

УДК 69+624.014

Предложения по нормированию коэффициента высоты сооружения в ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи"

Пичугин С.Ф., д.т.н., Махинько А.В., к.т.н.

Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка,
Украина

Анотація. У пропонованій роботі викладається методика з нормування коефіцієнта висоти споруди, що описує вертикальний профіль, як швидкості вітру, так і швидкісного напору. Методика базується на розробленій авторами моделі максимумів випадкового стаціонарного процесу, якій притаманні аналітична простота і лаконічність розрахункових математичних виразів. Приводиться порівняльний аналіз нормування коефіцієнта висоти споруди у вітчизняних нормах, загальноєвропейських нормах Eurocode 1 і за пропонованою методикою.

Аннотация. В предлагаемой работе излагается методика по нормированию коэффициента высоты сооружения, описывающего вертикальный профиль, как скорости ветра, так и скоростного напора. Методика базируется на разработанной авторами модели максимумов случайного стационарного процесса, обладающей аналитической простотой и лаконичностью расчётных математических выражений. Приводится сравнительный анализ нормирования коэффициента высоты сооружения в отечественных нормах, общеевропейских нормах Eurocode 1 и по предлагаемой методике.

Abstract. In the given paper the method for regulation of building height coefficient is under consideration, which describes the vertical profile, both of wind and pressure velocity. The methods are based on the model developed by the authors concerning maximums of random stationary process, which is remarkable for analytical simplicity and lucidity of mathematical expressions. The comparative analysis of regulation of building height coefficient in domestic norms, European norms Eurocode 1 and in relation with the offered method is reviewed.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, вертикальный профиль скорости ветра, случайный процесс, пульсации ветра, статическая и динамическая составляющие ветровой нагрузки.

Введение. Вступление в силу новых украинских норм ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" вызвало ряд вопросов. Такие как, увеличение ветровых нагрузок на строительные конструкции, обусловленных коэффициентом высоты сооружения $C_h(z)$, числовые значения которого в первой редакции ДБН [4] превышали аналогичные значения в отменённом СНиП [11]. Впоследствии в отечественных нормах значения коэффициента $C_h(z)$ были заметно снижены. Кроме этого, коэффициент $C_h(z)$ стал зависеть от периода собственных колебаний сооружения, что

отличалось от определения этого коэффициента в общеевропейских нормах [12] (в Eurocode 1 он имеет название коэффициента экспозиции $C_e(z)$). По нашему мнению, такое положение, связано с методологическими аспектами нормирования ветровой нагрузки в СНиП [11] и ДБН [4]. Если союзные нормы [11] оперировали дуалистической природой ветровой нагрузки, рассматривая отдельно статическую и динамическую составляющие, то в ДБН [4] эта граница отсутствовала, предоставляя инженеру-проектировщику суммарную ветровую нагрузку. Отсюда возникло отождествление коэффициента $C_h(z)$, учитывающего изменение по высоте как средней скорости ветра, так и интенсивности турбулентности с коэффициентом $k(z)$, задачей которого было описание только среднего вертикального профиля скорости ветра (точнее скоростного напора).

Сама суть коэффициента $C_h(z)$ предполагает использование выражения [9]

$$C_h(z) = k(z)[1 + \zeta(z)], \quad (1)$$

где $k(z)$ – коэффициент, учитывающий возрастание среднего скоростного напора по высоте; $\zeta(z)$ – коэффициент пульсации скоростного напора, как убывающая функция высоты.

При этом коэффициент пульсации скоростного напора выражается в виде

$$\zeta(z) = 2\alpha_c I_v(z), \quad (2)$$

где α_c – коэффициент обеспеченности; $I_v(z)$ – интенсивность турбулентности.

Таким образом, сопоставление коэффициентов $C_h(z)$ и $k(z)$ даёт закономерную систематическую разницу величиной $[1 + \zeta(z)]$, что объясняет возрастание ветровой нагрузки в исходном варианте украинских норм [4]. Аналогичная ситуация и в европейских нормах [12].

Другая причина увеличения ветровых нагрузок связана с использованием разных коэффициентов обеспеченности α_c в формуле (2). Так, к примеру, в союзных нормах [11] коэффициент $\alpha_c = 1,75$, а в Eurocode 1 [12] и ДБН [4] (до внесения в него исправлений) – $\alpha_c = 3,5$. Проблема выбора обеспеченностей коэффициента пульсаций как скорости ветра, так и скоростного напора довольно часто обсуждалась в отечественной литературе. Большое внимание ей уделено в фундаментальной монографии проф. М.Ф. Барштейна [3], где, обосновывается ранее принятая обеспеченность СНиП 2.01.07-85 $\alpha_c = 1,75$.

Два этих обстоятельства внесли путаницу в вычисление ветровых нагрузок на здания и сооружения. Поэтому, в сложившейся ситуации мы решили взять на себя ответственность немного разъяснить методологию коэффициента $C_h(z)$ и предложить простую, но математически строгую методику по его нормированию. Этим вопросам посвящена данная работа.

Основная часть. Коэффициентом высоты сооружения $C_e(z)$ (или *exposure factor*, как его принято называть в общеевропейских нормах) называется коэффициент перехода от скоростного напора на высоте $z=10$ м к скоростному напору на любой высоте. Этот коэффициент учитывает влияние не только статической составляющей скорости ветра, но и влияние её пульсаций на высоте z и выражается формулой [12]

$$C_e(z) = w_p(z) / w_{m,10,p}, \quad (3)$$

где $w_p(z)$ – расчетное значение суммарной ветровой нагрузки (статическая составляющая плюс пульсационная) на высоте z ; $w_{m,10,p}$ – расчетное значение статической составляющей ветровой нагрузки на высоте $z = 10$ м.

Одновременный учет обоих составляющих ветровой нагрузки в вероятностных расчетах рассматривается довольно редко в силу сложности математического аппарата, который используется при этом. Обобщенная вероятностная модель ветровой нагрузки в большинстве случаев схематизируется в виде квадратичного перехода суммы двух случайных процессов: статической $\tilde{U}_m(t)$ и пульсационной $\tilde{u}(\tau)$ составляющей скорости ветра:

$$w = \rho u^2 / 2 = 0,625u^2 = 0,625 \left(\tilde{U}_m(t) + \tilde{u}(\tau) \right)^2, \quad (4)$$

где ρ – плотность воздуха (согласно Eurocode 1 [12] $\rho = 1,25$ кг/м³).

Оба эти процесса рассматриваются как стационарные, но период их стационарности разный: если статическая составляющая скорости ветра может считаться стационарной (или квазистационарной) на всей временной шкале t , то период стационарности пульсационной составляющей ограничивается периодом осреднения Δt ординат случайного процесса статической составляющей. Это объясняется тем, что стандарт $\hat{u}_{\Delta t}$ процесса $\tilde{u}(\tau)$ является детерминированной функцией ординат случайного процесса $\tilde{U}_m(t)$ и связан с ним простым соотношением (здесь

и в последующем ограничимся рассмотрением продольной компоненты скорости ветра)

$$\hat{u}_{\Delta t} = k_r \cdot \tilde{U}_{m,10}, \quad (5)$$

где k_r – коэффициент местности, зависящий от шероховатости поверхности, значение его регламентировано нормами Eurocode [12] и ДБН В.1.2-2:2006 [4]; $\tilde{U}_{m,10}(t)$ – случайный процесс средней скорости ветра на стандартной высоте установки анемометра ($z = 10$ м), а $\tilde{U}_m(t)$ – случайный процесс средней скорости ветра на некоторой высоте z . При логарифмическом законе изменения скорости ветра по высоте (именно этот закон заложен в ДБН [4]) эти величины связаны соотношением

$$\tilde{U}_m(t) = k_r \cdot \tilde{U}_{m,10}(t) \cdot \ln(z/z_0) = \hat{u}_{\Delta t} \cdot \ln(z/z_0), \quad (6)$$

где z_0 – параметр шероховатости поверхности земли, который регламентируется аналогично коэффициенту k_r в нормах [4, 12].

Ограниченность стационарности процесса пульсаций скорости ветра является источником огромных трудностей в вероятностных расчетах и в общем случае требует привлечения сложной и неудобной техники нестационарных случайных процессов. Ввод некоторых ограничений может свести расчет данной задачи в рамки корреляционной теории стационарных случайных процессов. Эти ограничения сводятся к следующему [5]:

- Абсолютный (глобальный) максимум суммарного случайного процесса U_{\max} за выбранный период времени T возникает тогда, когда случайный процесс статической составляющей скорости ветра $\tilde{U}(t, \tau) = \tilde{U}_m(t) + \tilde{u}(\tau)$ достигает уровня абсолютного максимума $U_{m,\max}$.
- В запас надежности принимается то, что максимум u_{\max} случайного процесса пульсационной составляющей скорости ветра $\tilde{u}(\tau)$ может проявиться в окрестностях точки U_{\max} на длине реализации, равной интервалу осреднения Δt ординат случайного процесса $\tilde{U}_{m,10}(t)$ статической составляющей скорости ветра (или адекватного ему процесса скоростного напора).
- Интенсивности турбулентности скорости ветра и скоростного напора рассматриваются как детерминированные величины.
- Для максимумов процесса $\tilde{U}_m(t)$ на отрезке времени T и максимумов процесса $\tilde{u}(\tau)$ на отрезке Δt используется модель максимумов, разработанная авторами [5, 8, 13].

Первое из оговоренных ограничений является непосредственным следствием формулы (5) – чем больше ордината случайного процесса $\tilde{U}_{m,10}(t)$, тем больше стандарт процесса $\tilde{u}(\tau)$ и, соответственно, вероятность возникновения максимума суммарного процесса $\tilde{U}(t, \tau)$. Данное ограничение позволяет вместо всего случайного процесса $\tilde{U}_m(t)$ рассматривать только вероятностные характеристики его абсолютных максимумов, принимая их за случайные величины. Второе ограничение позволяет рассматривать процесс $\tilde{u}(\tau)$ только в пределах периода осреднения ординат процесса $\tilde{U}_{m,10}(t)$ и использовать для его анализа методы стационарных случайных процессов. Наконец, третье и четвертое ограничения позволяют значительно упростить процедуру получения плотностей распределения максимумов случайных процессов (рис. 1).

Нас будут интересовать максимумы обобщенной ветровой нагрузки (статическая составляющая плюс пульсационная), поэтому сразу поставим в соответствие случайным процессам $\tilde{U}(t, \tau)$, $\tilde{U}_m(t)$, $\tilde{U}_{m,10}(t)$ и $\tilde{u}(\tau)$ процессы скоростного напора $\tilde{w}(t, \tau)$, $\tilde{w}_m(t)$, $\tilde{w}_{m,10}(t)$ и $\tilde{w}_p(\tau)$.

В пределах периода осреднения Δt представим сумму статической $\tilde{U}_m(t)$ и пульсационной $\tilde{u}(\tau)$ составляющих скорости ветра на высоте z в виде

$$\tilde{U}(z, \tau) = \tilde{U}_m(z) + \tilde{u}(z, \tau) = \tilde{U}_m(z)[1 + \varepsilon_u \tilde{u}_\gamma(z, \tau)], \quad (7)$$

где $\varepsilon_u = \hat{u}_{\Delta t} / \tilde{U}_m(z)$ – интенсивность турбулентности скорости ветра; $\tilde{u}_\gamma(z, \tau) = \tilde{u}(z, \tau) / \hat{u}_{\Delta t}$ – случайный процесс приведенной турбулентности; $\tilde{u}_\gamma(z, \tau)$ – нормированный случайный процесс с распределением [6, 7]:

$$p_u(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-0,5\gamma^2) \Delta_\varepsilon(\gamma), \quad (8)$$

где $\gamma = (u - \bar{u}_{\Delta t}) / \hat{u}_{\Delta t}$ – нормированное отклонение от центра распределения.

Согласно (7) суммарный случайный процесс скоростного напора $\tilde{w}(z, \tau)$ может быть представлен в виде (пренебрегая малой величиной квадрата случайного процесса $\tilde{u}_\gamma(z, \tau)$):

$$\tilde{U}_{\max} = \tilde{U}_{m,\max} (1 + \varepsilon_u \tilde{u}_{\gamma,\max}); \quad (9)$$

$$\tilde{w}_{\max} = \tilde{w}_{m,\max} (1 + 2\varepsilon_u \tilde{u}_{\gamma,\max}), \quad (10)$$

где $\tilde{U}_{m,\max}$ и $\tilde{w}_{m,\max}$ – соответственно случайные величины максимумов статической составляющей скорости ветра и скоростного напора за время T ; $\tilde{u}_{\gamma,\max}$ – случайная величина максимумов случайного процесса $\tilde{u}_{\gamma}(z, \tau)$ на интервале Δt .

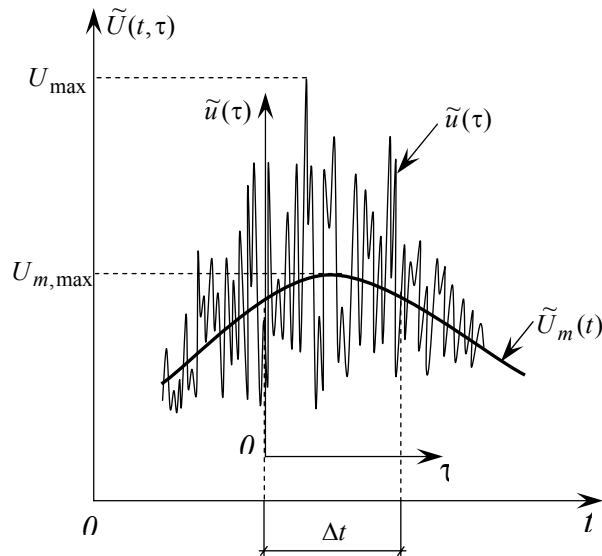


Рис. 1. Расчетная модель для максимума суммарного случайного процесса ветровой нагрузки

При этом связь между максимумами $\tilde{w}_{m,\max}$ случайного процесса статической составляющей скорости ветра на высоте z и максимумами того же процесса на высоте $z = 10$ м можно представить в виде

$$\tilde{w}_{m,\max} = \tilde{w}_{m,10,\max} k_r^2 / \varepsilon_u^2, \quad (11)$$

где $\varepsilon_u = 1 / \ln(z / z_0)$ – интенсивность турбулентности случайного процесса скорости ветра (формула принята по нормам [12], отражение которых прослеживается в [4]).

Согласно упрощенной экспоненциальной модели [5–7] распределения величин $\tilde{w}_{m,\max}$ и $\tilde{u}_{\gamma,\max}$ подчиняются двойному экспоненциальному распределению Гумбеля с параметрами $\gamma_{0,m}$, $\lambda_{0,m}$ и $\gamma_{0,u}$, $\lambda_{0,u}$.

На основании общих принципов упрощенной экспоненциальной модели находим распределение максимумов процесса $\tilde{u}_{\gamma}(z, \tau)$ в рамках выбранного интервала осреднения Δt . Для этого вначале необходимо

произвести оценку нормированного характеристического максимума $\lambda_{0,u}$ и характеристической интенсивности $\tilde{u}_\gamma(z, \tau)$ процесса $\tilde{u}_\gamma(z, \tau)$. На основании (8) после ряда математических преобразований получим [5, 13]:

$$\gamma_{0,u} = \sqrt{2 \ln \left[\frac{\omega_{e,u} \Delta t [1 + \Delta_\varepsilon(\gamma_{0,u})]}{2\pi\beta_{\omega,u}} \right]}; \quad (12)$$

$$\lambda_{0,u} = \frac{\Delta_\varepsilon(\gamma_{0,u}) [2 + \gamma_{0,u} \cdot \varepsilon_u] + \gamma_{0,u} \cdot \varepsilon_u}{\varepsilon_u [1 + \Delta_\varepsilon(\gamma_{0,u})]}, \quad (13)$$

где $\Delta_\varepsilon(\gamma) = \exp[-2\varepsilon_u^{-2}(1 + \gamma\varepsilon_u)]$ – функция интенсивности турбулентности скорости ветра; $\omega_{e,u}$ и $\beta_{\omega,u}$ – соответственно эффективная частота и коэффициент широкополосности случайного процесса скорости ветра.

При малом значении интенсивности турбулентности ε_u (что имеет место на больших высотах) для формул (12) и (13) справедливо

$$\gamma_{0,u} = \lambda_{0,u} = \sqrt{2 \ln \left[\frac{\omega_{e,u} \Delta t}{2\pi\beta_{\omega,u}} \right]}. \quad (14)$$

Определив значения $\gamma_{0,u}$ и $\lambda_{0,u}$, мы однозначно описываем величину максимумов $\tilde{u}_{\gamma, \max}$ суммарного процесса $\tilde{u}_\gamma(z, \tau)$.

Найдем условную функцию распределения величины \tilde{w}_{\max} , т.е. функцию распределения, предположив, что величина $\tilde{w}_{m, \max}$ детерминирована.

$$F_{w, \max}(w_{\max} | w_{m, \max}) = \exp \left\{ -\exp \left[-\frac{\lambda_{0,u}}{2\varepsilon_u} \left(\frac{w_{\max}}{w_{m, \max}} - 2\gamma_{0,u}\varepsilon_u - 1 \right) \right] \right\}. \quad (15)$$

Находим полную функцию распределения величины \tilde{w}_{\max} с учетом того, что величина $\tilde{w}_{m, \max}$ случайна и представлена техникой упрощенной экспоненциальной модели, т.е. двойным экспоненциальным распределением Гумбеля с параметрами $\gamma_{0,m}$, $\lambda_{0,m}$

$$F_{\max}(w_{\max}) = \int_0^\infty F_{w, \max}(w_{\max} | w_{m, \max}) f_{m, \max}(w_{m, \max}) dw_{m, \max}. \quad (16)$$

После ряда алгебраических преобразований и замены переменной интегрирования получим более расширенный аналог выражения (16):

$$F_{\max}(w_{\max}) = \int_0^1 \exp \left\{ -\exp \left[-\frac{\lambda_{0,u}}{2\varepsilon_u} \left(\frac{w_{\max}}{\bar{w}_m} \frac{1}{(1+\gamma_{0,m}V_m - V_m \ln(-\ln(Z))/\lambda_{0,m})} - 2\gamma_{0,u}\varepsilon_u - 1 \right) \right] \right\} dZ$$

или окончательно в нормированной форме $\gamma = (w_{\max} - \bar{w}_{m,10})/\hat{w}_{m,10}$:

$$F_{\max}(\gamma) = \int_0^1 \exp \left\{ -\exp \left[-\frac{\lambda_{0,u}}{2} \left(\frac{(1+\gamma V_m)\varepsilon_u k_r^2}{1+\gamma_{0,m}V_m - V_m \ln(-\ln(Z))/\lambda_{0,m}} - 2\gamma_{0,u} - \varepsilon_u^{-1} \right) \right] \right\} dZ, \quad (17)$$

где $\bar{w}_{m,10}$, $\hat{w}_{m,10}$ и V_m – соответственно математическое ожидание, стандарт и коэффициент вариации случайного процесса статической составляющей ветровой нагрузки $\tilde{w}_{m,10}(t)$.

Формула (17) решает задачу относительно распределения абсолютного максимума суммарного случайного процесса ветровой нагрузки и позволяет выполнять оценку надежности конструкций на совместное действие статической и пульсационной составляющих скорости ветра. Примеры построенных по (17) функций распределения приведены на рис. 2.

Определим статистические характеристики величины \tilde{w}_{\max} . Для этого воспользуемся теоремами теории вероятности о числовых характеристиках независимых случайных величин [2]. Математическое ожидание и стандарт при использовании упрощенной экспоненциальной модели равны [5]:

$$\bar{\gamma}_{VEM} = \gamma_0 + C/\lambda_0; \quad (18)$$

$$\hat{\gamma}_{VEM} = C/(0,45\lambda_0), \quad (19)$$

где $C \approx 0,577$ – постоянная Эйлера-Маскерони; γ_0 – уровень, для которого количество положительных пересечений случайного процесса $\tilde{w}(t, \tau)$ равно единице $N_+(\gamma | 0 \leq \tau \leq t) = 1$ (обоснование этих формул можно найти в [5]).

На основании (15) с учетом формул (18) и (19) после ряда математических преобразований получим:

$$\begin{aligned} \bar{w}_{\max} &= \bar{w}_{m,\max} (1 + 2\varepsilon_u \bar{u}_{\gamma,\max}) = \bar{w}_{m,10} \Phi_1; \\ \hat{w}_{\max} &= \hat{w}_{m,\max} \sqrt{1 + 4\varepsilon_u^2 [\bar{u}_{\gamma,\max}^2 + V_{m,\max}^2 \hat{u}_{\gamma,\max}^2 + \bar{u}_{\gamma,\max}^2]} + 1 + 2\varepsilon_u \bar{u}_{\gamma,\max} = \hat{w}_{m,10} \Phi_2, \end{aligned} \quad (20)$$

где безразмерные константы Φ_1 и Φ_2 показывают, во сколько раз увеличиваются соответственные статистические характеристики максимумов суммарной ветровой нагрузки \tilde{w}_{\max} по сравнению с соответ-

вующими характеристиками случайного процесса $\tilde{w}_{m,10}(t)$ статической составляющей ветровой нагрузки на высоте $z = 10$ м:

$$\Phi_1 = k_r^2 (1 + V_m \bar{\gamma}_m) (1 + 2\varepsilon_u \bar{\gamma}_u) / \varepsilon_u^2;$$

$$\Phi_2 = \frac{1,282 k_r^2}{\lambda_{0,m} \varepsilon_u^2} \sqrt{2(1 + \varepsilon_u \bar{\gamma}_u) + \frac{4\varepsilon_u^2}{\lambda_{0,u}^2} \left[1,645 + \bar{\gamma}_u^2 \lambda_{0,u}^2 + \frac{\lambda_{0,m}^2}{V_m^2} (1 + V_m \bar{\gamma}_m)^2 \right]}, \quad (21)$$

где $\bar{\gamma}_m = \gamma_{0,m} + C / \lambda_{0,m}$ – нормированное математическое ожидание максимумов статической составляющей ветровой нагрузки; $\bar{\gamma}_u = \gamma_{0,u} + C / \lambda_{0,u}$ – нормированное математическое ожидание максимумов процесса приведенной турбулентности.

Непосредственное использование (17) требует привлечения процедуры численного интегрирования, что усложняет путь получения результатов. В связи с этим авторами была исследована [5] и обоснована возможность аппроксимации функции (17) двойным экспоненциальным распределением Гумбеля с параметрами

$$\lambda_{0,\Sigma w} = 1,282 / \Phi_2; \quad (22)$$

$$\gamma_{0,\Sigma w} = (\Phi_1 - 1) / V_m - 0,45 \Phi_2. \quad (23)$$

В рамках разработанной модели максимумов случайного процесса обобщённой ветровой нагрузки может быть поставлен вопрос о нормировании коэффициента высоты сооружения. Так как максимумы процессов $\tilde{w}(t)$ и $\tilde{w}_{m,10}(t)$ описываются в рамках упрощенной экспоненциальной модели двойным экспоненциальным распределением Гумбеля, а расчетные значения нагрузок $w_p(z)$ и $w_{m,10,p}$ нормируются с одинаковой обеспеченностью P (вероятность превышения расчетного значения нагрузок), то согласно математической структуре выражения (3) коэффициент высоты сооружения $C_h(z)$ выразится простой формулой

$$C_h(z) = \frac{1 + V_m \{ \gamma_{0,\Sigma w} - \ln[-\ln(P)] / \lambda_{0,\Sigma w} \}}{1 + V_m \{ \gamma_{0,m} - \ln[-\ln(P)] / \lambda_{0,m} \}}. \quad (24)$$

Анализ (24) показал, что на значения коэффициента $C_h(z)$ не влияет период действия ветровой нагрузки и номер ветрового района, но сильное влияние оказывает обеспеченность нагрузок P (см. рис. 3, на котором коэффициент $C_h(z)$ построен для уровня обеспеченности $\ln[-\ln(P)] = 0$ и $P = 0,99$).

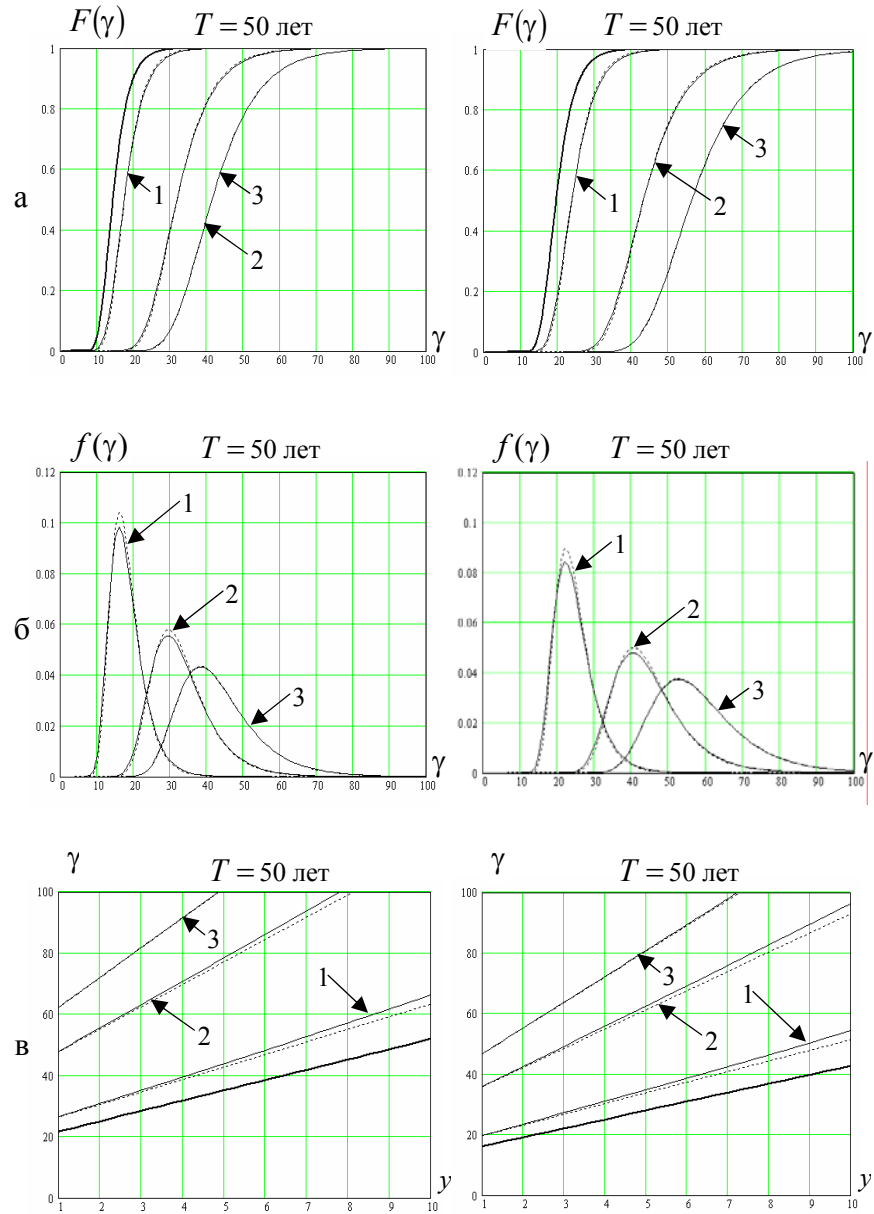


Рис. 2. Графики функций распределения максимумов обобщенной ветровой нагрузки (статическая и пульсационная составляющие) в нормированной форме: а – интегральные функции; б – плотности распределений; в – хвосты распределений $y = -\ln\{-\ln[F(\gamma)]\}$

- – максимумы статической составляющей ветровой нагрузки;
- - - - - – максимумы обобщенной ветровой нагрузки на основании формулы (17);
- – максимумы обобщенной ветровой нагрузки на основании формулы (20);

параметр шероховатости: 1 – $z_0 = 1.0$ м; 2 – $z_0 = 0.1$ м; 3 – $z_0 = 0.01$ м

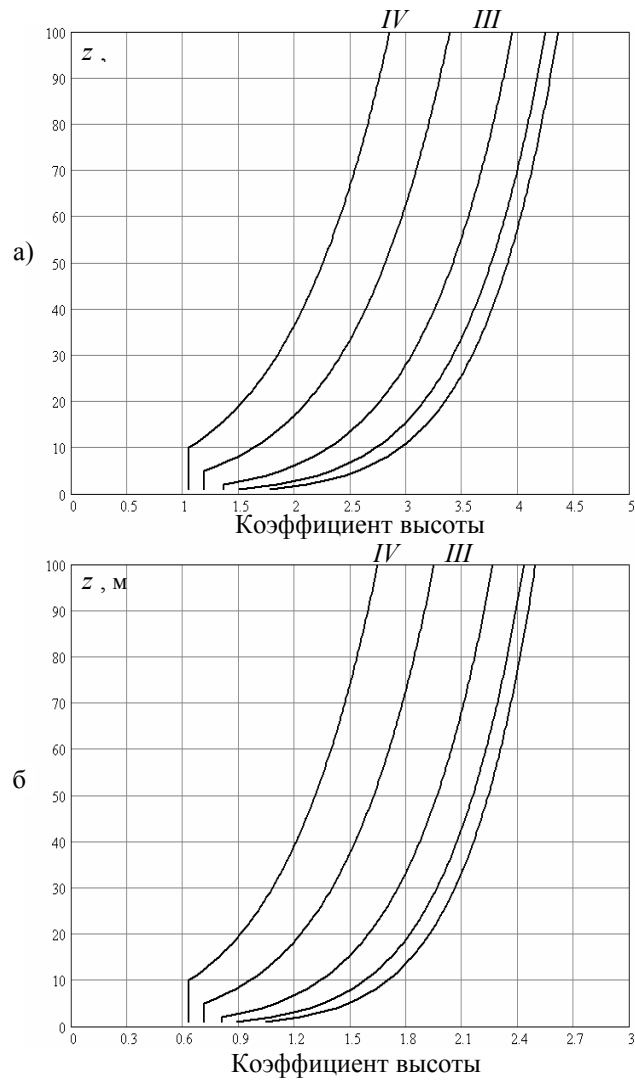


Рис. 3. Рекомендации по нормированию коэффициента высоты

Из рисунка видно, что по мере возрастания обеспеченности нагрузок коэффициент высоты сооружения уменьшается, т.е. недостаток обеспеченности нагрузок компенсируется высокими значениями коэффициента $C_h(z)$. И наоборот, если обеспеченность расчётных значений высока, то можно существенно снизить значения коэффициента высоты сооружения. Немного меньшее влияние, чем величина P , на коэффициент высоты оказывают эффективная частота $\omega_{e,u}$ и коэффициент

широкополосности $\beta_{\omega,u}$ пульсаций ветра – по мере роста соотношения $\omega_{e,u}/\beta_{\omega,u}$ значения коэффициента увеличиваются.

Для вывода практических рекомендаций по нормированию коэффициента высоты сооружения используем регрессионные зависимости [5], полученные на основе большой совокупности экспериментальных исследований как самих авторов, так и коллектива кафедры металлических конструкций ДонНАСА:

$$\beta_{\omega} = 5[1 + 10 \exp(-0.25\omega_e)]. \quad (25)$$

$$\omega_e = \bar{u}_{\Delta t} [1 + 50 \exp(-L_u^{1/2})], \quad (26)$$

где L_u – интегральный продольный масштаб турбулентности.

Согласно [4] максимальное значение статической составляющей ветровой нагрузки для территории Украины составляет 600 Па, что приблизительно соответствует скорости ветра 30 м/с. Используя последовательно формулы (25) и (26), получим $\omega_{e,u} = 30$ Гц, $\beta_{\omega} = 5$, откуда $\omega_{e,u}/\beta_{\omega,u} = 6$. На основе (12)–(14) определим нормированный характеристический максимум и характеристическую интенсивность случайного процесса пульсационной составляющей скорости ветра: $\gamma_{0,u} = \lambda_{0,u} = 3,31$. После определения параметров $\gamma_{0,m}$ и $\lambda_{0,m}$ случайного процесса статической составляющей ветровой нагрузки, рассчитываем величины Φ_1 , Φ_2 , параметры $\gamma_{0,\Sigma w}$, $\lambda_{0,\Sigma w}$ и по формуле (24) находим значение коэффициента высоты.

Таким образом, выбрав заданную обеспеченность ветровой нагрузки, можно обосновано нормировать коэффициент высоты сооружения. При этом территориальная изменчивость коэффициента $C_h(z)$, отпечаток которой накладывает коэффициент вариации статической составляющей ветровой нагрузки, очевидно, будет незначительной по сравнению с влиянием обеспеченности P . В нормах проектирования удобнее использовать графики коэффициента $C_h(z)$ или их табличную интерпретацию. Вопрос выбора необходимой обеспеченности расчётного значения ветровой нагрузки может быть решён в рамках существующих ДБН В.1.2-2:2006, который предоставляют проектировщику возможность выбора необходимой обеспеченности нагрузки. Заметим, что характеристическое значение статической составляющей ветровой нагрузки в данном документе нормировано с обеспеченностью $P=0,368$, т.е. $\ln[-\ln(P)]=0$. Рассчитанные значения $C_h(z)$ при $\ln[-\ln(P)]=0$ приведены на рис. 4. На рисунке также нанесены значения коэффициента высоты, которые регламентируются общеевропейскими нормами Eurocode [12]. При этом категория 0 отвечает параметру шероховатости

$C_h(z)$ посредством обеспеченности расчётного значения ветровой нагрузки. Что касается снижения расчётных нагрузок, то оно может осуществляться путём введения некоторых допущений по отношению к конкретному виду сооружений, например, как это сделано в п. 6.2 СНиП [11].

Литература

- [1] *Аугустин Г., Баратта А., Кашиати Ф.* Вероятностные методы в строительном проектировании: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.
- [2] *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 7-е изд. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
- [3] *Барштейн М.Ф.* Воздействие ветра на здания и сооружения // Нагрузки и надежность строительных конструкций: Труды ЦНИИСК. – Вып. 21. – М.: Стройиздат, 1973. – С. 65–84.
- [4] ДБН В.1.2-2:2006. Система надійності та безпечності у будівництві. Навантаження і впливи, 2006. – 100 с.
- [5] *Махінко А.В.* Надійність елементів металоконструкцій під дією випадкових змінних навантажень: Автореф. дис. канд. техн. наук / ПолтНТУ – Полтава, 2006. – 24 с.
- [6] *Некрасов Ю.П., Махінко А.В.* До обґрунтування імовірнісної моделі пульсаційної складової вітрового навантаження // Зб. наук. пр. (Галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 17. – Полтава: ПолтНТУ. – 2006. – С. 116-121.
- [7] *Некрасов Ю.П., Махінко А.В.* Чисельно-аналітична методика оцінки статистичних характеристик поривів вітру // Металеві конструкції. – Том 9, номер 1. – Макіївка. – 2006. – С. 29–41.
- [8] *Пичугин С.Ф., Махінко А.В.* К вероятностным методам расчёта металлоконструкций // Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини: Зб. наук. пр. – ОДАБА, 2005. – С. 161–171.
- [9] *Пичугин С.Ф., Махінко А.В.* О принципах нормирования ветровых нагрузок в Eurocode 1: "Actions on Structures" и СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр.– Одесса: ОГАСА, 2006. С. 152–164.
- [10] *Пичугин С.Ф., Махінко А.В.* Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава, АСМІ, 2005. – 342 с.
- [11] СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
- [12] Eurocode 1: Action on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind Actions.– Brussels: CEN TC 250, 2002. – 155 p.
- [13] *Pichugin S., Makhinko A.* Probabilistic Model of Wind Load Maxima // Proc. 3-rd Inter. Conf. "Problems of the Technical Meteorology". – Lviv. – 2006. – p. 92–97.

Надійшла до редколегії 08.03.2008 р.