

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕВРОКОДА

Главные направления интеграции нормативной базы строительной отрасли Украины в европейское нормативно-правовое пространство определены Постановлениями Кабинета Министров Украины № 1764 от 20.12.2006 г. «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд» и № 547 от 23.05.2011 г. «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих із нормативними документами Європейського Союзу». Указанным Техническим регламентом, разработанным с учетом Директивы Совета ЕС № 89/106/ЕЭС от 21 декабря 1988 года «О сближении законодательных, нормативных и административных положений государств-членов ЕС относительно строительных материалов», в которой сформулированы основные требования к производству строительных работ в части обеспечения безопасности жизни и здоровья людей, нормального содержания и эксплуатации, механического сопротивления и прочности, пожарной безопасности, экономии энергии, защиты окружающей среды, экономических и других общественно важных аспектов, оценки соответствия характеристик материалов и изделий требованиям технических условий, впервые была обоснована программа внедрения в Украине Европейской системы подходов к подготовке нормативных документов для проектирования и возведения зданий и объектов инфраструктуры.

В рамках выполнения этой программы Министерством регионального развития и строительства Украины в 2006–2007 гг. было утверждено и введено в действие шесть государственных строительных норм, а также тринадцать государственных стандартов-наставлений. А в 2010 г. были приняты основополагающие нормы ДБН А.1.1-94:2010 «Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення», которыми установлена не только процедура имплементации, порядок и правила применения Еврокодов в Украине, но и определена сфера проектирования по Еврокодам и порядок их принятия, включая разработку Национальных приложений с назначением разнообразных



А.В. Шимановский
генеральный директор
ООО «Укринсталькон
им. В.Н. Шимановского»,
член-корреспондент НАН Украины,
заслуженный деятель науки и техники
Украины, д.т.н., профессор



С.М. Кондра
главный конструктор отдела
пространственных сооружений
ООО «Укринсталькон
им. В.Н. Шимановского»

параметров с учетом особенностей географических и климатических условий, условий жизни и установленных уровней безопасности.

В этот же период была начата работа по гармонизации в Украине Европейских стандартов, подразделяющихся на две категории: стандарты категории А (т.е. непосредственно Еврокоды) и стандарты категории В на разные виды строительной продукции. В развитие сказанного следует отметить, что Еврокоды представляют собой комплект из десяти Европейских стандартов (основы проектирования конструкций, нагрузки и воздействия, железобетонные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, каменные конструкции, металлические конструкции, деревянные конструкции, алюминиевые конструкции, геотехническое проектирование, проектирование сейсмостойких конструкций), каждый из которых, в свою очередь, состоит из отдельных частей-стандартов, а их общее количество достигает 58. Примечательно, что Еврокоды признаны всеми странами ЕС как эталонные документы для доведения соответствия зданий и сооружений основным требованиям Директивы Совета ЕС относительно строительных материалов и являются основой для заключения строительных контрактов и связанных с ними инженерных услуг.

Далее скажем о том, что в конце 2013 г. была полностью завершена работа по принятию идентичных государственных стандартов (ДСТУ-Н Б EN)

всех Еврокодов по проектированию, которые были введены в действие 1 июля 2014 года. В настоящее время проводится системная работа последующего этапа, а именно: по гармонизации стандартов категории В на продукцию строительного назначения, которых, в отличие от стандартов категории А, насчитывается уже свыше полутора тысяч. Также, к сведению, укажем, что по состоянию на 01.07.2015 г. уже было гармонизировано около 250 нормативных документов.

Внедрение Еврокодов представляет собой весьма важный шаг на пути развития строительной отрасли Украины и позволяет обеспечить единое понимание процесса проектирования конструкций среди заказчиков, проектировщиков, производителей строительных материалов, подрядчиков и эксплуатирующих организаций; повысить инвестиционную привлекательность отрасли, облегчить обмен услугами в строительной отрасли между Украиной и странами ЕС, а также повысить конкурентоспособность отечественных проектировщиков и производителей на мировом рынке.

И именно с учетом этого фактора ниже изложены основные методики и особенности определения ветровых нагрузок на башни и мачты с оттяжками в соответствии с Еврокодом [1] и Национальным приложением [2].

Итак, силу ветра, действующего на конструкцию, находят с использованием коэффициентов силы и вычислением сил давлений на поверхности. При этом определяться сила может как непосредственно на конструкцию или ее компонент по формуле

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z_e) A_{ref},$$

так и векторным сложением сил, действующих на ее отдельные конструктивные элементы, с использованием следующей формулы:

$$F_w = \sum_{elements} c_s c_d c_f q_p(z_e) A_{ref},$$

где $c_s c_d$ – конструктивный коэффициент; c_f – коэффициент силы для конструкции или ее конструктивного элемента; $q_p(z_e)$ – максимальный скоростной напор на базовой высоте z_e ; A_{ref} – базовая (относительная) площадь конструкции или ее конструктивного элемента.

Заметим, что при определении ветровых нагрузок и реакций для большинства башен используется эквивалентный статический метод, включающий допуски, учитывающие динамическое усиление реакции. Причем упомянутый

метод применяется только в случае выполнения такого условия:

$$\frac{7 m_T}{s c_{f,T} A_T \sqrt{d_B}} \leq \frac{5}{6} \frac{h_T^2}{h} \quad 1.$$

Обозначения, введенные при формировании этого условия, имеют следующий смысл: $c_{f,T} A_T$ – сумма площадей при ветровых нагрузках, воздействующих на панель (включая вспомогательные устройства), начиная с вершины, таким образом, что площадь $c_{f,T} A_T$ должна быть меньше общей наветренной площади $c_{f,T} A_T$ для всей башни; s – плотность материала конструкций башни; m_T – масса панелей, для которых определяется сумма площадей; h – высота башни; h_T – высота панелей, для которых определяется сумма площадей, но не более 1/3 высоты башни; $\alpha = 0,001$ – константа; d_B – размер башни по направлению ветра, равный: для прямоугольных башен – ширине базы башни, для треугольных – 0,75 ширины базы башни.

Продемонстрируем теперь применение указанного выше условия на примере прямоугольной башни высотой 60 м. Для этой башни имеем: $h = 60$ м, $h_T = 20$ м, $s = 7800$ кг/м³, $d_B = 5$ м, $c_{f,T} A_T = 40$ м² и $m_T = 4000$ кг. Подставляя затем эти данные в выражение интересующего нас условия, получаем:

$$\frac{7 \cdot 4000}{7800 \cdot 40 \cdot \sqrt{5 \cdot 0,001}} \leq \frac{5}{6} \frac{20^2}{60} \quad 0,317 \leq 1.$$

Вполне очевидно, что в данном случае условие выполняется, а, значит, при расчете башни применим эквивалентный статический метод.

Остановимся еще на одном весьма важном аспекте эквивалентного статического метода, а именно: учитываемых расчетом ветровых нагрузках. Как правило, во внимание принимается три вида нагрузок. Во-первых, это нагрузка среднего ветра при направлении его на башню, значение которой устанавливается по формуле

$$F_{m,W}(z) = \frac{q_p}{1 + 7I_v(z_e)} c_f A_{ref},$$

во-вторых, это эквивалентная нагрузка при порывах ветра при направлении на башню, выражение для нахождения которой записывается так:

$$F_{T,W}(z) = F_{m,W}(z) \left[1 + 0,2 \frac{z_m}{h} \right] \frac{[1 + 7I_v(z_e)] c_s c_d}{c_0(z_m)}$$

и, наконец, в-третьих, это максимальная ветровая нагрузка на поддерживающие башню (мачту) тросы и оттяжки, определяющее соотношение для которой имеет следующий вид:

$$F_{c/G_w}(z) = \frac{q_p(z)}{1 - 7I_v(z)} c_{f,G} A_G \left[\frac{1 - 7I_v(z_e)}{c_0(z_m)} \right] c_s c_d \cdot 1$$

Что же касается коэффициента общей ветровой нагрузки c_f , то он определяется как сумма двух коэффициентов, а именно: коэффициента ветровой нагрузки на секцию без оборудования $c_{f,S}$, установленного на основе коэффициента сплошности, принимаемого для открытой конструкции без вспомогательного оборудования, и коэффициента ветровой нагрузки на вспомогательное оборудование $c_{f,A}$:

$$c_f = c_{f,S} + c_{f,A}$$

Коэффициент ветровой нагрузки на секцию без оборудования $c_{f,S}$ таков:

$$c_{f,S} = c_{f,S,0} \cdot K$$

где $c_{f,S,0}$ – коэффициент общего нормального лобового сопротивления секции;

K – коэффициент угла воздействия ветра;

$$K = 1 + K_1 K_2 \sin^2 2$$

для конструкций квадратного сечения;

$$K = \frac{A_c}{A_s} \frac{A_{c,sup}}{A_s} \frac{A_f}{A_s} (1 - 0,1 \sin^2 2)$$

для конструкций треугольного сечения;

$$K_1 = 0,8 \frac{A_c}{A_s} \frac{A_{c,sup}}{A_s} - 0,55 \frac{A_f}{A_s};$$

$$K_2 = 0,2 \quad \text{для } 0 \quad 0,2 \text{ и } 0,8 \quad 1,0;$$

$$K_2 = \quad \text{для } 0,2 \quad 0,5;$$

$$K_2 = 1 - \quad \text{для } 0,5 \quad 0,8;$$

– угол воздействия к нормали грани 1 в плане; – коэффициент сплошности, определяемый как отношение проекций сумм площадей отдельных элементов и узловых фасонки к площади вертикальной проекции, ограниченной контурами конструкции; A_f – общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов плоского сечения в грани; A_c – общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов круглого сечения в грани в докритических режимах; $A_{c,sup}$ – общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов круглого сечения в грани в надкритических режимах, а $A_s = A_f + A_c + A_{c,sup}$.

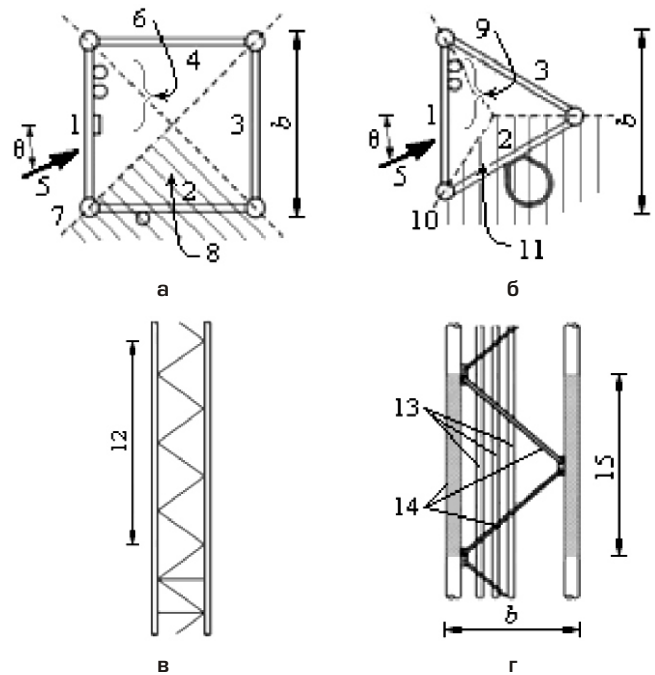


Рис. 1. Схемы наиболее типичных конструктивных элементов высотных сооружений для определения коэффициента общей ветровой нагрузки c_f :

а – прямоугольное поперечное сечение; б – треугольное поперечное сечение; в – секция мачты; г – конструктивный элемент; 1 – грань 1; 2 – грань 2; 3 – грань 3; 4 – грань 4; 5 – направление ветра; 6 – вспомогательное оборудование, размещенное перпендикулярно грани 1; 7 – пояс, размещенный перпендикулярно грани; 8 – вспомогательные компоненты на данном участке, распределенные на грани 2; 9 – вспомогательные компоненты, размещенные перпендикулярно грани (включая ступеньки лестницы, защитное кольцевое ограждение и т. д.); 10 – пояс, размещенный перпендикулярно грани; 11 – вспомогательные компоненты на данном участке, распределенные на грани 2; 12 – секция мачты; 13 – вспомогательные компоненты с расчетной площадью AA; 14 – вспомогательные компоненты с расчетной площадью AS; 15 – высота панели [h]

При этом допускается, что элементы круглого поперечного сечения при отсутствии гололеда находятся в докритическом режиме при числе Рейнольдса $Re < 4,0 \cdot 10^5$ и в надкритическом режиме – при больших значениях числа Рейнольдса. Впрочем, если для одного или всех элементов допускается надкритический режим, то в этом случае следует выполнять проверку следующего условия: не возникает ли большая нагрузка при меньшей скорости ветра, т.е. при $Re < 4,0 \cdot 10^5$?

На рис. 1 представлены схемы наиболее типичных конструктивных элементов высотных сооружений, поясняющие определение коэффициента общей ветровой нагрузки в зависимости от угла воздействия воздушного потока.

В свою очередь, на рис. 2 на примере высотных сооружений с квадратным и треугольным поперечным сечением показан график зависимости коэффициента угла воздействия ветра K

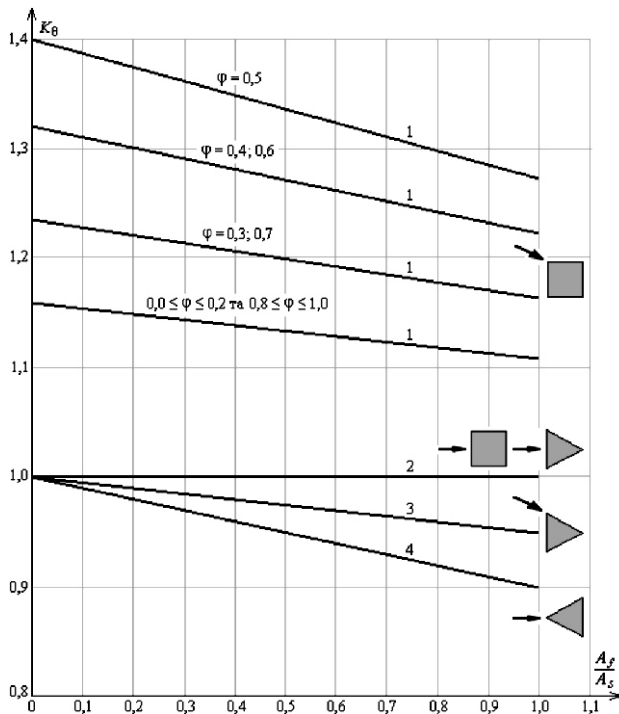


Рис. 2. Графік залежності $K = f(A_f/A_s)$ при різних значеннях кута впливу повітряного потоку і коефіцієнта площності :

1 – башни квадратного поперечного сечення, вітер під кутом $= 45^\circ$; 2 – грань башен квадратного і трикутного поперечного сечення проти вітра; 3 – башни трикутного поперечного сечення, вітер паралельно грані; 4 – башни трикутного поперечного сечення, вітер під кутом $= 180^\circ$

от отношения общей расчетной площади при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов плоского сечения в грани A_f к площади $A_s = A_f + A_c + A_{c, \text{sup}}$ при различных значениях угла воздействия воздушного потока и коэффициента сплошности .

Значение коэффициента общей нормальной силы (другое идентичное название – коэффициент общего нормального лобового сопротивления, которое, кстати, было применено ранее) $c_{f,s,0}$ для стержневых конструкций высотных сооружений с квадратным или треугольным поперечным сечением в плане и состоящих из элементов плоского или круглого сечения в любой точке j определяется по формуле

$$c_{f,s,0,j} = c_{f,0,f} \frac{A_f}{A_s} + c_{f,0,c} \frac{A_c}{A_s} + c_{f,0,c,\text{sup}} \frac{A_{c,\text{sup}}}{A_s},$$

где $c_{f,0,f} = 1,76C_1(1 - C_2 + \dots)$ – коэффициент силы для секций из элементов плоского сечения; $c_{f,0,c} = C_1(1 - C_2) + (C_1 + 0,875)^2$ – коэффициент силы для секций из элементов круглого сечения в докритических режимах; $c_{f,0,c,\text{sup}} = 1,9 - [(1 - \dots)(2,8 - 1,14C_1 + \dots)]^{1/2}$ – коэффициент силы для секций из элементов круглого сечения

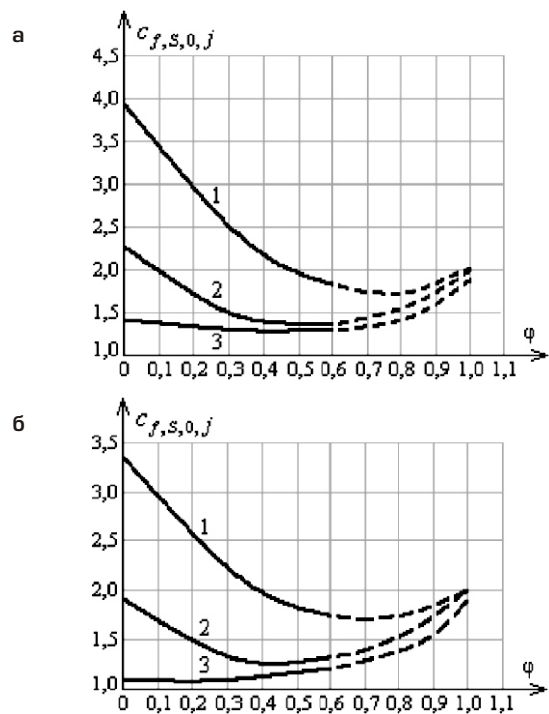


Рис. 3. Графік залежності $c_{f,s,0,j} = f(\phi)$:

а – высотные сооружения с квадратным поперечным сечением; б – высотные сооружения с треугольным поперечным сечением; 1 – элементы плоского сечения; 2 – элементы круглого сечения (докритический режим); 3 – элементы круглого сечения (надкритический режим)

в надкритических режимах; $C_1 = 2,25$ – для конструкций квадратного поперечного сечения; $C_1 = 1,9$ – для конструкций треугольного поперечного сечения; $C_2 = 1,5$ – для конструкций квадратного поперечного сечения; $C_2 = 1,4$ – для конструкций треугольного поперечного сечения.

Иллюстрирует сказанное рис. 3, на котором для двух видов поперечных сечений высотных сооружений (квадратное и треугольное) показана графически зависимость коэффициентов силы от коэффициента сплошности $c_{f,s,0,j} = f(\phi)$.

Обратим внимание на то, что все графики на рис. 3 при значениях $\phi > 0,6$ изображены пунктирной линией. При этом последнее связано с тем, что при этих значениях коэффициента сплошности следует учитывать возможность возникновения колебаний конструкции поперек воздушного потока.

[1] Національний стандарт України. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 (EN 1991-1-4:2005, IDT). – К: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 165 с.

[2] Зміна № 1 до ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 (EN 1991-1-4:2005, IDT). Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження. – К: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. – 14 с.

Надійшла 03.12.2015 р.