

УДК 624.012.3

УСИЛИЯ ОТ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕТРА НА ЗДАНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

© Виталий Сергеевич Кузнецов, Валерия Алексеевна Екимовская
МГСУ, Москва, Россия
KuznetsovVS@mgsu.ru
Lera.ek00@mail.ru

Аннотация. Пульсационная ветровая нагрузка является важной составляющей общей ветровой нагрузки, в значительной мере, влияющей на напряженно-деформированное состояние зданий и сооружений. На величину и траекторию действия пульсационной нагрузки влияют: вид ландшафта, условия застройки, конфигурация, жесткость здания и др. Влияние вида и величины пульсационной нагрузки изучалось на примере многоэтажных железобетонных каркасных зданий, высотой до 80 метров с различными пропорциями ветровой поверхности, что соответствует большинству типовых проектов жилых и гражданских зданий. В работе выявлялись и устанавливались корреляционные связи коэффициентов пульсации с высотой здания его формой. Для вертикальных элементов каркаса вычислялись усилия от действия пульсационной нагрузки, при различных формах ее представления. Сравнительный анализ показал неоднозначность результатов, допускающих возможность превышения или недогруженности конструкций зданий. Установление локальных участков зданий с возможными превышениями расчетных нагрузок позволяет прогнозировать расположение начальных очагов прогрессирующего разрушения.

Ключевые слова: железобетон, здания, элементы, фронтальная поверхность, коэффициент пульсации, ветровая нагрузка, анализ, усилия, ветер.

EFFORTS OF THE PULSATING WIND COMPONENT ON PRISMATIC BUILDINGS

© Vitaliy Sergeevich Kuznetsov, Valeria Alekseevna Ekimovskaya
MGSU, Moscow, Russia
KuznetsovVS@mgsu.ru
Lera.ek00@mail.ru

Abstract. Pulsating wind load is an important component of the overall wind load, which significantly affects the stress-strain state of buildings and structures. The magnitude and trajectory of the pulsation load are affected by: the type of landscape, building conditions, configuration, rigidity of the building, etc. The influence of the type and magnitude of the pulsation load was studied on the example of multi-storey reinforced concrete frame buildings, up to 80 meters high with different proportions of the wind surface, which corresponds to most typical residential and

civil building projects. In the work, correlations of pulsation coefficients with the height of the building and its shape were identified and established. For the vertical elements of the frame, the forces from the action of the pulsation load were calculated, with various forms of its representation. Comparative analysis has shown the ambiguity of the results, allowing for the possibility of exceeding or underloading the structures of buildings. The establishment of local sections of buildings with possible excess design loads allows you to predict the location of the initial foci of progressive destruction.

Keywords: reinforced concrete, buildings, elements, frontal surface, ripple coefficient, wind load, analysis, forces, wind.

Обеспечение прочности, долговечности и сохранения эксплуатационных свойств здания или сооружения невозможно без постоянного совершенствования методов расчета строительных конструкций, уточнения расчетных схем и действующих нагрузок. По мере накопления новых экспериментальных данных, выявления нестыковок или противоречий, положения норм уточняются и закрепляются законодательно. В полной мере это относится к ветровым нагрузкам и воздействиям. Так совокупность воздействия окружающей среды и желание максимально удешевить сооружение привели к чрезмерным колебаниям моста (танцующий мост) в Волгограде в 2010 году [1]. Глобальное изменение климата, влияние ландшафта, окружающей застройки и других факторов неизбежно влияет на распределение и величины ветровых нагрузок [2]. Очевидно, что неверная оценка ветровой нагрузки и применение ее в проектной практике может привести или к перегрузке отдельных элементов здания, провоцирующих аварийную ситуацию или к созданию необоснованных запасов прочности, что увеличивает расход конструкционных материалов и стоимость объекта в целом [3,4]. Нормативное значение ветровой нагрузки, определяется, согласно «СП 20.13330. Нагрузки и воздействия. Актуализация СНиП 2.01.07-85* 2016», (далее СП 20.13330), в соответствии с формулой (1).

$$W = W_m + W_p, \quad (1)$$

Здесь

W_m – средняя составляющая основной ветровой нагрузки (подробное исследование W_m для зданий аналогичного класса, выполненное авторами, изложено в [5] и в настоящей работе ее влияние не рассматривалось).

W_p – пульсационная составляющая ветровой нагрузки.

Распределение пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p , основанное на статистических данных метеостанций Росгидромета и закрепленное в (СП 20.13330), принималось в виде (2)

$$W_p = W_m \xi(z_e) v, \quad (2)$$

где

$\xi(z_e)$ - коэффициент пульсации давления ветра,

z_e - эквивалентная высота, (высота от поверхности земли до расчетной отметки),

v - коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, оценивающий ориентацию ветровой поверхности и ее пропорции.

Исследуемым компонентом формулы (2) является коэффициент пульсации ξ , величина которого достигает максимума на поверхности земли и уменьшается с набором высоты. Установочные параметры для определения коэффициента корреляции зависят от типа местности, где расположен объект. Тип А - открытые пространства, степи, побережья и др, тип В - равномерная городская застройка с препятствиями не более 10 метров, С - городская

застройка со зданиями высотой более 25 метров. На рис. 1 представлена графическая интерпретация коэффициентов пульсации давления ветра $\zeta(z_e)$, вычисленных в соответствии с формулой (3) до высоты 80 метров для различных типов местности.

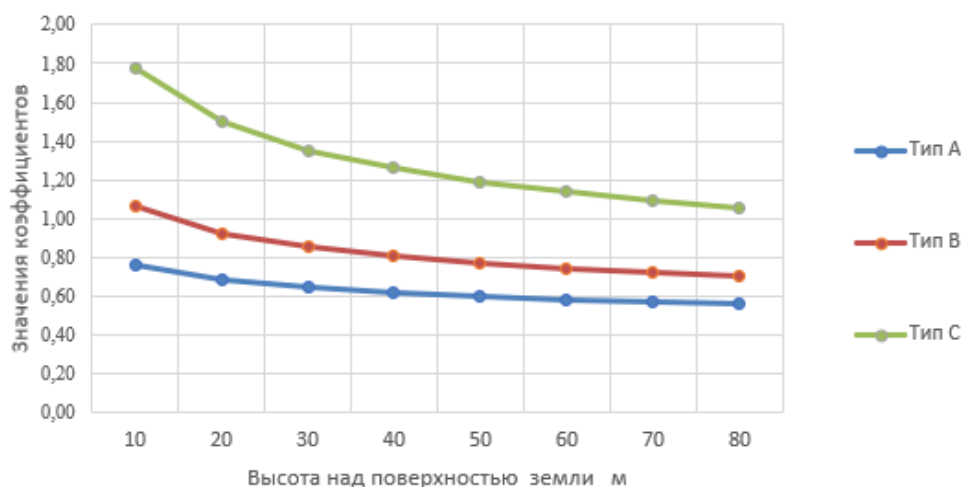


Рис.1. Коэффициенты пульсаций для различных типов местности

$$\zeta(z_e) = \zeta_{10} \left(\frac{z_e}{10}\right)^{-\alpha} \quad (3)$$

Здесь ζ_{10} -коэффициент пульсационного ветрового давления, на высоте 10 м над уровнем земли, z_e -эквивалентная высота. Для местности типа «В» $\zeta_{10}=1,06$; α -эмпирический коэффициент, учитывающий тип местности (для типа В $\alpha=0,2$).

Для дальнейшей разработки использовалось распределение коэффициента пульсации ζ , соответствующее местности типа В, как наиболее распространенное в строительстве населенных пунктов.

В настоящее время нормы рекомендуют использовать дискретное (ступенчатое) распределение коэффициента ζ (рис.2) в зависимости от пропорций фронтальной поверхности и эквивалентной высоты z_e .

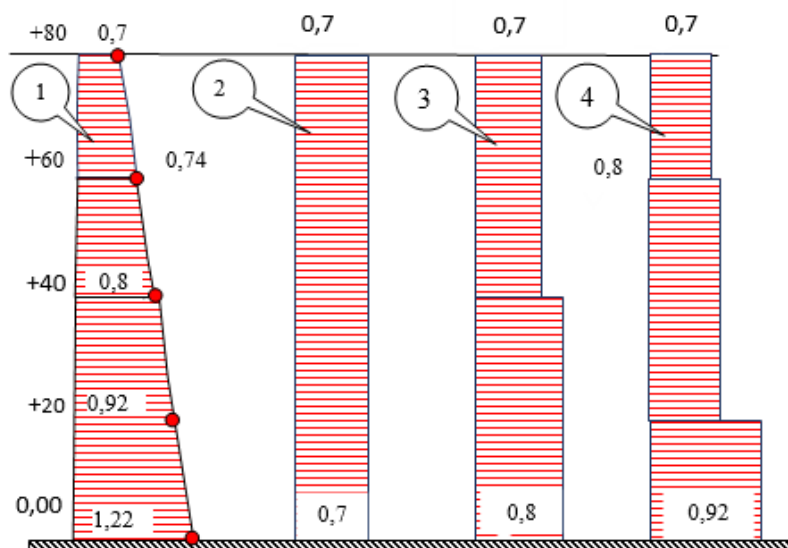


Рис.2. Распределение коэффициентов пульсации по высоте.

1-классическое; 2- условное, для поверхности 80x80м; 3-условное, для поверхности 80x40м; 4-условное, для поверхности 80x20 м.

Для зданий с габаритами: d - размер в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра; h - высота здания эквивалентная высота вычисляется в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Габариты здания	Условия вычисления эквивалентной высоты
При $h \leq d$	$z_e = h$
При $d < h \leq 2d$	для $z \geq h-d \rightarrow z_e = h$
	для $0 < z \leq h-d \rightarrow z_e = d$
При $h > 2d$	для $z \geq h-d \rightarrow z_e = h$
	для $d < z < h-d \rightarrow z_e = z$
	для $0 < z \leq d \rightarrow z_e = d$

Для сооружений и их конструктивных элементов установление пульсационной составляющей ветра W_p зависит от величины частоты собственных колебаний f_i и предельных значений f_b , Гц. Как правило, для большинства жилых и гражданских железобетонных зданий первая частота собственных колебаний f_1 больше предельного значений f_b [6,7].

В качестве объекта (модели) исследования принимались, широко распространённые каркасные железобетонные здания, призматического очертания с размерами фронтальной ветровой поверхности $h \times d = (80 \times 80 \text{ м}), (80 \times 40 \text{ м})$ и $(80 \times 20 \text{ м})$, нагруженные пульсационной ветровой нагрузкой нормальной к поверхности с наветренной стороны и расположенные в местности типа В.

Исследование заключалось в установлении распределения пульсационной ветровой нагрузки по высоте, согласно принятым в нормах зависимостям, установлении степени их влияния на действующие усилия при различных пропорциях здания и выявлении участков (вертикальных элементов), испытывающих нагрузки, превышающие расчетные значения.

На основе полученных форм распределения пульсационных коэффициентов, определялась общая нагрузка на фронтальную поверхность и вычислялись изгибающие моменты для наветренной стороны здания, расположенного в местности типа «В».

Нагрузка на напорную поверхность (шириной 1 метр) в декартовой системе координат определяется площадью A_{ze} криволинейной трапеции, ограниченной графиком функции (3) и прямыми $z_e = a$ и $z_e = b$, соответствующими высотным диапазонам, формула (4).

$$A_{ze} = ckw_0L\zeta_{10} \int_a^b (z_e/10)^{-\alpha} dz_e \quad (4)$$

В формуле (4)

c -аэродинамический коэффициент, k -коэффициент надежности по нагрузке, w_0 -нормативное давление ветра, L -ширина грузовой полосы, $(z_e/10)^{-\alpha}$ -подынтегральная функция, a и b - верхний и нижний пределы интегрирования, ζ_{10} - значение коэффициента пульсации ветра на высоте 10 м от уровня земли.

Коэффициенты c , k , w_0 , L -в выражении (4) являются константами, в одинаковой степени, влияющими на абсолютные значения аргумента, при любых распределениях коэффициента пульсации и которые в последующем анализе не учитывались.

Если пределы интегрирования соответствуют отметкам высот этажей здания, то усилия равны ярусным (поэтажным) силам, если равны высоте здания, то общей нагрузке на напорную поверхность, высотой 80 метров и шириной 1 метр.

В таблице 2 представлены значения нагрузки P , вычисленные при различных формах распределения коэффициентов пульсации ξ .

Таблица 2

Форма (рис. 2)	Тип здания	Нагрузка на полосу 1×80 м P	Отношение $(P_i/P_1)100\%$	Отклонение %
1	Все	$P_1=69,93$	100	0
2	(80×80) м	$P_2=56$	80	20
3	(80×40) м	$P_3=60$	85,8	14,2
4	(80×20) м	$P_4=64,2$	91,8	8,2

Видно, что величины суммарного давления P зависят от вида распределения коэффициентов пульсации ξ . Наибольшая потеря нагрузки до 20% наблюдается в зданиях 80×80 м, наименьшая 8,2% в зданиях 80×20 м.

Напряженно-деформированное состояние характеризуется распределением (эпюрами) усилий изгибающих моментов и поперечных сил. Для вычисления изгибающих моментов, здание представлялось в виде консоли, жестко соединенной с фундаментом, загруженной нагрузкой, соответствующей принятой форме коэффициента пульсации. Эпюры изгибающих моментов при классическом распределении коэффициента пульсации ветра вычислялись после определения ярусных сил с длиной участка 10 м (рис. 3.1); при иных вариантах распределения коэффициентов как от ступенчатой равномерно распределенной нагрузки (рис. 3.2; 3.3; 3.4). Численные значения ординат изгибающих моментов для всех форм распределения коэффициентов пульсации представлены на рис.3.

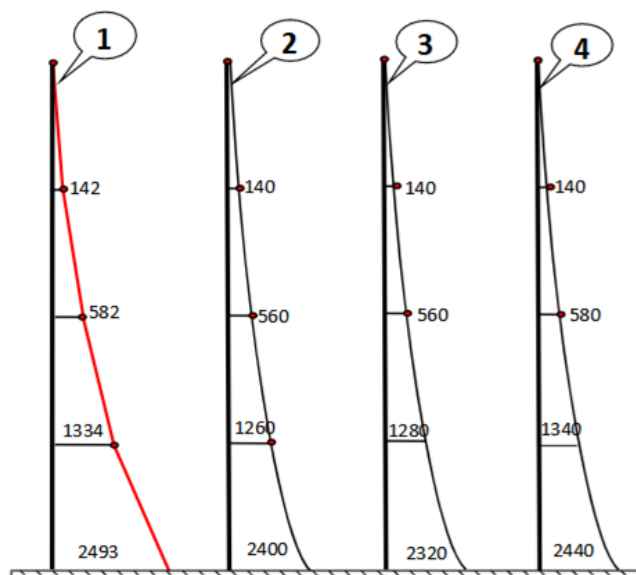


Рис.3. Эпюры изгибающих моментов от нагрузки, численно равной коэффициентам пульсаций.

Сравнение результатов вычислений, показывает, что наибольшие отклонения моментов $\Delta_i = 100\%(M_i - M_1)/M_1$ от эталонного значения имеют здания с конфигурацией фасада 80×80 метров $\Delta_2 = -10.15\%$, наименьшие с размерами 80×20 метров $\Delta_4 = (-2+1) \%$. Таким образом ступенчатое представление коэффициентов пульсации, обеспечивает наилучшее совпадение с эталонным для объектов башенного типа и широко корпусных зданий [8]. При увеличении ширины фронтальной поверхности амплитуда расхождений возрастает (рис.4).

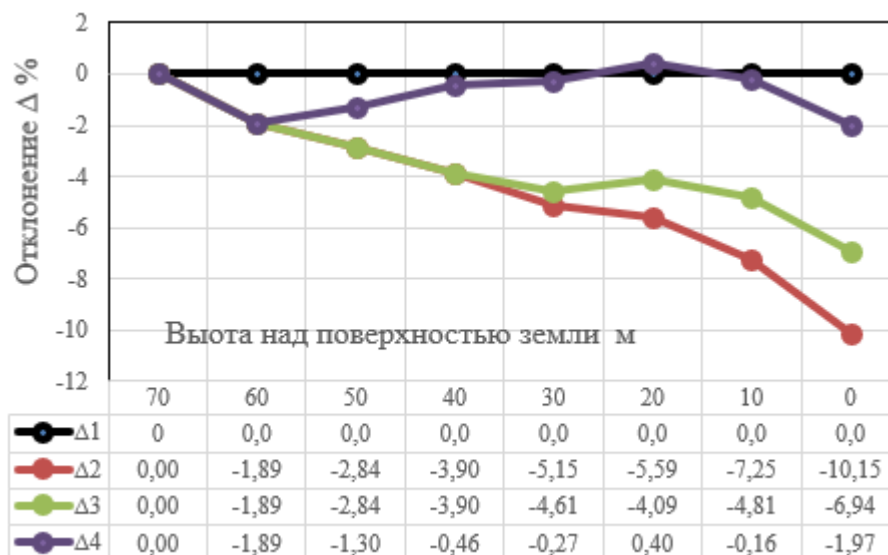


Рис.4. Расхождение моментов.

Влияние отклонений становится более заметным при оценке усилий в абсолютных величинах. Например, для зданий, расположенных в ветровом районе «1», Москва или Ярославль, в соответствии с картой районирования (СП 20.13330), нормативное давление ветра $w_0 = 0,23 \text{ кПа}$ (23 кгс/м^2), для наветренной стороны $c = 0,8$, ширина условной полосы $L = 1$ м. В этом, конкретном случае, значение изгибающего момента на уровне нулевой отметки $M = 642,19 \text{ кНм}$ и максимальное расхождение (при $\Delta = 0,1015$ (рис. 4)) $\Delta M = 0,1015 \cdot 642,19 = 89,91 \text{ кНм}$.

Таким образом, в процессе исследования установлено, что применение предложенных нормами вариантов распределения пульсационной ветровой нагрузки, для заданий названных типов не дает однозначных результатов, свидетельствующих о корректности и надёжности получения расчетных усилий в системах данного типа.

Установлены локальные участки зданий с наибольшими отклонениями усилий, где расчетные моменты в вертикальных элементах, могут превышать значения, первоначально заложенные при проектировании объекта.

Представленные результаты позволяют уточнять распределение ветровых пульсационных нагрузок на здания с различными пропорциями фронтальной поверхности для использования в практике проектирования.

Список литературы

1. Платонов А.С. Уроки аварий конструкций мостов // Транспортное строительство. - 2009. - № 6. - С. 6–9.

2. Алексеева А.А., Васильев Е.В., Бухаров В.М. Прогноз сильных шквалов на Европейской территории России и их идентификация доплеровскими радиолокаторами // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. - 2017. - Вып. 363. - С. 47-64.
3. Ким Д.А. Анализ ветрового воздействия на здания и сооружения// Инженерный вестник Дона. – 2020. - №12.
4. Belal A.A. Typological analysis of architectural forms of Arab cities // Sustainable development of territories : collection of doll. II International Scientific.- practical conf. - M., 2019. - P. 108-110.
5. Кузнецов В.С., Шурушкин А.А. Усилия в зданиях призматической формы при различном распределении ветрового воздействия // Строительство и реконструкция. – 2021. - № 4.
6. Могилюк Ж.Г., Подувальцев В.В. Нормативные проблемы расчета динамических параметров зданий и сооружений // Компетентность. – 2020. - №10.
7. Koiter, W.T., The effective width of flat plates for various longitudinal edge conditions at loads far beyond the buckling load //National Luchtvaart Laboratorium (The Netherlands). - 2017. - Rep. No. 5287.
8. Галямичев А.В. Ветровая нагрузка и её действие на фасадные конструкции // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2017. doi: 0.18720/CUBS.60.4.

References

1. Platonov A.S. Lessons of accidents of bridge structures // Transport construction. - 2009. - No. 6. - P. 6-9.
2. Alekseeva A.A., Vasiliev E.V., Bukharov V.M. Forecast of strong squalls on the European territory of Russia and their identification by Doppler radars // Hydrometeorological studies and forecasts. - 2017. - Issue 363. - P. 47-64.
3. Kim D.A. Analysis of wind impact on buildings and structures// Engineering Bulletin of the Don. – 2020. - No. 12.
4. Belal A.A. Typological analysis of architectural forms of Arab cities // Sustainable development of territories : collection of dokl. II International Scientific.- practical conf. - M., 2019. - P. 108-110.
5. Kuznetsov V.S., Gurushkin A.A. Efforts in buildings of prismatic shape with different distribution of wind impact // Construction and reconstruction. – 2021. - No. 4.
6. Mogilyuk Zh.G., Poduvaltsev V.V. Normative problems of calculating dynamic parameters of buildings and structures // Competence. – 2020. - No. 10.
7. Koiter, W.T., The effective width of flat plates for various longitudinal edge conditions at loads far beyond the buckling load //National Luchtvaart Laboratorium (The Netherlands). - 2017. - Rep. No. 5287.
8. Galyamichev A.V. Wind load and its effect on facade structures // Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. - 2017. doi: 0.18720/CUBS.60.4.

Дата поступления: 5 февраля 2022 г.