УДК 624.131.042

Рапина К. А., к.т.н. (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова)

ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В работе установлено, что наблюдается стабильная тенденция увеличения среднегодовой скорости ветра во всем мире. Вследствие этого проанализирована нормативная документация Украины, ЕС, США, Австралии, регламентирующая ветровые воздействия на здания и сооружения, на предмет учета данных изменений
***Ключевые слова*: скорость ветра, пульсация, циклон, ураган, флаттер, аэродинамические неустойчивые колебания.**

Ветер – динамическая нагрузка и источник вибраций конструкций. Для высоких сооружений и зданий, большепролетных конструкций, мостов ясное представление о структуре ветра, законах распространения, интенсивности, частоте сильных ветров, порывистости является обязательным условием проектирования.

Целью настоящей работы является анализ изменений активности ветровых воздействий и их отражение в нормативной документации Украины, ЕС, США и Австралии, регламентирующей ветровые воздействия на здания и сооружения.

Наиболее разрушительными по своей силе являются тропические циклоны, иногда движущиеся со скоростью более 50 м/с. Такие ураганы причиняют колоссальные разрушения и уносят сотни и тысячи человеческих жизней.

Основные районы возникновения тропических циклонов составляют семь фактически обособленных непрерывных зон, которые имеют название бассейнов. Наиболее исследованным является Атлантический бассейн. При этом с 1995 г. наблюдается рост количества атлантических тропических штормов, и на данный момент среднегодовой показатель составляет – 87 ± 10. Однако установить глобальную тенденцию затруднительно, ввиду отсутствия исторических данных относительно некоторых бассейнов, особенно Южного полушария. Также, существующие данные указывают на увеличение количества ураганов максимальной силы. Так в период с 1975 г. по 2005 г. энергия ураганов выросла примерно на 70%, при этом на 15% увеличилась максимальная скорость ветра и на 60% – средняя продолжительность жизни

тропических циклонов. По данным [1] скорость ветра самых сильных тропических циклонов увеличилась с 63 м/с в 1981 г. до 70 м/с в 2006 г.

Другой заметной тенденцией является увеличение финансовых убытков от тропических циклонов, в частности на побережье Атлантического океана, где с 1990 г. случились 5 из 10 самых разрушительных ураганов (таблица).

Таблица

Полные убытки самых «дорогих» ураганов США

№ п/п	Название урагана	Год	Полные убытки нормализованные на доход (USD)
1	Miami	1926	157 млрд
2	Katrina	2005	99,4 млрд
3	Galveston	1900	81 млрд
4	Galveston	1915	68 млрд
5	Andrew	1992	55,8 млрд
6	New England	1938	39,2 млрд
7	Cuba–Florida	1944	38,7 млрд
8	Okeechobee	1928	33,6 млрд
9	Ike	2008	26,8 млрд
10	Donna	1960	21,2 млрд

Способны вызвать значительные разрушения не только тропические циклоны. Практически на любой территории отдельные порывы ветра в сочетании с другими факторами могут повредить конструкции зданий и сооружений, или вызвать их стремительное обрушение. Например, как это случилось с мостом Такома-Нарроуз в 1940 году [2]. Авария, которая привела к разрушению центрального пролета моста (рис. 1), произошла при скорости ветра равной 18 м/с. Распространено мнение, что причиной аварии являлся механический резонанс. Однако истинной причиной стал аэроупругий флаттер (динамические крутильные колебания), обрушение произошло из-за не учёта данного явления при проектировании сооружения, мост был запроектирован и рассчитан на действие статических нагрузок, в том числе и ветровой, при этом аэродинамическое действие ветра учтено не было.

Исходя из выше представленных материалов, особо актуальным является определение особенностей ветровых воздействий на протяжении всего срока эксплуатации зданий и сооружений, тем более что для особо ответственных срок службы составляет более 100 лет. При этом необходимо учитывать не только существующие данные о ветровых нагрузках, но и прогнозы их изменения.

Рис. 1. Авария моста Такома-Нарроуз

Ранее уже указывалось на увеличение силы тропических циклонов, которое наблюдается в последние 30÷40 лет. Однако значительное увеличение среднегодовой скорости ветра прогнозируется в ближайшие 50 лет на всей территории нашей планеты (рис. 2) [3] , при этом необходимо учитывать, что увеличение средней скорости ветра обязательно приводит к увеличению его максимальной скорости. Это подтверждаются прогнозами для Северной Европы представленными в работах [4], [5] и [6], и для Центральной Европы [7].

В целом выдвигаются предположения о связи активности ветра с глобальным потеплением. Это подтверждают исследования Лаборатории геофизической гидродинамики NOAA и Международной экспертной группы по вопросам изменения климата. Важной проблемой в определении возможного эффекта глобального потепления является несоответствие наблюдаемого увеличения силы ветра и прогнозируемой величины этого увеличения из-за повышения температуры [1]. По данным компьютерного моделирования, потепление на 2 °С, замечен-

ное за последнее столетие, должно было бы привести к увеличению силы тропических циклонов на 10% по индексу потенциальной силы разрушений, тогда как наблюдаемое увеличение индекса составляет 75-120%.

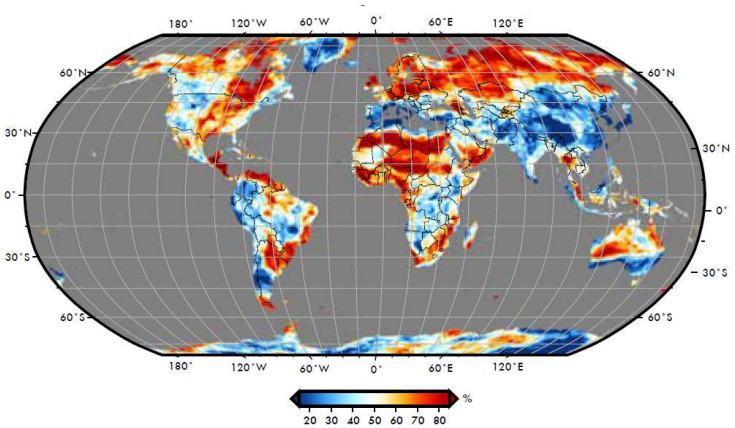

Рис. 2. Карта увеличения среднегодовой скорости ветра к 2050 г.

Проанализируем, как находит отражение изменения активности ветра в нормативной литературе Украины, ЕС, США и Австралии по определению ветровых нагрузок на здания и сооружения.

Действие ветра на здания и сооружения проявляется в виде давления, которое зависит от скорости ветра и его пульсаций. Сила и характер ветра определяется климатическими условиями и рельефом местности.

Для определения расчетных характеристик ветра используют метеорологические данные. На основе, которых устанавливается районирование территорий и определяется базовая скорость ветра.

В настоящее время наблюдение за ветром ведут метеорологические станции, используя современные высокоточные приборы, которые устанавливают на высоте 10 м. При использовании данных о скорости ветра необходимо знать, к какому времени осреднения относятся результаты наблюдений, потому что величина средней скорости сильно зависит от данного критерия. В результате многолетних наблюдений и правильной их оценки с помощью статистической обработки получают данные о действительной величине скорости ветра в каждом конкретном районе, на основе которых устанавливают базисные значения

скорости ветра.

Вследствие турбулентности воздушного потока скорость и направление в той или иной мере колеблются. С ростом высоты над поверхностью земли влияние силы трения уменьшается, что приводит к повышению скорости ветра (рис. 3).

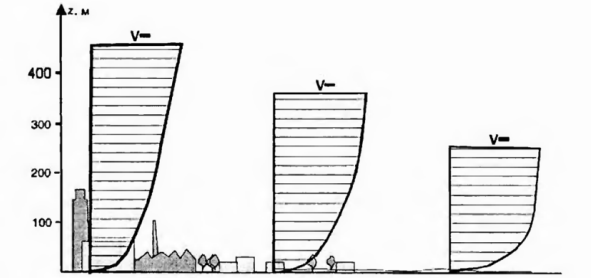

Рис. 3. Изменение скорости ветра в зависимости от высоты над поверхностью земли [8]

Рост скорости ветра с высотой, влияние пульсаций и особенностей местности в расчетах при определении ветрового давления учитывается в нормативных документах различными коэффициентами.

В Украине замена СНиП 2.01.07-85* [9] на ДБН В.1.2-2:2006 [10], привела не только к увлечению базисных значений ветрового давления на 13÷25%, но и к повышению коэффициентов, учитывающих возрастание силы ветра по высоте. Эти коэффициенты будут существенно увеличены и при запланированном переходе к EN 1991-1-4:2005 [11]. В целом унифицированные европейские нормы имеют более жесткие требования к определению ветровой нагрузки по сравнению с ранее действовавшими национальными стандартами стран ЕС.

В США существует шестилетний цикл обновления стандарта по определению нагрузок. С 2010 г. введен в действие ASCE 7-10 [12], при этом для районов восточного побережья и побережья Мексиканского залива базовая скорость ветра по сравнению с ASCE 7-5 [13] увеличена на 8÷28% для объектов повышенного уровня ответственности. Увеличение ветровой нагрузки выполнено после анализа данных последних ураганов.

Анализ данных австралийских норм (AS1170.2-1973, AS/NZS1170.2:2002) [14] показывает, что с 1973 г. по 2002 г. только нормируемое значение базовой скорости выросло в среднем на 20 ÷ 30% (в отдельных районах до 90%).

Таким образом, преимущественно наблюдается систематическое увеличение ветровых нагрузок при обновлении нормативной докумен-

тации, основанное на более глубоком анализе существующих метеорологических данных. Однако, несмотря на это, прогнозируемое в будущем увеличение силы ветра вследствие изменения климата при проектировании зданий и сооружений практически не учитывается. Да и в целом регулярное увеличение расчетных нагрузок приводит к существенному удорожанию строительства зданий и сооружений (особенно высотных и большепролетных), при этом, не обеспечивая их абсолютную надежность. Также существенным недостатком нормативных документов является ограниченность рекомендаций по учету ветровых воздействий, вызывающих аэродинамические неустойчивые колебания.

Исходя из выше представленного, считаем, что альтернативным направлением повышения уровня надежности зданий и сооружений может являться разработка и создание систем мониторинга и управления конструктивной безопасностью строительных объектов. Задачами таких систем должны быть не только фиксация нагрузок и реакций конструкций, но и управление состоянием конструкций с целью предупреждения аварийных ситуаций.

1. Тропический циклон [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org. **2.** Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. – Москва : Издательство литературы по строительству, 1972. – 111 с. **3.** Climate change effects on wind speed [Электронный ресурс] / S. Eichelberger, J. McCaa, B. Nijssen, A. Wood // North American Windpower. – 2008. Режим доступа: http://www.nawindpower.com. **4.** Climate change impacts on wind energy: A review / S. C. Pryor, R. J. Barthelmie // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010 – Volume 14, Issue 1. – P. 430–437. **5.** Extreme wind storms over Europe in present and future climate: a cluster analysis approach / C. Leckebusch, A. Weimer, J. G. Pinto, M. Reyers, P. Speth // Meteorologische Zeitschrift, 17 (1) (2008). – Pp. 67–82. **6.** Analyses of the potential climate change impact on wind energy resources in northern Europe using output from a Regional Climate Model / S. C. Pryor, R. J. Barthelmie, E. Kjellström // Climate Dynamics, 25 (2005). – Pp. 815–835. **7.** Regional climate model estimates for changes in Nordic extreme events / L. Makkonen, L. Ruokolainen, J. Raisanen, M. Tikanmaki // Geophysica, 43 (2007). – Pp. 19–42. **8.** Гордеев В. Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин. – Москва : АСВ, 2007. – 482 с. **9.** СНиП 2.01.07-85*: Нагрузки и воздействия. – М. : ЦИТП, 1986. – 36 с. **10.** ДБН В.1.2-2:2006: Нагрузки и воздействия. – Киев : Минстрой Украины, 2006. – 78 с. **11.** EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions – Wind actions. – Brussels : CEN, 2010. – 147 p. **12.** ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Buildings. – American Society of Civil Engineers, 2010. – 650 p. **13.** ASCE 7-5: Minimum Design Loads for Buildings. – American Society of Civil

Engineers, 2004. – 376 p. **14.** Impact of climate change on design wind speed in cyclonic regions [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.abcb.gov.au.

Рецензент: д.т.н., проф. Кондращенко Е. В. (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова)

Rapina K. A., Candidate of Engineering (Kharkiv National University of Municipal Economy named after AN Beketov)

CHANGES IN ACTIVITY OF WIND EFFECTS AND THEIR REFLECTION IN THE STANDARD DOCUMENTATION

The paper found that there is a stable tendency of increase in average wind speed in the world. Consequently, the analyzed normative documents of Ukraine, the EU, the US, Australia, which regulates the wind effects on buildings and structures, accounting for these changes
***Keywords*: wind speed, pulsation, cyclone, hurricane, flutter, aerod-?namic unstable oscillations.**

Рапіна К. А., к.т.н. (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова)

ЗМІНИ АКТИВНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ ТА ЇХ ВІДОБРАЖЕННЯ В НОРМАТИВНІЙ ДОКУМЕНТАЦІЇ

У роботі встановлено, що спостерігається стабільна тенденція збільшення середньорічної швидкості вітру у всьому світі. Внаслідок цього проаналізована нормативна документація Україна, ЄС, США, Австралії, яка регламентує вітрові впливи на будівлі та споруди, на предмет врахування даних змін
***Ключові слова*: швидкість вітру, пульсація, циклон, ураган, флаттер, аеродинамічні нестійкі коливання.**