

УДК 69.07

Сафиуллин И.И. – студент

E-mail: insaf.safiullin@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Численное моделирование ветровых воздействий
на высотное здание «Лазурные небеса» (г. Казань)****Аннотация**

В статье рассмотрены результаты численного моделирования ветрового воздействия на жилой комплекс «Лазурные небеса», находящийся по адресу: г. Казань, пр. А. Камалеева, д. 1, в программном комплексе «ANSYS FLUENT». Проанализированы результаты продувки модели здания в аэродинамической трубе. Также рассмотрены результаты различных вариантов загрузки расчетной схемы здания в ПК «Лира». Определена доля ветровых нагрузок в напряженно-деформированном состоянии несущего каркаса.

Ключевые слова: высотное здание, численное моделирование, вычислительная гидрогазодинамика, ветровое воздействие.

Модель жилого комплекса в масштабе 1:100 была продута в аэродинамической трубе ИАТТ КГТУ им. А.Н. Туполева с последующим подробным отчетом о результатах.

После анализа отчета по испытаниям в аэродинамической трубе, было принято решение выбрать два наиболее опасных направления («угол атаки») ветра: $6,5^0$ и $96,5^0$.

Высота здания – 130 м, где 9 м – стилобат, 121 м – консоль.

Моделирование производилось на ПК Intel(R) Core(TM) i7-4770K CPU @3,5 GHz; RAM total: 32 GB; HDD total: 930 GB.

3D-модель здания была создана в графическом препроцессоре Gambit 2.4.6 с разбиением на сетку с размером ячеек от 0,5 м (вокруг здания) и 2 м (для расчетной области). Размеры расчетной области подбирались таким образом, чтобы ветровой поток набегающий на здание и вихри, образующиеся за зданием, полностью помещались в расчетную область и не выходили за его пределы. Рекомендованные параметры расчетной области для здания высотой H: перед зданием 5H, по бокам 3H, позади него 20H и высота должна быть не менее 5H [1-3].

До начала расчета необходимо определиться с моделью турбулентности для ветрового потока, ведь конечный результат зависит от характеристик набегающего потока. Современные программные комплексы по вычислительной гидрогазодинамике предоставляет на выбор несколько моделей турбулентности, каждая из которых имеет как плюсы, так и минусы. Наиболее распространены следующие модели:

- DES (Detached Eddy Simulation, моделирование отсоединенных вихрей);
- RANS (Reynolds averaged Navier-Stokes method, осредненные уравнения Навье-Стокса по Рейнольдсу);
- LES (Large Eddy Simulation, метод крупных вихрей);
- SST (нестационарный вид RANS).

Модели турбулентности отличаются по скорости и точности результатов. Модель LES, к примеру, позволяет получить результаты в относительно сжатые сроки (до нескольких часов, в зависимости от сложности модели), а модель DES является весьма ресурсоемкой, однако, дает наиболее точные результаты [4].

При выборе модели рекомендуется соблюдать оптимальное соотношение «скорость-точность». Исходя из этого, модели DES и SST наиболее «универсальны» и эффективно функционируют для широкого класса сложных градиентных потоков и для поставленной задачи в качестве базовой приняты именно они. Проведенное представительное тестирование на широком круге практических задач (включая сравнение с данными испытаний в аэродинамических трубах) показало достаточную

точность получаемых результатов и устойчивость итерационного процесса даже при относительно грубых сетках [5].

После окончания расчета (расчет занял 70 часов), полученные значения C_x и C_y средней составляющей статического давления были сравнены с данными по испытаниям в аэродинамической трубе [6, 7].

Таблица 1

Результаты сравнения данных испытаний

Угол атаки	6,5°		96,5°	
	АДТ	ЧМ	АДТ	ЧМ
Сх	0,28	0,3	0,48	0,46
Су	0,34	0,356	-0,09	-0,1

Примечание: ЧМ – численное моделирование, АДТ – аэродинамическая труба.

Анализ показал, что расхождение результатов численного моделирования и испытания в аэродинамической трубе составило не более 7 % – для максимальных значений и не более 10 % – для промежуточных значений, что, с учетом сложности модели здания, можно считать хорошим результатом.



Рис. 1. Модель здания в аэродинамической трубе

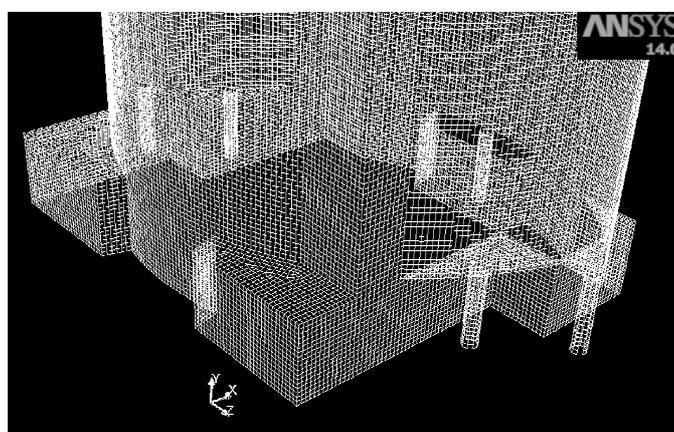


Рис. 2. Фрагмент разбиения модели здания на сетку (стилобат)

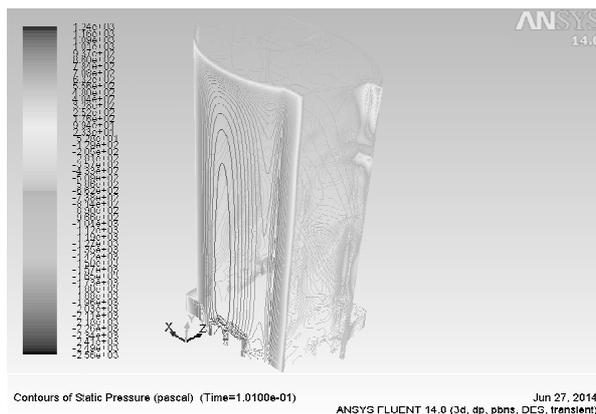


Рис. 3. Распределение давления на наветренной стороне здания (картина для угла атаки 96,5°)

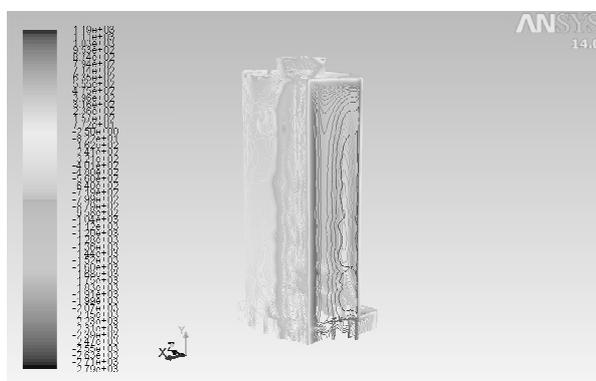


Рис. 4. Распределение давления на наветренной стороне здания (картина для угла атаки 6,5°)

Как видно из рисунков, давление на поверхности распределяется равномерно. Максимальное положительное давление наблюдается в срединной части здания наветренной стороны здания. Максимальное отрицательное давление («отсос») наблюдается на правой боковой поверхности здания. При этом картина распределения давления схожа для большинства высотных зданий.

Данные по численному моделированию и по «продувке» в трубе импортированы в прочностной пакет программ «Лира».

Таблица 2

Результаты загрузки по СП, результатам численного моделирования и АДТ

Усилия / Нагруже- ние	N, кН		M _y , кН*м		Q _z , кН		M _z , кН*м		Q _y , кН		M _x , кН*м	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
СП												
6,5°	-1300	1465	-2223	2592	-296	785	-700	675	-50	228	-10	10
96,5°	-1836	1866	-1453	1939	-440	154	-238	287	-96	112	-18	14
ЧМ												
6,5°	-1207	1182	-1812	1324	-549	339	-481	527	-165	39	-16	11
96,5°	-1755	1727	-1994	1737	-155	526	-317	294	-124	91	-18	12
АДТ												
6,5°	-1252	1226	-1790	1315	-542	344	-482	525	-165	40	-17	11
96,5°	-1877	1846	-2079	1775	-162	538	-330	300	-130	95	-18	14

Примечание: СП – свод правил, ЧМ – численное моделирование, АДТ – аэродинамическая труба.

Усилия в несущих элементах, полученные при загрузке по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» больше усилий, полученных по экспериментальным данным (ЧМ и АДТ), в среднем, на 30 %. Разница между усилиями, полученными загрузкой по ЧМ и АДТ, составила 5-7 %.

Учитывая, что доля усилий от ветровых нагрузок составляет 15 % от суммарных усилий, применение специализированных программных комплексов и аэродинамических труб может позволить снизить общую нагрузку на 5 % [8].

Таким образом, результаты расчета показывают, что загрузка по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» является завышенной, что говорит о необходимости совершенствования нормативной документации с применением современных программных комплексов, с использованием результатов в аэродинамической трубе и действительных ветровых воздействий на аналогичные здания, определенных экспериментально.

Список библиографических ссылок

1. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы. – М., 2010. – 198 с.
2. Белостоцкий А.М., Дубинский С.И. Некоторые аспекты верификации программных средств численного моделирования конструкций и сооружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2, 2008. – С. 30.
3. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на комплекс «Федерация» «Москва-Сити» // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2, 2008. – С. 58-59.
4. Kai Fan Liaw. Моделирование обтекания мостов и переправ с использованием вычислительной гидрогазодинамики. Университет Ноттингема, 2005. – 251 с.
5. Christoffer Norberg. Обтекание круглоцилиндрических тел низкоинтенсивными турбулентными потоками и эффект числа Рейнольдса. – Гётеборг, 1987. – 54 с.
6. Научно-технический отчет «Определение интегральных и распределенных аэродинамических характеристик модели жилого высотного дома по ул. П. Лумумбы, 47А г. Казани в аэродинамической трубе ИАТТ КГТУ им. А.Н. Туполева». – Казань, 2006. – 193 с.
7. ANSYS FLUENT 11.0. Руководство пользователя. – Канонсберг, 2009.
8. Гордеев В.Н., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М., ИАСВ, 2007. – 482 с.

Safiullin I.I. – student

E-mail: insaf.safiullin@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Numerical modeling of wind effects on high-rise building «Lazurnie nebesa» (Kazan)

Resume

Residential complex «Lazurnie nebesa» which is in the city of Kazan, A. Kamaleev's avenue 1, was purged in the wind tunnel of IATT KSTU of A.N. Tupolev at the design stage of the building. After analysis of the report on wind tunnel testing, it was decided to choose two of the most dangerous areas («angle of attack») wind $6,5^0$ and $96,5^0$. Height of building – 130 m (9 m – stylobate, 121 m – the console).

For comparison and improvement of methods, was created a computer model of the building in the preprocessing program Gambit v.2.4.6. Then in the software package «ANSYS FLUENT» was modeled wind flow as turbulence model were adopted DES and SST, which are as the most versatile and practical for the calculation. Payment is made on a personal computer

at KSUAE. After numerical simulation «purge» of the building, the results of computer simulation were compared with the results of wind tunnel tests. Then in the program complex «Lira» was produced loaded model of the building, and compared these arise when uploading efforts in the elements.

Keywords: high-rise building, numerical modeling, computational fluid dynamics, wind loadings.

Reference list

1. Dubinskiy S.I. Numerical modeling of wind effects on tall buildings and complexes. – M., 2010. – 198 p.
2. Belostotskiy A.M., Dubinskiy S.I. Some aspects of the verification software for numerical simulation designs and constructions // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2, 2008. – P. 30.
3. Dubinskiy S.I. Numerical modeling of wind effects on complex «Federaciya» of «Moskva-City» // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2, 2008. – P. 58-59.
4. Kai Fan Liaw. Simulation of flow around bluff bodies and bridge deck sections using CFD. – University of Nottingham, 2005. – 251 p.
5. Christoffer Norberg. Effects of Reynolds number and a low-intensity freestream turbulence on the flow around a circular cylinder. – Göteborg, 1987. – 54 p.
6. Scientific and technical report «Determination of distributed aerodynamic characteristics of the model of a residential high-rise building on the P. Lumumba st., 47A of Kazan in the wind tunnel IATT KSTU of A.N. Tupolev». – Kazan, 2006. – 193 p.
7. ANSYS FLUENT 11.0. User`s guide. – Canonsburg, 2009.
8. Gordeev V.N., Pichugin S.F. Loads and actions on buildings and structures. – M., IASV, 2007. – 482 p.