

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN417.pdf>

Статья опубликована 08.09.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Щуцкий В.Л., Коробкин А.П., Шевченко А.С., Стельмах С.А. Исследование работы конических опор линий электропередач в качестве стоек для антенных башенных надстроек // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 624.012.45

Щуцкий Виктор Лукьянович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Академия строительства и архитектуры
Профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»
Кандидат технических наук
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=808135

Коробкин Александр Петрович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Академия строительства и архитектуры
Доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»
Кандидат технических наук
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Шевченко Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Академия строительства и архитектуры
Магистрант
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Стельмах Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Россия, Ростов-на-Дону
Академия строительства и архитектуры
Доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Кандидат технических наук
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Исследование работы конических опор линий электропередач в качестве стоек для антенных башенных надстроек

Аннотация. Выполнен статический и динамический расчет конструкций антенных опор с тремя типами металлических башенных надстроек в программном комплексе «Selena». На основе расчетов проведен анализ напряженного состояния стоек на воздействие предварительного напряжения арматуры стойки, постоянных нагрузок от собственного веса стойки, веса башенной надстройки и лестничного трапа, и временных нагрузок (ветровой, гололедной, температурной), включая пульсационную составляющую ветровой нагрузки и сейсмическое воздействие. Разработана методика и алгоритм итерационного расчета прочности кольцевого сечения, усиленного железобетонной облоймой, внецентренно сжатых и изгибаемых стоек антенных опор.

Анализ показал, что напряженное состояние стоек антенных опор зависит от типа антенных башенных надстроек, а также районирования нагрузок. При этом наибольшее влияние на напряженное состояние оказывает статическое и пульсационное ветровое воздействие.

Конические стойки, используемые в качестве опор антенных башенных надстроек на территории Ростовской области, в большинстве случаев, не обладают достаточной несущей способностью. Особенно, начиная с третьего ветрового района, эксплуатация антенных опор с первым и третьим типом башенных надстроек не рекомендуется вследствие их недостаточной несущей способности.

Предложены решения по усилению стоек железобетонной обоймой.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; кольцевые сечения; предварительное напряжение; расчетная прочность; усиление конических стоек

Значительный опыт производства и эксплуатации центрифугированных опор в России и за рубежом свидетельствует об их достаточной эксплуатационной надежности, чему способствовали многочисленные научно-исследовательские и проектные работы в направлении совершенствования конструкции опор и технологии их изготовления.

Наибольший вклад в теорию расчета и проектирования центрифугированных железобетонных конструкций кольцевого сечения внесли А. С. Дмитриев, В. М. Баташев, Т. Ф. Нагорная, В. Н. Лебедев, А. П. Кудзис, Т. М. Пецольд и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

В последние годы большое внимание исследованию физико-механических свойств центрифугированного бетона, прочности и деформативности железобетонных опор ЛЭП уделено в работах В. Л. Щуцкого, Д. А. Дедуха, М. Ю. Гриценко, Т. Д. Талиповой [7, 8, 9, 10].

Стойки конические железобетонные центрифугированные согласно ГОСТ 22687.1-85 предназначены для опор высоковольтных линий электропередачи, эксплуатирующихся в I – VII районах по давлению ветра и в I-V гололедных районах согласно СНиП 2.01.07-85. При использовании их по назначению проявляют хорошие показатели эксплуатационной пригодности и долговечности.

Однако, в недавнее время конические стойки начали массово применяться операторами сотовой связи в качестве опор для металлических антенных башенных надстроек (рис. 1). Башенная надстройка (рис. 2) представляет собой пространственную конструкцию (в большинстве случаев являющуюся пространственной консольной фермой) состоящую из металлических элементов (уголков, труб, швеллеров, круглого проката и т. п.) и предназначена для установки на нее антенно-фидерного оборудования (панельных, секторных, радиорелейных антенн, внешних радиомодулей, фидеров).



Рисунок 1. Использование конических железобетонных центрифугированных стоек в качестве опор антенных башенных надстроек (составлен авторами)

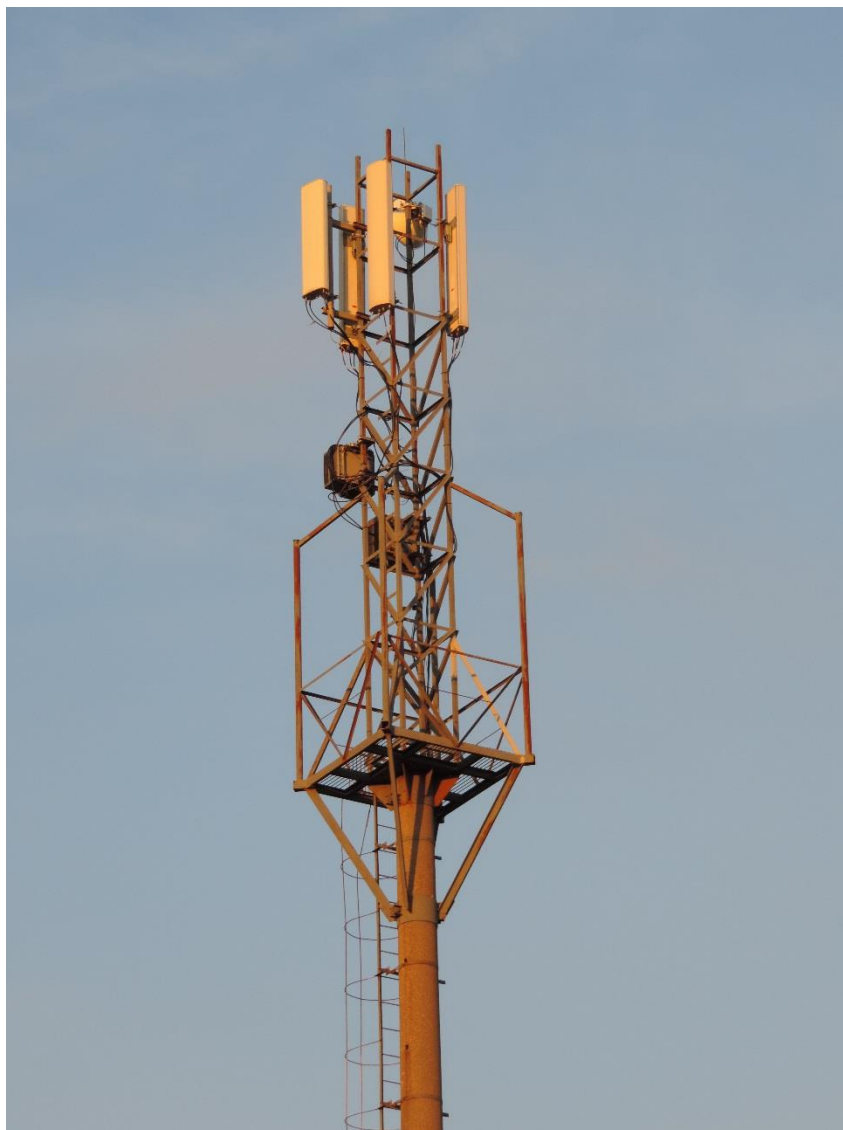


Рисунок 2. Металлическая антенная башенная надстройка с антенно-фидерным оборудованием (составлен авторами)

Конструкции рассматриваемых антенных опор испытывают значительные перегрузки за счет воздействия веса башенной надстройки и антенно-фидерного оборудования, веса лестничного трапа, ветровых, температурных и гололедных нагрузок. В большинстве случаев в результате расчета данных конструкций с навешенным оборудованием максимальный момент стойки в уровне защемления превосходит предельный момент по прочности согласно ГОСТ 22687.1-85. Поэтому для дальнейшей нормальной эксплуатации сооружений необходимо выполнять усиление конструкции стоек.

Проектные организации, специализирующиеся на разработке проектов усиления данных сооружений, выполняют в большинстве случаев упрощенные вычисления, не подкрепленные качественными инженерными расчетами.

В связи с этим возникает необходимость разработки расчета конструкции усиления и типа усиления, который мог бы применяться с высокой надежностью и инженерной обоснованностью.

В данной работе авторами проведен статический и динамический расчет стойки антенной опоры в программном комплексе «Selena» на воздействие следующих нагрузок:

- собственного веса стойки, веса лестничного трапа и башенной надстройки (статич. загр.);
- воздействия давления ветра (статич. загр.);
- гололедной нагрузки (статич. загр.);
- температурных воздействий (статич. загр.);
- воздействия ветровой пульсационной нагрузки (динамич. загр.);
- сейсмического воздействия (динамич. загр.).

В табл. 1 приведены основные комбинации нагружений стойки в соответствии с требованиями норм СП 20.13330.2011 и СП 14.13330.2011.

Таблица 1

№ п.п.	Нагрузка	Коэф. надёжн., γ_f	Коэффициенты сочетаний нагрузок																						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	Собственный вес конструкций антенной опоры	1,05; 1,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9
2	Статическая и пульсационная ветровая нагрузка под углом 0°	1,4	1	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
3	Статическая и пульсационная ветровая нагрузка под углом 45°	1,4	—	1	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
4	Статическая и пульсационная ветровая нагрузка под углом 90°	1,4	—	—	1	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
5	Статическая и пульсационная ветровая нагрузка под углом 135°	1,4	—	—	—	1	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—
6	Статическая и пульсационная ветровая нагрузка под углом 180°	1,4	—	—	—	—	1	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	1	—	—
7	Гололедная нагрузка	1,3	—	—	—	—	—	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Температурные воздействия «+»	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—
9	Температурные воздействия «-»	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	—	—
10	Сейсмическое воздействие вдоль оси X	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
11	Сейсмическое воздействие вдоль оси Y	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

Составлена автором

На рис. 3 приведены характерные эпюры моментов в стойке СК26.2-1.5 от различных воздействий.

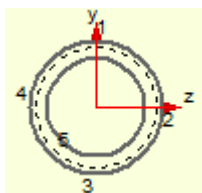
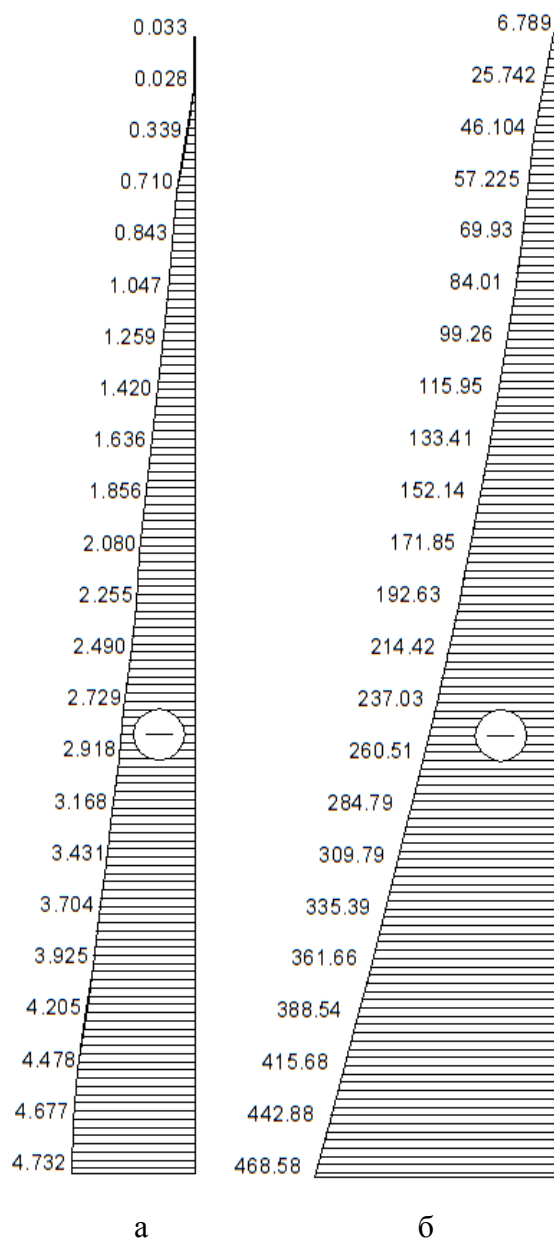


Рисунок 3. Изгибающий моменты (кНм) относительно оси Y (лестница со стороны точки 2): а – от действия собственного веса и предварительного натяжения арматуры; б – от воздействия наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок (ветер по направлению оси y) (составлен авторами)

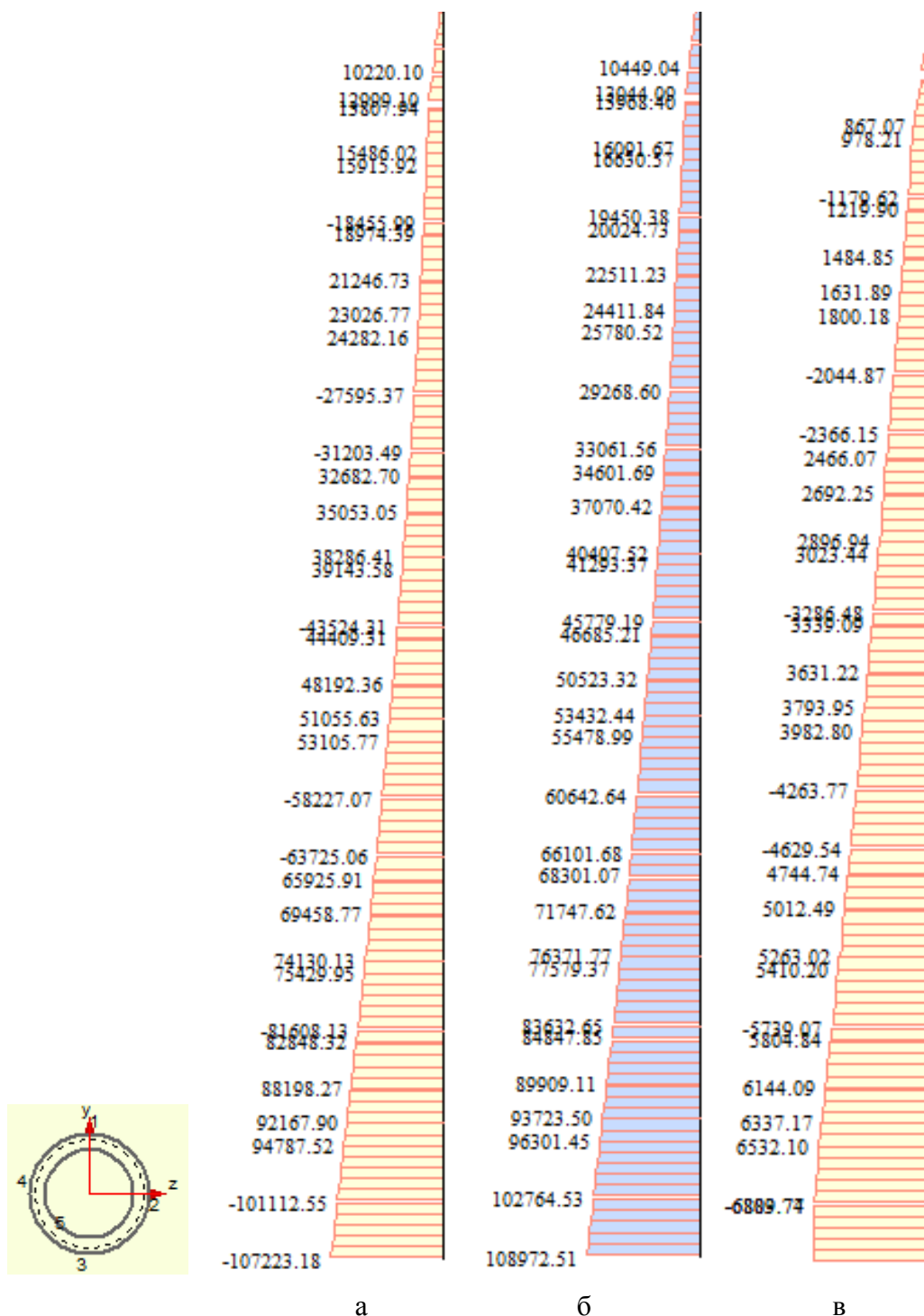


Рисунок 4. Эпюры изгибающих моментов (H): а – M_y от нагрузки «Давление ветра» под углом 45° ; б – M_z от нагрузки «Давление ветра» под углом 45° ; в – M_y от нагрузки «Гололед» (составлен авторами)

Наиболее характерные эпюры напряжений в бетонном сечении представлены на рисунке 5 (лестница располагается со стороны точки 2).

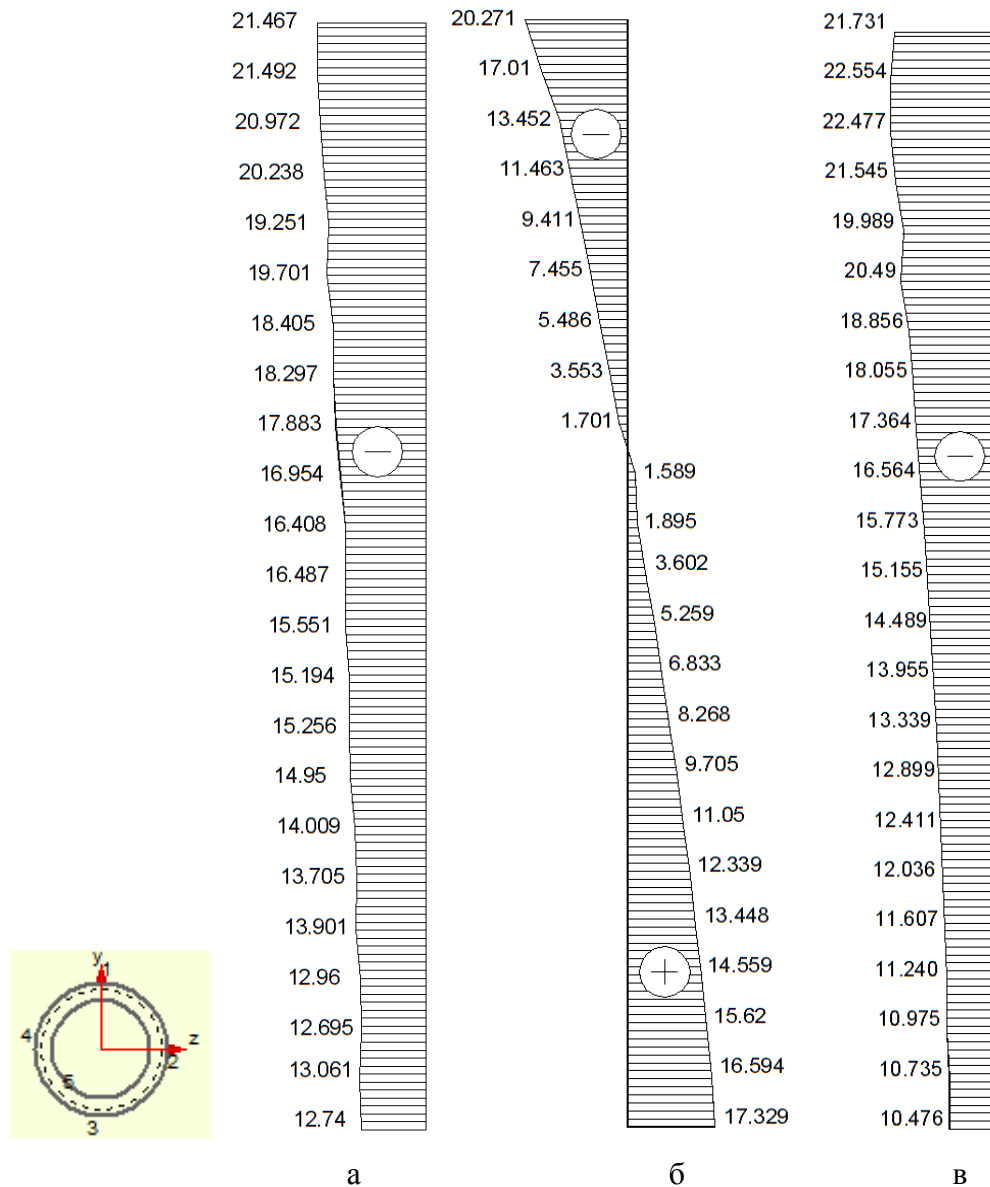


Рисунок 5. Напряжения в бетоне (МПа): а – в точке 2 от собственного веса и предварительного натяжения; б – в точке 1 от наиболее невыгодного сочетания нагрузок (ветер по направлению оси у); в – в точке 3 от наиболее невыгодного сочетания нагрузок (ветер по направлению оси у) (составлен авторами)

Выполнен анализ результатов расчета стойки с тремя типами антенных башенных надстроек, приведенных на рисунке 6.

В таблице 2 отображены 22 конечных элемента железобетонной стойки и конечные элементы башенных надстроек.

Для расчета прочности сечений стойки, усиленной железобетонной обоймой (рис. 7) разработан алгоритм итерационного расчета.

В соответствии с разработанным алгоритмом были проведены численные расчеты определения несущей способности стоек для различных типов антенных башенных надстроек, ветровых и гололедных районов.

Анализ результатов расчета показал, что несущая способность антенных опор с первым и третьим типом металлических башенных надстроек эксплуатирующихся до второго

ветрового района включительно на территории Ростовской области обеспечена, несущая способность стоек со вторым типом металлической башенной надстройки обеспечена для всех ветровых и гололедных районов Ростовской области. Начиная с третьего ветрового района эксплуатация антенных опор с первым и третьим типом башенных надстроек не рекомендуется вследствие их недостаточной несущей способности.

Полученные результаты позволили разработать рекомендации по усилению стоек железобетонной обоймой, представленной на рис. 8. Для каждого типа стойки и различных условий эксплуатации получены параметры обоймы усиления, включающие в себя количество ненапрягаемой арматуры, толщину и высоту обоймы усиления.

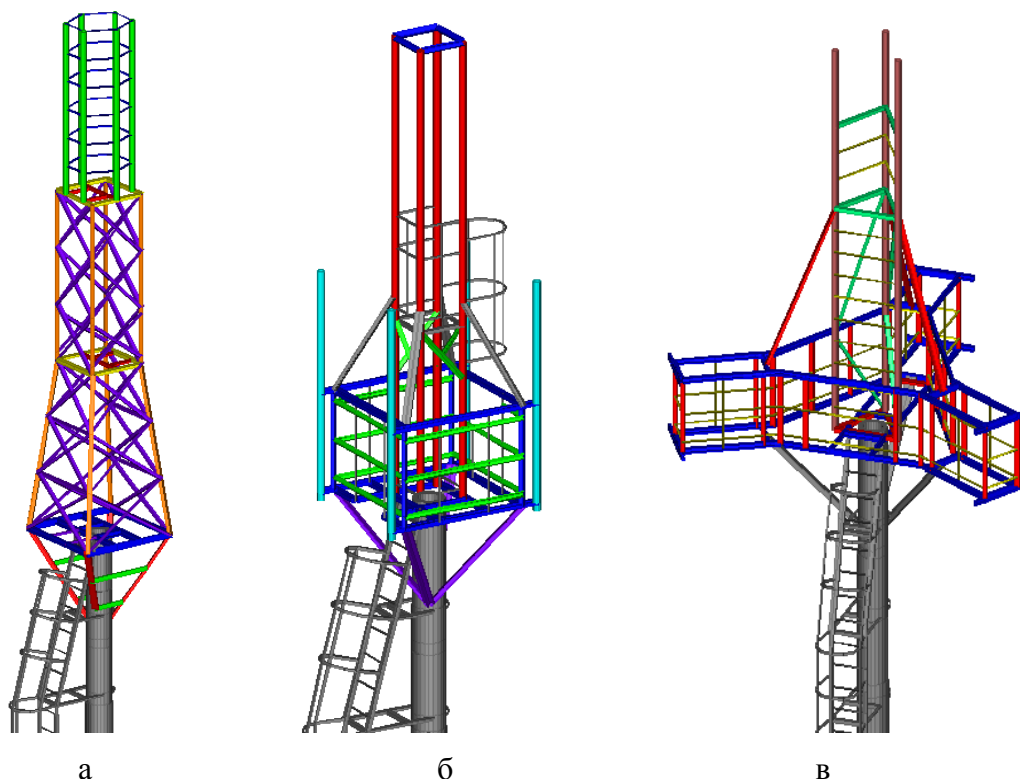


Рисунок 6. 3 типа башенных надстроек:
 а – I тип; б – II тип; в – III тип (составлен авторами)

N Гр.	1 тип	2 тип	3 тип
	Легенда группы	Легенда группы	Легенда группы
1	СК26 608/465	СК26 608/465	СК26 608/465
2	СК26 599/458	СК26 599/458	СК26 599/458
3	СК26 590/450	СК26 590/450	СК26 590/450
4	СК26 581/442	СК26 581/442	СК26 581/442
5	СК26 572/435	СК26 572/435	СК26 572/435
6	СК26 562/427	СК26 562/427	СК26 562/427
7	СК26 553/419	СК26 553/419	СК26 553/419
8	СК26 544/412	СК26 544/412	СК26 544/412
9	СК26 535/404	СК26 535/404	СК26 535/404
10	СК26 525/396	СК26 525/396	СК26 525/396
11	СК26 516/388	СК26 516/388	СК26 516/388
12	СК26 507/381	СК26 507/381	СК26 507/381
13	СК26 498/373	СК26 498/373	СК26 498/373
14	СК26 488/365	СК26 488/365	СК26 488/365

№ Гр.	1 тип	2 тип	3 тип
	Легенда группы	Легенда группы	Легенда группы
15	СК26 479/358	СК26 479/358	СК26 479/358
16	СК26 470/350	СК26 470/350	СК26 470/350
17	СК26 461/342	СК26 461/342	СК26 461/342
18	СК26 442/327	СК26 442/327	СК26 442/327
19	СК26 435/335	СК26 435/335	СК26 435/335
20	СК26 433/319	СК26 433/319	СК26 433/319
21	СК26 424/312	СК26 424/312	СК26 424/312
22	СК26 415/304	СК26 415/304	СК26 415/304
24	С8240-89 10	Р8732-78 89х 3.5	С8240-89 8
25	-80х6	С8240-89 10	Л8509-93 63х6
26	С8240-89 10	2L63х5, t6	Л8509-93 50х5
27	Л8509-93 50х5	Л8509-93 63х5	Р8732-78 89х 3.5
28	Л8509-93 63х5	Л8509-93 50х5	GOST 2590-2006 16
29	Л8509-93 63х5	Р8732-78 89х 4.0	2L75х6, t6
30	Л8509-93 50х5	2L50х5, t4	-40х4
31	Л8509-93 50х5	-4х25	Л8509-93 50х4
32	Р8732-78 89х 3.5	Л8509-93 50х5	GOST 2590-2006 16
33	GOST 2590-2006 16	GOST 2590-2006 14	-40х4
34	-40х4	GOST 2590-2006 12	Фиктивная масса
35	Л8509-93 50х4	-40х4	Абсолютно жесткая связь
36	GOST 2590-2006 16	Л8509-93 50х4	—
37	-40х4	GOST 2590-2006 16	—
38	Фиктивная масса	-40х4	—
39	Абсолютно жесткая связь	Фиктивная масса	—
40	—	Абсолютно жесткая связь	—

Составлена автором

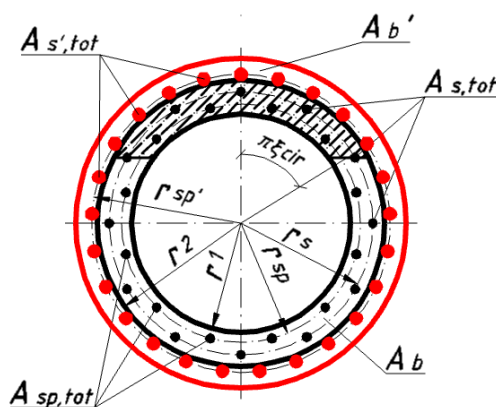


Рисунок 7. К расчету конструкции усиления (составлен авторами)

$A_b, A_{s,tot}, A_{sp,tot}$ – соответственно площадь бетона, площадь ненапрягаемой и напрягаемой арматуры стойки;

$A'_b, A'_{s,tot}$ – соответственно площадь бетона, площадь ненапрягаемой арматуры обоймы усиления.

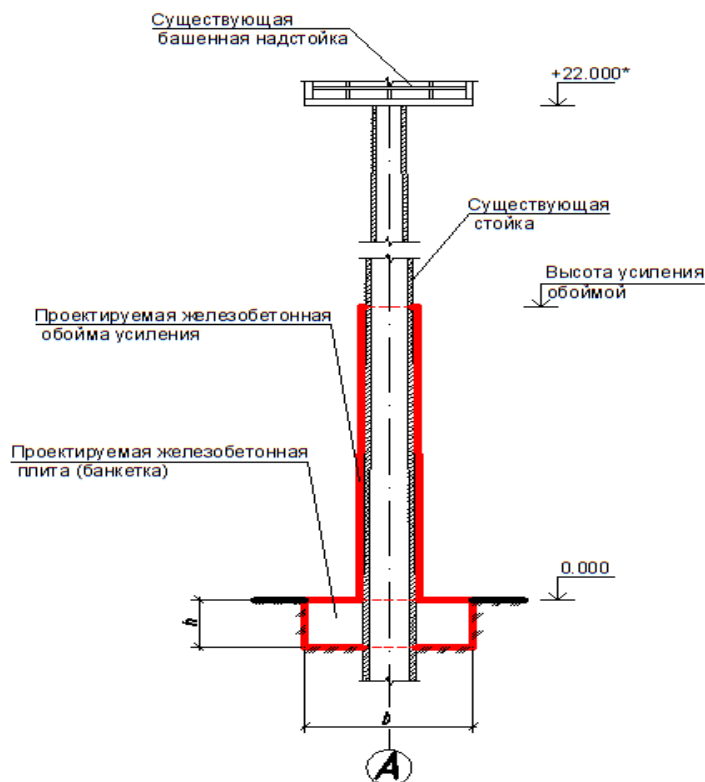


Рисунок 8. *Схема конструкции усиления стойки обоймой (составлен авторами)*

Основные выводы

Анализ показал, что напряженное состояние стоек антенных опор зависит от типа антенных башенных надстроек, а также районирования нагрузок.

Стойки, эксплуатирующиеся в качестве опор для антенных башенных надстроек на территории Ростовской области, в большинстве случаев не обладают достаточной несущей способностью.

При этом несущая способность антенных опор с первым и третьим типом металлических башенных надстроек, эксплуатирующихся до второго ветрового района включительно обеспечена. Начиная с третьего ветрового района эксплуатация антенных опор с первым и третьим типом башенных надстроек не рекомендуется за счет недостаточной несущей способности. Несущая способность стоек со вторым типом металлической башенной надстройки обеспечена для всех ветровых и гололедных районов Ростовской области.

Разработана конструкция усиления стоек кольцевой железобетонной обоймой и рекомендации по выбору параметров обоймы усиления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев С. А., Баташев В. М., Деформации (прогибы) железобетонных элементов кольцевого сечения и раскрытие трещин в них. Сборник трудов НИИЖБ "Особенности деформаций бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций". Стройиздат, Москва, 1969, С. 157-189.
2. Баташев В. М., Нагорная Т. СД. Исследования прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого сечения // Реферативный сборник Межотраслевые вопросы строительства. 1969. Вып. 12. ЦНИИС Госстроя СССР.
3. Баташев В. М., Андросов, С. Т., Лебедев В. Н., Нагорная Т. Ф., Расчет прочности изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого и круглого сечения // Бетон и железобетон. №5. С. 31-34.
4. Кудзис А. П. О расчете по прочности внецентренно сжатых элементов кольцевого сечения при малых эксцентриситетах. Труды КПИ "Исследования по железобетонным конструкциям" П, Вильнюс, 1969.
5. Кудзис А. П. Железобетонные конструкции кольцевого сечения. Вильнюс: Минтис, 1975. 224 с.
6. Пекольд Т. М. Железобетонные центрифугированные конструкции промышленных зданий и сооружений: Дис. ... док. тех. наук: Минск, 1983. 459 с.
7. Щуцкий В. Л., Дедух Д. А., Гриценко М. Ю. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», №2 ч.2, 2015. – http://ivdod.ru/uploads/article/pdf/IVD_81_Shucki.pdf_4abcf9232c.pdf свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус., англ.
8. Щуцкий В. Л., Дедух Д. А., Гриценко М. Ю. Планирование эксперимента при исследовании свойств центрифугированного бетона. «Научное обозрение», 2016. №12. С. 89-96.
9. Щуцкий В. Л., Шилов А. В., Талипова Т. Д. Прочность конических опор линий электропередач с учетом ограничений по второй группе предельных состояний // Интернет журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN216.pdf>.
10. Щуцкий В. Л., Насевич А. С. Методика расчета железобетонных опор ЛЭП по прочности. «Научное обозрение», 2014. – №10. – С. 3.

Schutsky Viktor Lukianovich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Korobkin Alexander Petrovich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Shevchenko Alexander Sergeevich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Stel'makh Sergey Anatol'evich

Don state technical university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: shevchenko.zhbk@gmail.com

Study of conical pillars as stands for antenna tower superstructures

Abstract. Performed static and dynamic structural analysis antenna supports three types of metal tower superstructures in the software package "Selena". Analysis based on the calculations of the stress state stands on the effects of prestressing stands, permanent loads self weight of the pillar weight of the tower superstructure and stair ladder, and temporary loads (wind, ice, temperature), including the pulsation component of wind load and seismic effects. The developed technique and algorithm of iterative calculation of the strength of the ring section reinforced concrete clip, eccentrically compressed and bent struts of the antenna supports.

The analysis showed that the stress state stands antenna supports depends on the type of antenna tower superstructures, as well as zoning loads. The greatest influence on the stress state provides static and pulsating wind influence.

Tapered pillar used to support the antenna tower superstructure on the territory of the Rostov region in most cases not have sufficient bearing capacity. Especially since the third wind area antenna supports operation with the first and third type of tower superstructures are not recommended due to their insufficient bearing capacity.

Proposed solutions for strengthening reinforced concrete pillars clip.

Keywords: reinforced concrete structures; the annular cross-section; pre-tension; design strength; strengthening conical pillars