющихся вредностей, нормируемых по предельно-допустимым концентрациям содержания углекислого газа.

Одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на тепловой баланс здания, который необходимо учитывать при проектировании, наряду с солнечной радиацией и температурой наружного воздуха, является ветровое воздействие [3, 4]. С целью характеристики ветрового климата для данной местности используют диаграмму «роза ветров» (годовую, сезонную, месячную), которая содержит сведения о повторяемости ветров того или иного направления (в процентах), а также по средним скоростям за рассматриваемое время. Учитывают также и температуры наружного воздуха, наблюдавшиеся при каждом направлении ветра. Такие данные позволяют предварительно оценить ветровое воздействие на теплотехнические процессы, происходящие в толще ограждающих конструкций, а также воздухообмен между помещениями и окружающей средой. Этот воздухообмен, в свою очередь, определяет, как инфильтрационные теплопотери, так и степень проветриваемости здания. В области градостроительства при проектировании жилой застройки учет

---



ветровых условий позволяет удачно выбрать местоположение здания, определить его форму и ориентацию, а также вид светопрозрачных конструкций. При проектировании высотных зданий и инженерных сооружений следует учитывать и дополнительную нагрузку от скоростного напора ветра и возможность колебательных движений линейных объектов (линий электропередач, мостов и т.п.) [5].

Ветер оказывает воздействие на микроклимат застроенной территории, на пространства между зданиями, что необходимо учитывать при размещении игровых площадок, проездов и стоянок автомобилей, мест размещения точечных источников вредностей (локальные котельные, предприятия общественного питания и производственные предприятия) [6]. Автор этой монографии изложил результаты своих теоретических и экспериментальных исследований процесса аэрации жилой застройки. В качестве первостепенной задачи он поставил определение скорости и направления движения ветра в пространстве между и над проектируемыми зданиями. Городская застройка существенно изменяет ветровой режим. Воздух, встречая на своем пути здание, поднимается вверх (до двух высот), проходит над зданием, начинает постепенно опускаться вниз и, на расстоянии пяти-шести высот, достигает земли. Позади здания образуется так называемая «аэродинамическая» тень, названная так по аналогии с понятием из светотехники. Но это пространство не является спокойным, низкоскоростным, в нем образуется вихревая зона, направление движения воздуха в которой непредсказуемо. С такими зонами в ветреный дождливый день встречался каждый, борясь с зонтиком, который внезапно стал вырываться из рук и выворачиваться наружу. Исследователь провел значительное количество опытов, продувая как отдельные, так и групповые модели зданий в аэродинамической трубе, определяя поля скоростей на поверхностях моделей жилых домов различной этажности в виде, так

---

называемых, аэродинамических коэффициентов, которые показывают, какая доля скоростного напора переходит в давление. Теоретические основы расчета изложены в [7], статье, напечатанной в журнале «Водоснабжение и санитарная техника» еще в 1967 году. В редакционном вступлении к этой повторной публикации отмечается, что в настоящее время вопросам аэродинамики зданий не уделяется должного внимания в научных разработках, хотя ситуация в жилищном строительстве существенно изменилась. В частности, выросла этажность зданий и уплотнилась городская застройка. Видимо, это связано со сложностью теоретического описания аэродинамических взаимодействий с позиций процессов тепломассообмена и, тем более, со сложностью натурных испытаний.

Вместе с тем появились возможности решения инженерных задач численными методами математического моделирования, с привлечением современного программного обеспечение. Основная задача данной работы – показать возможность моделирования ветрового воздействия на объекте-представителе: общеобразовательной школе, которая расположена в Московской области. Здание школы состоит из четырехэтажного учебного корпуса и общешкольного блока переменной этажности (2-3 этажа).

Решению подобных задач посвящены ряд фундаментальных изданий [8, 9, 10], квалификационная работа [11]. Расчетный пакет STAR-CCM+, применяемый в настоящей работе основан на разработках М. Перика [12].

Численное моделирование осуществляется следующим порядком. Первоначально производится построение пространственной модели, отражающей геометрию исследуемого объекта. Для этого используется программный пакет Solid Works. На рис. 1 показана компьютерная имитация микрорайона, в котором размещено школьное здание.

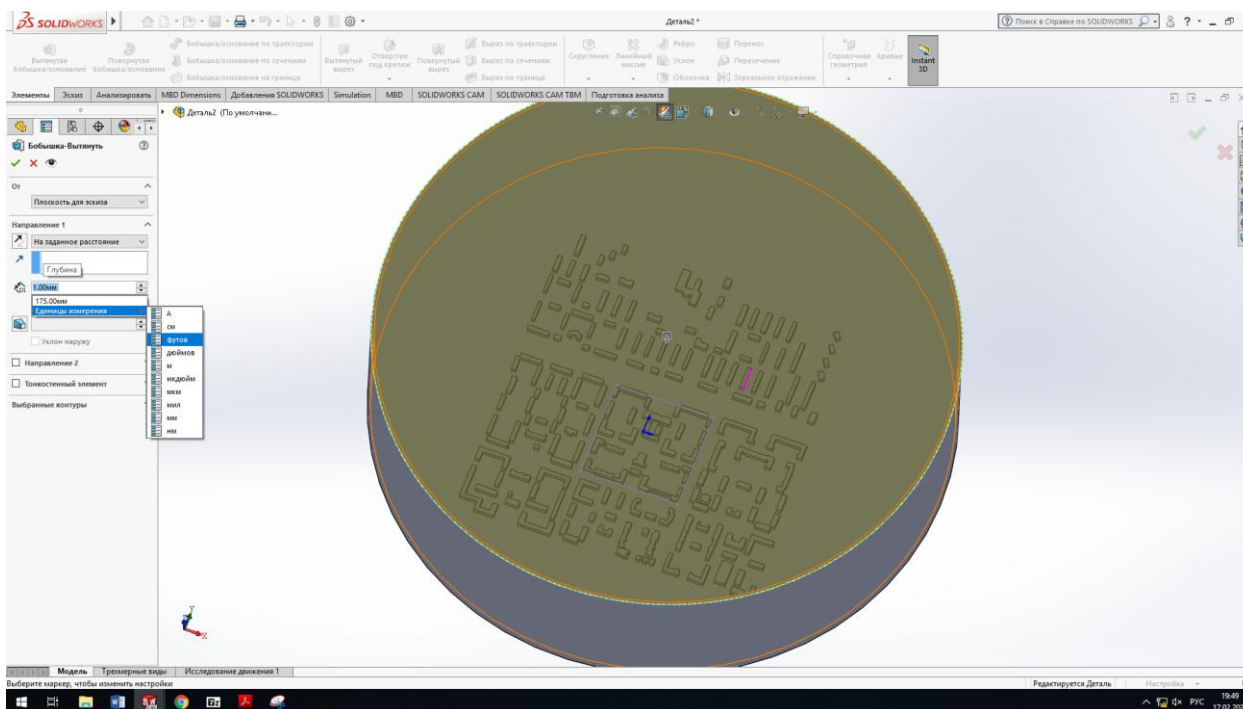


Рис.1. – Итоговая модель в Solid Works с городской застройкой

После интеграции была разработана сетка с областями-сгущениями вокруг общественного здания и заданы начальные и граничные условия, а также заданы теплотехнические параметры микрорайона.

Была использована стандартная  $k-\omega$  модель турбулентности с определением пути смешения, турбулентной вязкости, ламинарного и турбулентного числа Прандтля, толщины вытеснения и потери импульса; определение числа Рейнольдса и пристенной функции в программном комплексе выполняется автоматически.

Использование методов численного решения исходной системы позволяет найти решения таких условий, как скорость ветра, распределение температуры, граничный тепловой поток, потеря тепловой энергии, вне зависимости от сложности геометрии как самого здания, так и окружающей застройки.

Star-CCm+ позволяет не писать собственные коды и математические зависимости, для описания сложных геометрий и физических моделей.

В качестве заданных параметров принималась температура воздуха внутри школы  $+20^{\circ}\text{C}$ ; температура наружного воздуха  $-25^{\circ}\text{C}$ ; скорость ветра на входе в расчетную зону - 3 м/с; направления ветра – восточное и юго-западное. Рассматривались два варианта размещения здания – в городской застройке и без нее.

После запуска программы получены поля скоростей ветра на различных высотах, значения граничного теплового потока, расход тепловой энергии здания. В качестве примера на рис.2 представлено поле скоростей в микрорайоне (школа располагается в центре) при ветре восточного направления.



Рис.2. – Поле скоростей ветра на высоте 5 м

Получены показатели граничных пофасадных тепловых потоков ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и значения общих тепловых потерь, рис. 3, 4. Представляет интерес гипотетический вариант с размещением школы вне застройки, рис.5.

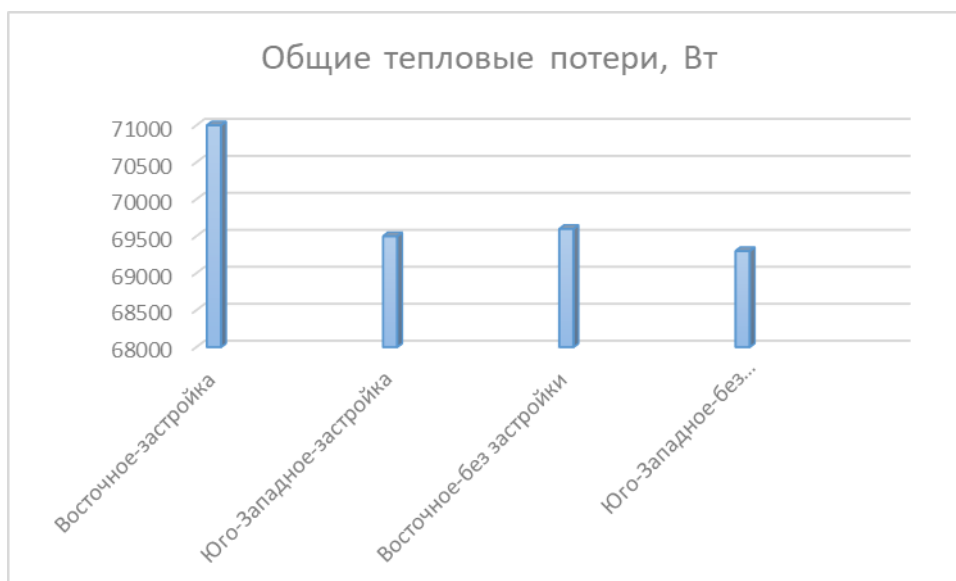


Рис.3. – Значения общих тепловых потерь

По общим потерям, можно сделать вывод, что с застройкой получилось больше тепловых потерь, чем без нее как для восточного направления ветра - 2%, так и для юго-западного - 0,3 %. Это связано с топологией застройки, так как воздушные потоки могут усиливаться.

Однако, если сравнивать расчетные участки, то разница в тепловых потерях при рассмотрении участков фасадов достигает 12%.

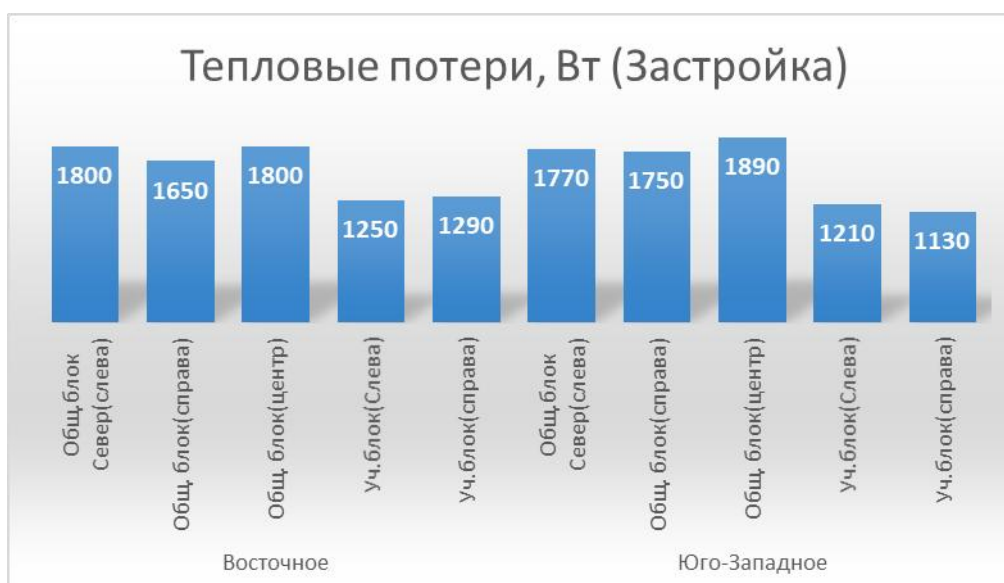


Рис.4. – Значения тепловых потерь для расчетных участков



Рис.5. – Значения тепловых потерь для расчетных участков

### **Заключение.**

1. На основании численного моделирования в программном комплексе Star-CCM+ был исследован вопрос о влиянии ветрового воздействия на теплотребление здания общественного назначения.

2. По результатам расчета при нормативных значениях ветрового воздействия и при заданных направлениях, трансмиссионные потери практически не отличаются по вариантам. Однако, значения теплового потока по отдельным поверхностям разнятся до 12%, что предполагает увеличение поверхности нагрева отопительных приборов.

3. Представляется возможным использование отработанной методики для проверки экстремальных воздействий ветряной нагрузки в широком диапазоне румбовой направленности ветрового влияния на тепловой режим здания, а также на работу вентиляционной системы.



## Литература

1. Куц Е.В., Кадокова С.Ю., Андрееенко А.А. Оптимизационное моделирование энергосберегающего проекта // Инженерный вестник Дона, 2021. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358).
  2. Куц Е.В., Кадокова С.Ю., Андрееенко А.А. Метод повышения технико-экономической эффективности инвестиционного энергосберегающего проекта // Инженерный вестник Дона, 2021. №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6980](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6980).
  3. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС. 2003. с. 200.
  4. Беляев В.С., Хохлова Л.П. Проектирование энергоэкономичных и энергоэффективных гражданских зданий: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1991. 225 с.
  5. Заварина М.В. Строительная климатология. Л.: Гидрометеиздат. 1976. 312 с.
  6. Серебровский Ф.Л. Аэрация жилой застройки. М.: Стройиздат. 1971. 112 с.
  7. Ретгер Э.И., Серебровский Ф.Л. Аэродинамическая характеристика жилых зданий. М.: АВОК. 2008. №5. с. 80-87.
  8. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС. 2002. с. 194.
  9. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб: АВОК Северо-Запад. 2013. с. 192.
-

10. Spalart, P. R., and Allmaras, S. R., A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows, AIAA-92-0439, January 1992. 23 p.

11. Денисихина Д.М. Численное моделирование автоколебательных вентиляционных течений. Дис. к.ф.-м. наук. СПбГПУ. СПб, 2005. 135 с.

12. Ferziger J.H., Peric M. Computational method for fluid dynamics. Berlin, Heidelberg. 1999. 389 p.

### References

1. Kuts E. V., Kadokova S. Yu., Andreenko A. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7358).

2. Kuts E. V., Kadokova S. Yu., Andreenko A. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6980](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6980).

3. Tabunshnikov Ju. A., Brodach M. M., Shilkin N. V. Jenergojeffektivnye zdaniya [Energy efficient buildings]. M.: AVOK-PRESS. 2003. p. 200.

4. Belyayev V.S., Khokhlova L.P.: Ucheb. posobiye [Design of energy efficient and energy efficient buildings: Tutorial] M.: Vyssh. shk., 1991. 225 p.

5. Zavarina M.V. Stroitel'naya klimatologiya [Building climatology] L.: Gidrometeoizdat. 1976. 312 p.

6. Serebrovskiy F.L. Aeratsiya zhiloy zastroyki [Aeration of residential buildings] M.: Stroyizdat. 1971. 112 p.

7. Retter E.I., Serebrovskiy F.L. AVOK. 2008. №5. pp.80-87.

8. Tabunshchikov YU.A., Brodach M.M. M.: AVOK-PRESS. 2002. p. 194.

9. Grititlin A.M., Datsyuk T.A., Denisikhina D.M. SPb: AVOK Severo-Zapad. 2013. p. 192.



10. Spalart, P. R., and Allmaras, S. R., AIAA-92-0439, January 1992. 23 p.
11. Denisikhina D.M. Chislennoye modelirovaniye avtokolebatel'nykh ventilyatsionnykh techeniy [Numerical simulation of self-oscillating ventilation flows]. Dis. k.f.-m. nauk. SPbGPU. SPb, 2005. 135 p.
12. Ferziger J.H., Peric M. Berlin, Heidelberg. 1999. 389 p.