

Понижающий коэффициент ветрового давления и его учет при расчете решетчатых конструкций

А.В. Иоскевич¹, А.В. Савченко², Е.С. Егорова³, В.В. Иоскевич⁴

¹⁻³ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

⁴ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 69.04	Подана в редакцию 6 февраля 2014 Принята 11 апреля 2014	аэродинамический коэффициент, решетчатые конструкции, SCAD Office, понижающий коэффициент, ветровая нагрузка, нормы проектирования
Научная статья		

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается нормирование ветровой нагрузки на решетчатые сооружения, а именно влияние учета понижающего коэффициента, используемого в европейских нормах [5,6]. В статье приведены результаты определения ветровых нагрузок, а также рассмотрены результаты исследований по анализу напряженно-деформированного состояния решетчатой конструкции с помощью конечно-элементного моделирования. В процессе исследования осуществлены следующие операции:

- выполнено сопоставление положений отечественных и зарубежных стандартов по расчету ветровой нагрузки на здания и сооружения;
- создана пространственная конечно-элементная модель в программно-вычислительном комплексе SCAD Office 11.5;
- заданы расчётные сочетания усилий, комбинации загружений и нагрузок от фрагмента схемы;
- определены нагрузки на фундаменты; проведён сравнительный анализ результатов расчёта.

Содержание

Введение	46
Обзор литературы	46
Постановка задачи	47
Характеристика объекта	47
Создание КЭ модели в SCAD Office	48
Сбор нагрузок	48
Загружения и их сочетания	50
Анализ НДС системы и сравнение результатов расчётов	50
Сравнение полученных нагрузок на опорные узлы	50
Сравнение эпюр моментов от заданных комбинаций	51
Выводы	52

1

Контактный автор:

+7 (911) 819 1927, anton-ioskevich@mail.ru (Иоскевич Антон Владимирович, магистрант)

2

+7 (911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Савченко Алексей Владимирович, ассистент)

3

+7 (911) 088 3372, egorovaes@hotmail.com (Егорова Евгения Сергеевна, магистрант)

4

+7 (905) 282 9498, lvasily95@gmail.com (Иоскевич Василий Владимирович, бакалавр)

Введение

Проблема исследования ветровой нагрузки и расчёта сооружений на ветровые воздействия разделяется на три крупные подзадачи:

- изучение ветрового режима местности, основанное на использовании результатов метеорологических и климатических исследований;
- оценка сил, вызываемых воздействием ветра на сооружение, которые изучаются на основе решений задач теоретической аэродинамики и данных экспериментальных исследований;
- определение реакции сооружения на ветровую нагрузку, основанное, как правило, на решении задач статики и динамики сооружений [14].

В данной статье рассматривается один из частных случаев второй подзадачи, а именно определение значений ветрового давления на решётчатые конструкции, состоящих из труб прямоугольного (квадратного) сечения.

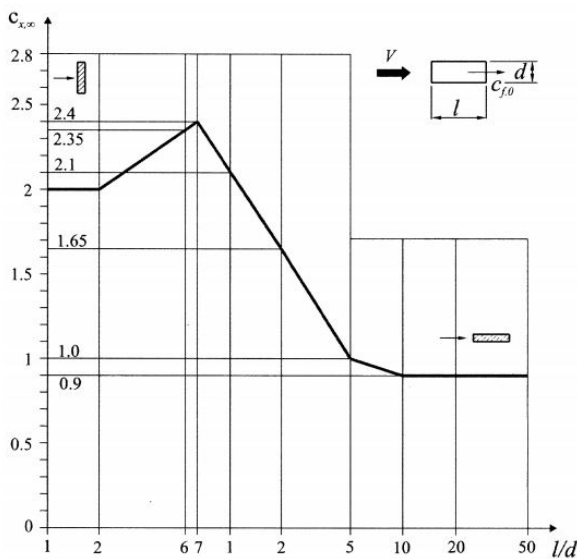


Рисунок 1. Аэродинамические коэффициенты (c_x) для конструкций прямоугольного поперечного сечения с острыми углами

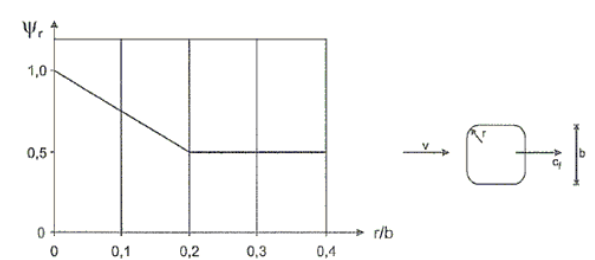


Рисунок 2. Понижающий коэффициент Ψ_r для конструкций квадратного поперечного сечения со скругленными углами

Влияние ветрового потока на конструкцию и отдельные её части определяется аэродинамическим коэффициентом (c_x). Определение значения этого коэффициента для труб прямоугольного (квадратного) сечения в различных нормативных документах отличается. Российские [1] и европейские [5, 6] нормативные документы определяют значение аэродинамического коэффициента в зависимости от соотношения сторон прямоугольного сечения по графику, представленному на рисунке 1.

График, представленный на рисунке 1, предполагает, что сечения элементов имеют острые углы, но на практике трубы прямоугольного и квадратных сечений имеют закругления [4], что уменьшает сопротивление конструкции ветровому потоку и тем самым снижает влияние нагрузки на сооружение. Российские нормативные документы не учитывают этого явления, а в европейских существует понижающий коэффициент (Ψ_r), который определяется по графику, представленному на рисунке 2, в зависимости от отношения радиуса закругления угла к ширине сечения.

Обзор литературы

Большая часть литературы, в которой представлены исследования ветрового потока была издана в 70-80-х годах прошлого века [7-9]. В одной из относительно недавно изданных книг [14] отмечается различие в подходах определения аэродинамических коэффициентов в российских нормах и европейских, но там не идет речь об открытых решётчатых конструкциях. В статье [15] описан научный подход определения аэродинамического коэффициента на примере башенного сооружения, включающего пакет из трех вытяжных труб.

В статье [12] производится сравнение различных мировых норм, в том числе российских и европейских. В статье подробно рассмотрены определения аэродинамических коэффициентов, но только применительно к решётчатым опорам связи, конструкции которых обычно не предполагают использование труб прямоугольного (квадратного) сечений. Можно сделать вывод, что довольно активно производятся сравнение различных норм в вопросах определения значений ветрового давления и аэродинамических коэффициентов, но не все вопросы ещё изучены.

Постановка задачи

Цель данной статьи — исследовать влияние понижающего коэффициента на примере несущей конструкции навеса.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

1. Разработка пространственной конечно-элементной модели;
2. Определение загружений расчётной модели;
3. Конечно-элементное исследование напряжённо-деформированного состояния модели;
4. Определение нагрузок на фундаменты;
5. Сравнение результатов расчёта пространственной модели.

Конечно-элементное моделирование и расчет проводятся в SCAD Office 11.5.

SCAD Office — это интегрированный комплекс прочностного анализа и проектирования конструкций. В состав комплекса входят универсальная программа конечно-элементного анализа SCAD, а также ряд функционально независимых проектно-расчетных и вспомогательных программ. Программа SCAD предназначена для расчета сооружения в целом. Другие проектно-расчетные программы ориентированы на выполнение детальных проверочных расчетов несущих строительных конструкций (отдельных балок, колонн, плит) в соответствии с действующими нормами. Основа работы с ним изложена в [10].

Характеристика объекта

Навес представляет собой однопролётный стальной каркас с размерами в осях 5,5 на 6 метров. В поперечных пролетах установлены арочные фермы.

Стойки 80x8 длиной 2,5 метра. Высота ферм 400 мм, пояса имеют сечение 40x4, раскосы и распоры 30x3. Все элементы выполнены из стали С255 (по [3]) с расчётным пределом текучести 250 Н/мм² и 240 Н/мм².

Для соединений применяются болты нормальной точности, класса прочности 8.8 по DIN 7990 с цинковым покрытием.

Покрытие представляет собой сотовый поликарбонат толщиной 8 мм.

Объемная модель конструкции представлена на рисунке 3.

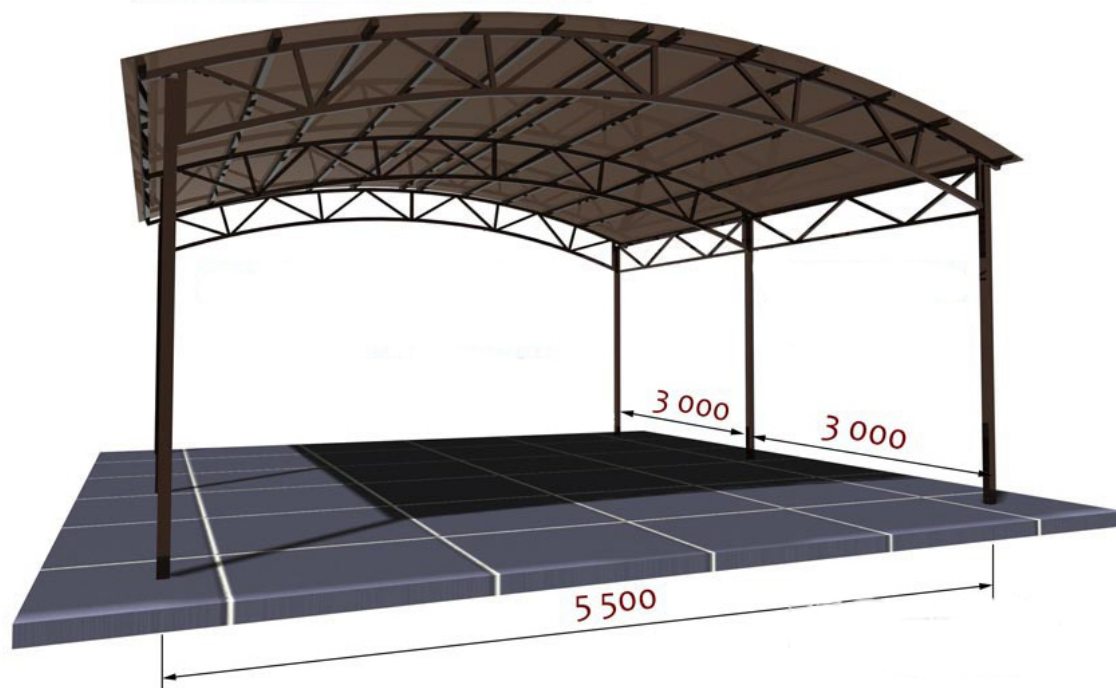


Рисунок 3. Модель конструкции навеса

Создание КЭ модели в SCAD Office

Геометрическое моделирование выполнялось на основе чертежей марки КМ.

Общий вид пространственной конечно-элементной модели сооружения представлен на рисунке 4.

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, основные неизвестные которой представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

При создании модели использовались стержневые конечные элементы (КЭ) — тип 5 (пространственный стержень).

Общее количество КЭ для расчетной схемы составило: 225.

Общее количество узлов для расчетной схемы составило: 132.

В расчете использованы стержневые конечные элементы следующих типов жесткости [4]:

Труба квадратная: 80x8; 40x4; 30x3.

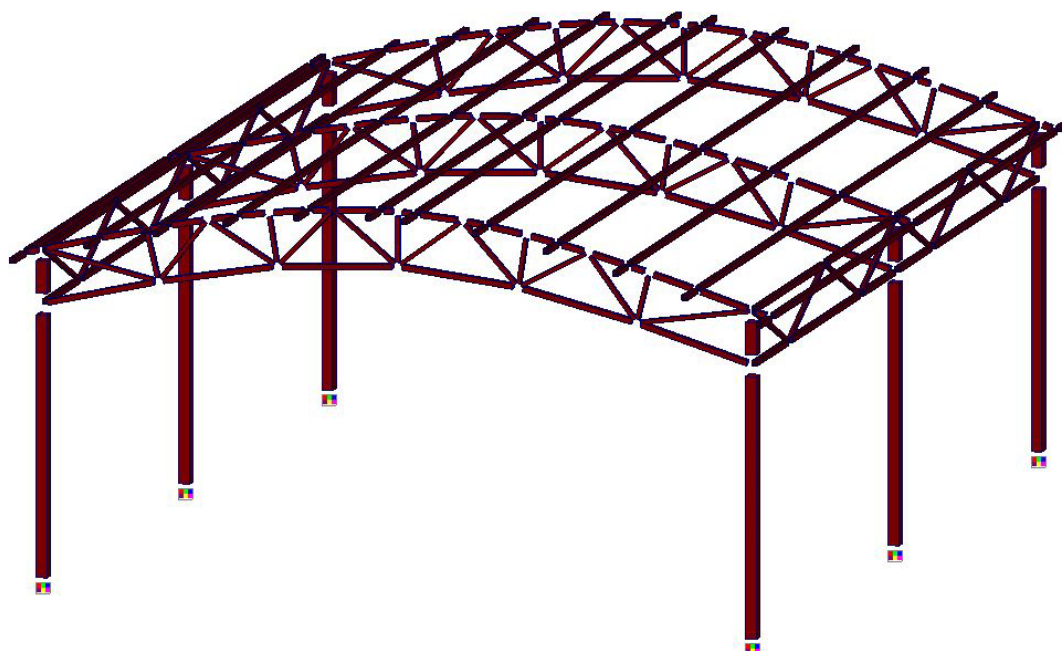


Рисунок 4. Конечно-элементная модель конструкции навеса

Сбор нагрузок

Район строительства соответствует VI ветровому району по картам [1]. Расчетные нагрузки приняты в соответствии с [1], а материалы в соответствии с [2] для типа местности А.

Расчетным сочетанием нагрузок является сочетание постоянных (собственный вес конструкций и вес кровли) и кратковременных (ветровых) нагрузок. Расчет выполнен при условии абсолютной жесткости фундаментов.

Для данной расчетной схемы рассматривались следующие расчетные загрузения:

1. Расчетная нагрузка от собственного веса конструкции;
2. Расчетная нагрузка от веса кровли;
3. Расчётная поперечная нагрузка от ветрового давления;
4. Расчётная продольная нагрузка от ветрового давления.

Собственный вес:

Собственный вес конструкций из расчета объемного веса металла с нормативным объемным весом 7850 кг/м^3 вычисляется программно.

Вес кровли:

Вес кровли произведен из расчёта нормативного веса материала равным $1,5 \text{ кг/м}^2$.

Ветровая нагрузка:

Определение ветровой нагрузки произведено в соответствии с [1]. Для случая 2 аэродинамический коэффициент определён с учётом понижающего коэффициента в соответствии с [5,6].

Документ [4], из перечня которого были подобраны сечения, не регламентирует определенного радиуса закругления для определенных сечений. По [4] радиус закругления (r) не должен превышать $2s$, где s — толщина стенки сечения, а все характеристики сечений определены для радиуса закругления равного $1,5s$.

Все характеристики сечений, используемых в конструкции, имеют радиус закругления равный $1,5s$. Отношение r/b , где b — размер квадратного сечения. Для всех используемых сечений отношение $r/b = 0,15$. По графику, представленному на рисунке 2, для всех сечений понижающий коэффициент (Ψ_r) равен $0,625$.

В таблицах 1 и 2 приведены расчетные значения ветровых нагрузок на конструкцию навеса.

1) Поперечная ветровая нагрузка

Таблица 1. Ветровые нагрузки на конструкцию навеса в поперечном направлении

№	h, м	Элемент	l, м	n, шт.	C_{xi}	$S^*_m, \text{м}^2$	C_x		$W_m, \text{кН/м}^2$		$F_{m1}, \text{кН/м}$		η	$F_m, \text{кН/м}$	
							1	2	1	2	1	2		1	2
1	2,3	Пояс ($\square 40 \times 4$)	0,93	12	2,1	0,74	0,81	0,50	0,44	0,28	0,09	0,06	0,83	0,08	0,05
2		Раскос 1 ($\square 30 \times 3$)	0,9	2											
3		Раскос 2 ($\square 30 \times 3$)	0,62	8											
4		Распор ($\square 30 \times 3$)	0,4	5											
5	1,3	Стойка* ($\square 80 \times 8$)	2,5	2		0,2	2,1	1,31	1,15	0,72	0,09	0,06	-	-	-

2) Продольная ветровая нагрузка

а) Ветровая нагрузка на конструкцию

Таблица 2. Ветровые нагрузки на конструкцию навеса в продольном направлении

№	h, м	Элемент	l, м	n, шт.	C_{xi}	$S^*_m, \text{м}^2$	C_x		$W_m, \text{кН/м}^2$		$F_{m1}, \text{кН/м}$		η	$F_m, \text{кН/м}$	
							1	2	1	2	1	2		1	2
1	2,3	Пояс ($\square 40 \times 4$)	3	4	2,1	0,37	0,75	0,47	0,41	0,26	0,08	0,05	0,83	0,07	0,04
2		Раскос ($\square 30 \times 3$)	0,85	2											
3		Распор ($\square 40 \times 4$)	0,4	4											
4	1,3	Стойка* ($\square 80 \times 8$)	2,5	3		0,2	2,1	1,31	1,15	0,72	0,09	0,06	-	-	-

* значения S , C_x , W_m представлены для одной стойки.

В таблицах 1 и 2 приняты следующие условные обозначения:

- № — номер элемента фермы;
- h — высота середины расчётного поля;

- l — длина элемента;
- n — количество элементов на грань;
- C_{xi} — аэродинамический коэффициент i -ого элемента;
- S — площадь всех элементов фермы;
- W_m — нормативное значение ветровой нагрузки;
- F_{m1} — распределённая нагрузка на каждый пояс от ветровой нагрузки для наветренной стороны конструкции;
- η — коэффициент зависящий от коэффициента проницаемости и отношения пролёта конструкции к высоте ферм;
- F_m — распределённая нагрузка на каждый пояс от ветровой нагрузки для подветренной стороны конструкции;
- 1 — без учета коэффициента;
- 2 — с учетом коэффициента.

б) Ветровая нагрузка на крышу

Ветровая нагрузка на крышу определена согласно методике представленной в приложении Д.1.3. [1].

Загрузки и их сочетания

В таблице 3 представлены расчётные комбинации загрузок.

Таблица 3. Расчётные комбинации загрузок

Номер	Наименование
1	$(L_1)*1.05 + (L_2)*1.1 + (L_3)*1.4$
2	$(L_1)*1.05 + (L_2)*1.1 + (L_4)*1.4$

Условные обозначения, принятые в таблице 3:

- L_1 — нормативная нагрузка от собственного веса конструкции;
- L_2 — нормативная нагрузка от веса кровли;
- L_3 — нормативная нагрузка от поперечной ветровой нагрузки;
- L_4 — нормативная нагрузка от продольной ветровой нагрузки.

Анализ НДС системы и сравнение результатов расчётов

В этом разделе приведены результаты конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния навеса и выполнено сравнение результатов.

Сравнение полученных нагрузок на опорные узлы

Расположение опорных узлов показано на рисунке 5.

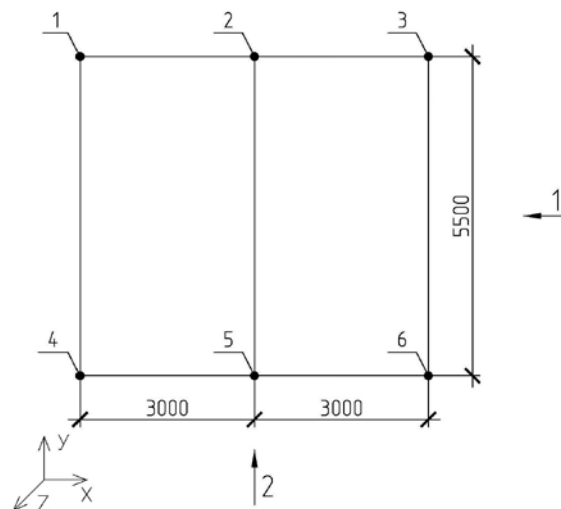


Рисунок 5. Номера опорных узлов

Результаты расчётов усилий в опорных узлах представлены в таблице 6.

Таблица 6. Усилия в опорных узлах

Направление ветра	Направление усилий	Номер опорного узла					
		1	2	3	4	5	6
Без учёта коэффициента							
1	RX, кН	0,73	0,76	0,72	0,73	0,76	0,73
	RY, кН	-0,1	-0,13	-0,09	0,1	0,13	0,09
	RZ, кН	1,58	1,75	0,86	1,59	1,75	0,86
2	RX, кН	0	0	0	0	0	0
	RY, кН	-1,39	-1,88	-1,35	-1,2	-1,62	-1,16
	RZ, кН	1,81	2,63	1,88	0,63	0,87	0,65
С учётом коэффициента							
1	RX, кН	0,46	0,48	0,45	0,46	0,48	0,45
	RY, кН	-0,1	-0,13	-0,09	0,1	0,13	0,09
	RZ, кН	1,45	1,75	1,0	1,45	1,75	1,0
2	RX, кН	0	0	0	0	0	0
	RY, кН	-1,2	-1,65	-1,16	-1,01	-1,39	-0,97
	RZ, кН	1,77	2,57	1,75	0,68	0,94	0,7

Сравнение эпюр моментов от заданных комбинаций

Сравнение эпюр моментов от поперечной ветровой нагрузки представлено на рисунке 6.

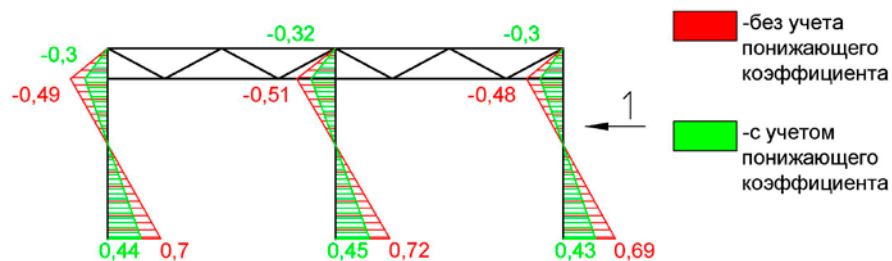


Рисунок 6. Сравнение эпюр моментов от поперечной ветровой нагрузки

Максимальное расхождение значений: 37%.

Сравнение эпюр моментов от продольной ветровой нагрузки для центрального пролета представлено на рисунке 7.

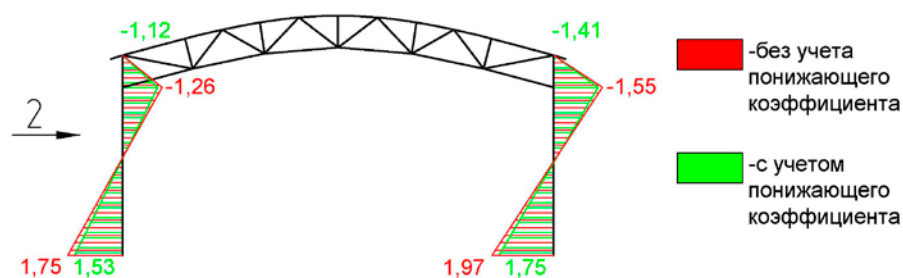


Рисунок 7. Сравнение эпюр моментов от продольной ветровой нагрузки для центрального пролета

Максимальное расхождение значений: 14%.

Выводы

1) Величина ветровой нагрузки на элементы конструкции с учётом понижающего коэффициента на 37,5% меньше, чем без учёта.

2) Сравнение реакций в опорных узлах показывает:

- Для первой комбинации нагрузок значения реакций с учетом понижающего коэффициента по направлению оси X на 37% ниже, чем без учета. По направлению Y одинаковы. По направлению Z больше на 14% с наветренной стороны конструкции и меньше на 9% с подветренной;
- Для второй комбинации нагрузок значения реакций с учетом понижающего коэффициента по направлению Y на 14% ниже, чем без учета. По направлению X одинаковы. По направлению Z больше на 7% с наветренной стороны конструкции и меньше на 3% с подветренной.

3) Сравнение эпюр моментов показывает, что наибольшие расхождения результатов без учёта понижающего коэффициента возникает от первой комбинации загрузений, так как в этом направлении большее количество элементов, попадающих под влияние понижающего коэффициента.

4) Уменьшение значений усилий в элементах конструкции навеса оказалось недостаточным для того, чтобы повлиять на подбор сечений элементов. Но для более высоких решётчатых конструкций пренебрежение понижающим коэффициентом может повлиять на значения подобранных сечений, что приведёт к перерасходу стали и удорожанию строительства.

Литература

- [1]. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
- [2]. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81.
- [3]. ГОСТ 27772-88 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия.
- [4]. ГОСТ 8639-82 Трубы стальные квадратные. Сортамент.
- [5]. EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions.
- [6]. ТКП EN 1991-1-4:2009 (02250) Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия.
- [7]. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Изд-во Связьиздат, 1972. 111 с.
- [8]. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. М: Изд-во Стройиздат, 1978. 216 с.
- [9]. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М.: Изд-во Стройиздат, 1984. 360 с.
- [10]. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А. [и др.]. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 656 с.
- [11]. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 710 с.
- [12]. Пичугин С.Ф., Махинько А.В. Нормирование ветровой нагрузки на решетчатые опоры в стандартах разных стран мира. // Металлические конструкции. 2009. №4 (15). С. 237-252.
- [13]. Мальков Н.М., Кушова Д.А. Постановка задачи численного моделирования процесса обтекания газоотводящих стволов вытяжных башен. // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2012. №1 (10). С. 121-124.
- [14]. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И. [и др.] Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. 482 с.
- [15]. Атаманчук А.В. [и др.]. Ветровые нагрузки на элементы трехгранных башен и пакеты вытяжных труб // Металлические конструкции. 2007. № 1 (13). С. 16–24.
- [16]. Фарапонов В.В., Савкина Н.В., [и др.]. Расчет аэродинамического коэффициента лобового сопротивления тела в дозвуковых и трансзвуковых режимах движения с помощью пакета ANSYS Fluent. // Компьютерные исследования и моделирование. 2012. №4 (4). С. 845-853.
- [17]. Иоскевич А.В., Савченко А.В. Сравнение ПВК SCAD Office и Лира-САПР на примере расчёта башни связи. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 10 (25). С. 7-21.
- [18]. Перельмутер А.В. Основы расчёта вантово-стержневых систем. М: Изд-во Стройиздат, 1969. 190 с.
- [19]. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. М: Изд-во АСВ, 2009. 358 с.
- [20]. Иоскевич А.В., Савченко А.В., [и др.]. Пульсационные воздействия ветра на антенно-мачтовые сооружения в SCAD Office. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3 (30). С. 81-97.
- [21]. Actions on Structures. Part 1-4. General actions — Wind Actions : Eurocode 1. Brussels, Belgium : CEN, 2004. — 155 p.
- [22]. Design of Steel Structures. Part 3-1. Towers, masts and Chimneys — Towers and Masts : Eurocode 3. Brussels, Belgium: CEN, 2006. — 79 p.
- [23]. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures : ASCE 7-05. — [2006-01-01]. — Virginia, USA : American Society of Civil Engineers. — 419 p.
- [24]. 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.
- [25]. Wind Actions on Structures : ISO 4354:2009. — [2009-06-04]. — Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2009. — 68 p.
- [26]. Cairo R., Conte E. Settlement analysis of pile groups in layered soils // Canadian Geotechnical Journal. 2006. Vol. 43(8). Pp. 788-801.
- [27]. Premalatha K., Panneerselvam J., Srilakshmi M. Interaction studies on axially loaded piles and pile groups // Proceedings of the International Geotechnical Conference, Saint Petersburg - Moscow, 2005. Vol. 1. Pp. 259-263.

- [28].Boulanger R.W., Curras C.J., Kutter B.L., Wilson D.W., Abghari A. Seismic soil-pile-structure interaction: experiments and analyses // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 125. Issue 9. Pp. 750-759.
- [29].Nicolau S., Mylonakis G., Gazetas G., Tazoh T. Kinematic pile bending during earth-quakes: analysis and field measurements // Geotechnique. 2001. Vol. 51. Issue 5. Pp. 425-440.
- [30].Brandi H. Cyclic preloading of piles and box-shaped deep foundations // Proceedings of the International Geotechnical Conference. Moscow, 2010. Vol. 1. Pp.3-28.
- [31].Maugeri M., Motta E., Raciti E. Kinematic interaction for piles embedded in soils with a shear modulus increasing with depth // Proceedings of the International Geotechnical Conference. Moscow, 2010. Vol. 3. Pp. 895-902.
- [32].Dubina D., Ungureanu V., Szabo I. Codification of imperfections for advanced finite analysis of cold-formed steel members // Proceedings of the 3rd ICTWS, 2001. - Pp. 179-186.
- [33].ENV 1993-1-3 EuroCode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold formed thin gaugemembers and sheeting. European Committee for Standardisation CEN. - Brussels, 1996.
- [34].Koiter, W.T., The effective width of flat plates for various longitudinal edge conditions at loads far beyond the buckling load, Rep. No. 5287, National Luchtvaart Laboratorium (The Netherlands).
- [35].Sarawit A. T., Kim Y., Bakker M. C. M., Pekoz T. The finite element method for thin-walled members-applications // Proceedings of the 3rd ICTWS, 2001. - Pp. 437-448.
- [36].Karman, T., Sechler, E.E., Donnel, L.H., The strength of thin plates in compression, Trans ASME,;- 1932. - Vol. 54. - Pp. 53-57.

The impact of the reduction factor of wind force coefficient to lattice structures

A.V. Ioskevich¹, A.V. Savchenko², E.S. Egorova³, V.V. Ioskevich⁴

¹⁻³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

⁴St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4, St.Petersburg, 190005, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 6 February 2014
Accepted 11 April 2014

Keywords

aerodynamical coefficient,
lattice structures,
SCAD Office,
reduction factor of force coefficient,
wind load,
codes of design

ABSTRACT

The article is devoted to standards of setting wind loads on lattice constructions, namely the effect of reduction factor of force coefficient used in used in the European codes [5,6]. Results of determining of wind loads and method of Finite Element modeling the lattice structure in SCAD Office 11.5 as a three-dimensional structure is considered in this article. Comparison of the regulations of domestic and foreign standards by calculation of wind loads to buildings and structures is executed. The stress-strain state of the supporting framework of the lattice structure is analyzed paying attention to different loads contribution. The results are estimated.

¹ Corresponding author:
² +7 (911) 819 1927, anton-ioskevich@mail.ru (Anton Vladimirovich Ioskevich, Graduate Student)
³ +7 (911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Aleksey Vladimirovich Savchenko, Assistant)
⁴ +7 (911) 088 3372, egorovaes@hotmail.com (Evgeniya Sergeevna Egorova, Graduate Student)
+7 (905) 282 9498, lvasily95@gmail.com (Vasily Vladimirovich Ioskevich, B.Sc.)

References

- [1]. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85* [Loads and effects. SNiP 2.01.07-85 updated edition]. (rus)
- [2]. SP 16.13330.2011 *Stalnyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81* [Steel structures. SNiP II-23-81 updated edition]. (rus)
- [3]. GOST 27772-88 *Prokat dlya stroitel'nykh stal'nykh konstruksiy. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya*. [Car for building steel structures. General specifications] (rus)
- [4]. GOST 8509-93 *Truby stal'nye kvadratnye. Sortament*. [Pipes steel square. Gauge material] (rus)
- [5]. EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions.
- [6]. TKP EN 1991-1-4:2009 (02250) Evrokod 1. *Vozdeystviya na konstruksii. Chast' 1-4. Obshchie vozdeystviya. Vetrovye vozdeystviya*. [Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions.] (rus)
- [7]. Savitskiy G.A. *Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya*. [Wind loads on constructions]. Moscow: Svyazizdat, 1972, 111 p. (rus)
- [8]. *Rukovodstvo po raschetu zdaniy i sooruzheniy na deystvie vetra*. [Guidance on the calculation of buildings and structures on the action of the wind]. Moscow: Stroyizdat, 1978. 216 p. (rus)
- [9]. Simiu E., Skanlan R. *Vozdeystvie vetra na zdaniya i sooruzheniya*. [Wind Effects on structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 360 p. (rus)
- [10]. Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Malyarenko A. A. [et al]. SCAD Office. *Vychislitel'nyy kompleks SCAD*. [Computing system SCAD] Moscow: SKAD SOFT, 2011. 656 p. (rus)
- [11]. Perelmutter A.V., Slivker V.I. *Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza*. [Computational models of structures and their analysis]. Kiev: Stal, 2002. (rus)
- [12]. Pichugin S.F., Makhin'ko A.V. Setting of wind loads on lattice towers in the standards of different countries of the world // Metal Constructions Journal, 2009. №4 (15). Pp. 237-252. (rus)
- [13]. Malkov N.M., Kushova D.A. Formulation of the problem of numerical modeling of the flow process of gas-escape pipes of the exhaust towers// Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin. 2012. №1 (10). Pp. 121-124. (rus)
- [14]. Gordeev V.N., Lantukh-Lyashchenko A.I. [et al] *Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya*. [Loads and effects on buildings and structures.] Moscow: Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2008. 482 p. (rus)
- [15]. Atamanchuk A.V. [et al] Wind loads on the trihedral tower elements and ventilation pipe packages// Metal Constructions Journal. 2007. №1 (13). Pp. 16-24. (rus)
- [16]. Faraponov V. V., Savkina N. V. [et al] Calculation of aerodynamic factor of front resistance of a body in subsonic and transonic modes of movement by means of an ANSYS Fluent package//Computer Research and Modeling. 2012. №4 (4). Pp. 845-853. (rus)
- [17]. Ioskevich A.V., Savchenko A.V. Comparison of SCAD Office and LIRA-SAPR on the example of calculation of communications tower // Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. №10 (25). Pp. 7–21. (rus)
- [18]. Perelmutter A.V. *Osnovy rascheta vantovo-sterzhnevnykh system* [Bases of calculation cable-core systems]. Moscow: Stroyizdat, 1969. 190 p. (rus)
- [19]. Gorodetskiy A.S., Yevzerov I.D. *Kompyuternyye modeli konstruksiy* [Computer models of the constructions]. Moscow: ASV, 2009. 358 p. (rus)
- [20]. Ioskevich A.V., Savchenko A.V. [et al] Pulsation effects of wind to the antenna mast structures in software SCAD Office // Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. №3 (30). Pp. 81–97. (rus)
- [21]. Actions on Structures. Part 1-4. General actions — Wind Actions : Eurocode 1. Brussels, Belgium : CEN, 2004. — 155 p.
- [22]. Design of Steel Structures. Part 3-1. Towers, masts and Chimneys — Towers and Masts : Eurocode 3. Brussels, Belgium: CEN, 2006. — 79 p.
- [23]. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures : ASCE 7-05. — [2006-01-01]. — Virginia, USA: American Society of Civil Engineers. — 419 p.
- [24]. 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.

- [25]. Wind Actions on Structures : ISO 4354:2009. — [2009-06-04]. — Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2009. — 68 p.
- [26]. Cairo R., Conte E. Settlement analysis of pile groups in layered soils // Canadian Geotechnical Journal. 2006. Vol. 43(8). Pp. 788-801.
- [27]. Premalatha K., Panneerselvam J., Srilakshmi M. Interaction studies on axially loaded piles and pile groups // Proceedings of the International Geotechnical Conference, Saint Petersburg - Moscow, 2005. Vol. 1. Pp. 259-263.
- [28]. Boulanger R.W., Curras C.J., Kutter B.L., Wilson D.W., Abghari A. Seismic soil-pile-structure interaction: experiments and analyses // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 125. Issue 9. Pp. 750-759.
- [29]. Nicolaou S., Mylonakis G., Gazetas G., Tazoh T. Kinematic pile bending during earth-quakes: analysis and field measurements // Geotechnique. 2001. Vol. 51. Issue 5. Pp. 425-440.
- [30]. Brandi H. Cyclic preloading of piles and box-shaped deep foundations // Proceedings of the International Geotechnical Conference. Moscow, 2010. Vol. 1. Pp. 3-28.
- [31]. Maugeri M., Motta E., Raciti E. Kinematic interaction for piles embedded in soils with a shear modulus increasing with depth // Proceedings of the International Geotechnical Conference. Moscow, 2010. Vol. 3. Pp. 895-902.
- [32]. Dubina D., Ungureanu V., Szabo I. Codification of imperfections for advanced finite analysis of cold-formed steel members // Proceedings of the 3rd ICTWS, 2001. - Pp. 179-186.
- [33]. ENV 1993-1-3 EuroCode 3: Design of steel structures. Part 1.3: General rules. Supplementary rules for cold formed thin gaugemembers and sheeting. European Committee for Standardisation CEN. - Brussels, 1996.
- [34]. Koiter, W.T., The effective width of flat plates for various longitudinal edge conditions at loads far beyond the buckling load, Rep. No. 5287, National Luchtvaart Laboratorium (The Netherlands).
- [35]. Sarawit A. T., Kim Y., Bakker M. C. M., Pekoz T. The finite element method for thin-walled members-applications // Proceedings of the 3rd ICTWS, 2001. - Pp. 437-448.
- [36]. von Karman, T., Sechler, E.E., Donnell, L.H., The strength of thin plates in compression, Trans ASME,;- 1932. - Vol. 54. - Pp. 53-57..

Иоскевич А.В., Савченко А.В., Егорова Е.С., Иоскевич В.В. Понижающий коэффициент ветрового давления и его учет при расчете решетчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4(31). С. 45-57.

Ioskevich A.V., Savchenko A.V., Egorova E.S., Ioskevich V.V. The impact of the reduction factor of wind force coefficient to lattice structures. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 4(31), Pp. 45-57. (rus)