

Тур В.В., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест

Черноиван А.В., магистр техн. наук, аспирант, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS OF WIND ACTIONS ON BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Аннотация

В статье представлены основные положения теоретической модели, принятой в действующем на территории Республики Беларусь ТКП EN 1991-1-4 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия», а также результаты численного анализа напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий трех типов: высотой 25 м, 50 м и 200 м, рассчитанных с учетом ветровых воздействий согласно национальным ТНПА, действующим в Республике Беларусь, Российской Федерации и Украине.

Abstract

The paper presents basic provisions of the theoretical model of TKP EN 1991-1-4 «Eurocode 1. Actions on structures. Part 1-4. General actions. Wind actions» and values of National Determined Parameters (NDP) for Belarus, and also results of numerical analysis of stress-strain state of bearing structures of buildings of three types in height of 25 m, 50 m and 200 m calculated taking into account wind actions models according to national Belarus, Russian Federation and Ukraine codes.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Республике Беларусь действуют два нормативных документа, регламентирующие определение значений ветровой нагрузки на здания и сооружения: ТКП EN 1991-1-4 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия» и СНиП 2.01.07 «Нагрузки и воздействия».

Положения ТКП EN 1991-1-4 [2], как и других конструктивных Еврокодов, базируются на ТКП EN 1990-2011 «Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций», определяющем основные принципы проектирования строительных конструкций на территории Республики Беларусь.

В связи с тем, что значения ветровой нагрузки, полученные согласно СНиП 2.01.07 [7], не могут быть использованы при проектировании зданий и сооружений в рамках действующей на территории Республики Беларусь системы Европейских норм проектирования, куда входит ТКП EN 1991-1-4 [2], представляет интерес рассмотрение основных теоретических подходов, на которых базируется принятая модель в введенном впервые ТКП EN 1991-1-4 [2], а также численное сравнение ее с моделями, заложенными в СНиП 2.01.07 «Нагрузки и воздействия» и в ряде национальных ТНПА стран, граничащих с Республикой Беларусь.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛИ, ПРИНЯТОЙ В ТКП EN 1991-1-4

Механическая идеализация аэродинамической нагрузки $P(t)$, действующей на здание или сооружение, может быть представлена в виде схемы, приведенной на рис. 1а. Упрощение, в случае которого сооружение рассматривается в качестве системы с одной степенью свободы, обусловлено разряженным (неплотным) спектром собственных частот здания и тем, что основной вклад в суммарные резонансные колебания вносят первые две низшие изгибные формы колебаний без учета не являющейся определяющей крутильной формы колебаний сооружения. Данное упрощение, а также ограничение высоты рассматриваемых зданий и инженерно-технических сооружений 200 м обусловлено областью применения ТКП EN 1991-1-4 [п. 1.1(2), 2].

Как следует из схемы, приведенной на рис. 1б, внешняя нагрузка уравновешена внутренними силами упругости, вязкого сопротивления, а также инерционной силой. Внутренняя сила упругости P может быть рассмотрена как *эквивалентная статическая нагрузка*, вызывающая такую же реакцию сооружения, как воздействие порыва ветра, однако не требующая при проектировании здания уточненных динамических параметров. Если воздействие имеет гармонический характер, то уравнение движения системы с одной степенью свободы согласно второму закону Ньютона будет иметь традиционный вид:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P_0 \cdot \sin(2\pi vt), \quad (1)$$

где m , x — масса и перемещение системы соответственно;

c, k — коэффициенты вязкого сопротивления и жесткости системы;
 P_0 — амплитудное значение аэродинамической нагрузки;
 ν — частота восходящего потока.

Решение уравнения (1) для установившегося режима колебаний системы будет иметь вид:

$$x(t) = P_0 \cdot H(\nu) \cdot \sin(2\pi\nu t - \varphi), \quad (2)$$

где $H(\nu)$ — механическая передаточная функция системы;

$(2\pi\nu t - \varphi)$ — фаза колебаний при начальной фазе φ в момент времени $t = 0$.

Так как воздействие ветра, а также реакция сооружения на него является случайной функцией времени, в дальнейших расчетах удобно использовать спектр, состоящий из случайного наложения частот широкой амплитуды.

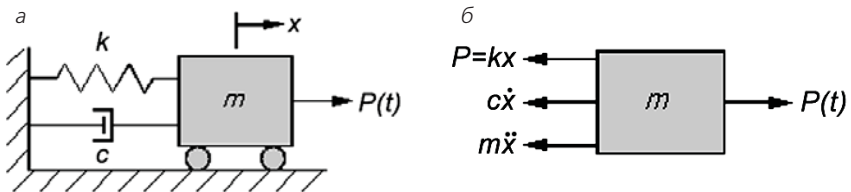


Рисунок 1. Динамическая реакция системы с одной степенью свободы; а — механическая идеализация нагрузки; б — схема сил тела в состоянии равновесия

Предположим, что на рассматриваемую систему с одной степенью свободы действует вынуждающая сила, спектральная плотность которой равна $S(\nu) = S_0$ при $\nu \geq 0$, где S_0 — постоянная величина. Тогда среднеквадратическое значение реакции системы может быть записано в виде:

$$\sigma_x^2 = S_0 \int_0^{\infty} |H(\nu)|^2 d\nu, \quad (3)$$

где

$$|H(\nu)|^2 = \frac{1}{\left[1 - (\nu/n_1)^2\right]^2 + \left[2\zeta_1 \cdot (\nu/n_1)\right]^2}. \quad (4)$$

Здесь n_1 — основная собственная частота изгибных колебаний сооружения;

ζ_1 — относительное демпфирование системы.

Полученная передаточная функция $|H(v)|$ обладает следующими свойствами:

— реакция сооружения от внешней прикладываемой нагрузки зависит только от собственной частоты и декремента затухания сооружения, не являясь функцией массы или жесткости системы;

— данная функция является безразмерной и может быть применена к любым входным и выходным параметрам, линейно связанным с аэродинамической нагрузкой.

Величина $|H(v)|^2$ является также аналитической функцией, поэтому интеграл в выражении (3) может быть найден из таблиц интегралов [10]:

$$\sigma_x^2 = \frac{\pi \cdot n_1}{4\zeta_1} \cdot S_0. \quad (5)$$

При условии малости относительного демпфирования системы ζ_1 основной вклад в суммарное значение σ_x^2 вносят составляющие вынуждающей силы с частотами $n_1 - \Delta n_1 < v < n_1 + \Delta n_1$, где $\Delta n_1/n_1$ — мало. Если, как, например, в случае атмосферной турбулентности, функция S_0 представлена в виде нисходящей кривой, то интеграл:

$$\sigma_x^2 = \int_0^{\infty} S(v) \cdot |H(v)|^2 dv \quad (6)$$

может быть представлен как сумма трех составляющих:

$$\sigma_x^2 = \int_0^{n_1 - \Delta_1} S(v) \cdot |H(v)|^2 dv + \int_{n_1 - \Delta_1}^{n_1 + \Delta_1} S(v) \cdot |H(v)|^2 dv + \int_{n_1 + \Delta_1}^{\infty} S(v) \cdot |H(v)|^2 dv. \quad (7)$$

Повторно используя предположение о том, что величина ζ_1 мала, получим:

$$\sigma_{x2}^2 \approx (\pi n_1 / 4\zeta_1) \cdot S(n_1); \text{ для } 0 < v < n_1 - \Delta_1, |H(v)|^2 \approx 1, \quad (8)$$

а σ_{x3}^2 пренебрежимо мала. Следовательно,

$$\int_0^{\infty} S(v) \cdot |H(v)|^2 dv \approx \int_0^{\infty} S(v) dv + \frac{\pi n_1}{4\zeta_1} \cdot S(n_1). \quad (9)$$

Так как амплитуда колебаний системы убывает со временем t по закону экспоненты $A(t) = A_0 \cdot e^{-\delta_1 \cdot t}$, в дальнейших расчетах удобнее использовать логарифмический декремент затухания

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta_1 \cdot T = 2\pi \cdot \zeta_1, \quad (10)$$

здесь A_0 — начальная амплитуда колебаний;

T — период затухающих колебаний;

$\delta_1 = 2\pi \cdot \zeta_1 \cdot n_1$ — декремент затухания.

Первое и второе слагаемое в выражении (9) принято называть соответственно *фоновой и резонансной составляющими реакции сооружения*. Фоновая составляющая содержится в аэродинамической передаточной функции и относится к квазистатической реакции, возникающей, когда собственная частота колебаний здания принимает высокие значения (частота порывов ветра значительно ниже собственной частоты системы), и является равной непосредственно внешней аэродинамической нагрузке. Резонансная составляющая реакции сооружения представляет дополнительную динамическую нагрузку, заложенную в механической передаточной функции системы $|H(v)|$, и имеющую частоту колебаний, близкую к собственной частоте колебаний конструкции. Преобразование воздействия ветра посредством приведенных выше двух передаточных функций позволяет получить результирующую реакцию сооружения, характеризующуюся, как правило, такими параметрами напряженно-деформированного состояния системы, как усилия, изгибающие моменты, горизонтальные перемещения и напряжения, возникающие в несущих конструкциях здания [8, 13, 15].

Приближенное значение величины резонансной составляющей динамической реакции здания после преобразования выражений (9)...(10) может быть представлено выражением:

$$R^r = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S(n_1). \quad (11)$$

В ТКП EN 1991-1-4 [2] приведено два альтернативных метода расчета фоновой и резонансной составляющих динамической реакции здания. Согласно первому методу [2, Приложение В] фоновая составляющая реакции B^2 учитывает отсутствие полной корреляции давления на поверхности конструкции и определяется по формуле:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \sqrt{\left(\frac{b+h}{L(z_e)}\right)^{0,63}}}. \quad (12)$$

где b, h — ширина и высота здания соответственно;

$L(z_e)$ — масштаб длины турбулентности, представляющий среднюю величину порывов естественного ветра на базовой высоте z_e .

Значение резонансной составляющей R^2 согласно уточненному выражению (11) определяется по формуле:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_L(z_e, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b), \quad (13)$$

где $S_L(z_e, n_{1,x})$ — безразмерная функция спектральной плотности;

R_h и R_b — функции аэродинамической проводимости для формы основных колебаний;

$n_{1,x}$ — собственная частота колебаний конструкции.

Второй метод предполагает следующее определение фоновой составляющей реакции B^2 [2, Приложение С]):

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_e)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_e)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_e)} \cdot \frac{h}{L(z_e)}\right)^2}}. \quad (14)$$

Резонансная составляющая реакции R^2 , определяющая резонансные колебания с учетом собственной формы вследствие турбулентности, вычисляется по формуле:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_L(z_e, n_{1,x}) \cdot K_s(n_{1,x}), \quad (15)$$

где K_s — функция уменьшения размера.

После нахождения фоновой и резонансной составляющих динамической реакции, в соответствии с п. 6 ТКП EN 1991-1-4 [2] можно определить значение конструкционного коэффициента $c_s c_d$. Конструкционный коэффициент учитывает возможность одновременного возникновения пиковых значений скоростного напора ветра по всей поверхности конструкции (масштабный коэффициент c_s), а также влияние резонансных колебаний сооружения вследствие турбулентности ветра (динамический коэффициент c_d). Масштабный коэффициент c_s рассчитывается по формуле:

$$c_s = \frac{1 + 7I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7I_v(z_e)}, \quad (16)$$

где $I_v(z_e)$ — интенсивность турбулентности на базовой высоте z_e .

Для определения динамического коэффициента c_d используется выражение:

$$c_d = \frac{1 + 2k_p \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2}}, \quad (17)$$

где k_p — пиковый коэффициент.

В случае выполнения ряда условий [2, (2)P], допускается определять единый конструкционный коэффициент $c_s c_d$:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_e)}. \quad (18)$$

Значение коэффициента $c_s c_d$ допускается также определять по графикам огибающих безопасных значений, приведенных в Национальном приложении к ТКП EN 1991-1-4 [2].

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ПО УЧЕТУ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Анализ нормативных документов по учету ветровых воздействий при проектировании зданий и сооружений, действующих на территории Республики Беларусь [2, 7], а также национальных ТНПА государств, граничащих с Республикой Беларусь [5, 6] показал, что имеется ряд различий в заложенных в них подходах (табл. 1).

Для оценки влияния выявленных различий в [2, 5, 6, 7] был выполнен численный эксперимент с использованием проектно-вычислительных комплексов.

Таблица 1

Основные отличительные параметры рассматриваемых методик

Сравниваемый параметр	Нормативный документ			
	ТКП EN 1991-1-4	СНиП 2.01.07	СП 20,13330,2011	ДБН В.1.2-2-2006
Параметр, устанавливаемый в национальной карте ветровых районов	основное значение базовой скорости ветра $v_{b,0}$	нормативное значение ветрового давления w_0	нормативное значение ветрового давления w_0	характеристическое значение ветрового давления W_0
Характеристика типа местности, для которого устанавливается основное значение базовой скорости ветра [2], скорость ветра [7], нормативное [5] или характеристическое значение ветрового давления [6]	открытый тип местности с низкой растительностью (например, такой как трава) и изолированными отдельными стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот	открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра	открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра	открытые поверхности морей, озер, а также плоские равнины без препятствий, подвергающиеся действию ветра на участке длиной не менее 3 км

Сравниваемый параметр	Нормативный документ			
	ТКП EN 1991-1-4	СНиП 2.01.07	СП 20,13330,2011	ДБН В.1.2-2-2006
Средний период повторяемости в годах	50	5	50	50
Зависимость скоростного напора [2], нормативного [5, 7] или характеристического значения ветрового давления [6] от скорости ветра	$q_b = 1/2 \rho \cdot v_b^2$	$w_0 = 0,61 v_0^2$	$w_0 = 0,43 v_{50}^2$	$w_0 = 0,61 V^2$
	где ρ — плотность воздуха, равная 1,25 кг/м ³ ; v_b — базовое значение скорости ветра; v_0, V — скорость ветра; v_{50}^2 — давление ветра			
Количество типов местности и закон изменения скоростного напора [2], нормативного [5, 7] или характеристического значения ветрового давления [6] по высоте	пять, логарифмический	три, степенной	три, степенной	четыре, логарифмический
Определение значений аэродинамических коэффициентов (на примере рассчитываемых зданий)	интерполяцией	интерполяцией	фиксировано	интерполяцией
Схема приложения ветровой нагрузки по высоте (на примере рассчитываемых зданий)	равномерно распределенная в пределах каждой горизонтальной полосы	переменная по всей высоте здания	равномерно распределенная в пределах каждой горизонтальной полосы	переменная по всей высоте здания
Принятый характер ветровой нагрузки	квазистатическая модель	сумма средней и пульсационной составляющих с учетом инерционных сил	сумма средней и пульсационной составляющих без учета инерционных сил	квазистатическая модель

Сравниваемый параметр	Нормативный документ			
	ТКП EN 1991-1-4	СНиП 2.01.07	СП 20,13330,2011	ДБН В.1.2-2-2006
Значение базовой [2] или эквивалентной [5] высоты [6, 7] для зданий	$0,6h$	h	$0,7h$	h
Энергетический спектр скорости ветра	$\frac{6,8f_L(z,n)}{(1+10,2f_L(z,n))^{5/3}}$	$\frac{4(f_L(f))^2}{3f(1+(f_L(f))^2)^{4/3}}$	$\frac{4(f_L(f))^2}{3f(1+(f_L(f))^2)^{4/3}}$	$\frac{6,8f_L(z,n)}{(1+10,2f_L(z,n))^{5/3}}$
	где $f_L(z,n) = \frac{n_{L,x} \cdot L(z)}{v_m(z)}$, $f_L(f) = \frac{f \cdot L}{v_0}$ — безразмерная частота; $v_m(z)$ — средняя скорость ветра; $L(z)$ — масштаб длины турбулентности; f — частота собственных колебаний сооружения; $L = 1200$ м — интегральный масштаб турбулентности			
Значение частного коэффициента [2] или коэффициента надежности [5, 6, 7] для определения расчетного значения ветровой нагрузки	$\gamma_f = 1,5$	$\gamma_f = 1,4$	$\gamma_f = 1,4$	определяется интерполяцией в зависимости от заданного периода повторяемости, для $T = 50$ лет $\gamma_{fm} = 1,0$

При расчетах рассматривались здания каркасного типа с безбалочным монолитным перекрытием. Шаг колонн зданий соответствовал типовой сетке и составлял 6 м. С учетом п. 10,2.4 [1] сечение колонн было принято 400×400 мм. Для каждого типа зданий были рассмотрены следующие высоты: 25 м (многоэтажное здание), 50 м (здание повышенной этажности) и 200 м (высотное здание), с высотой типового этажа 2,5 м. С учетом рекомендуемых значений основных конструктивных параметров для железобетонных плит перекрытий [1, табл. 10,1], толщина плит была принята 200 мм. На каждом этаже зданий были запроектированы диафрагмы жесткости толщиной 180 мм, образующие ядро жесткости требуемой площади [1, п. 10,2.3]. Все конструктивные элементы были запроектированы из железобетона с удельным весом материала $\gamma_0 = 2500$ кН/м³ и модулем упругости бетона $E_{cm} = 2,9 \cdot 10^7$ кН/м².

Исходя из практики строительства, были рассмотрены следующие типы зданий, крутильные колебания для которых не являются определяющими:

— тип «1» — здание с размерами в плане 30×30 м, что соответствует установленным требованиям ТКП 45-3.02-108-2008 «Высотные здания. Строительные нормы проектирования» $h/d \leq 7$, где $h = 200$ м — принятая максимальная высота здания; d — минимальный размер поперечного сечения здания на уровне $2/3 h$;

— тип «2» — здание с размерами в плане 72×30 м;

— тип «3» — здания сложной конфигурации с размерами в плане 72×30 м.

При анализе были выбраны наиболее простые формы зданий для исключения неопределенностей, связанных с назначением величины аэродинамических коэффициентов.

При расчетах ветровую нагрузку прикладывали как узловую в точках сопряжения колонн с плитами перекрытия и покрытия в уровнях каждого типового этажа. Определение значений ветровой нагрузки в соответствии с методикой, принятой в ТКП EN 1991-1-4 [2], выполнялось с использованием специально разработанной в МП *MathCAD* программы «*Расчет ветровой нагрузки*» [12]. Основное значение базовой скорости ветра [2] и нормативное (характеристическое) значение ветрового давления [5, 6, 7], используемые в расчетах, были приняты для климатических условий г. Бреста.

Оценка результатов выполненных расчетов по учету влияния ветровых воздействий осуществлялась исходя из напряженно-деформированного состояния несущих конструкций каркаса зданий. Сравнительный анализ выполнялся для следующих параметров: продольных сил N и изгибающих моментов M в колоннах зданий, касательных напряжений τ_{xy} в диафрагмах жесткости, а также величин горизонтальных перемещений верха зданий.

Результаты численных исследований представлены в табл. 2 в виде процентных отношений полученных расчетных параметров для трех нормативных документов к аналогичным параметрам, полученным согласно ТКП EN 1991-1-4 [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены основные положения модели эквивалентных статических ветровых нагрузок, принятой в действующем на территории Республики Беларусь ТКП EN 1991-1-4 «Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия», и позволяю-

щей определять реакцию, вызванную воздействием ветра, с помощью простых аналитических процедур, обеспечивающих необходимые прочностные и эксплуатационные характеристики конструкций при выполнении статических расчетов.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа значений продольных сил N , изгибающих моментов M и напряжений τ_{xy} в конструкциях зданий (по отношению к ТКП EN 1991-1-4)

Рассматриваемые здания		Нормативный документ								
		СНиП 2.01.07			СП 20.13330.2011			ДБН В.1.2-2-2006		
Тип здания	Высота, м	Продольная сила $N, \%$	Изгибающий момент, $\%$	Напряжения $\tau_{xy}, \%$	Продольная сила $N, \%$	Изгибающий момент, $\%$	Напряжения $\tau_{xy}, \%$	Продольная сила $N, \%$	Изгибающий момент, $\%$	Напряжения $\tau_{xy}, \%$
Тип «1»	25	55	54	51	112	108	109	87	92	82
	50	57	60	54	114	114	113	92	95	87
	200	128	129	92	123	124	89	93	93	92
Тип «2»	25	66	73	62	118	118	118	93	100	88
	50	86	77	55	110	111	109	93	98	89
	200	119	128	101	114	122	97	88	89	88
Тип «3»	25	93	70	88	106	105	108	81	59	76
	50	96	98	92	107	101	109	85	87	81
	200	115	128	99	110	123	96	88	88	87

Выполненный сравнительный анализ ряда методик [2, 5, 6, 7] по учету ветровых воздействий при проектировании многоэтажных зданий, зданий повышенной этажности и высотных зданий различных типов, принятых в национальных ТНПА Республики Беларусь и в странах, граничащих с ней, позволяет сделать следующие выводы:

Наибольшее расхождение численных значений N , M и τ_{xy} (до 45%) имеет место для зданий типа «1» и типа «2» с высотами до 50 м при расчетах по методикам ТКП EN 1991-1-4 «Общие воздействия. Ветровые воздействия» и СНиП 2.01.07 «Нагрузки и воздействия». Полученный результат объясняется установленными в СНиП 2.01.07 [7] граничными условиями при учете пульсационной составляющей ветровой нагрузки, допускающими согласно [7, п. 6.2] при расчете многоэтажных зданий высотой до 40 м с отношением высоты к пролету менее 1,5,

и размещаемых в местностях типов *A* и *B*, пульсационную составляющую ветровой нагрузки не учитывать. Как показано в [9], это ограничение приводит к скачкообразному увеличению ветровой нагрузки при переходе от жестких сооружений к гибким. Такое положение в ряде случаев создает неудобства при проектировании и затрудняет постановку и решение задач оптимизации параметров сооружения при ветровых воздействиях, в частности проблем выбора оптимальной этажности зданий при разработке генеральных планов застройки микрорайонов крупных городов. Следовательно, модель, предлагаемая ТКП EN 1991-1-4 [2], в большей степени отражает недискретность природы ветровых воздействий и позволяет избежать скачкообразного изменения расчетных значений ветровой нагрузки на этапе проектирования.

Значения продольных сил и изгибающих моментов в колоннах зданий всех трех типов высотой 200 м, полученные по СНиП 2.01.07 [7] и СП 20.13330.2011 [5], превышают аналогичные параметры, вычисленные согласно ТКП EN 1991-1-4 [2] в среднем на 25%. Касательные напряжения, возникающие в диафрагмах жесткости для тех же типов зданий дают практически полное совпадение. Результаты расчетов по методике ДБН В.1.2-2:2006 [6] в сравнении с ТКП EN 1991-1-4 [2] дают занижение значений всех параметров до 15%.

Горизонтальные перемещения верха зданий всех типов со всеми расчетными высотами не превышают предельных значений, установленных в п. 10.1.1 [1].

Список цитированных источников

1. Высотные здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-108-2008 (02250) — Введ. 01.12.2008. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. — 92 с.
2. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4-2009. — Введ. 01.01.2010. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010, — 132 с.
3. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011. — Введ. 01.07.2012. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. — 96 с.
4. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев [и др.]; под общ. ред. А.В. Перельмутера. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. — 482 с.
5. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: СП 20.13330.2011. — Введ. 20.05.11. — М.: Минрегион России, 2011. — 80 с.

6. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2-2:2006. — Введ. 01.01.07. — Киев: Минстрой Украины, 2006. — 78 с.
7. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. — Введ. 01.01.87. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 36 с.
8. *Никитин, П.В.* Расчет высотных сооружений на воздействие порывов ветра / П.В. Никитин // Промышленное и гражданское строительство. — 2006. — № 6. — С. 21—22.
9. Новая редакция раздела «Ветровые нагрузки» главы СНиП «Нагрузки и воздействия» / А.И. Цейтлин [и др.] // Строительная механика и расчет сооружений. — 1987. — № 6. — С. 28—33.
10. *Симиу, Э.* Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Скандлан; пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецовой; под ред. Б.Е. Маслова. — М.: Стройиздат, 1984. — 360 с.
11. *Тур, В.В.* Моделирование ветровых воздействий на здания и сооружения в соответствии с ТКП EN 1991-1-4 / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Т.М. Пецольд (отв. ред.), Е.А. Ровба [и др.]. — Гродно: ГрГУ, 2010. — С. 203—211.
12. *Тур, В.В.* Расчет некоторых параметров ветрового воздействия с использованием математического пакета MathCAD / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Вестник Российского университета дружбы народов. — 2011. — № 2: Инженерные исследования. — С. 31—37.
13. *Bashor, R.* Comparative Study of Major International Standards / R. Bashor, A. Kareem // Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Chinese Taipei, November 8-12, 2009.
14. *Boggs, D.* The Nature of Wind Loads and Dynamic Response / D. Boggs, J. Dragovich // PBD of Concrete Buildings for Wind Loads. — 2006. — Vol. 240, № 2. — P. 15—44.
15. *Zhou, Y.* Along-Wind Load Effects on Tall Buildings: Comparative Study of Major International Codes and Standards / Y. Zhou, T. Kijewski, A. Kareem // Journal of Structural Engineering. — 2002. — Vol. 128, № 6. — P. 788—796.

Получено 24.09.12 г.