

Анализ ветрового воздействия на здания различных форм

Д.А. Ким, М.К. Зуева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье рассмотрено воздействие ветрового потока на здания и сооружения. Произведен анализ влияния ветрового давления на здания различных форм. Указаны три основных воздействия ветра, возникающие вокруг чувствительных к ветру зданий. Произведено сравнение трех форм здания. Установлено, что круглая форма здания в плане имеет меньший момент сопротивления от порывов ветра и от силы сопротивления. Определено, что данные параметры выше в случае зданий квадратной и прямоугольной формы.

Ключевые слова: ветер, давление, нагрузка, градозащита, форма здания, аэрация, урбанизация, экоклимат.

Любая конструкция, здание или сооружение подвергаются различным нагрузкам. Немаловажным фактором является способность здания выдерживать нагрузки, вызванные ветром, землетрясением и другими внешними факторами. При анализе высотных зданий с использованием ветроэнергетики обычно обнаруживается, что ветер является доминирующей нагрузкой и представляет собой в основном горизонтальную силу [1].

Ветровое давление на сооружение – давление, создающееся на поверхности сооружения обтекающим его ветром. Ветровые нагрузки обычно зависят от скорости ветра, формы и поверхности здания. Ветер – это сложное явление, состоящее из бесконечного разнообразия ситуаций с потоками, особенно в отношении взаимодействия ветровых потоков вокруг и на конструкциях [2]. Проектирование зданий должно учитывать всевозможные факторы, возникающие из-за воздействия ветра на ранней стадии для обеспечения безопасности и устойчивости высотных зданий. Климатические изменения непредсказуемы и ветровые условия во время проектирования могут заметно отличаться от ветровых условий в течение срока службы конструкции.

Ветер неравномерно обтекает поверхности высокого здания, создавая узор из закрученных вихрей. Когда ветер проходит мимо здания, вихри рассеиваются, что приводит к снижению давления ветра через регулярные промежутки времени [3]. Эти изменения давления, в свою очередь, приводят к боковой силе, которая находится под прямым углом к направлению ветра. Когда скорость ветра увеличивается, частота выброса вихря пытается соответствовать собственной частоте здания. Это может привести к некоторому раскачиванию здания. Также одной из проблем, связанных с таким воздействием ветра на здание, которая редко учитывается, является реакция человека. Люди весьма чувствительны к вибрациям и восприятию движения. Даже незначительное напряжение или вызванная деформацией вибрация могут вызывать беспокойство, панику.

Существует три основных воздействия ветра, которые возникают вокруг чувствительных к ветру зданий:

- Влияние на окружающую среду — изменения в потоках ветра от нового здания могут повлиять на окружающую среду. Для высотных зданий или небоскребов в городах необходимо эффективно оценивать воздействие ветра на пешеходов, транспортные средства, фонтаны вблизи предполагаемого сооружения и т.д.
- Влияние на фасадную часть здания — необходимо оценивать влияние ветрового давления на облицовку фасада здания. Оценка расчетных нагрузок на облицовку может свести к минимуму первоначальные затраты и избежать дорогостоящих расходов на техническое обслуживание при разрушении конструкции.
- Влияние на конструкцию — ветровая нагрузка влияет на боковую нагрузку на структурную систему здания.

Анализ ветровой нагрузки имеет решающее значение для обеспечения соблюдения следующих критериев [4]:

- Устойчивость к опрокидыванию здания;
- Наличие прочных конструктивных элементов, способных выдерживать избыточные нагрузки в течение жизненного цикла здания;
- Работоспособность здания, несмотря на ожидаемые отклонения от ветра;
- Влияние окружающих тел на поток ветра;
- Влияние турбулентности и образования вихрей;
- Анализ взаимодействия ветра и конструкции.

Главный критерий в анализе ветровой нагрузки – форма здания. Она может усугубить любое воздействие избыточного или пониженного давления. Здание с очень гладким профилем, облицованное стеклом, будет отражать ветер гораздо эффективнее, чем скульптурный или текстурированный профиль. Давление ветра может разрушить двери и окна, сорвать кровлю и настил крыши и разрушить торцевые стены [5]. Большому воздействию ветровых нагрузок подвержены элементы, способные задерживать под собой воздух, что приводит к увеличению подъемной силы ветра. Современные высотные здания, спроектированные с учетом требований бокового сноса, все еще могут сильно колебаться во время штормового ветра. Эти колебания могут представлять некоторую угрозу для высотных зданий, поскольку здания со все большей высотой становятся более уязвимыми для колебаний при высоких скоростях ветра. Следовательно, расчет ветровых нагрузок из-за их непредсказуемости очень значим при расчете здания или сооружения. Приближающиеся ветры, геометрия здания, близость и геометрия близлежащих зданий могут влиять на давление ветра на конструкцию. Значения данного давления сильно колеблются, и их трудно рассчитать.

Нагрузку от действия ветра во всех направлениях рассчитывают для нахождения наиболее критического условия загрузки [6], и рассматривают ее как сочетание нормального давления w_e , которое приложено к внешней части

поверхности здания; силы трения w_f , которая направлена по касательной к внешней части поверхности, при этом она отнесена к горизонтальной площади или вертикальной части поверхности; нормального давления w_i , которое приложено к внутренней части поверхности здания с проницаемыми ограждениями.

Также ветровую нагрузку можно рассмотреть как нормальное давление, которое обусловлено общим сопротивлением сооружения в направлении осей x и y . В данном случае считается, что оно условно приложено к проекции здания или сооружения на плоскость, перпендикулярную соответствующей оси.

Таким образом, нормативное значение ветровой нагрузки (w) определяется, как сумма средней (w_m) и пульсационной (w_p) составляющих:

$$w = w_m + w_p \quad (1)$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки (w_m) на высоте z над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c \quad (2)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления;

k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

c – аэродинамический коэффициент.

В зависимости от ветрового района, нормативное значение ветрового давления (w_0) принимают по данным таблицы 5 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Нагрузки и воздействия от ветра можно разделить на два типа [7]:

- первый тип – это воздействия, которые связаны с непосредственным действием на здания и сооружения максимальных ураганных ветров, характерных для места строительства;

- второй тип – это воздействия, которые вызывают интенсивные аэроупругие и неустойчивые изгибные, крутильные и изгибно-крутильные колебания.

Воздействия второго типа являются причиной возникновения вихревых возбуждений. Следствием этого является то, что их относят к зданиям, у которых высота намного превышает поперечный размер. Из-за учета действия этой нагрузки и, как следствие, усложнения расчета, важным становится изучение расчетов высотных зданий на ветровую нагрузку, так как во многих городах мира в последнее время наблюдается рост строительства одновременно и высоких, и узких зданий [8].

Существует два основных типа ветровых помех, вызванных небоскребами. Они в совокупности вызывают высокую скорость ветра на уровне улицы:

- Эффект нисходящей тяги, возникающий, когда отдельное здание распространяет встречный ветер во всех направлениях. Ветер, смещенный вниз по направлению к улице, ускоряется, поскольку он ограничен небольшими пространствами между зданиями.
- Эффект воронки, возникающий, когда вдоль обеих сторон улицы построено много высоких зданий, имитирующих естественный каньон. Его вызывает сочетание высокой скорости ветра, турбулентности и шума.

Действия, получаемые в ходе появления этих эффектов, не только мешают во время повседневной жизни, например, затрудняют ходьбу пешеходов, но и повышают риск пагубного воздействия ускоренных потоков на конструкцию зданий и сооружений. Высокие здания подвержены динамическому возбуждению под воздействием ветра [9]. Оно обычно определяет конструкцию с точки зрения прочности, устойчивости и удобства обслуживания. Динамическая реакция высотных зданий на ветровую нагрузку зависит от массы, жесткости конструкции, деформирования и архитектурной формы. Уменьшить влияние ветровой нагрузки на высотное

здание можно с помощью проектирования аэродинамически выгодной формы здания, дополнительно с помощью нее уменьшив и вес конструкции.

Для высотных зданий средняя скорость ветра увеличивается с высотой, а порывистость или различные комбинации вихрей (круговое движение ветра) уменьшается с высотой [10]. Воздействие турбулентности (сильные, повторяющиеся порывы ветра) может повлиять на высокие здания или башни. Удары, скачки и вихревые потоки могут вызвать реакцию на боковой ветер.

Высотные здания часто проектируются прямоугольными или квадратными в сечении, но в последнее время проектируют высотные здания нестандартных форм (круглой, овальной, сложного сечения). Однако, при изменении формы меняется и ветровая нагрузка на сооружение. Так, когда здание квадратной формы попадает в поле действия ветрового потока, он изменяется следующим образом (рис.1, а): в точке С скорость потока становится равной 0, его разделение происходит в углах А и В наветренной стороны. Вблизи зон разделения сильные напряжения сдвига приводят к образованию значительных завихрений. Иначе происходит разделение ветрового потока зданий круглой формы (рис.1, б).

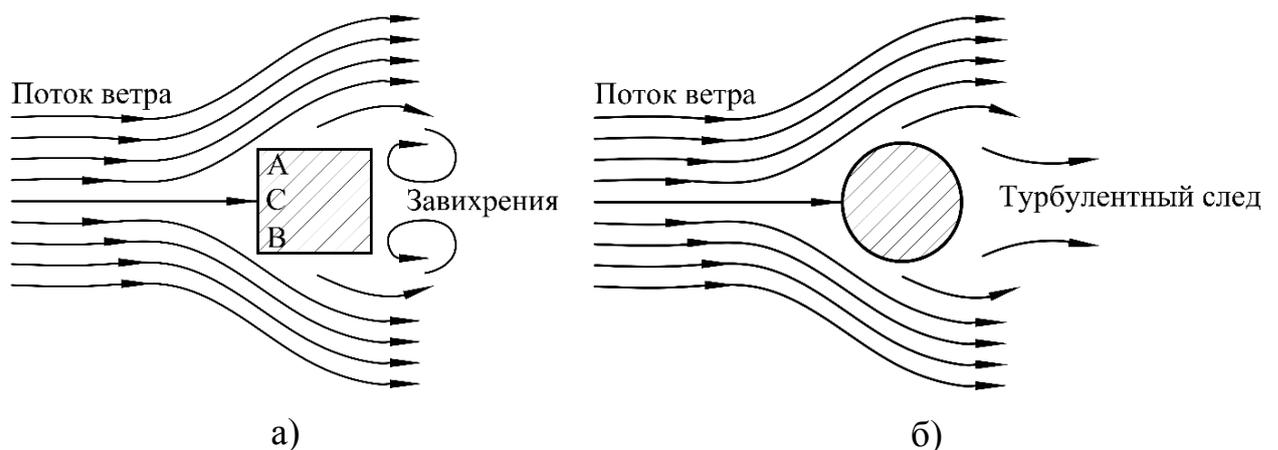


Рис. 1. Воздействие воздушного потока на здание: а) квадратной формы в плане; б) круглой формы в плане (авторская разработка)

В этом случае завихрения после разделения потока имеют минимальный характер из-за аэродинамически обтекаемой формы здания. Можно провести сравнение трех форм здания. Получим, что круглая форма здания в плане имеет меньший момент сопротивления от порывов ветра и от силы сопротивления. Эти параметры выше в случае квадратной и прямоугольной формы здания из-за большей угловатости. Следовательно, здания круглой формы в плане имеют более высокую силу сопротивления (рис.2, 3).

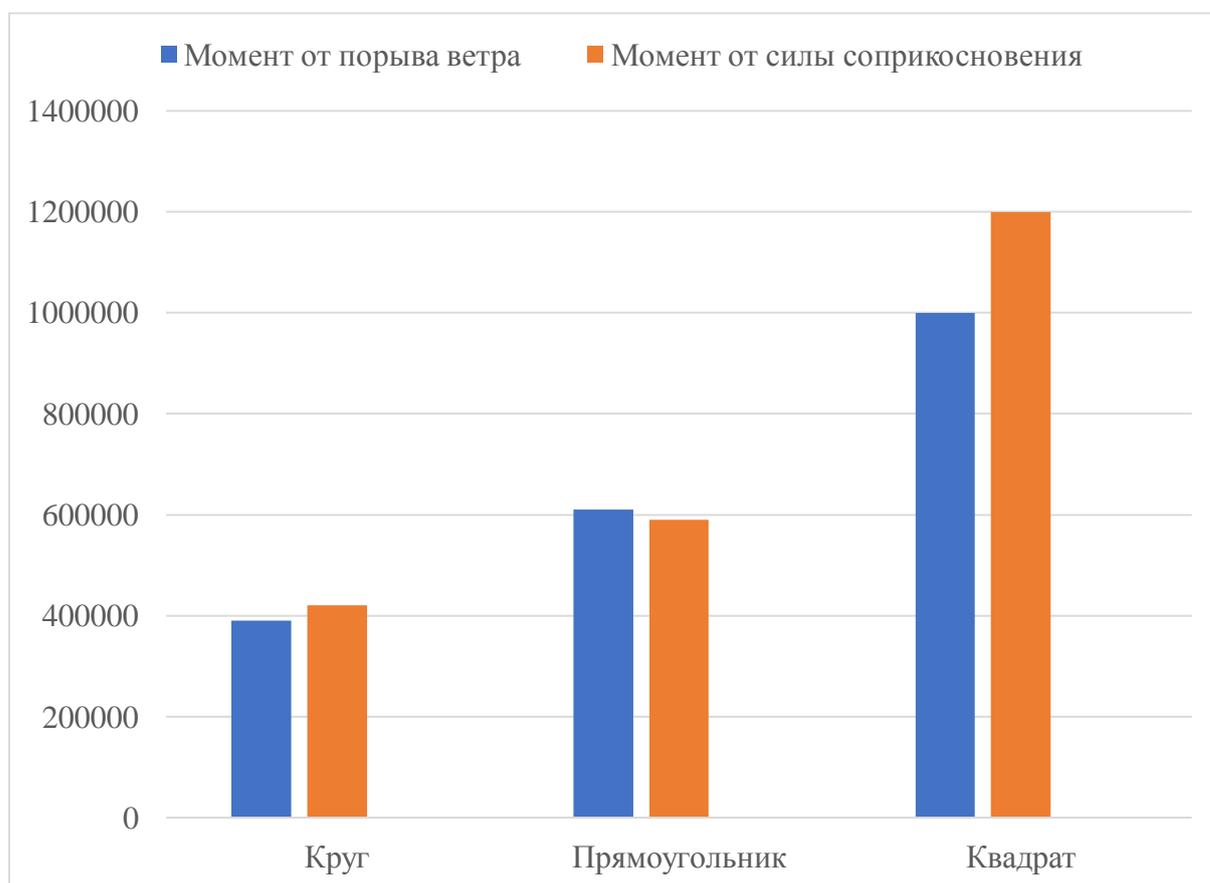


Рис. 2. Изменение момента от действия ветровой нагрузки для различных форм зданий (кН·м) (авторская разработка)

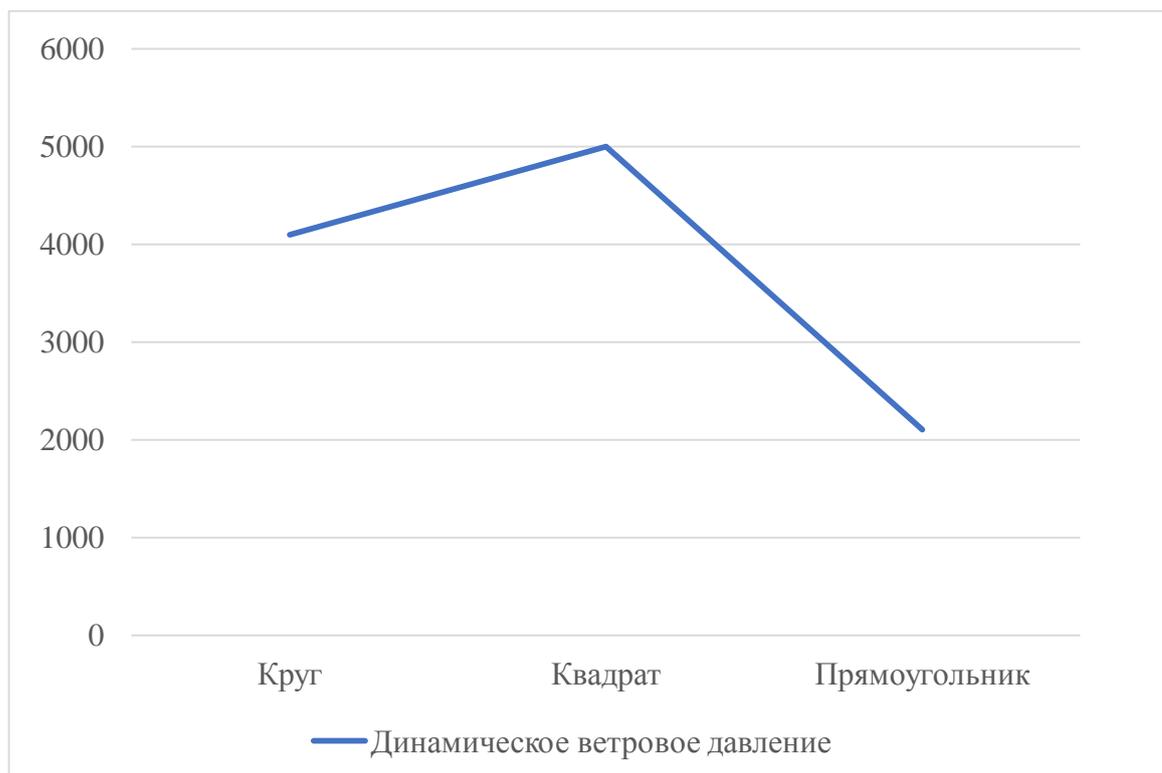


Рис. 3. Максимальное динамическое ветровое давление воздуха на здания различной формы в плане (Па) (авторская разработка)

Из полученных результатов было установлено, что:

- Коэффициент давления ветра максимален в случае квадратной и прямоугольной формы здания в плане и минимален в случае круглой формы плана высотного здания.
- Круглая форма зданий в плане намного лучше по сравнению с другой формой здания из-за снижения как коэффициента давления ветра, так и общей силы сопротивления здания ветровой нагрузке.

Подводя итог, можно сделать вывод, что ветровая нагрузка существенно изменяется в зависимости от формы строящегося здания. Учитывая ее, можно как снизить нагрузки на здание, так и улучшить условия эксплуатации сооружения и увеличить его срок службы.

Литература

1. Труфанов Е.В., Осадчий А.С. Анализ ветровых воздействий на здания сложной формы // Молодой исследователь Дона. 2018. №6 (15). С. 67-74.
2. Пашков Д.Е., Варибрус Д.С. Вычисление ветровых воздействий путем применения CFD моделирования // Инновационная наука. 2019. №12. С. 206-208.
3. Сойту Н.Ю. Влияние ветровых нагрузок на конструирование высотных зданий // Modern Science. 2020. № 2-1. С. 393-396.
4. Хроменок Д.В., Зеленский И.Р., Деревцова К.В. Анализ влияния ветровой нагрузки на проектирование высотных зданий // Перспективы науки. 2019. № 10 (121). С. 47-49.
5. Димукашева Г.Т. Воздействие ветровых нагрузок на высотные здания и сооружения // Студенческий вестник. 2019. №44-4 (94). С. 73-74.
6. Сухарев Ф.И., Иваненко Н.А., Семенов С.Ю. Реакция здания с кинематической системой сейсмоизоляции на ветровое воздействие и ее анализ средствами Лира-САПР // Инженерный вестник Дона, 2021, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6794.
7. Гиясов А.И. Тепло-ветровой режим городского каньона, взаимосвязь его с воздушной средой помещений // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/473.
8. Proskurin A.Yu., Zheglova Ju.G. Ansys CFX study of aerodynamic characteristics during blade profile rotation. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Т. 17. № 4. pp. 153-160.
9. Li H., Wang X., Sodoudi S., Zhou Y., Li X., Meng L., Wu S. The Science of the Total Environment. 2018. V. 624. С. 262-272.
10. Valger S.A., Fedorova N.N. CFD methods in architecture and city planning В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Collection of Materials of the



International Scientific Conference MMSA-2019. Moscow State University Of Civil Engineering (National Research University). 2019. p. 012124.

References

1. Trufanov E.V., Osadchij A.S. Molodoj issledovatel' Dona. 2018. №6 (15). pp. 67-74.
2. Pashkov D.E., Varibrus D.S. Innovacionnaya nauka. 2019. №12. pp. 206-208.
3. Sojtu N.YU. Modern Science. 2020. № 2-1. pp. 393-396.
4. Hromenok D.V., Zelenskij I.R., Derevcova K.V. Perspektivy nauki. 2019. № 10 (121). pp. 47-49.
5. Dimukasheva G.T. Studencheskij vestnik. 2019. №44-4 (94). pp. 73-74.
6. Suharev F.I., Ivanenko N.A., Semenov S.YU. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6794.
7. Giyasov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/473.
8. Proskurin A.Yu., Zheglava Ju.G. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. T. 17. № 4. pp. 153-160.
9. Li H., Wang X., Sodoudi S., Zhou Y., Li X., Meng L., Wu S. The Science of the Total Environment. 2018. V. 624. pp. 262-272.
10. Valger S.A., Fedorova N.N. Collection of Materials of the International Scientific Conference MMSA-2019. 2019. p. 012124.