

Оценка ветровой нагрузки на рекламные щиты

Р.В. Шарапов¹

¹Владимирский государственный университет, Муромский институт, Орловская 23, Муром, Россия, 602264

Аннотация. Ветровая нагрузка - это давление ветра на наветренные стороны сооружений (дома, краны, мачты, рекламные щиты, опоры линий электропередач и т.п.). Существует множество примеров аварий сооружений из-за сильных порывов ветра, что на примере показывает важность учета ветровой нагрузки при расчетах сооружений. Целью исследования являлась оценка фактического состояния конструкции рекламного щита и составление на основании результатов обследования заключения о пригодности к нормальной дальнейшей эксплуатации. В работе приведены выражения для определения максимальной полной ветровой нагрузки, напряжения и прогиба в металлической опоре щита. Приведены расчеты рекламного щита, обладающего достаточной прочностью и жесткостью. Дан расчет необходимого минимального диаметра рекламной стойки.

1. Введение

Действие ветра на любого вида сооружения проявляется в виде ветровой нагрузки [1, 2]. Ветровая нагрузка – это давление ветра на наветренные стороны сооружений (дома, краны, мачты, рекламные щиты, опоры линий электропередач и т.п.) [3, 4, 5]. Определяется наибольшей скоростью ветра за выбранный более или менее длительный период времени [6, 7]. Недостаточность знаний о действии ветровой нагрузки, приводила к падению строительных кранов, обрушению мостов, высоких зданий, опор линий электропередач и других крупногабаритных высоких объектов [8, 9, 10]. Основными причинами разрушений были ошибки в задании величины расчетной ветровой нагрузки, неправильное представление о поведении ее распределения по конструкции исследуемого объекта, недостаточный учет аэродинамических характеристик и вибрация конструкций [11, 12, 13].

Если известна скорость ветра, вероятность ветров различной силы, может быть установлено действие ветра на исследуемое сооружение [14]. Ветер - это динамическая нагрузка, так как скорость его имеет свойство, меняется все время [15]. Реакция сооружения на ветер будет различной, жесткие конструкции воспринимают ее обычно, как статическую. Влияние порывов ветра зачастую оценивают динамическим коэффициентом [16].

Для высоких сооружений учет ветровой нагрузки является одним из самых основных [17, 18]. При расчете напряженно-деформированного состояния высоких крупногабаритных конструкций нужны более детальные сведения о ветре в месте предполагаемого строительства, чем предложенные в нормативных документах. Существует карта районирования территорий каждой из стран по интенсивности ветровой нагрузки [19].

Ветровая нагрузка на сооружения зачастую зависит не только от габаритов сооружения и скорости ветра, но и от конструктивной формы, которые оцениваются аэродинамическими коэффициентами.

Лишь ясное физическое представление о действии ветра на сооружения, для познания которого привлечены и смежные научные дисциплины, такие как прикладная климатология, механика, математическая статистика, теория колебаний, может гарантировать правильность расчета сооружений.

Ниже представлены последствия неправильно учтенной ветровой нагрузки в расчетах сооружений [20]:

1) Мост через реку Волгу, как оказалось, не был испытан на ветровую нагрузку. Причиной возникновения колебаний пролетных строений моста оказался ветровой резонанс. Амплитуда колебаний составила около 0,5 метра, а скорость ветра была в районе 15-17 метров в секунду.

2) В Советском районе Красноярска упал башенный кран. В результате падения крана были смяты 9 легковых автомобилей, естественно не обошлось и без жертв.

3) В Нижнем Новгороде на строительной площадке из-за порывистого ветра упал башенный кран.

Существует множество примеров аварий сооружений из-за сильных порывов ветра, что на примере показывает важность учета ветровой нагрузки при расчетах сооружений.

Начиная с начала 90-х годов XX века, в России формируется рынок рекламных услуг, одно из направлений которого является наружная реклама (установка рекламных сооружений). Анализ эксплуатируемых рекламных сооружений показывает на низкое качество проектирования, производства и эксплуатации. Имеются случаи отказа и аварий (июнь 1998г., ноябрь 2008г. в Москве, январь 2007г. в Калининграде, июнь 2007г. в Казани и др.), ущерб от которых, в некоторых случаях, составлял до 15-20% от их общего количества. Анализ конструктивных форм рекламных сооружений показывает, что ветровая нагрузка является определяющей при их расчете. Существующие отечественные нормативные документы не рассматривают подобные сооружения и не учитывают специфику конструктивной формы рекламных сооружений [21].

Рекламные конструкции, установленные на многолюдных улицах, - весьма ответственные сооружения, которые должны отвечать всем требованиям надежности и безопасности современных норм строительного проектирования. Ветер создает комфортные условия среды обитания, но ветровая нагрузка может создавать угрозу для жизни живых существ и угрозу разрушений для конструкций и сооружений.

Одним из основных воздействий на наружные рекламные и информационные конструкции является ветер. Любая наружная реклама, будь то отдельно стоящий щит, крышная установка или вывеска, украшающая фасад здания, должна изготавливаться и устанавливаться с обязательным учетом воздействия на нее ветровых нагрузок. Это поможет избежать печальных последствий и несчастных случаев в итоге обрушения рекламных конструкций, а также оградят рекламодателей от существенного материального ущерба.

Возможный материальный ущерб при разрушении рекламной конструкции, включает в себя повреждения мобильных товарно-материальных ценностей - автомобилей и зданий, сооружений, находящихся в зоне обрушения.

Возможный нематериальный ущерб при возникновении включает в себя затраты связанные с нарушением репутации владельца и причинением вреда здоровью людям находящимся в зоне обрушения, например на остановочном павильоне [21].

Для получения корректных данных необходимо владеть информацией о точном месторасположении рекламной установки, типе местности, её габаритных размерах, высоте над поверхностью земли, и монтажной схеме.

Широко используемой формой рекламных конструкций является конструкция, состоящая из опорных стоек и рекламного щита. Определяющим критерием несущей способности данных рекламных конструкций, как показывает опыт их эксплуатации, является несущая способность их опорной стойки, а наиболее распространенной формой их разрушение потеря прочности опорных стоек [20].

Целью исследования являлась оценка фактического состояния конструкции рекламного щита и составление на основании результатов обследования заключения о пригодности к нормальной дальнейшей эксплуатации.

2. Расчет ветровой нагрузки

Рассмотрим для примера рекламный щит, упавший в городе Муроме. Рекламный щит высотой 5 м был установлен на монолитном железобетонном фундаменте мелкого заглубления. Общая площадь рекламной вывески 8 м². (см. рис. 1):

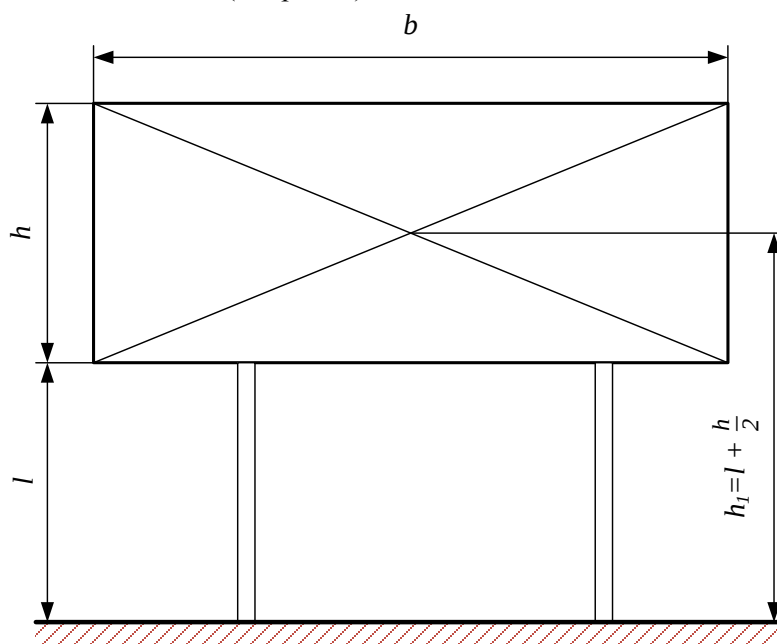


Рисунок 1. Габариты рекламного щита.

Стойки рекламного щита выполнены из стальной трубы диаметром 100 мм с толщиной стенки 5 мм. Геометрические характеристики сечения трубы:

- наружный диаметр трубы $D = 100$ мм;
- внутренний диаметр трубы $d = 90$ мм;
- площадь сечения

$$A_{bl} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] = 14,9 \text{ см}^2;$$

- момент сопротивления сечения

$$W_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] = 33,75 \text{ см}^3;$$

- момент инерции сечения

$$I_x = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] = 168,7 \text{ см}^4.$$

Динамическое давление ветра на поверхность рекламного щита определяется по формуле:

$$f = \frac{r \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

где $r = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; v – скорость ветра, действующая на поверхность рекламного щита (для I-го ветрового района на высоте до 8 метров $v = 19,5 \text{ м/с}$).

Тогда, подставив числовые данные, получим:

$$f = \frac{1,225 \cdot 19,5^2}{2 \cdot 9,81} = 23,74 \text{ кгс / м}^2.$$

Максимальная полная ветровая нагрузка на наветренную максимальную поверхность A_b рекламного щита:

$$F_{\max} = f \cdot A_b \cdot n \cdot c,$$

где A_b – площадь щита; $c = 1.2$ – аэродинамический коэффициент поверхности; $n = 1.5$ – коэффициент, учитывающий динамическую составляющую ветровой нагрузки.

Тогда, подставив числовые данные, получим значение максимальной полной ветровой нагрузки для максимальной наветренной поверхности рекламного щита $A_b = 8 \text{ м}^2$:

$$F_{\max} = 23.74 \cdot 8 \cdot 1.5 \cdot 1.2 = 341.8 \text{ кгс}.$$

Изгибающий момент в сечении одной стойки в месте ее сопряжения с фундаментом составляет:

$$M = \frac{F_{\max} \cdot h_1}{2}$$

где h_1 расстояние от центра щита до сопряжения стойки с фундаментом.

$$M = \frac{341,8 \cdot 4}{2} = 683,7 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Напряжение в металле стойки от ветровой нагрузки:

$$\sigma = \frac{k \cdot M}{W_x} = 2633.6 \text{ кгс / см}^2.$$

$2633.6 \text{ кгс / см}^2 > 2100 \text{ кгс / см}^2$ [22].

Таким образом, условие прочности не выполняется.

На стойку щита действуют (см. рис.2):

- сила тяжести щита и собственный вес стойки;
- изгибающий момент от ветровой нагрузки в сопряжении щита и стойки;
- ветровая нагрузка со стороны щита.

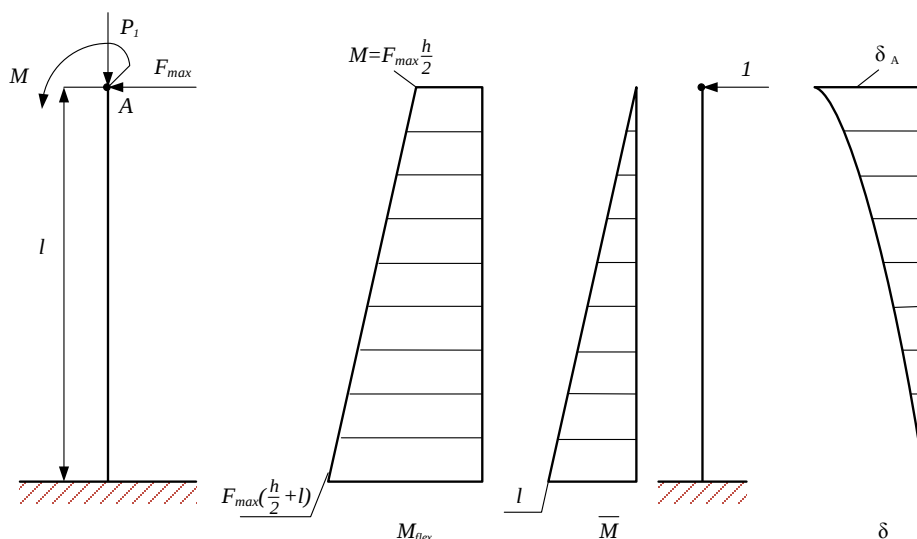


Рисунок 2. Определение движения в разрезе поперечного сечения рекламного щита и стойки.

Прогиб в сопряжении щита и стойки равен:

$$\delta = \frac{F_{\max} \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I_x} \left[\frac{3 \cdot h}{4} + 2 \cdot l \right],$$

где E – модуль упругости первого рода, зависит от материала стойки. Материал стойки щита - СТ-3, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; I_x – геометрическая характеристика поперечного сечения стойки.

Численное значение прогиба $\delta = 5,7$ см.

Определим перемещение сечения стойки в месте сопряжения щита в осевом направлении. Перемещение сечения А равно:

$$\Delta l = \frac{P_1 \cdot l}{E \cdot A_{bl}}.$$

Вес рекламного щита:

$$P_1 = 350 - 2 \cdot \gamma \cdot A_{bl} \cdot l = 140,15 \text{ кг} = 1401,5 \text{ Н}.$$

Численное значение перемещения сечения А для нашего случая по оси стойки:

$$\Delta l_A = \frac{1401,5 \cdot 3000}{2 \cdot 10^5 \cdot 1490} = 0,0141 \text{ мм}.$$

Тогда полное отклонение:

$$f = \sqrt{\delta_A^2 + \Delta l_A^2}$$

$$f \approx 5,7 \text{ см}.$$

Максимально допустимое отклонение рекламного щита составляет 2,4 см [23]. Таким образом, установленная стойка для рекламного щита не обладает достаточной прочностью и жесткостью и не подходит для нормальной работы.

3. Расчет конструкции рекламного щита, обладающей достаточной прочностью и жесткостью

Проведем расчет стойки рекламного щита, обладающей достаточной прочностью и жесткостью. Из условия прочности определяем необходимые размеры поперечного сечения стойки:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma].$$

Тогда

$$\frac{k \cdot M}{W_x} \leq [\sigma]$$

Подставляя значения переменных, получим

$$\frac{1,3 \cdot 32 \cdot M}{\pi \cdot D^3 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]} \leq [\sigma]$$

Решая уравнение, получим выражение для определения внутреннего диаметра стойки

$$d \leq \sqrt[4]{D^4 - \frac{1,3 \cdot 32 \cdot M \cdot D}{\pi \cdot [\sigma]}}.$$

Таким образом, выбирая наружный диаметр стойки D, мы можем определить требуемый внутренний диаметр d. Таким образом, с наружным диаметром стойки D=100 мм:

$$d \leq 8,7 \text{ см}.$$

Из условия жесткости мы определяем необходимые размеры поперечного сечения стойки:

$$\delta_{\max} \leq [\delta].$$

Тогда

$$\frac{F_{\max} \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I_x} \left[\frac{3}{4} h + 2 \cdot l \right] \leq [\delta].$$

Подставляя значения I_x , получаем:

$$\frac{F_{\max} \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left(1 - \frac{d^4}{D^4} \right)} \left[\frac{3}{4} h + 2 \cdot l \right] \leq [\delta].$$

Подобно предыдущему, решая уравнение, получаем выражение для определения внутреннего диаметра стойки:

$$d \leq \sqrt[4]{D^4 - \frac{64 \cdot F_{\max} \cdot l^2}{6 \cdot \pi \cdot E \cdot [\delta]} \cdot \left[\frac{3}{4}h + 2 \cdot l \right]}$$

$$d \leq 6.5 \text{ см.}$$

Часто при изготовлении рекламных щитов трудно найти трубу с требуемым диаметром и толщиной стенки. По этой причине можно выбрать другой подход к повышению надежности. Необходимо увеличить диаметр трубы, поддерживая постоянную толщину стенки трубы. Оставим толщину стенки x равной 5 мм. В этом случае внутренний диаметр стойки $d = D - 10$ мм. Затем, изменяя значение диаметра, мы можем вычислить значение отклонения:

$$\delta = \frac{4 \cdot F_{\max} \cdot l^2}{3 \cdot E \cdot \pi \cdot x \cdot (D^3 - 3 \cdot D^2 \cdot x + 4 \cdot D \cdot x^2 - 2 \cdot x^3)} \cdot \left[\frac{3 \cdot h}{4} + 2 \cdot l \right]$$

График изменения отклонения в зависимости от внутреннего диаметра стойки показан на рис.3. Таким образом, с диаметром стойки $D > 125$ мм достигается достаточная устойчивость конструкции.

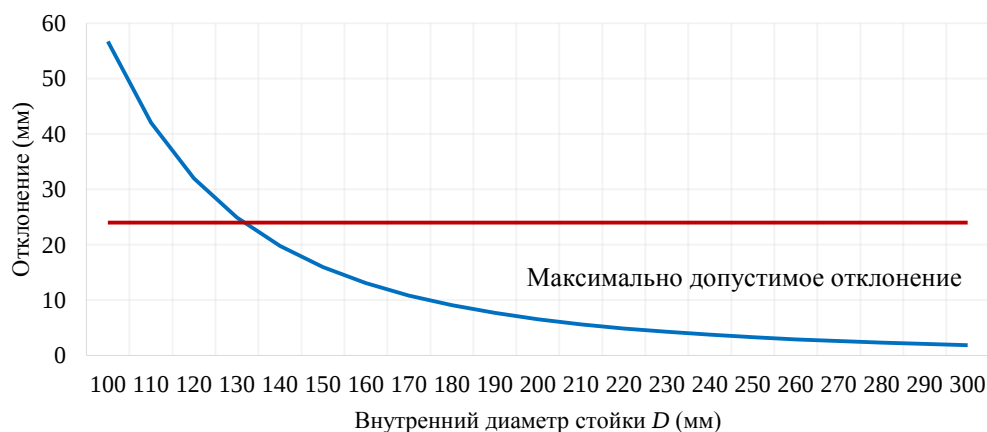


Рисунок 3. Определение движения в осевом направлении.

4. Заключение

Проведенные исследования позволяют рассчитать стойки рекламных щитов, которые могут выдерживать большие ветровые нагрузки. Полученные в работе выражения позволяют рассчитать максимальную полную ветровую нагрузку, напряжение и отклонение в металлической стойке опоры. Это позволяет оценить надежность конструкции рекламного щита.

Полученные в работе выражения, позволяют рассчитать минимальный диаметр стойки, обеспечивающий надежность рекламных щитов.

5. Литература

- [1] Sachs, P. Wind forces in engineering. – Pergamon Pres, 1978.
- [2] Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures // ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 67, Reston, Va, 1999.
- [3] Davenport, A.G. Wind Structure and Wind Climate, Safety of Structures under Dynamic Loading. – Trondheim. – 1977. – Vol. 1.
- [4] Simiu, E. Wind effects on structure – Fundamentals and applications to design / E. Simiu, R. Scanlan. – New York: John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [5] Reinhold, T.A. Wind loads and building response predictions using force-balance techniques / T.A. Reinhold, A. Kareem // Proc. 3rd ASCE Engineering Mech. Conf. – Dynamics of Structures, Univ. of California, Los Angeles, 1986.
- [6] Davenport, A.G. Gust loading factors // Journal of the Structural Division, ASCE. – 1967. – Vol. 93. – P. 11-34.

- [7] Zhou, Y. Gust loading factors for design applications / Y. Zhou, A. Kareem, M. Gu // Proc. 10th Int. Conf. on Wind Engineering, Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 169-176.
- [8] Tamura, Y. Wind load and wind-induced response estimations in RLB-AIJ1993 / Y. Tamura, H. Kawai, Y. Uematsu, H. Marukawa, K. Fuji, Y. Taniiko // Engineering Structures. – 1996. – Vol. 18(6). – P. 399-411.
- [9] Meriam, J.L. Dynamics, Engineering Mechanics / J.L. Meriam, L.G. Kraige. – John Wiley and Sons. – 1987. – Vol. 2.
- [10] Blocken, B. 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2014. – Vol. 129(6). – P. 69-102.
- [11] Stathopoulos, T. Wind pressures on roofs of various geometries / T. Stathopoulos, P. Saathoff // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1991. – Vol. 38. – P. 273-284.
- [12] Vickery, B.J. On the reliability of gust loading factors // Civil Engineering Transactions, I.E. Aust. – 1971. – Vol. 13. – P. 1-9.
- [13] Повзун, А.О. Ветровая нагрузка на здания и сооружения / А.О. Повзун, Н.И. Бузун, С.С. Зимин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – Т. 3, № 30. – С. 70-80.
- [14] Cook, N.J. The designer's guide to wind loading of building structures // Butterworths, London, 1985. – Part 1.
- [15] Kareem, A. Measurements of total dynamic loads from surface pressures // Proc. Int. Workshop on Wind Tunnel Modeling Criteria and Techniques, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Md., Cambridge University Press, 1982.
- [16] Zhou, Y. Equivalent static buffeting loads on structures / Y. Zhou, A. Kareem, M. Gu // Journal of Structural Engineering. – 2000. – Vol. 126(8). – P. 989-992.
- [17] Tschanz, T. The base balance technique for the determination of dynamic wind loads / T. Tschanz, A.G. Davenport // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1983. – Vol. 13. – P. 429-439.
- [18] Kareem, A. Fluctuating wind loads on buildings // Journal of the Engineering Mechanics Division. – 1982. – Vol. 108(6). – P. 1086-1102.
- [19] Paterson, D.A. Computation of wind flow over topography / D.A. Paterson, J.D. Holmes // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1993. – Vol. 46-47. – P. 471-476.
- [20] Хусаинов, Д.М. Расчет несущих элементов конструкций рекламных конструкций с использованием методов теории надежности / Д.М. Хусаинов, М.А. Дымолазов, С.А. Пеньковцев // Известия КГАСУ. – 2014. – Т. 4, № 30.
- [21] Козлов, М.В. Совершенствование методики расчёта рекламных сооружений на ветровую нагрузку. – Казань: Казан. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2009. – 159 с.
- [22] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

Assessment of wind load on billboards

R.V. Sharapov¹

¹Vladimir State University, Murom Institute, Orlovskaya street 23, Murom, Russia, 602264

Abstract. Wind load is the wind pressure on the windward sides of structures (houses, cranes, masts, billboards, power line supports, etc.). There are many examples of plant accidents due to strong gusts of wind, which, for example, shows the importance of taking wind load into account when calculating structures. The purpose of the work is to assess the actual state of the billboard design and make suggestions for its improvement for normal further operation. The work gives the calculation expressions of maximum total wind load, stress and deflection in the metal rack. Computation of billboard rack possessing sufficient strength and rigidity is described. Calculation of the required minimum diameter of the billboard rack is considered.