Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 3 (30). 2015. 81-97

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Пульсационные воздействия ветра на антенно-мачтовые сооружения в SCAD Office

А.В. Иоскевич[1], **А.В. Савченко**[2], **Е.С. Егорова**[3], **В.В. Иоскевич**[4], **М.А. Полянских**[5]

[1-3,5]*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.*

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

Информация о статье

УДК 69.04

Научная статья

История

Подана в редакцию 29 ноября 2014
Принята 2 марта 2015

Ключевые слова

пространственные металлические конструкции,
метод конечных элементов,
SCAD Office,
антенно-мачтовое сооружение,
ветровая нагрузка,
пульсационные воздействия ветра

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам расчета антенно-мачтовых сооружений (АМС) по двум различным методикам задания пульсационных ветровых воздействий. Первая методика реализует статическую теорию приложения инерционных нагрузок, описанную в нормативных документах. Вторая представляет собой метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория), реализованный в SCAD Office. Выполнен анализ требований и рекомендаций, содержащихся в действующей технической литературе о сооружениях связи. Произведено изучение положений отечественных и зарубежных стандартов по расчету высотных сооружений относительно направлений ветра и сочетаний нагрузок, которые необходимо рассматривать при расчете антенно-мачтовых сооружений (АМС). Произведён расчёт по двум методикам для двух наиболее распространённых видов антенно-мачтовых сооружений (мачта связи и башня связи), выполнено сравнение полученных результатов.

Содержание

1. Введение 82
2. Обзор литературы 82
3. Постановка задачи 82
4. Характеристика объекта 83
5. Создание КЭ модели в ПВК SCAD Office 83
6. Сбор нагрузок 84
7. Задание пульсационной составляющей 88
7.1.Статическая теория приложения инерционной нагрузки, по[1] 88
7.2.Метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория) 89
8. Загружения и их сочетания 90
9. Анализ НДС системы и сравнение результатов расчётов 90
10. Выводы 92

[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, Ivasily95@gmail.com (Иоскевич Василий Владимирович, бакалавр)
[5] +7 (911) 234 8401, don12850@mail.ru (Полянских Марк Анатольевич, магистрант)

1. Введение

По всему миру, в том числе и на территории России широко распространена сеть мобильной телефонной связи и беспроводного интернета и продолжает охватывать все новые территории. Обеспечение населения качественной телефонной, радио связью и источниками информации имеет в настоящий момент важное значение, так как беспроводная связь при современном высоком уровне развития общества является предметом первой необходимости. В качестве опорных конструкций для размещения антенн сотовой связи применяются легкие металлические мачты, они имеют небольшие габариты по сравнению с высокими теле- и радиомачтами дальнего вещания [7, 8, 10, 26], а, следовательно, и ряд других особенностей, при этом достигают высоты 70 м.

В настоящее время в России отсутствуют нормативные документы по расчету и конструированию антенно-мачтовых сооружений (АМС) и техническая литература, в которой бы освещались многочисленные особенности данного типа конструкций и содержались систематизированные данные и результаты опыта эксплуатации, необходимые для понимания действительной работы и качественного проектирования этих конструкций.

В данной статье расчёт антенно-мачтовых сооружений (мачта и башня) производится в программном комплексе SCAD Office с заданием пульсационной составляющей по двум различным методикам и проведено сравнение полученных результатов.

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 [11].

2. Обзор литературы

Основные исследования по проектированию и расчёту антенно-мачтовых сооружений были проведены в 60-70-х годах прошлого века. Учебная литература представлена теми же годами [6-10]. В этих работах описаны расчёты без использования современных ПВК, по устаревшим нормативным документам и для конструкций отличных по назначению.

Сейчас в направлении проектирования антенно-мачтовых сооружений проводятся многочисленные научные исследования, а проектными организациями уже накоплен определенный опыт эксплуатации мачт сотовой связи. Так, в работах С. Ф. Пичугина, А. В. Махинько [21] уделяется внимание уточнению величины ветровой нагрузки на решетчатые опоры. В работах С.В.Турбина, Ю. П. Некрасова [24] также широко исследовались принципы определения нагрузок и воздействий не антенно-мачтовые сооружения. В. В. Губановым и И. В. Межинской рассмотрены вопросы предварительного натяжения оттяжек мачт [17]. Расчёт от пульсационных ветровых воздействий представлен в статье [25], но в ней в качестве объекта исследования выбрано многоэтажное здание, высотой 500 м. Исследования проводятся и другими учеными.

Однако нигде не проводилось сравнение методик задания пульсационных воздействий ветра на антенно-мачтовые сооружения с использованием SCAD Office.

3. Постановка задачи

Цель данной статьи — исследовать напряженно-деформированное состояние несущих конструкций антенно-мачтовых сооружений на моделях расчётных схем, созданных в среде SCAD, сравнить результаты расчёта пространственных моделей в случае использования методики разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория), задается программно в среде SCAD и случае использования статической теории приложения инерционной нагрузки, задается«вручную», по [1].

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 пространственных моделей в ПВК SCAD Office 11.5.

4. Характеристика объекта

Мачта представляет собой пространственную четырёхгранную ферму высотой 39 м с тремя ярусами оттяжек. Конструкция ствола мачты состоит из 13-ти секций со стороной грани 500 мм и номинальной длиной пояса 3 м., также опорной секции со стороной грани 8000 мм.

Профили поясов ствола мачты выполнены из стальных труб ø57×3,5,профили раскосов и распоров—ø14, профили элементов опорной секции—ø108х4,изготовлены из стали С255 (по [3]) с расчётным пределом текучести 230 Н/мм^2.

Для соединений применяются болты нормальной точности, класса прочности 10,9 по [4].

Оттяжки изготовлены из стального горячекатаного троса диаметром ø12 мм по [6].

В соответствии с [5] сооружение относится ко II-му (нормальному) уровню ответственности.

Отметка основания мачты относительно уровня основного рельефа местности: 0,0 м.

5. Создание КЭ модели в ПВК SCAD Office

Геометрическое моделирование выполнялось в SCAD Office на основе чертежей марки КМ.

Общий вид пространственной конечно-элементной модели сооружения представлен на рисунке 1.

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: 1446.

Общее количество узлов для расчетной схемы составило: 665.

В расчете использованы стержневые конечные элементы следующих типов жесткости[4]:
Труба бесшовная: ø57х3,5; ø108х4;
Уголок равнополочный: L50х4; L63х4;
Стержни круглого сечения диаметром:ø14;

Оттяжки задавались вантовыми элементами и имеют тип жёсткости[6]:
Канат: ø12.

Для задания вантовых элементов надо знать их преднапряжение. В нашем случае оно определено проектом и представлено в таблице 1.

Таблица 1. Монтажные напряжения

Номер яруса	Диаметр каната, мм	Монтажное напряжение, кг
1	12	615
2		1135
3		1680

Номера ярусов представлены на рисунке 1.

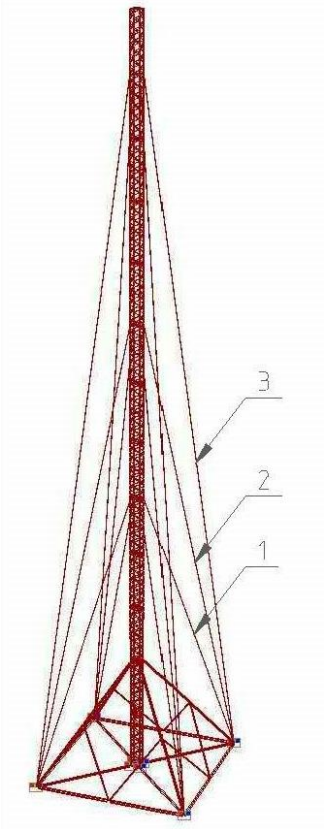

Рисунок 1. Конечно-элементная модель расчётной схемы в среде SCAD

6. Сбор нагрузок

Район строительства соответствует II ветровому району и II гололёдному 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 оборудования) и кратковременных (ветровых) нагрузок. Расчет выполнен при условии абсолютной жесткости фундаментов.

Для данной расчетной схемы рассматривались следующие расчетные загружения:

1. Расчетная нагрузка от собственного веса конструкции;
2. Расчетная нагрузка от веса технологического и антенно-фидерного оборудования;
3. Расчётная фронтальная нагрузка от ветрового давления;
4. Расчётная диагональная нагрузка от ветрового давления.

Собственный вес:

Собственный вес конструкций из расчета объемного веса металла с нормативным объемным весом 7,85 Т/м^3 вычисляется программно.

Вес технологического и антенно-фидерного оборудования:

В таблице 2 указано установленное оборудование и соответствующая нагрузка:

Таблица 2. Установленное на башне антенно-фидерное оборудование

№	Наименование оборудования	n*, шт	C_{xi}	S_1, м^2	Aeff, м^2	h, м	K(h)	W_m,кН/м^2	F_m,кН/м	Расчетный вес, включая кронштейны, кН
1	панель Allgon 7755	1	1,6	0,33	0,53	337,5	1,5	23,92	0,091	0,497
2	Кронштейн:	-	-	-	-			-		
3	- L 40x4	2	1,4	0,02	0,03			3,72		
	- ø 76x3,5	1	1,2	0,03	0,03					
4	РРЛØ640 мм	1	1,3	0,32	0,42			18,81	0,077	0,309
	Кронштейн:	-	-	-	-			-		
	- L 40x4	2	1,4	0,02	0,03			4,62		
	- ø 108x3,5	1	1,2	0,04	0,05					

Расположение антенно-фидерного оборудования представлено на рисунке 2.

Иоскевич А.В., Савченко А.В., Егорова Е.С., Иоскевич В.В., Полянских М.А. Пульсационные воздействия ветра на антенно-мачтовые сооружения в SCAD Office. /
Ioskevich A.V., Savchenko A.V., Egorova E.S., Ioskevich V.V., Polyanskikh M.A. Pulsation effects of wind to the antenna mast structures in software SCAD Office.

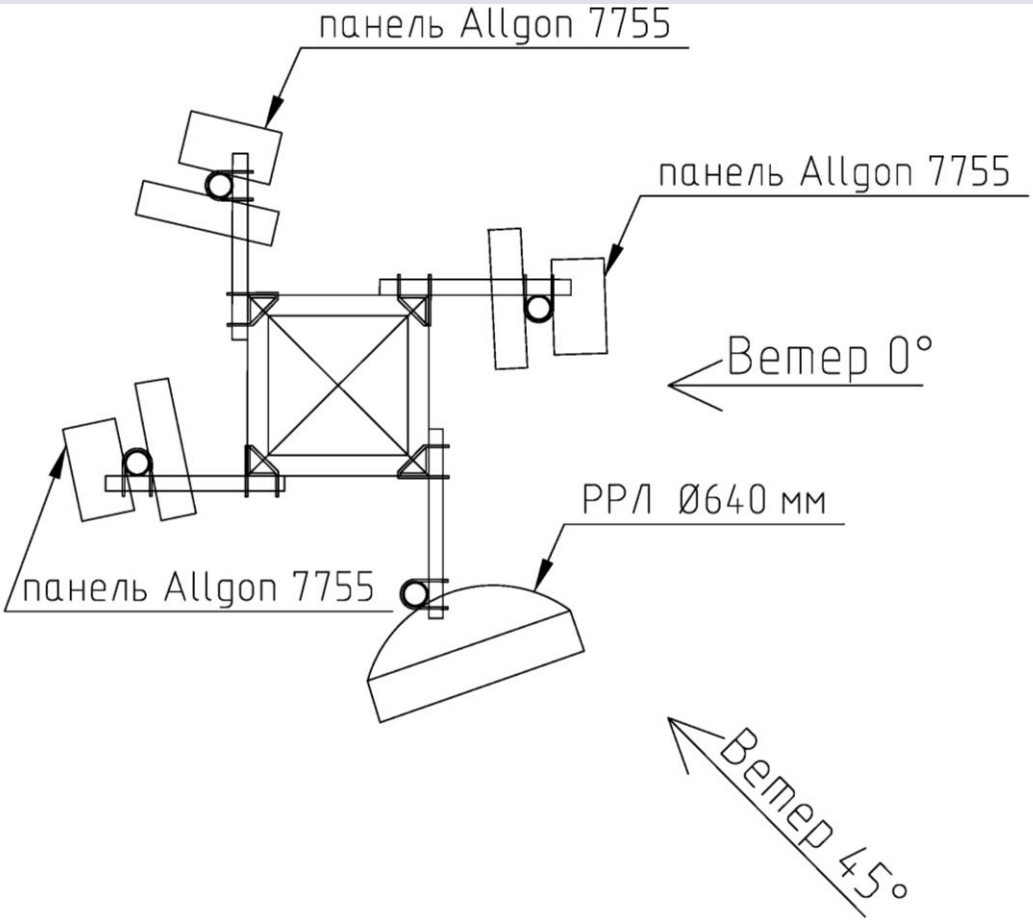

Рисунок 2. Расположение антенно-фидерного оборудования

Ветровая нагрузка:

Определение ветровой нагрузки произведено в соответствии с [1] с учетом пульсаций, вызываемых порывами ветра, а также увеличением её значения по высоте.

В таблицах 3 и 4 приведены расчетные значения ветровых нагрузок на конструкцию мачты связи и кабельную трассу соответственно.

В таблицах 2, 3 и 4 приняты следующие условные обозначения:

- №—номер секции;
- h— высота середины расчётного поля;
- n— количество элементов на грань;
- C_{xi}— аэродинамический коэффициент i-ого элемента;
- S— площадь секции по габариту;
- W_m— нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки;
- F_m— распределённая нагрузка на каждый пояс от средней составляющей ветровой нагрузки;
- W_p— нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки;
- F_p— распределённая нагрузка на каждый пояс от пульсационной составляющей ветровой нагрузки;
- K(h)— коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;
- n_1—количество элементов на погонный метр;
- Aeff— площадь с учётом аэродинамических коэффициентов;
- S_1— площадь элемента;
- S_2— площадь погонного метра;
- 1 — расчётный случай, ветровая нагрузка на грань (ветер 0^0);
- 2 — расчётный случай, ветровая нагрузка по диагонали (ветер 45^0).

Таблица 3. Ветровые нагрузки на конструкцию ствола мачты

№	h,м	Элемент	n*, шт.	C_{xi}	S_i, $м^2$	C_x		W_m,кН/$м^2$		F_m,кН/м		W_p, кН/$м^2$		F_p, кН/м	
						1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1,5	Пояс (ø57x3,5)	2	1,2	1,5	0,61	0,74	0,14	0,17	0,05	0,04	0,09	0,12	0,03	0,03
		Раскос (ø14)	12												
		Шпренгель (ø14)	12												
		Распор (ø14)	1												
		Распор (L63x4)	1	1,4											
2	4,5	Пояс (ø57x3,5)	2	1,2	1,5	0,62	0,75	0,14	0,17	0,05	0,04	0,10	0,12	0,04	0,03
		Раскос (ø14)	12												
		Шпренгель (ø14)	12												
		Распор (L63x4)	1	1,4											
3	7,5	Пояс (ø57x3,5)	2	1,2	1,5	0,61	0,74	0,16	0,19	0,06	0,05	0,11	0,13	0,04	0,03
4	10,5							0,18	0,22	0,06	0,05	0,12	0,14	0,04	0,03
5	13,5							0,20	0,24	0,07	0,06	0,12	0,15	0,04	0,03
6	16,5	Раскос (ø14)	12					0,21	0,25	0,07	0,06	0,13	0,15	0,04	0,04
7	19,5							0,23	0,27	0,08	0,06	0,13	0,16	0,05	0,04
8	22,5							0,23	0,28	0,08	0,07	0,13	0,16	0,05	0,04
9	25,5	Распор (ø14)	1					0,24	0,29	0,09	0,07	0,13	0,16	0,05	0,04
10	28,5							0,25	0,29	0,09	0,07	0,13	0,16	0,05	0,04
11	31,5							0,25	0,30	0,09	0,07	0,14	0,16	0,05	0,04
12	34,5	Шпренгель (ø14)	12					0,26	0,31	0,09	0,07	0,14	0,17	0,05	0,04
13	37,5							0,27	0,32	0,09	0,08	0,14	0,17	0,05	0,04

* Наименование, количество и длина элементов в секциях 3-13 является одинаковой.

Иоскевич А.В., Савченко А.В., Егорова Е.С., Иоскевич В.В., Полянских М.А. Пульсационные воздействия ветра на антенно-мачтовые сооружения в SCAD Office. /
Ioskevich A.V., Savchenko A.V., Egorova E.S., Ioskevich V.V., Polyanskikh M.A. Pulsation effects of wind to the antenna mast structures in software SCAD Office.

Таблица 4. Ветровая нагрузка на кабельную трассу

Элемент	Длина, м	Ширина, м	S_1, м^2	C_{xi}	Aeff, м^2	n_1, шт.	S_2, м^2	№	h, м	K(h)	W_m,кН/м^2	F_m, кН/м	
												1	2
Кабельная трасса								1	1,5	0,75	0,17	0,012	0,008
Кабель 7/8	1	0,016	0,016	1,2	0,019	3	0,84	2	4,5	0,75	0,17	0,012	0,008
Кабель 8D-FB	1	0,016	0,016	1,2	0,019	1	0,3	3	7,5	0,88	0,20	0,014	0,009
								4	10,5	1,01	0,23	0,016	0,011
								5	13,5	1,09	0,25	0,018	0,012
								6	16,5	1,16	0,27	0,019	0,013
								7	19,5	1,24	0,29	0,020	0,013
								8	22,5	1,28	0,30	0,020	0,014
								9	25,5	1,32	0,30	0,021	0,014
								10	28,5	1,36	0,31	0,022	0,015
								11	31,5	1,39	0,32	0,023	0,015
								12	34,5	1,43	0,33	0,023	0,015
								13	37,5	1,47	0,34	0,024	0,016

Ветровая нагрузка на оттяжки собирается согласно методике, описанной в [12]. В таблице 5 приведены расчётные значения ветровых нагрузок на оттяжки.

Таблица 5. Ветровая нагрузка на оттяжки

Ярус	Номер элемента	φ, град.		α, град.	V, м/с	l, м	q_z, Н/м		q_y, Н/м	
		1	2				1	2	1	2
3	1446	45	90	8	35,63	36,39	0,05	0,36	0,02	1,73
	1445	315	0				0,05	0,64	0,02	1,38
	1447	135	180				0,01	1,78	1,56	0
	1448	225	270				0,01	0,36	1,56	1,73
2	1442	45	90	13	33,52	24,58	2,31	0,47	0,02	2,26
	1441	315	0				2,31	0,83	0,02	1,82
	1443	135	180				0,64	2,33	2,01	0
	1444	225	270				0,64	0,47	2,01	2,26
1	1438	45	90	21	31,25	15,91	1,13	0,23	0,03	3,03
	1437	315	0				1,13	0,41	0,03	2,44
	1439	135	180				0,31	1.14	2,75	0
	1440	225	270				0,31	0,23	2,75	3,03

В таблице 5 приняты следующие обозначения:

- φ — угол между оттяжкой и направлением ветра;
- α — угол между оттяжкой и стволом башни;
- V — скорость ветра на высоте равной 2/3 от высоты подвеса оттяжки;
- l— длинна оттяжки;
- q_z — распределённая нагрузка вдоль местной оси z;
- q_y — распределённая нагрузка вдоль местной оси y.

7. Задание пульсационной составляющей

7.1.Статическая теория приложения инерционной нагрузки, по [1]

В [1] выбор формулы для расчёта пульсационной составляющей зависит от значений частот собственных колебаний конструкции. Собственные частоты мачты связи представлены на рисунке 3.

Таблица 6. Частоты собственных колебаний мачты связи

Форма колебания	Собственная частота, Гц	Период, с
1	1,395762	0,716454
2	1,395894	0,716386
3	3,63665	0,274978

1) . 2) . 3)

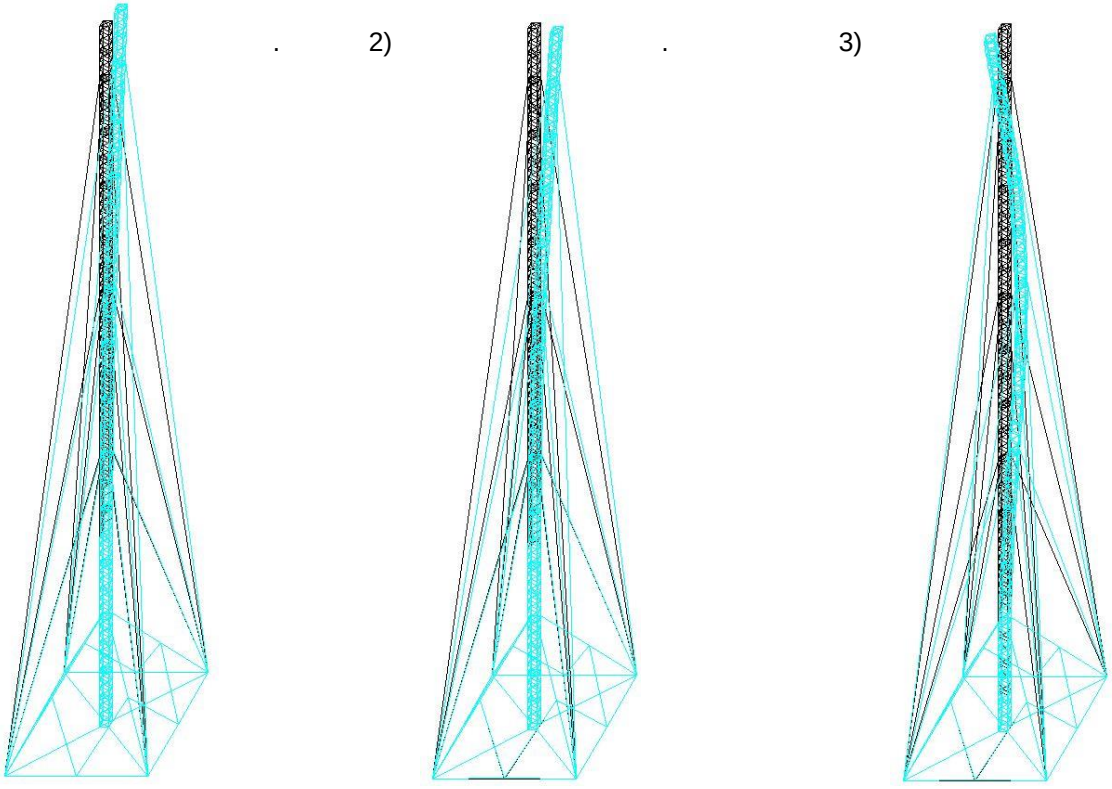

Рисунок 3. Формы колебаний конструкции

Следует отметить, что первая и вторая формы собственных колебаний совпадают, так как конструкция практически симметрична.

Собственные частоты сравниваются с предельными частотами собственных колебаний, которые определяются по таблице 11.5 [1] в зависимости от ветрового района и типа конструкции. Для рассматриваемого сооружения для II ветрового района значение предельной частоты собственных колебаний равно: 3,4 Гц. Оно больше первой собственной частоты конструкции, следовательно, расчёт пульсационной составляющей будет производиться по формуле:

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

$$W_p = W_m \cdot \zeta(z_e) \cdot \nu, \quad (1)$$

где:

- ζ— коэффициент пульсации давления ветра;
- ν— коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

7.2.Метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория)

В SCAD Office существует возможность задания ветровой нагрузки с учётом пульсационных воздействий динамическим загружением.

Для создания динамической ветровой нагрузки с учётом пульсационных воздействий надо выбрать статическую ветровую нагрузку, посчитанную и введённую ранее. Число учитываемых форм колебаний принимаем равным 6, для пространственных конструкций, согласно [12].

Направление ветра можно задать только по одной из осей, X или Y, см. рисунок 4.Для того чтобы провести расчёт таким способом для второго расчетного состояния (ветер по диагонали) надо создать вторую расчётную схему, которая будет ориентирована вокруг оси Z так, что оси Xи Yбудут проходить через грани мачты. Наиболее оптимально можно сделать это, осуществив поворот существующей расчетной схемы на 45^0 вокруг оси Z, воспользовавшись опцией «Геометрические преобразования». После чего уже в созданной расчетной схеме задать ветровые нагрузки соответствующие второму расчетному состоянию (ветер по диагонали). Таким образом, получается две расчетные схемы, в одной из которых проводится расчет для первого расчетного случая, а в другой – для второго.

В статье произведено сравнение результатов только первого расчетного случая (ветер на грань).

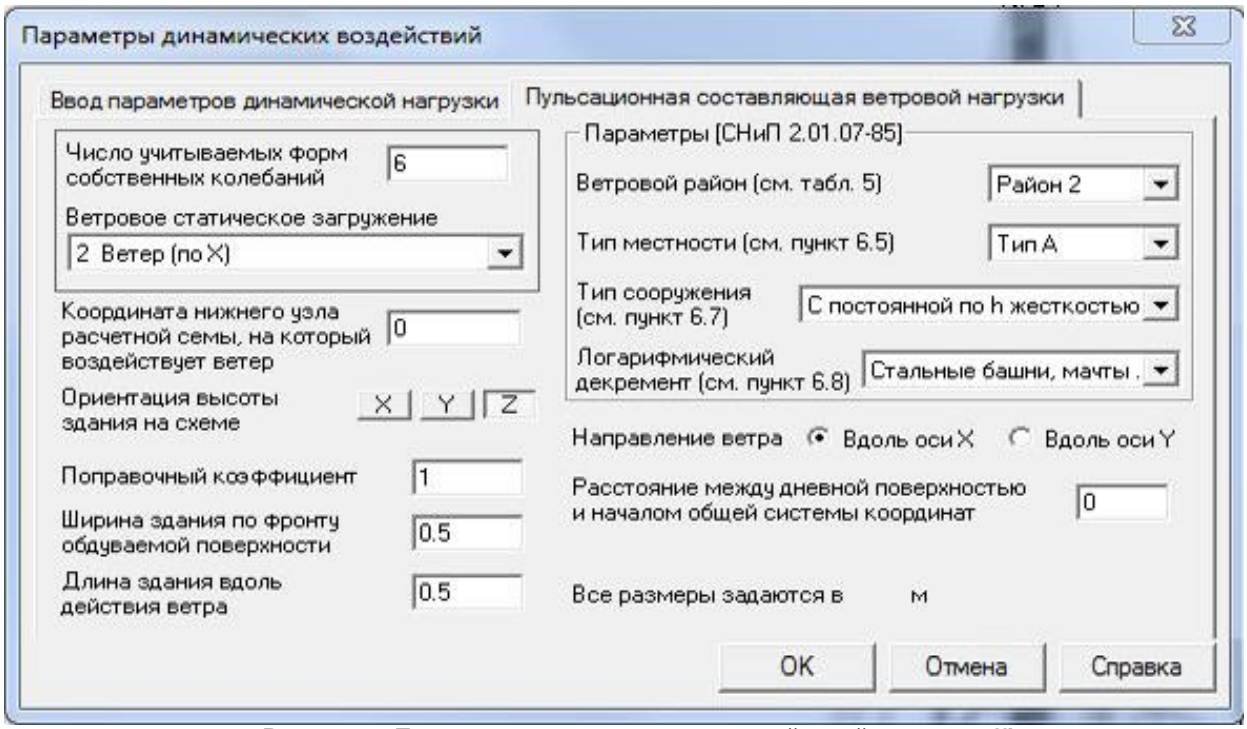

Рисунок 4. Параметры динамических воздействий в SCAD Office

8. Загружения и их сочетания

В таблице7 представлены расчётные комбинации загружений.

Таблица 7. Расчётные комбинации загружений

Номер	Наименование
1	$(L_1)*1,00 + (L_2)*1,00 + (L_3)*1,00 + (L_4)*1,00$
2	$(L_1)*1,00 + (L_2)*1,00 + (L_5)*1,00$

Условные обозначения, принятые в таблице 7:

- L_1— расчётная нагрузка от собственного веса конструкции;
- L_2—расчётная нагрузка от веса технологического оборудования;
- L_3—расчётная статическая нагрузка от статической составляющей ветрового воздействия;
- L_4—расчётная статическая нагрузка от пульсационной составляющей ветрового воздействия;
- L_5—расчётная динамическая нагрузка от ветрового воздействия с учётом пульсационной составляющей.

9. Анализ НДС системы и сравнение результатов расчётов

В этом разделе приведены результаты конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций и выполнено сравнение результатов, полученных в ПВК SCAD Office.

9.1. Суммарные перемещения узлов расчетной схемы мачты

Максимальные суммарные перемещения при загружении в соответствии с комбинацией 1—101,11 мм.

Максимальные суммарные перемещения при загружении в соответствии с комбинацией 2 —177,57 мм.

Расхождения результатов расчёта: 43%.

Перемещение верха ствола ограничено величиной H/100 = 390 мм в соответствии с требованиями п. 17.7 [2]. Полученные результаты удовлетворяют требованиям.

9.2.Сравнение полученных нагрузок на опорные узлы мачты

Расположение опорных узлов показано на рисунке 5.

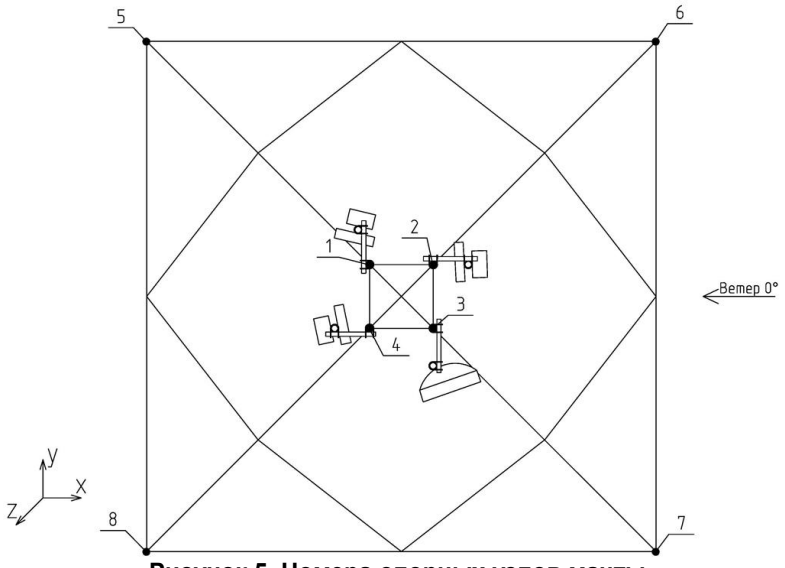

Рисунок 5. Номера опорных узлов мачты

Результаты расчётов усилий в опорных узлах представлены в таблице 8.

Таблица 8. Усилия в опорных узлах мачты

Комбинации загружений	Направление усилий	Номер опорного узла							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Статическая теория приложения инерционной нагрузки, по [1]									
1 (ветер 0^0)	RX, кН	-0,19	-0,07	-0,30	-0,03	4,22	1,56	1,62	4,29
	RY, кН	-0,01	-0,08	0,04	0,05	-4,08	1,28	-1,34	4,14
	RZ, кН	1,52	3,99	3,99	1,53	19,04	-8,78	-8,84	19,16
Метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория)									
2 (ветер 0^0)	RX, кН	-0,33	-0,1	-0,47	-0,06	5,36	2,86	2,92	5,43
	RY, кН	0	-0,1	0,04	0,06	-5,17	2,37	-2,43	5,23
	RZ, кН	1,02	4,49	4,49	1,02	26,75	-16,47	-16,54	26,57

Расхождение результатов расчёта: 28%.

Такой большой разброс значений результатов расчёта предположительно связан с особенностями нелинейной работы оттяжек, а точнее с тем, как SCAD Office учитывает эти особенности под воздействием динамической нагрузки. Для подтверждения этой точки зрения проведём аналогичное исследование для конструкции уголковой башни связи, высотой 30 м, рассмотренной в статье [18]. Башни связи не имеют оттяжек.

9.3. Суммарные перемещения узлов расчетной схемы башни

Максимальные суммарные перемещения при загружении в соответствии с комбинацией 1— 58,7 мм.

Максимальные суммарные перемещения при загружении в соответствии с комбинацией 2 — 64,56 мм.

Расхождение результатов расчёта: 9%.

Перемещение верха ствола ограничено величиной H/100 = 300 мм в соответствии с требованиями п. 17.7 [2]. Полученные результаты удовлетворяют требованиям.

9.4. Сравнение полученных нагрузок на опорные узлы башни

Расположение опорных узлов показано на рисунке 6.

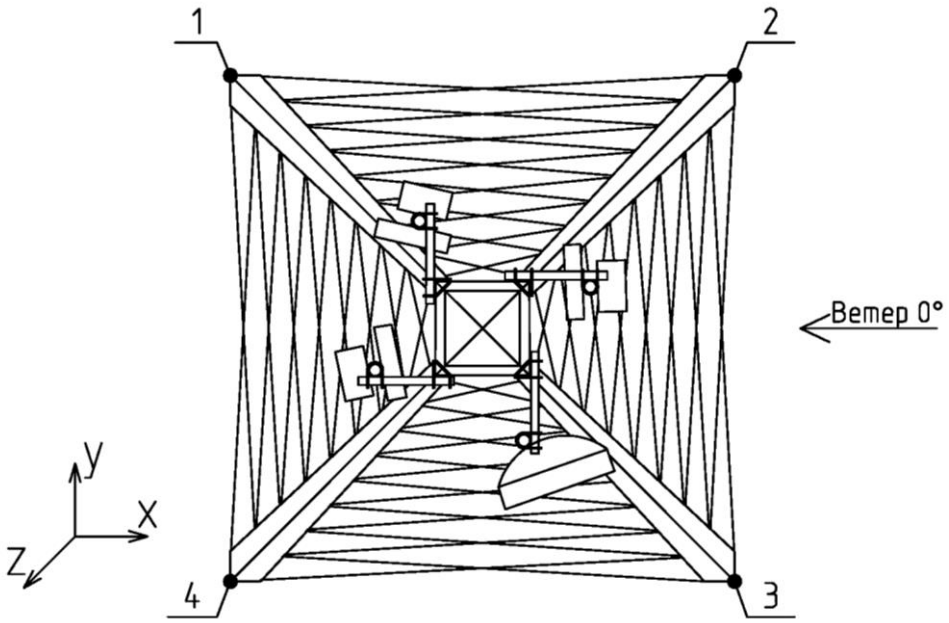

Рисунок 6. Номера опорных узлов башни

Результаты расчётов усилий в опорных узлах представлены в таблице 9.

Таблица 9. Усилия в опорных узлах башни

Комбинации загружений	Направление усилий	Номер опорного узла			
		1	2	3	4
Статическая теория приложения инерционной нагрузки, по [1]					
1 (ветер 0^0)	RX, кН	3,14	2,35	2,94	3,83
	RY, кН	-2,26	1,47	-2,16	2,94
	RZ, кН	52,48	-36,01	-36,01	52,88
Метод разложения по формам колебаний (линейно-спектральная теория)					
2 (ветер 0^0)	RX, кН	3,29	2,42	3,12	3,95
	RY, кН	-2,31	1,51	-2,27	3,11
	RZ, кН	56,68	-38,17	-37,81	57,11

Расхождение результатов расчёта: 8%.

10. Выводы

Результаты расчётов мачты связи показывают значительные расхождения результатов рассматриваемых методик. Расхождения достигают 43% в значениях относительных перемещений узлов мачты и 28% в значениях усилий на опорные узлы. Было выдвинуто предположение что такие большие расхождения результатов расчёта связаны с особенностями нелинейной работы оттяжек в сочетании с действием динамической нагрузки, точнее того как SCAD Office учитывает эти особенности. Для подтверждения этой точки зрения было проведено аналогичное исследование для конструкции башни связи, которые не имеют оттяжек. Расхождения полученных в результате исследования результатов находятся в пределах 10%. Таким образом можно сделать вывод, что для конструкций с нелинейной работой элементов лучше не применять методику определения пульсационной составляющей в SCAD Office, в силу неоднозначности получаемых результатов. Для остальных конструкций она имеет схожие результаты, с методикой, описанной в [1].

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 Р 52644-2006. Болты высокопрочные с шестигранной головкой с увеличенным размером под ключ для металлических конструкций. Технические условия.

[5]. Федеральный закон №384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.

[6]. ГОСТ 3063-80. Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1х19.

[7]. Савицкий Г.А. Расчёт антенных сооружений. (Физические основы). М.: Изд-во Связь, 1978. 152 с.

[8]. Савицкий Г.А. Антенные устройства. М.: Изд-во Связьиздат, 1961. 480 с.

[9]. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Изд-во Связьиздат, 1972. 111 с.

[10]. Соколов А.Г. Металлические конструкции антенных устройств. М.: Изд-во Стройиздат, 1971. 240 с.

[11]. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А. [и др]. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 656 с.

[12]. Перельмунтер А.В. SCAD Office. Расчет мачт на оттяжках. К.: Изд-во СКАД СОФТ, 2004. 46с.

[13]. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 710 с.

[14]. Ключникова О.Н., Колегова Л.Ю. Сравнительный анализ поведения стальной решетчатой башни в ветровом потоке // Южно-Сибирский научный вестник. 2013. № 1 (3). С. 87-89.

[15]. Горохов Е.В., Васылев В.Н., [и др.]. Анализ конструктивной формы антенных опор радиорелейной связи. // Металлические конструкции. 2010. №1 (16). С. 41-50.

[16]. Евзеров И.Д., Лазнюк М.В., [и др.]. Расчёт и проектирование мачт на оттяжках в среде ПК ЛИРА. // Металлические конструкции. 2009. №1 (15). С. 23-29.

[17]. Губанов В.В., Межинская И.В. Совершенствование методики расчета начального натяжения оттяжек мачт. // Металлические конструкции. 2012. №1 (18). С. 41–48.

[18]. 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.

[19]. Качурин В.К. Теория висячих систем. Статический расчёт. Л.: Изд-во Гостройиздат, 1962. 224 с.

[20]. Перельмунтер А.В. Основы расчёта вантово-стержневых систем. М: Изд-во Стройиздат, 1969. 190 с.

[21]. 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.

[22]. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. М: Изд-во АСВ, 2009. 358 с.

[23]. Соколов В.А., Страхов Д.А., Синяков Л.Н. Расчет сооружений башенного типа на динамические воздействия с учетом податливости свайного фундамента и основания. // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 4. С. 46-50.

[24]. Турбин С. В., Некрасов Ю.П. Принципы определения нагрузок и воздействий на антенно-мачтовые сооружения // Материалы конференции «Многогранные гнутые стойки» / ОАО «ПРОМиК», ООО «Связьтехсервис». – Д: Печатный салон «Мультипринт», 2006. – С. 73-96.

[25]. Егоров П.И. Влияние системы аутригеров в высотных зданиях на величину горизонтальных перемещений от пульсации ветра. // Ученые заметки ТОГУ. 2013. №4 (4). С. 1579-1585.

[26]. Smith, Brian W. Communication structures. London : Thomas Telford Publishing, 2006. – 338 p.

[27]. Cairo R., Conte E. Settlement analysis of pile groups in layered soils // Canadian Geotechnical Journal. 2006. Vol. 43(8). Pp. 788-801.

[28]. Premalatha K., Panneerselvam J., Srilakshmi M. Interachion studies on axially loaded piles and pile groups // Proceedings of the International Geotechnical Conference, Saint Petersburg - Moscow, 2005. Vol. 1. Pp. 259-263.

[29]. 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.

[30]. 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.

[31]. Brandi H. Cyclic preloading of piles and box-shaped deep foundations // Proceedings of the International Geotechnical Conference. Moscow, 2010. Vol. 1. Pp.3-28.

[32]. 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.

[33]. 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.

[34]. 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.

[35]. 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).

[36]. 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.

[37]. von Karman, T., Sechler, E.E., Donnel, L.H., The strength of thin plates in compression, Trans ASME,;- 1932. - Vol. 54. - Pp. 53-57.

Pulsation effects of wind to the antenna mast structures in software SCAD Office

A.V. Ioskevich[1], A.V. Savchenko[2], E.S. Egorova[3], V.V. Ioskevich[4], M.A. Polyanskih[5]

[1-3, 5]Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia,

[4]St. 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 29 November 2014
Accepted 2 March 2015

Keywords

spatial metal structures,
finite element method,
SCAD Office,
antenna-mast construction,
wind loads,
pulsation effects of wind

ABSTRACT

The article is devoted to the calculation of antenna mast structures (AMS) using two different methodologies of adding pulsation wind load.

The first method is implements the static theory of inertial loads applications. The second method a decomposition technique in vibrational mode (linear spectral theory), implemented in software SCAD Office.

Analysis is performed on the requirements and recommendations contained in the current technical literature about communication structures.

Comparison of the regulations of domestic and foreign standards by calculation of high constructions concerning directions of a wind and combinations of loadings which are necessary for considering at calculation of antenna mast structure (AMS) is executed.

The calculation by two techniques for the two most common types of antenna mast structures (communication mast and communication tower) is performed in SCAD Office, and a comparison of results is made.

[1] *Corresponding author:*
+7 (911) 819 1927, anton-ioskevich@mail.ru (Anton Vladimirovich Ioskevich, Graduate Student)
[2] +7 (911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Aleksey Vladimirovich Savchenko, Assistant)
[3] +7 (911) 088 3372, egorovaes@hotmail.com (Evgeniya Sergeevna Egorova, Graduate Student)
[4] +7 (905) 282 9498, Ivasily95@gmail.com (Vasiliy Vladimirovich Ioskevich, Graduate Student)
[5] +7 (911) 234 8401, don12850@mail.ru (Mark Anatoljevich Polyanskikh, Graduate Student)

References

[1]. SP 20.13330.2011. *Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP* 2.01.07-85. [SP 20.13330.2011. Loads and effects. The updated edition of SNIP 2.01.07-85] (rus)

[2]. SP 16.13330.2011. *Stalnyye konstruktsii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP* II-23-81. [SP 16.13330.2011. Steel structures. The updated edition of SNIP II-23-81.] (rus)

[3]. GOST 27772-88. *Prokat dlya stroitelnykh stalnykh konstruktsiy. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya* [GOST 27772-88. Rental for construction of steel structures. General specifications.] (rus)

[4]. GOST R 52644-2006. *Bolty vysokoprochnyye s shestigrannoy golovkoy s uvelichennym razmerom pod klyuch dlya metallicheskikh konstruktsiy. Tekhnicheskiye usloviya*. [GOST R 52644-2006. High-strength bolts with hexagon head with the increased size of turnkey metal structures. Technical conditions] (rus)

[5]. Federalnyy zakon №384-F3. *Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy*. [Technical regulations on the safety of buildings and constructions] (rus)

[6]. GOST 3063-80. *Kanat odinarnoy svivki tipa TK konstruktsii* 1kh19. [GOST 3063-80. Single lay rope type TK construction 1h19.] (rus)

[7]. Savitskiy G.A. *Raschet antennykh sooruzheniy. (Fizicheskiye osnovy).* [Calculation of antenna systems. (Physical foundations)]. Moscow: *Svyaz*, 1978. 152 p. (rus)

[8]. Savitskiy G.A. *Antennyye ustroystva*. [Antenna devices]. Moscow: Svyazizdat, 1961, 480 p. (rus)

[9]. Savitskiy G.A. *Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya*. [Wind loads on constructions]. *Moscow: Svyazizdat*, 1972, 111 p. (rus)

[10]. Sokolov A.G*. Metallicheskiye konstruktsii antennykh ustroystv.* [Metal structures of antenna devices]. *Moscow*: Stroyizdat, 1971. 240 p. (rus)

[11]. Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Malyarenko A. A. [et al]. SCAD Office. *Vychislitelnyy kompleks* SCAD. [Computing system SCAD] *Moscow*: SKAD SOFT, 2011. 656 p. (rus)

[12]. Perelmunter A.V. SCAD Office. *Raschet macht na ottyazhkakh*. [Calculation of guyed masts] *Kiev*: SKAD SOFT, 2004. 46p. (rus)

[13]. Perelmuter A.V., Slivker V.I. *Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza*. [Computational models of structures and their analysis]. *Kiyev: Stal*, 2002. (rus)

[14]. Klyuchnikova O.N., Kolegova L.Yu. Comparative analysis of the behavior of steel lattice tower in the wind currents // South-Siberian Scientific Bulletin № 1 (3), 2013, Pp. 87-89. (rus)

[15]. Gorokhov Ye.V., Vasylev V.N., [et al]. The analysis of constructive forms antenna supports radio relay communication // Metal Constructions Journal. №1, 16, 2010. Pp. 41-50. (rus)

[16]. Yevzerov I.D., Laznyuk M.V., [et al.]. Calculation and design of guyed masts in the program "LIRA" // Metal Constructions Journal. 2009. №1 (15). Pp. 23-29. (rus)

[17]. Gubanov V.V., Meginskaya I.V. Perfection of the mast guys initial tensions design procedure // Metal Constructions Journal. 2012. №1 (18). Pp. 41-48. (rus)

[18]. Ioskevich A.V., Savchenco 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)

[19]. Kachurin V.K. *Teoriya visyachikh sistem. Staticheskiy raschet* [Theory of a suspension systems. Static calculation]. Leningrad: *Gostroyizdat*, 1962. 224 p. (rus)

[20]. Perelmunter A.V. *Osnovy rascheta vantovo-sterzhnevykh system* [Bases of calculation cable-core systems]. Moscow: *Stroyizdat*, 1969. 190 p. (rus)

[21]. Pichugin S. F., Makhinko 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)

[22]. Gorodetskiy A.S., Yevzerov I.D. *Kompyuternyye modeli konstruktsiy* [Computer models of the constructions]. Moscow: ASV, 2009. 358 p. (rus)

[23]. Sokolov V.A., Strakhov D.A., Sinyakov L.N. Design of tower type structures to dynamic effects taking into account flexibility of the pile foundation and the base // Magazine of Civil Engineering. 2013. № 4. Pp. 46-50. (rus)

[24]. Turbin S.V., Nekrasov Yu. P. Principles of loading calculation and influence on antenna mast structure //Conference material «Multisided Steel Pole». Dnepropetrovsk: Multiprint, 2006, p. 73–96. (rus)

[25]. Egorov P.I. Influence of system outrigger skyscraper on the magnitude horizontal displacements from pulsation wind // Scientists notes PNU. 2013. №4 (4). Pp. 1579–1585. (rus)

[26]. Smith, Brian W. Communication structures. London : Thomas Telford Publishing, 2006. – 338 p.

[27]. Cairo R., Conte E. Settlement analysis of pile groups in layered soils // Canadian Geotechnical Journal. 2006. Vol. 43(8). Pp. 788-801.

[28]. Premalatha K., Panneerselvam J., Srilakshmi M. Interachion studies on axially loaded piles and pile groups // Proceedings of the International Geotechnical Conference, Saint Petersburg - Moscow, 2005. Vol. 1. Pp. 259-263.

[29]. 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.

[30]. 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.

[31]. Brandi H. Cyclic preloading of piles and box-shaped deep foundations // Proceedings of the International Geotechnical Conference. Moscow, 2010. Vol. 1. Pp.3-28.

[32]. 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.

[33]. 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.

[34]. 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.

[35]. 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).

[36]. 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.

[37]. von Karman, T., Sechler, E.E., Donnel, 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., Полянских М.А. Пульсационные воздействия ветра на антенно-мачтовые сооружения в SCAD Office // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3(30). С. 81-97.

Ioskevich A.V., Savchenko A.V., Egorova E.S., Ioskevich V.V., Polyanskikh M.A. 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)