



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№4, ТОМ 15 (2009) 237-252

УДК 624.042.41.97:69.057.44

(09)-0200-1

НОРМУВАННЯ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ГРАТЧАСТІ ОПОРИ В СТАНДАРТАХ РІЗНИХ КРАЇН СВІТУ

С.Ф. Пічугін, А.В. Махінько

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава, Україна.*

E-mail: pasargada@mail.ru

Отримана 19 жовтня 2009; прийнята 26 листопада 2009

Анотація. У статті розглядається нормування вітрового навантаження на гратчасті опори в різних стандартах країн світу: колишнього СРСР СНиП 2.01.07-85, українського ДБН В.1.2-2:2006, євроном EN 1993-3-1:2006, EN 1991-1-4:2004, американського ASCE 7-05, британських норм BS 8100-4-1995 і канадського стандарту CSA S37-94. Наводяться порівняння нормативних періодів повторюваності швидкості вітру, вертикальних профілів середнього швидкісного напору, а також аеродинамічних коефіцієнтів просторових секцій опор при найбільш несприятливих кутах атаки вітрового потоку. При цьому показується, що в силу наявності в розроблювачів норм різної кількості дослідженого матеріалу, застосування різних критеріїв для визначення розрахункових значень величин, погрішності в оцінці їхніх статистичних характеристик, використання різних забезпечуваностей розрахункових коефіцієнтів, регламентації нормативних процедур різної ієрархії і точності варіації їхньої числової оцінки може досягати 50%.

Ключові слова: норми проектування, вітрове навантаження, кут атаки, гратчасті опори, вертикальний профіль вітру, період повторюваності, коефіцієнт суцільності, аеродинамічний коефіцієнт.

НОРМИРОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА РЕШЁТЧАТЫЕ ОПОРЫ В СТАНДАРТАХ РАЗНЫХ СТРАН МИРА

С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,
пр. Первомайский, 24, 36011, г. Полтава, Украина.*

E-mail: pasargada@mail.ru

Получена 19 октября 2009; принята 26 ноября 2009

Аннотация. В статье рассматривается нормирование ветровой нагрузки на решётчатые опоры в разных стандартах мира: бывшего СССР СНиП 2.01.07-85, украинского ДБН В.1.2-2:2006, евроном EN 1993-3-1:2006, EN 1991-1-4:2004, американского ASCE 7-05, британских норм BS 8100-4-1995 и канадского стандарта CSA S37-94. Приводится сравнение нормативных периодов повторяемости скорости ветра, вертикальных профилей среднего скоростного напора, а также аэродинамических коэффициентов пространственных секций опор при наиболее неблагоприятных углах атаки ветрового потока. При этом показывается, что в силу наличия у разработчиков норм разного количества опытного материала, применения разных критериев для назначения расчётных значений величин, погрешности в оценки их статистических характеристик, использования разных обеспеченностей расчётных коэффициентов, регламентации нормативных процедур разной иерархии и точности вариация их числовой оценки может достигать 50%.

Ключевые слова: нормы проектирования, ветровая нагрузка, угол атаки, решётчатые опоры, вертикальный профиль ветра, период повторяемости, коэффициент сплошности, аэродинамический коэффициент.

SETTING OF WIND LOADS ON LATTICE TOWERS IN THE STANDARDS OF DIFFERENT COUNTRIES OF THE WORLD

S.F. Pichugin, A.V. Makhin'ko

Poltava Yu.Kondratyuck National Technical University,

24, Pervomaisky Av., Poltava, 36011, Ukraine.

E-mail: pasargada@mail.ru

Received 19 October 2009; accepted 26 November 2009

Abstract. The article is devoted to a consideration of setting wind loads on lattice towers in different standards of the world: the former USSR SNiP (performance requirements) 2.01.07-85, the Ukrainian DBN (performance requirements) B.1.2-2:2006, the European Norms EN 1993-3-1:2006, EN 1991-1-4:2004, the American ASCE 7-05, the British Norms BS 8100-4-1995 and the Canadian Standard CSA S37-94. There are compared normative periods of repeatability of wind velocity, vertical profiles of average velocity pressure, and aerodynamical coefficients of tower spatial sections at the most unfavourable angle of attack of a wind flow. It is shown, therewith, that developers having the norms of a various quantity of an experimental material, of the usage of different criteria for determining design value of quantities, miscalculation of their statistical performance, for using different design factor provisions, for regulation of normative techniques of different hierarchy and accuracy, the variation of their numerical estimate can reach 50%.

Keywords: codes of design, wind load, angle of attack, lattice towers, vertical profile of wind, period of repeatability, coefficient of integrity, aerodynamical coefficient.

Формулировка проблемы

Башенные и мачтовые опоры представляют особый класс металлоконструкций, потребность в котором сильно возросла в последние годы. Причём эта потребность заключается не только в создании новых опор, но и в возможности надёжной эксплуатации большого количества уже установленных. Независимо от того, является ли конструкция опорой мобильной связи, опорой линии электропередачи, опорой ветроагрегата или нефтяной вышкой, основой для её проектирования или нормативной проверки является расчёт на ветровую нагрузку. Такие расчёты были разработаны примерно в конце 50-х, начале 60-х годов прошлого века и, казалось бы, за шестидесятилетний период инженерного развития должны были отшлифоваться, как алгоритм, и быть согласованными на мировом уровне, как нормативная методика. Однако в действительности, даже без рассмотрения вопросов динамики опор, существуют значительные расхождения в нормах проектирования по сбору статической ветровой нагрузки на них. Это, естественно, накладывает свой отпечаток на оценку пульсационной составляющей, и, как результат, вариация в вели-

чинах внутренних усилий и перемещений достигает 50%. Вполне логично, что после таких "расчётов" возникает сакраментальный вопрос: в правильности каких норм проектирования по wind engineering (ветровых воздействий) можно быть уверенным?

Анализ последних исследований и публикаций

В некоторой степени дать ответ на этот вопрос мы пытались в наших прежних работах, так или иначе, затрагивая проблему согласованности мировых нормативов по ветровой нагрузке. Причём, если некоторые из опубликованных статей и монография носили чисто сравнительный характер, с описанием и разъяснением методологических особенностей норм по wind engineering [4, 6, 8, 9], то ряд работ содержали вполне конкретные рекомендации и предложения [5, 7, 10, 11, 18]. В частности, мы пытались привлечь внимание к проблеме нормирования коэффициента высоты сооружения в ДБН В.1.2-2:2006 [12], указывая старые и новые неточности этих норм [6] и предлагая пути обоснованного выхода из этой ситуации [7, 18].

Цели работы

Данная работа носит обзорный и сравнительный характер и посвящена нормированию статической составляющей ветровой нагрузки на решётчатые опоры в стандартах разных стран мира. Нам хотелось показать, как рассогласованность ряда расчётных коэффициентов ветровой нагрузки может в конечном итоге отразиться на её расчётном значении. Кроме того, мы хотели подчеркнуть насколько важен этот вопрос и с какой осторожностью нужно использовать старый отечественный опыт и перенимать "новые" зарубежные инновации. В условиях отсутствия в Украине нормативных постановлений по расчёту решётчатых башен и мачт это решение кажется нам уместным, позволяющим выбрать правильный вектор развития и гармонизации отечественной нормативной базы.

Основной материал

Как известно, основой для нормирования ветровой нагрузки является скорость ветра $U_{m,10}$ на стандартной высоте установки анемометра. Согласно требованиям Мировой Организации Метеорологии (World Meteorological Organization) в качестве стандартной считается высота, равная десяти метрам. Переход к скоростям ветра на других высотах $U_m(z)$ осуществляется умножением величины $U_{m,10}$ на некоторую функцию $\phi(z, z_0)$ высоты z и шероховатости подстилающей поверхности z_0 , а применение квадратичного перехода Бернулли $\rho U_m^2(z)/2$ позволяет получить инженеру средний скоростной напор $w_m(z)$ на этой же высоте. Чтобы из ветрового напора получить ветровую нагрузку, необходимо иметь конструкцию, в роли которой здесь и далее будет фигурировать некоторая решётчатая опора. Аэродинамические свойства опоры охарактеризуем функцией аэродинамического коэффициента $C_{aer}(z)$, а степень её "ветровой прозрачности" — коэффициентом сплошности $\phi(z)$. Если $b(z)$ — ширина опоры в пределах одной высотной отметки, то нехитрая операция $w_m(z)C_{aer}(z)/b(z)$ позволяет определить некую "условную" ветровую нагрузку на единицу высоты опоры, которую в практике нормирования принято называть статической ветровой нагрузкой.

Приведенный приём сбора ветровой нагрузки является общепринятым во всём мире и, казалось бы, должен давать в итоге, если не одинаковые, то хотя бы схожие результаты. Однако это не так, и причина расхождений кроется в нормировании, перечисленных выше функций и коэффициентов. Начнём, к примеру, с базовой скорости ветра $U_{m,10}$.

1. Период повторяемости

Скорость ветра $U_{m,10}$ в нормах проектирования любой страны зависит от периода повторяемости T ветров одинаковой интенсивности. А какой период повторяемости должен быть нормативным? Например, в отечественном СНиП [2] $T=5$ лет, в стандарте Германии — $T=10$ лет, Нидерландов — $T=12,5$ лет, Австралии и Новой Зеландии — $T \approx 17$ лет, Канады — $T=30$ лет, в общеевропейских нормах Eurocode 1 [13], нормах США [17], Великобритании [16], ЮАР и Швейцарии — $T=50$ лет, а в нормах Японии — $T=100$ лет. Отметим, что никакой математической основы для нормирования периода повторяемости не существует, а поэтому его числовая оценка всегда будет зависеть от субъективного мнения разработчиков норм, либо заимствована из других стандартов. В этой ситуации, однако, существует одна альтернатива, предложенная нормами Eurocode [13]. Суть её состоит в том, чтобы скорость ветра $U_{m,10}(T)$ заданного периода повторяемости T умножить на коэффициент вероятности c_{prob} , определяемый по формуле:

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \ln[-\ln(1 - 1/T)]}{1 - K \ln[-\ln(1 - 1/T_b)]} \right)^n, \quad (1)$$

где параметры n и K принимают постоянные значения 0,2 и 0,5, а величина T_b соответствует принятому базовому периоду повторяемости расчётной скорости ветра:

$$U_{m,10} = U_{m,10}(T) \cdot c_{prob}. \quad (2)$$

В основе формулы (1) лежит последовательность максимальных значений, в частности, первое экстремальное распределение Гумбеля [1]. При этом в силу нелинейного соотношения Бернулли необходимо рассматривать максимумы не скорости ветра, а скоростного напора. Согласно

теории экстремумов, если имеется выборка годовых максимумов по скоростному напору ветра с математическим ожиданием M и стандартом S , то всегда можно найти параметры $\alpha = M - 0,45S$ и $\beta = 0,78S$, а через них — значение скоростного напора заданной повторяемости T и необходимой обеспеченности P :

$$w_{m,10}(P, T) = \alpha - \beta \ln[-\ln(1 + \tau \ln P / T)], \quad (3)$$

где τ — периодичность выборки максимумов (в данном случае год $\tau = 1$ год).

В практике нормирования случайных временных нагрузок, которой является и ветровая, в качестве базовой принимается обеспеченность $P = 0,368$. В силу этого, выражение (3) приобретёт более компактный вид:

$$w_{m,10}(T) = \alpha \{1 - K \ln[-\ln(1 - 1/T)]\}, \quad (4)$$

где безразмерный параметр K будет равен $K = \beta / \alpha = 0,78 [V_{\max}^{-1} - 0,45]$.

Если выражение (4) записать для другого периода повторяемости, например, для T_b , а потом найти соотношение скоростей ветра разного периода повторяемости, то получим первоначальное выражение коэффициента вероятности (1). Заметим, что параметр K в этом выражении не константа, как это видно из формулы (4), а является функцией коэффициента вариации V_{\max} выборки годовых максимумов скоростного напора. Рекомендуемое нормами [13] значение $K = 0,2$ соответствует примерно $V_{\max} = 0,23$, которое с запасом покрывает данные по всем метеостанциям стран, входящих в систему стандартизации Eurocode.

В новых нормах Украины [12] зависимость расчётного скоростного напора от периода повторяемости также присутствует и представлена посредством коэффициента надёжности по нагрузке γ_{fm} . Так как коэффициент γ_{fm} вводится к скоростному напору ветра, а коэффициент c_{prob} — к скорости ветра, между ними существует связь $\gamma_{fm} = c_{prob}^2$. Воспользовавшись данными работы [3], можно подсчитать, что для территории Украины коэффициент вариации годовых максимумов заключён в пределах $V_{\max} = 0,5 \div 0,75$, что соответствует значениям $K = 0,5 \div 0,9$. В таблице 1 выполнено сопоставление значений коэффициента γ_{fm} с коэффициентом c_{prob}^2 при разных значениях параметра K . Данные таблицы показывают, что рекомендуемые

Eurocode значения $c_{prob}^2 (K = 0,2)$ в сравнении с ДБН могут до 25% завышать расчётный скоростной напор при $T < 50$ лет и до 13% занижать при $T > 50$ лет. Что касается значений $c_{prob}^2 (K = 0,5)$ и $c_{prob}^2 (K = 0,9)$, то они довольно хорошо согласуются с числовой оценкой коэффициента γ_{fm} .

2. Вертикальный профиль ветра

Определение вертикального профиля скорости ветра $\phi_v(z, z_0)$ или скоростного напора $\phi_w(z, z_0)$ является задачей важной, от адекватного решения которой зависит степень загрузки опоры. В союзном СНиП [2] для описания профиля среднего скоростного напора использовалась функция вида:

$$\phi_w(z, z_0) = \beta (z/10)^{2\alpha}, \quad (5)$$

где коэффициенты α и β зависят от типа местности: тип А — $\alpha = 0,15, \beta = 1,0$; тип В — $\alpha = 0,20, \beta = 0,65$; тип С — $\alpha = 0,25, \beta = 0,4$.

Идеология общеевропейских норм [13] заключается в использовании профиля не среднего, а полного ветра с учётом пульсаций скорости ветра в направлении потока. Коэффициент, который описывает эту закономерность, называется коэффициентом экспозиции и определяется по формуле:

$$C_e(z, z_0) = k_r^2 \ln^2(z/z_0) [1 + 7 / \ln(z/z_0)], \quad (6)$$

где $k_r = 0,19 (z_0/0,05)^{0,07}$ — коэффициент местности; z_0 — параметр шероховатости, принимающий значения $z_0 = 0,003; 0,01; 0,05; 0,3; 1,0$ м для типов местности 0, I, II, III, IV.

При этом произведение $\phi_w(z, z_0) = k_r^2 \ln^2(z/z_0)$ описывает профиль среднего ветра, а выражение $\phi_d(z, z_0) = [1 + 7 / \ln(z/z_0)]$ играет роль динамической добавки. Полезно отметить, что если бы авторы девятой главы ДБН В.1.2-2:2006 [12] выполнили упомянутое разделение скоростного напора на статическую составляющую и динамическую добавку, а также оговорили, для каких конструкций и как следует учитывать их совместное влияние, то это сняло бы те многочисленные вопросы, которые выдвигаются в адрес отечественных норм. Здесь только заострим внимание на том, что для решётчатых опор необходимо учитывать только статическое

воздействие ветра, представленное функцией $\phi_w(\bullet)$. Динамическая добавка $\phi_d(\bullet)$ для конструкций данного типа учитывается иным образом.

Нормы США ASCE 7-05 [17] также предлагают степенную формулу (5) для зависимости скоростного напора от высоты. Однако безразмерные коэффициенты α и β в этой формуле принимают несколько иные значения: категория местности В: $\alpha=1/7, \beta \approx 0,72$; категория местности С: $\alpha=1/9,5, \beta=1,0$; категория местности D: $\alpha=1/11,5, \beta \approx 1,18$; при этом категория "В" соответствует городской и пригородной территории, а категория "D" – равнинной местности.

Положительной особенностью североамериканских норм является также то, что они чётко регламентируют процедуру определения категории местности, в которой расположена конструкция. Для этого вычисляется среднее значение параметра шероховатости z_0 :

$$z_0 = 0.5H_{ob}S_{ob} / A_{ob}, \quad (7)$$

где H_{ob} и S_{ob} – средняя высота и усреднённая площадь наветренной поверхности преград на пути ветрового потока; A_{ob} – средняя площадь территории, занимаемой преградами (определяется как частное от деления общей площади

рассматриваемой территории на количество преград, расположенных на ней).

По вычисленному значению параметра шероховатости, используя интервальную оценку табл. 2, устанавливается искомая категория местности. Если же инженера не устраивает такой унифицированный подход, то он может сам получить точные значения коэффициентов α и β для вычисленной шероховатости:

$$\alpha = 1 / 5.14z_0^{-0.157}, \quad \beta = 2.01 / (45z_0^{0.125})^{2\alpha}. \quad (8)$$

Кроме этого, нормы ASCE 7-05 располагают рекомендациями по определению коэффициентов α и β , когда интересующая площадка застройки находится на стыке местностей с разной шероховатостью, например, пригородные территории, или площадки, расположенные на некотором удалении от земли. Последнее, кстати, может быть полезным при расчёте решётчатых опор, расположенных на кровлях зданий, что, как известно, в реалиях сегодняшней жизни встречается всегда и повсеместно.

Довольно странными выглядят рекомендации канадских норм CSA S37-94 [14], которые независимо от категории местности, в которой расположена опора, регламентируют зависимость

Таблица 1. Сопоставление значений коэффициентов γ_{fm} и c_{prob} в Eurocode [13] и ДБН [12].

T, лет	5	10	15	25	40	50	70	100	150	200	300	500
γ_{fm}	0.55	0.69	0.77	0.87	0.96	1.0	1.07	1.14	1.22	1.28	1.35	1.45
$c_{prob}^2(K=0.2)$	0.73	0.81	0.86	0.92	0.97	1.0	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	1.26
$c_{prob}^2(K=0.5)$	0.59	0.72	0.79	0.88	0.96	1.0	1.06	1.12	1.19	1.24	1.31	1.39
$c_{prob}^2(K=0.9)$	0.52	0.67	0.76	0.86	0.95	1.0	1.07	1.14	1.22	1.28	1.36	1.46

Таблица 2. Определение категории местности по параметру шероховатости в нормах ASCE 7-05 [17].

Категория	Нижняя граница	Типовое значение	Верхняя граница	Значения в формуле (8)
В	$z_0 \geq 0.15$ м	0.3 м	$z_0 \leq 0.7$ м	0.15
С	$z_0 \geq 0.01$ м	0.02 м	$z_0 \leq 0.15$ м	0.02
Д	–	0.005 м	$z_0 \leq 0.01$ м	0.006

скоростного напора ветра от высоты в виде (5) при $\beta=1,0$ и $\alpha=0,1$, оговаривая всё же, что вычисленные по (5) значения, не могут быть меньше 0,9 и больше 2.

В конце приведём рекомендации британских норм BS 8100 [16], которые из всех стандартов мира по расчёту башенно-мачтовых сооружений являются самыми основательными (более 370 страниц) и, на наш взгляд, самыми лучшими (по качеству и подробности изложенного материала). В данных нормах изменение скоростного напора по высоте описывается, наподобие стандартам СНиП 2.01.07-85, ASCE 7-05, ISO 4354:2009 и CSA S37-94 степенной зависимостью (5), с тем исключением, что показатель степени α и множитель β определяются согласно рекомендаций табл. 3.

Сравнение изложенных подходов по нормированию вертикального профиля среднего ветра выполнено на рис. 1. При этом в качестве базовых, или эталонных, рекомендаций нами были выбраны рекомендации СНиП 2.01.07-85. Во-первых, это апробированные годами зависимости отечественной школы, прошедшие многочисленные уточнения и корректировку, во-вторых, как показано выше, степенная зависимость более популярна в нормах проектирования, нежели логарифмический закон. Анализ графиков позволяет сделать следующие замечания.

Предложения Eurocode [13, 15] являются более дифференцированными, заявленных в СНиП [2]: пять категорий местности вместо трёх. Однако если оставить без внимания категории "0" и "I", то можно наблюдать довольно хорошую согласованность двух документов (см. рис. 1-а): вертикальный профиль для местности типа "A" для высот от 10 до 150 м отличается от вертикального профиля для категории местности "II" не более, чем на 7% (в

меньшую сторону); сопоставление типа "B" и категории "III" даёт аналогичное процентное расхождение, но в противоположную сторону; наконец, тип местности "C" в сравнении с категорией "IV" будет завышать ординаты вертикального профиля ветра на 6-12%. По нашему мнению, это достаточно хорошая согласованность, если учесть, что в обоих нормативах используются разные законы и фигурируют разные значения параметров шероховатости местности.

При сравнении союзного и американского подходов (см. рис. 1-б) бросается в глаза крутость кривых последнего: если кривые вертикального профиля ветра в Eurocode и СНиП идут практически параллельно, то американский стандарт оговаривает более узкий размах значений коэффициента возрастания скоростного напора. Это приводит к тому, что в ASCE 7-05 [17] абсциссы вертикального профиля ветра будут иметь бо́льшие значения в области низких высот и меньшие — в области высоких. Так, расхождение между ASCE и СНиП для городских территорий находится в пределах $44,5 \div 0,75\%$, с максимумом при $z=10$ м и минимумом при $z=150$ м; для пригородных территорий и лесных массивов разница меньше: в пределах $z=10 \div 90$ м ASCE завышает значения $\phi_w(\bullet)$ на $35 \div 1,5\%$, а в пределах высот $z=100 \div 150$ м, наоборот занижает до 9%; аналогичная предыдущей ситуации наблюдается для равнинных территорий: в пределах высот $z=10 \div 30$ м ASCE завышает значения $\phi_w(\bullet)$ до 18%, а в пределах высот $z=40 \div 150$ м занижает до 16%.

Британские нормы BS 8100 [16] по качественному характеру напоминают зависимости евроном: имеют пять категорий местности, а их словесное описание выглядит, как

Таблица 3. Нормирование показателя экспоненты α и множителя β в стандарте BS 8100 [16].

Параметр	Категория местности и параметр шероховатости поверхности z_0 , м				
	I	II	III	IV	V
	$z_0 = 0.003$ м	$z_0 = 0.01$ м	$z_0 = 0.03$ м	$z_0 = 0.1$ м	$z_0 = 0.3$ м
α	0.125	0.14	0.165	0.19	0.23
β	1.44	1.21	1.0	0.74	0.52

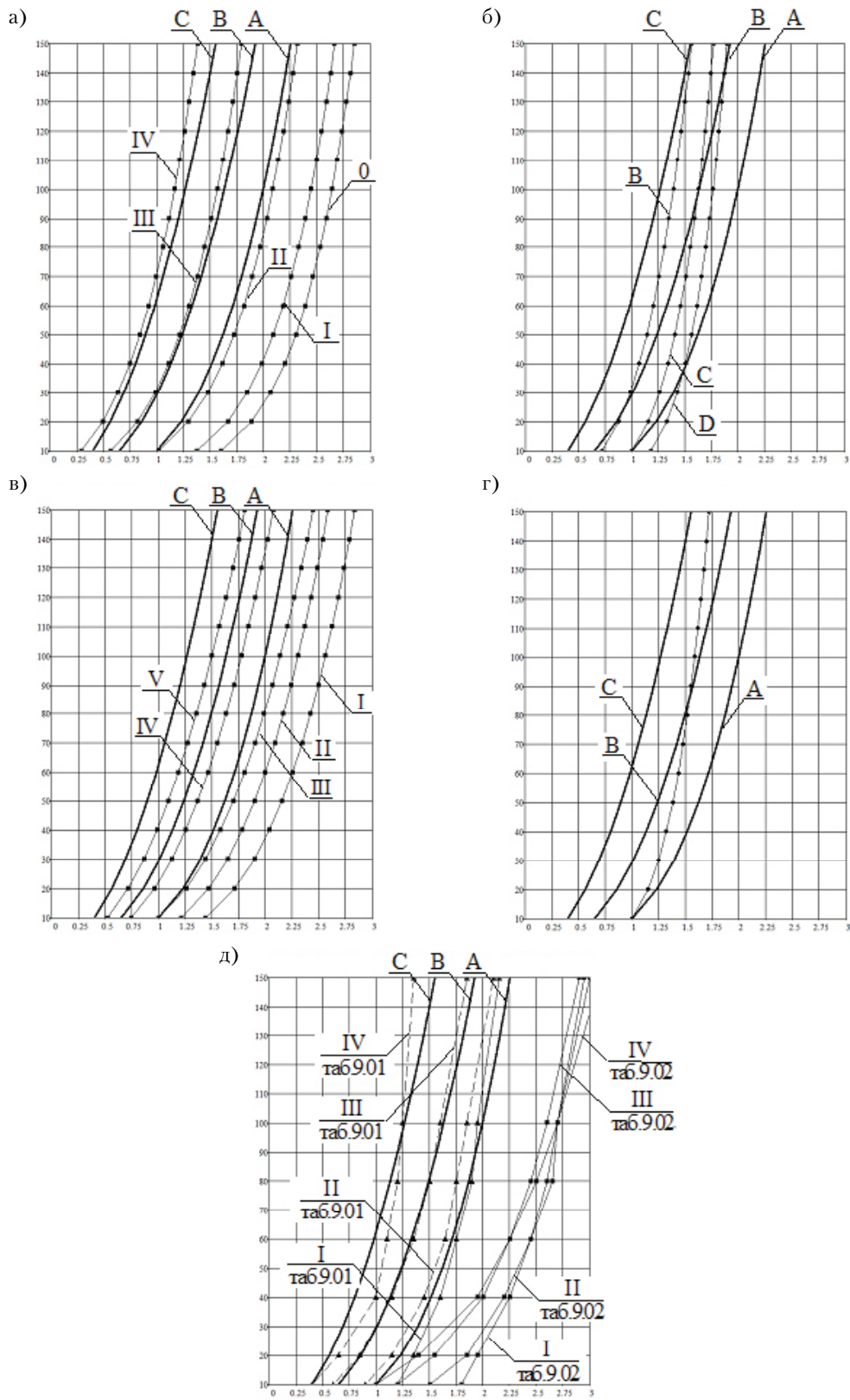


Рис.1. Сравнение вертикальных профилей среднего ветра: а) СНиП 2.01.07-85 [2], EN 1993-3-1:2006 [15], EN 1991-1-4:2004 [13]; б – СНиП 2.01.07-85 [2], ASCE 7-05 [17]; в – СНиП 2.01.07-85 [2], BS 8100-4:1995[16]; г – СНиП 2.01.07-85 [2], CSA S37-94 [14]; д – СНиП 2.01.07-85 [2], ДБН В.1.2-2:2006 [12].

выкопировка из Eurocode. Однако числовая оценка коэффициента возрастания скоростного напора выполнена иным образом. Для первых двух категорий местности еврономы рекомендуют принимать значения $\phi_w(\bullet)$, которые на 0,5÷12% больше, чем нормируемые стандартом Британии. Для третьей категории местности вертикальный профиль среднего ветра практически не отличается в обоих документах (разница не превышает 5%, причем на высотах более 100м), а для четвертой и пятой категорий местности, соответствующих городским и пригородным территориям, значения $\phi_w(\bullet)$, подсчитанные по BS 8100, соответственно на 10÷23% и 22÷44% больше, приведенных в Eurocode [13]. Вряд ли это можно объяснить спецификой исторической застройки "Старой доброй Англии". В сравнении со СНиП 2.01.07-85 нормы BS 8100 также регламентируют бо́льшие значения коэффициента $\phi_w(\bullet)$ (см. рис. 1-в), хотя форма кривых имеет схожий характер. Если типам местности СНиП "А", "В" и "С" противопоставить соответственно категории местности "I" (крайняя правая), "III" (средняя) и "V" (крайняя левая), то получим следующие расхождения не в пользу союзного документа: $\approx 22\div 44\%$ — для первого случая, $\approx 21\div 35\%$ — для второго и $\approx 14\div 23\%$ — для третьего.

Сравнительный анализ канадских норм CSA S37-94 [14] и СНиП 2.01.07-85 [2] не представляется интересным (см. рис. 1-г): одна единственная зависимость для вертикального профиля среднего ветра соответствует категории "С" американского стандарта ASCE [17]. И хотя эти рекомендации выглядят странными в своей простоте, в них есть доля здравого смысла: как мы увидели выше, коэффициенты $\phi_w(\bullet)$ для одинаковых типов местности, но вычисленные по разным стандартам, могут отличаться настолько, что возникает вопрос: может быть не надо выполнять дифференциацию по шероховатости подстилающей поверхности, а оставить одну единственную кривую вертикального профиля, как это реализовано в CSA S37-94?

В конце остановимся на новых нормах Украины [12], а вернее на "исправленной" редакции этих норм, где фигурируют нелогичные таблицы 9.01 и 9.02 (см. рис. 1-д). Нелогичность этих таблиц заключается в том, что, во-первых, вер-

тикальный профиль ветра не может зависеть от периода собственных колебаний конструкций — это физическая характеристика ветрового потока, а не инерционных свойств сооружения. Даже в Eurocode [13], где фигурирует профиль полного, а не среднего скоростного напора, коэффициент C_e учитывает степень атмосферной турбулентности и абсолютно безотносителен к свойствам сооружения (см. формулу (6)). Во-вторых, зависимости таблиц 9.01 и 9.02 [12] не подчиняются ни степенной зависимости, ни логарифмическому закону, а имеют свой характер. При этом кривые, соответствующие разным категориям, в некоторых случаях пересекаются, что с точки зрения технической метеорологии не может иметь место. Наконец, в-третьих, из рис. 1-д видно, что данные таблицы 9.01 [12] являются приближённой аппроксимацией данных СНиП [2], поэтому возникает вполне логичный вопрос о необходимости такой аппроксимации. Что касается кривых, построенных по таблице 9.02 [12], то складывается впечатление, что профили ветра для всех четырёх категорий в первом приближении описывают функцию $\phi_w(\bullet)$ для категории "0" Eurocode [13] или категории "I" британского стандарта BS 8100 [16], поэтому, на наш взгляд, необходимости в таблице 9.02 вообще нет.

Подводя итог представлению вертикального профиля среднего ветра в стандартах разных стран мира, хочется сказать следующее. Сегодня существуют две зависимости распределения скорости (или скоростного напора) ветра по высоте, называемые степенным и логарифмическим законами (не учитывая отечественный ДБН). Обе эти зависимости при соответствующем выборе параметров имеют право на существование, а поэтому акцент в совершенствовании норм проектирования, на наш взгляд, должен быть смещён с корректировки и уточнения этих параметров на разработку расчётных процедур их адекватной оценки (наподобие тому, как это реализовано, например, в американском стандарте ASCE 7-05). Имея в руках такой гибкий расчётный инструмент, инженер сможет сам оценить параметры функции $\phi_w(\bullet)$, учтя при этом намного больше особенностей местности, чем задекларировано для этой функции в стандартных категориях и типах (см., к примеру, выражения (7), (8)).

3. Аэродинамический коэффициент

Аэродинамический коэффициент C_{aer} характеризует способность опоры воспринимать ветровую нагрузку. Зависит коэффициент C_{aer} в общем случае от многих факторов, однако наиболее сильное влияние на его значения оказывает коэффициент сплошности φ , равный отношению суммы площадей проекций отдельных элементов опоры к площади её плоской грани по внешнему контуру.

Как известно, нормы СНИП 2.01.07-85 и ДБН В.1.2-2:2006 [2, 12] нормируют аэродинамический коэффициент решётчатых конструкций в виде:

$$C_{aer} = \frac{\sum_i C_{aer,i} A_i}{A} (1 + \eta) k_f, \quad (9)$$

где $C_{aer,i}$ — аэродинамический коэффициент i -го элемента, площадь проекции которого на плоскость конструкции составляет A_i ; A — площадь плоской грани опоры по внешнему контуру; k_f — коэффициент, учитывающий направление ветра на опору и её форму в плане, принимается равным единице во всех случаях, кроме ветра, направленного по диагонали квадратных в плане опор ($k_f=1,2$, для опор, выполненных из одиночных элементов $k_f=1,08$) и ветра, направленного перпендикулярно одной из граней опор, треугольных в плане (в этом случае $k_f=0,9$); η — коэффициент, зависящий от коэффициента сплошности плоских граней опор (ниже авторами предложена альтернатива табличной форме СНИП и ДБН):

для квадратных в плане опор при $\varphi \leq 0,6$:

$$\eta = 1,15 - 1,65\varphi, \quad (10)$$

для треугольных в плане опор при $\varphi \leq 0,6$:

$$\eta = 1,14 - 1,715\varphi. \quad (11)$$

Аэродинамический коэффициент $C_{aer,i}$ эле-

ментов с острыми краями может быть принятым равным 1.4 (таблица ДБН В.1.2-2:2006, где учитывается угол атаки, представляется нам малоприменимой для практического использования), а для элементов трубчатого сечения должен определяться в зависимости от числа Рейнольдса. При этом неудобной графической зависимости $C_{aer,i}(Re)$, приведенной в СНИП и ДБН [2, 12], может быть противопоставлена более удобная формульная зависимость (12) Eurocode 1 [15], где Δ — размер шероховатости поверхности элементов решётчатой опоры.

Нормы Eurocode [15] и британский стандарт BS 8100 [16] регламентируют довольно детальную процедуру определения аэродинамических коэффициентов пространственных секций опор, позволяющую учесть влияние антенно-фидерного оборудования. Аэродинамический коэффициент пространственной секции C_{aer} определяется как сумма двух коэффициентов: коэффициента $C_{aer,S}$, учитывающего аэродинамические свойства элементов самой опоры и коэффициента $C_{aer,A}$, который позволяет учесть дополнительное влияние антенно-фидерного оборудования. Первый из упомянутых коэффициентов может быть найден как:

$$C_{aer,S} = K_\theta \cdot C_{aer,S,0} \quad (13)$$

где $C_{aer,S,0}$ — коэффициент лобового сопротивления пространственной секции опоры при ветре, перпендикулярном её плоскости без учёта геометрических размеров её элементов; K_θ — коэффициент угла атаки θ ветрового потока, определяемый как:

$$K_\theta = \begin{cases} 1.0 + K_1 K_2 \sin^2(2\theta), \\ \frac{A_c + A_{c,sup}}{A_S} + \frac{A_f}{A_S} [1 - 0.1 \sin^2(1.5\theta)] \end{cases} \quad (14)$$

Верхняя формула — квадратная в плане опора, нижняя — треугольная в плане опора и приняты следующие обозначения: A_f , A_c и $A_{c,sup}$ —

$$C_{aer,i} = \begin{cases} 1.2, & \text{если } \frac{0.11}{(Re \cdot 10^{-6})^{1.4}} \geq 1.2; \\ \frac{0.11}{(Re \cdot 10^{-6})^{1.4}}, & \text{если } 1.2 \geq \frac{0.11}{(Re \cdot 10^{-6})^{1.4}} \geq 1.2 + \frac{0.18 \lg(10\Delta)}{0.4 \lg(Re \cdot 10^{-6})}; \\ 1.2 + \frac{0.18 \lg(10\Delta)}{0.4 \lg(Re \cdot 10^{-6})}, & \text{если } \frac{0.11}{(Re \cdot 10^{-6})^{1.4}} \leq 1.2 + \frac{0.18 \lg(10\Delta)}{0.4 \lg(Re \cdot 10^{-6})}, \end{cases} \quad (12)$$

соответственно площади проекций элементов с острыми краями (пластина, уголок, двутавр и т.п.), а также трубчатых элементов при докритическом и закритическом режимах обтекания; K_f, K_2 – безразмерные коэффициенты, числовую оценку которых следует выполнять по формулам:

$$K_1 = \frac{0.55A_f + 0.8(A_c + A_{c,sup})}{A_S}, \quad (15)$$

$$K_2 = \begin{cases} 0.2 & \text{при } 0 \leq \varphi \leq 0.2 \wedge 0.8 \leq \varphi \leq 1.0; \\ \varphi & \text{при } 0.2 < \varphi \leq 0.5; \\ 1 - \varphi & \text{при } 0.5 < \varphi < 0.8, \end{cases} \quad (16)$$

где $A_S = A_f + A_c + A_{c,sup}$ – суммарная площадь проекций всех элементов пространственной секции (при определении A_f, A_c и $A_{c,sup}$ принимается $\theta = 0^\circ$).

Если секция опоры составлена из элементов разного поперечного сечения (например, из уголка, круглой стали или трубы), то аэродинамический коэффициент $A_{aer,S,0}$ находится как

$$C_{aer,S,0} = C_{aer,0,f} A_f / A_S + C_{aer,0,c} A_c / A_S + C_{aer,0,c,sup} A_{c,sup} / A_S, \quad (17)$$

где $A_{aer,0,f}, A_{aer,0,c}$ и $A_{aer,0,c,sup}$ соответственно аэродинамические коэффициенты пространственных секций, составленных исключительно из элементов с острыми краями, трубчатых элементов при докритическом и закритическом режимах обтекания:

$$C_{aer,0,f} = 1.76C_1[1 - C_2\varphi + \varphi^2], \quad (18)$$

$$C_{aer,0,c} = C_1(1 - C_2\varphi) + (C_1 + 0.875)\varphi^2, \quad (19)$$

$$C_{aer,0,c,sup} = 1.9 - \sqrt{(1 - \varphi)(2.8 - 1.14C_1 + \varphi)}, \quad (20)$$

где коэффициенты $C_1 = 2.25$ и $C_2 = 1.5$ – для квадратной в плане опоры; $C_1 = 1.9$ и $C_2 = 1.4$ – для треугольной в плане опоры.

Формулы (18) – (20) резюмируют процедуру определения аэродинамического коэффициента пространственной секции в Eurocode. В отличие от СНиП и ДБН, эта процедура исключает рассмотрение аэродинамических коэффициентов отдельных элементов секций, а имеет дело только с аэродинамическими свойствами

пространственных секций целиком. На наш взгляд, это правильный и очень удобный подход, который можно встретить почти во всех мировых нормах по ветровой нагрузке. В конце отметим, что кроме приведенной процедуры вычисления C_{aer} , общеевропейские нормы регламентируют метод определения аэродинамического коэффициента пространственных секций решётчатых опор при разных значениях коэффициента сплошности плоских граней. Этот метод носит пока что рекомендательный характер и нуждается в доработке и экспериментальной проверке.

Американские нормы ASCE 7-05 [17] предлагают более простую, чем Eurocode [15], процедуру определения коэффициента C_{aer} , которая заключается в применении двух выражений:

- для квадратной в плане опоры:

$$C_{aer} = 4.0\varphi^2 - 5.9\varphi + 4.0, \quad (21)$$

- для треугольной в плане опоры:

$$C_{aer} = 3.4\varphi^2 - 4.7\varphi + 3.4. \quad (22)$$

При этом для пространственных секций, выполненных из трубчатых элементов или из элементов с круглыми краями, значения, полученные по формулам (21), (22), следует умножить на коэффициент:

$$k_1 = 0.51\varphi^2 + 0.57 \leq 1.0. \quad (23)$$

Дополнительно, для квадратных в плане опор при ветре, параллельном одной из диагоналей, выражения (21), (22) необходимо дополнить коэффициентом k_2 :

$$k_2 = 1 + 0.75\varphi. \quad (24)$$

Значения, полученные по формуле (24), не должны превышать 1.2, что, кстати, соответствует рекомендациям отечественных нормативов [2, 12].

Наставления канадских норм CSA S37-94 [14] в принципе дублируют американский стандарт ASCE 7-05, за исключением процедуры определения коэффициента k_2 в формуле (24). Здесь канадские авторы норм предлагают произведение 0.75φ заменить на произведение коэффициентов $K_f K_2$, числовые значения которых определяются аналогично тому, как это делается в Eurocode [15] или британском стандарте BS 8100 [16], т.е. по формулам (15) и (16).

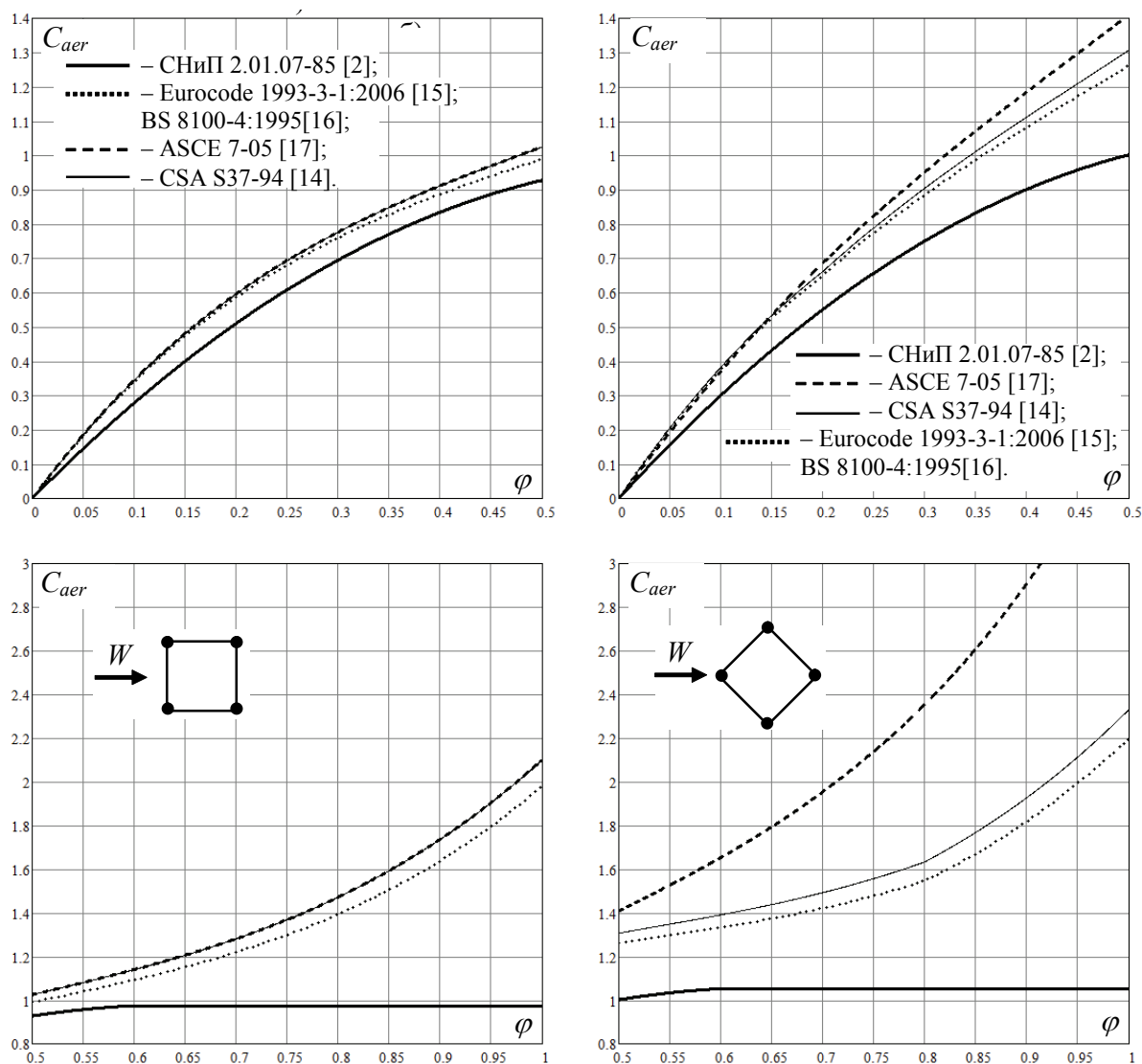


Рис. 2. Аэродинамический коэффициент пространственных секций квадратных в плане опор, выполненных из элементов с острыми краями: а – ветер “на грань”; б – ветер “на пояс”.

Оговорив отображение аэродинамических коэффициентов в стандартах разных стран мира, представляется интересным сравнить их на одной координатной плоскости. Это сравнение выполнено на рис. 2-5 и позволяет сделать следующие общие выводы (предполагалось, что опоры выполнены из одиночных элементов).

Для квадратных в плане опор при коэффициентах сплошности $0 \leq \varphi \leq 0,5$ и ветре “на грань” все рассмотренные стандарты дают приблизительно одинаковую оценку аэродинамического коэффициента (см. рис. 2-а). При этом ре-

комендации СНиП [2] играют роль нижней оценки для C_{aer} . По мере роста коэффициента сплошности разница в нормировании аэродинамического коэффициента в отечественной и зарубежной практике усиливается, достигая при $\varphi=0,9$ примерно 45%. Расхождение западных стандартов является незначительным. При действии ветра “на пояс” опоры разница в оценке аэродинамических коэффициентов проявляется в большей степени и при $\varphi=0,5$ может достигать 30%. При этом американский стандарт ASCE [17] даёт верхнюю оценку коэффициента C_{aer} , а

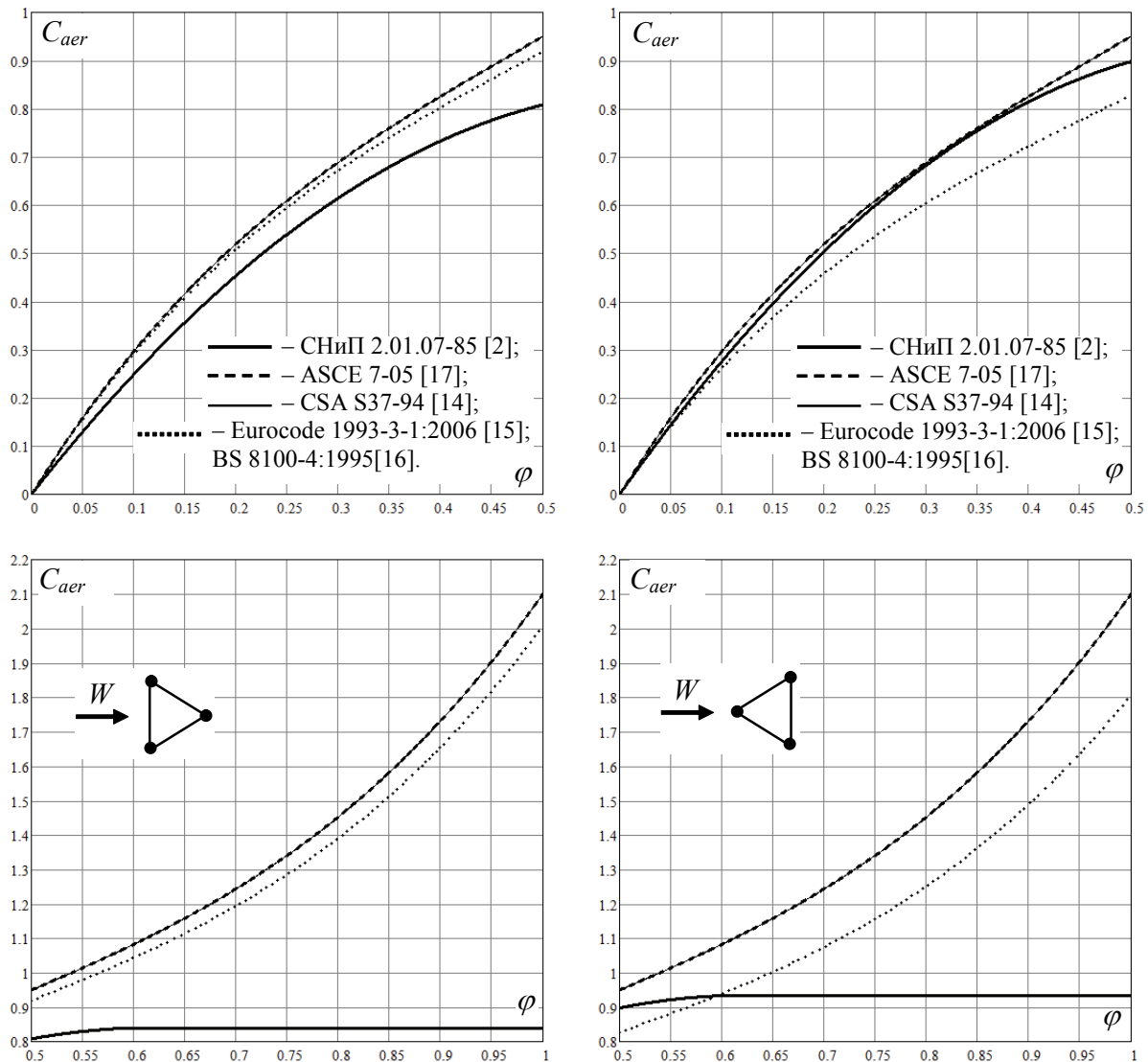


Рис. 3. Аэродинамический коэффициент пространственных секций треугольных опор, выполненных из элементов с острыми краями: а – ветер “на грань”; б – ветер “на пояс”.

союзный СНиП – нижнюю, как и в предыдущем случае. По мере роста коэффициента сплошности разница между стандартами быстро усиливается, и ветровая нагрузка на опоры с коэффициентом сплошности $\varphi=0,8$ может быть недооценена на 55%, если сравнивать ASCE и СНиП, на 35% при сравнении ASCE и Eurocode (или BS 8100) и на 30% при сравнении ASCE с канадскими нормами CSA S37-94. В связи с этим, интересно отметить, что если бы украинские нормы, наравне с коэффициентом высоты сооружений, позаимствовали у западных стандартов и процедуру нормирования

аэродинамических коэффициентов, то реакция на нововведённый ДБН очевидно была более агрессивной, чем нынешняя.

Значения аэродинамических коэффициентов трёхгранных пространственных секций из элементов с острыми краями (см. рис. 3) по американским и канадским нормам полностью совпадают при всех направлениях ветра и любых значениях коэффициента сплошности. При этом нормы ASCE и CSA S37-94, как и в предыдущем случае, играют роль верхней оценки коэффициента C_{aer} , а роль нижней оценки принадлежит при ветре

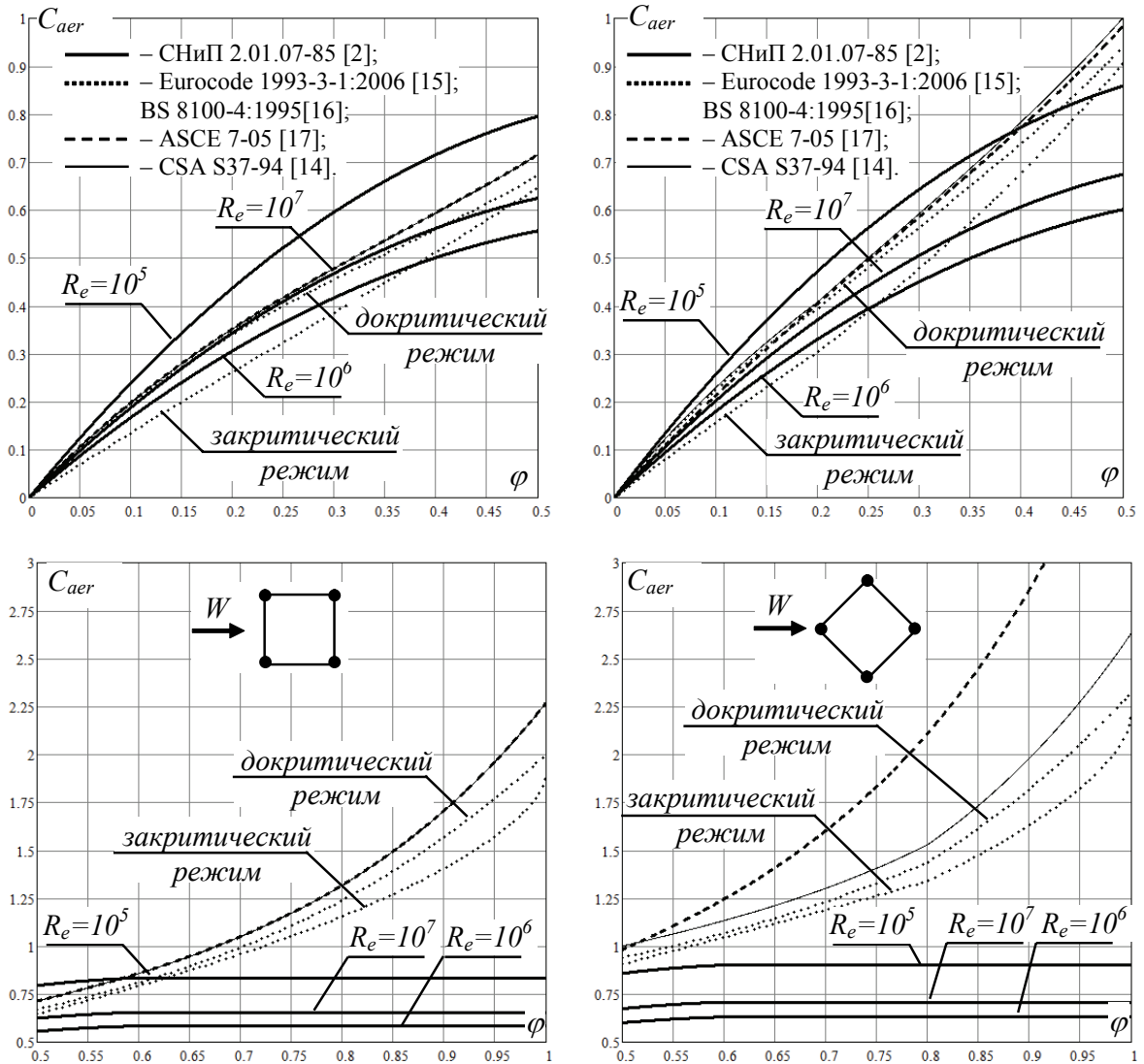


Рис. 4. Аэродинамический коэффициент пространственных секций квадратных в плане опор, выполненных из трубчатых элементов: а) ветер на “грань”; б) ветер “на пояс”.

“на грань” (см. рис. 3-а) — союзному СНиП [2], при ветре “на пояс” в диапазоне $0 \leq \varphi \leq 0,6$ — нормам Eurocode [15], а в диапазоне $0,6 \leq \varphi \leq 1$ — снова отечественному СНиП. Обращает на себя внимание также заметная разница между отечественными и зарубежными подходами к нормированию аэродинамических коэффициентов в области больших значений коэффициента сплошности.

На рис. 4, 5 выполнен сравнительный анализ аэродинамических коэффициентов трёх- и четырёхгранных опор, выполненных из трубчатых элементов. Отметим сразу, что эти про-

странственные секции имеют одну важную особенность: западные стандарты не рассматривают зависимость аэродинамического коэффициента трубчатых элементов от числа Рейнольдса, а регламентируют только его максимальное значение $C_{aer} = 1,2$. СНиП [2] и ДБН [12] такую зависимость предлагают, излишне усложняя процедуру сбора ветровой нагрузки. Однако нормы Eurocode [15] и BS 8100 [16] при оценке коэффициента C_{aer} всё же рассматривают отдельно докритический и закритический режимы обтекания, предлагая разные расчётные зависимости (19), (20).

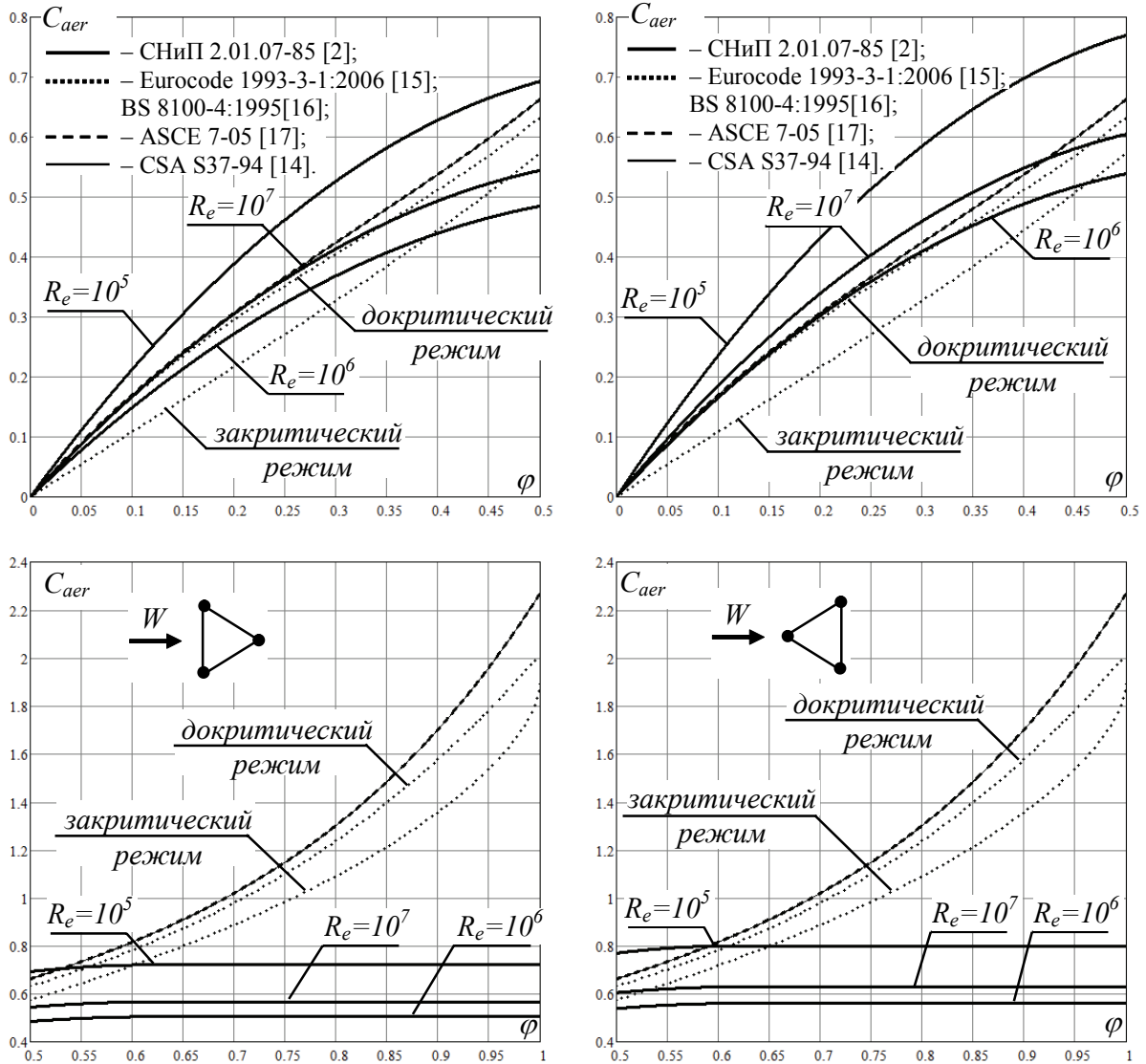


Рис. 5. Аэродинамический коэффициент пространственных секций треугольных в плане опор, выполненных из трубчатых элементов: а – ветер “на грань”; б – ветер “на пояс”.

Анализируя кривые рис. 4, 5, отметим совпадение аэродинамических коэффициентов трёхгранных опор и четырёхгранных при ветре “на грань” в американских и канадских стандартах и несколько заниженные, по отношению к ним, значения C_{aer} , рекомендуемые Eurocode [15]: при коэффициентах $\varphi \leq 0,5$ эта разница может достигать 20% для квадратных в плане опор и 25% – для треугольных. При росте коэффициента сплошности кривые $C_{aer}(\varphi)$ расходятся в разные стороны, особенно это заметно для четырёхгранных опор при ветре “на пояс”. К при-

меру, при $\varphi=0,8$ разница может достигать 40%. Другие расчётные ситуации имеют более гармонизированный характер. Что касается рекомендаций СНиП, то в зависимости от значений числа Рейнольдса аэродинамические коэффициенты могут отличаться в большей или меньшей степени. Особенно это заметно для треугольных в плане опор (рис. 5-6), где в докритическом диапазоне при $\varphi \leq 0,5$ СНиП завышает значения C_{aer} до 35% в сравнении с ASCE, CSA, BS и Eurocode. При коэффициентах сплошности $\varphi > 0,5$, СНиП, как и прежде, существенно

недооценивает аэродинамические коэффициенты, причём эта недооценка может достигать 80%.

Резюмируя рассмотрение аэродинамических коэффициентов, отметим следующее. Все нормы дают согласованную оценку коэффициента C_{aer} в области не больших значений коэффициента сплошности, примерно до 0.5. Причём для опор из элементов с острыми краями разница в оценке аэродинамических коэффициентов заметно меньше, чем для элементов трубчатого профиля. Поэтому можно ожидать, что решётчатые башни, рассчитанные по разным нормативным документам, будут иметь примерно одинаковые поперечные сечения стержней. Что касается мачт на оттяжках, для которых характерны коэффициенты сплошности $\varphi > 0,5$, то тут следует ожидать очень большие расхождения результатов расчёта.

Выводы

На сегодняшний день методика нормирования нагрузок на решётчатые опоры получила существенное развитие. Она учитывает, или старается учесть, всю специфику макро- и микрометеорологического действия ветра на строительные объекты, особенности их аэродинамического сопротивления, а также возможность предсказания экстремальных ветров. При этом, как показал данный короткий обзор, специфика ветрового воздействия в нормах разных стран мира описывается по своей, сформированной годами национальной традиции. Причина этого — наличие у разработчиков разного (и подчеркнём недостаточного) количества опытного материала, применение разных критериев для назначения расчётных значений величин, погрешности в оценки их статистических характеристик, использование разных обеспеченностей расчётных коэффициентов, регламентация нормативных процедур различной иерархии и точности и т.п. Всё это, конечно, свидетельствует о сложности такого явления, как ветровая нагрузка, и необходимости его дальнейшего всестороннего изучения. Но что касается гармонизации стандартов по ветровому воздействию (wind engineering), то очевидно, что она должна идти по пути использования единых методик расчёта и дифференцированных методов оценки их расчётных коэффици-

ентов. Такой "консервативно своевольный" нормативный аппарат позволит учесть инженеру гораздо больше особенностей расчёта решётчатых опор, нежели расчёт по "сгруппированным расчётным ситуациям".

Литература

1. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель. — М. : Мир, 1965. — 450 с.
2. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. — [Действующий от 1987-01-01]. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. — 36 с.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В.А. Пашинський. — К. : УкрНДІПСК, 1999. — 185 с.
4. Пичугин С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. — Полтава : АСМІ, 2005. — 342 с.
5. Пичугин С.Ф. Методика нормирования фактора порыва (gust factor) для решётчатых стальных опор с учётом временной изменчивости ветровой нагрузки / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Надёжность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы V Международной конференции, 23-24 апреля 2009 г. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. — Ч.3. — С. 205-213.
6. Пичугин С.Ф. О принципах нормирования ветровых нагрузок в Eurocode 1 "Action on structures" и СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. — Одесса : ОГА-СА, 2007. — Ч.1. — С.152-164.
7. Пичугин С.Ф. Предложения по нормированию коэффициента высоты сооружения в ДБН В.1.2-2:2006 "Нагрузки и воздействия" / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Надійність і довговічність машин і споруд : зб. наук. пр. Українського наук.-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. — К. : Сталь, 2008. — Вип. 1. — С. 52-67.
8. Пичугин С.Ф. Сравнительная характеристика основных параметров ветровой нагрузки на опоры связи в отечественной и зарубежной практике / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. — Одесса : ОДАБА, 2009. — Вип.33. — С. 126-134.
9. Пичугин С.Ф. Сравнительный анализ спектров пульсаций скорости ветра / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Вісник ДонНАБА : зб. наук. пр. — Макіївка : ДонНАБА, 2005. — № 8 (56). — С. 18-25.
10. Пичугин С.Ф. Імовірнісний опис аеродинамічного коефіцієнта просторових секцій опор зв'язку / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. — Рівне : УДУВГП, 2009. — Вип. 18. — С. 396-405.

11. Пичугин С.Ф. Пропозиції із динамічного розрахунку баштових конструкцій (до ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи") / С.Ф. Пичугин, А.В. Махінько // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. — Рівне : УДУВГП, 2008. — Ч.1, вип. 16. — С. 185-196.
12. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. — [Чинний від 2007-01-01]. — К. : Сталь, 2006. — 120 с.
13. Actions on Structures. Part 1-4. General actions — Wind Actions : Eurocode 1.— Brussels, Belgium : CEN, 2004. — 155 p.
14. Antennas, Towers and Antenna-Supporting Structures : CSA S37-94. — [1995-01-01]. — Canada: Canadian Standards Association. — 87 p.
15. Design of Steel Structures. Part 3-1. Towers, masts and Chimneys — Towers and Masts : Eurocode 3. — Brussels, Belgium : CEN, 2006. — 79 p.
16. Lattice Towers and Masts. Part 4. Code of practice for loading of guyed masts : BS 8100-4:1995. — [2003-04-08]. — London, England : British Standards Institution. — 88 p.
17. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures : ASCE 7-05. — [2006-01-01]. — Virginia, USA : American Society of Civil Engineers. — 419 p.
18. Pichugin S. Probabilistic Model of Wind Load Maxima / S. Pichugin, A. Makhinko // Problems of the Technical Meteorology : proceedings of the 3-rd International Conference, 22-26 May 2006. — Lviv. — 2006. — P. 92-97.
19. Wind Actions on Structures : ISO 4354:2009. — [2009-06-04]. — Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2009. — 68 p.

Пичугин Сергій Федорович — професор, академік Академії будівництва України, завідувач кафедри "Конструкцій з металу, дерева та пластмас" Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: розвиток загальної методики оцінки надійності елементів будівельних конструкцій і статично невизначених систем. Опис випадкових навантажень у різній імовірнісній техніці. Розв'язання задачі сполучення навантажень. Оцінка технічного стану і проектування металевих конструкцій. Участь у розробці будівельних норм проектування.

Махінько Антон Володимирович — доцент кафедри "Конструкцій з металу, дерева і пластмас" Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: методи оцінки проектної та експлуатаційної надійності будівельних конструкцій. Опис випадкових навантажень у різній імовірнісній техніці. Розв'язання задач сполучення навантажень. Математичні методи опису відмов будівельних конструкцій.

Пичугин Сергей Фёдорович — профессор, академик Академии строительства Украины, заведующий кафедрой "Конструкций из металла, дерева и пластмасс" Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: развитие общей методики оценки надёжности элементов строительных конструкций и статически неопределимых систем. Описание случайных нагрузок в различной вероятностной технике. Решение задачи сочетаний нагрузок. Оценка технического состояния и проектирование металлических конструкций. Участие в разработке строительных норм проектирования.

Махінько Антон Владимирович — доцент кафедры "Конструкций из металла, дерева и пластмасс" Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: методы оценки проектной и эксплуатационной надёжности строительных конструкций. Описание случайных нагрузок в различной вероятностной технике. Решение задач сочетания нагрузок. Математические методы описания отказов строительных конструкций.

Pichugin Sergey Fedorovich — professor, academician of the Civil Engineering Academy of Ukraine, Head of the Department "Structures of Metal, Wood, and Plastics" of Poltava Yu.Kondratyuck National Technical University. Scientific interests: development of a general technique of estimating reliability of building structure elements and statically indefinable systems. Description of random loads in a different probabilistic engineering. Solution of the task of combinations of loads. Estimation of operating conditions and design of metallic structures. Participation in the development of codes of design.

Makhin'ko Anton Vladimirovich — and associate professor of the Department "Structures of Metal, Wood, and Plastics" of Poltava Yu.Kondratyuck National Technical University. Scientific interests: methods of estimating design and operational reliability of building structures. Description of random loads in a different probabilistic engineering. Solution of the task of combinations of loads. Mathematical methods of describing building structure failure.