



doi: 10.18720/CUBS.67.6

Повреждаемость антенно-мачтовых сооружений сотовой связи

Damageability of antenna and mast constructions of cellular communication

О.Н. Закурдаева^{1*}, А.В. Голиков²

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» Институт архитектуры и строительства», Россия, Волгоград, Академическая ул., 1

O.N. Zakurdaeva^{1*}, A.V. Golikov²

Institute of Architecture and Civil Engineering of Volgograd State Technical University, Akademicheskaya Street, 1, Volgograd, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

антенно-мачтовые сооружения;
мачта;
оттяжки;
повреждения;
напряженно-деформированное состояние;
несущая способность;
эксплуатационная пригодность;

KEYWORDS

Antennas-mast constructions,
masts,
delays,
injuries,
stress-strain state,
bearing capacity,
usability

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 23.11.2017
Принята: 21.05.2018

ARTICLE HISTORY

Submitted: 23.11.2017
Accepted: 21.05.2018

АННОТАЦИЯ

В статье систематизированы и описаны основные типы антенно-мачтовых сооружений (АМС) и виды их повреждений. Выполнена оценка влияния отдельных видов повреждений на несущую способность и эксплуатационную пригодность. Выполнен расчет влияния угла поворота оттяжек относительно ствола мачты на работу сооружения в целом. Построены аналитические зависимости, характеризующие влияние отдельных повреждений на напряженно-деформированное состояние (НДС) мачт сотовой связи.

ABSTRACT

The article classifies and describes the main types of AMS and their damage. Estimation of the influence of certain types of damage on the bearing capacity and usability. The calculation of the influence of the angle of the braces relative to the barrel of the mast on the operation of the structure as a whole. Built analytical dependences characterizing the influence of individual damages on the stress-strain state of masts of cellular communication.

Содержание

1.	Введение	72
2.	Методика исследования	73
3.	Результаты и обсуждение	79
4.	Заключение	84

1. Введение

В современном мире обеспечение населения качественной телефонной, радиосвязью и другими источниками информации имеет важное значение, так как беспроводная связь является предметом первой необходимости для каждого современного человека. По указанной причине особое значение приобретает вопрос установки и соблюдения требований Федерального закона N 384 ФЗ [1] по безопасной эксплуатации мачтовых сооружений, предназначенных для расположения на них антенно-фидерного оборудования.

На 2018 год в качестве несущих опорных конструкций базовых станциях сотовой связи применяется большое количество типов антенно-мачтовых сооружений. Обоснованность их применения весьма спорна, диапазон изменения стоимости значительно варьируется.

В большинстве случаев технические службы сотовых операторов, выполняющие эксплуатацию опор, не учитывают специфику развития отклонений геометрии и характер повреждений, получаемые при изготовлении, транспортировке и монтаже ранее установленных аналогичных конструкций. Срок службы таких АМС значительно короче, что является следствием низких показателей несущей способности и эксплуатационной пригодности. В 2011 году около 10% антенно-мачтовых сооружений по своему технологическому состоянию требовали модернизации (реконструкции подлежало 691 антенно-мачтовое сооружение) на общую сумму 8126 млн.руб. [2]. Именно эксплуатация сооружений с начальными дефектами и приводит к подобным финансовым потерям. Оценка технического состояния ряда опор сотовых операторов в период с 2011 г. по 2018 г. показала, что данная проблема по-прежнему остается актуальной.

Предметом исследования является характер изменения показателей несущей способности и эксплуатационной пригодности мачтового сооружения под влиянием различных видов дефектов и повреждений.

Объектом исследования являются несущие конструкции мачтового сооружения.

Цель исследования – по результатам проведенного анализа повреждаемости АМС выполнить моделирование конструкций мачт с наиболее значимыми отклонениями и оценить влияние моделируемых отклонений на несущую способность и эксплуатационную пригодность стволов мачт.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо рассмотреть следующие задачи:

1. Систематизировать основные виды АМС;
2. Выявить и описать основные повреждения мачт (на основании статей, диссертаций, обследований реальных объектов и др. работ);
3. Разработать численные модели АМС с отклонениями геометрии от проектной.
4. Оценить влияние на несущую способность и эксплуатационную пригодность отдельных дефектов и повреждений;
5. Установить зависимости, характеризующие влияние отдельных дефектов на НДС мачт сотовой связи.

2. Методика исследования

Антенные сооружения разделяют на два вида:

1. С расчлененными технологическими и инженерными функциями (башни и мачты, поддерживающие проволочные, турникетные и прочие антенны, а также различные специальные устройства);
2. С совмещенными технологическими и инженерными функциями (радиотелескопы и их разновидность – интерферометры).

При выборе конструктивной формы антенных сооружений проводится всесторонний анализ, результаты которого должны удовлетворять технологическим и эксплуатационным требованиям, минимальному весу, архитектурной выразительности, простоте изготовления и монтажа, минимальной стоимости [3, 4].

Выделяют несколько типов антенно-мачтовых сооружений, которые получили наибольшее распространение, такие как: металлические мачты, стальные и железобетонные башни [5,6].

Мачта – вертикальное высотное сооружение, шарнирно или защемлено опирающееся на фундамент и удерживаемое натянутыми и наклонно идущими к земле стальными канатами-оттяжками в один или несколько ярусов [7].

Конструктивные формы мачт зависят от типа размещаемого оборудования, от технологии монтажа и от климатических факторов. При расчете мачт решающее влияние на форму и сечение несущих конструкций оказывают площадь оборудования, отметка его размещения и ветровой район, в котором устанавливается сооружение.

Анализ работ таких основоположников в области расчета и проектирования АМС, как Н. П. Мельников [8], А. Г. Соколов [9] и Г. А. Савицкий [4], позволил выполнить классификацию мачт на следующие типы.

1. Решетчатые мачты трехгранного или четырехгранного сечения:
 - из круглой стали высотой 45-120 м, база 0,8 м;
 - из труб высотой 100-250 м, база 1,35 м;
 - инвентарные высотой 150-400 м, база 2,2 м.

Типовые мачты состоят из отдельных секций длиной от 4,5 до 7,5 м. Для изготовления мачт применяют угловую равнополочную и неравнополочную сталь, трубы бесшовные, швеллеры, круглую сталь и другой сортовой прокат, а также гнутые и штампованные профили. Мачты монтируются из секций 6...12 м и соединяются между собой сваркой или на болтах. Наиболее распространены мачты со стволом неизменного поперечного сечения по высоте и на нескольких ярусах оттяжек (рис. 1,2).

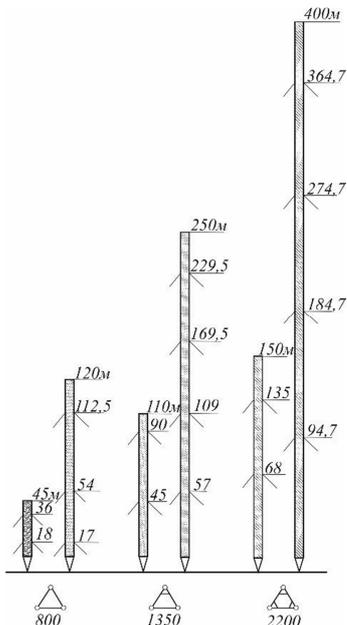


Рисунок 1. Типовые мачты

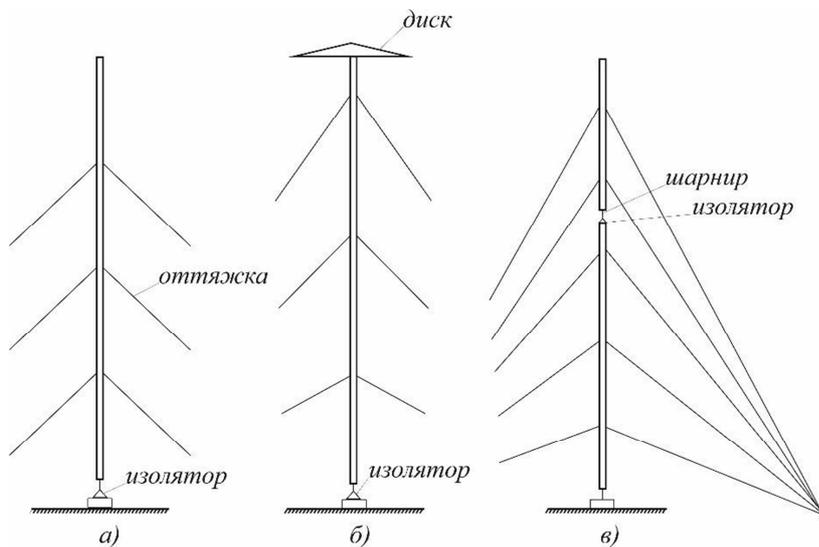


Рисунок 2. Схемы мачт на оттяжках: а) ствол неизменного сечения; б) с зонтом; в) с дополнительным шарниром

Наиболее экономичным решением для размещения оборудования на открытом пространстве является мачта, у которой угол наклона оттяжек к горизонту составляет 45—60°. С увеличением этого угла длина оттяжек меняется незначительно, но осевая нагрузка на ствол и его вес значительно возрастают, что приводит к повышению общей стоимости радиомачты. С увеличением числа ярусов оттяжек облегчается ствол мачты, но её стоимость возрастает в связи с увеличением общей длины канатов, количества изоляторов и числом фундаментов оттяжек.

2. Мачта с трубчатой сплошностенчатой стволом является оптимальной за счет расположения вертикального механизированного транспорта, который необходим для обслуживания расположенного на ней технологического оборудования. Фрагмент такой мачты, сооруженной в 1958 году под Москвой, показан на рис.3. Высота ее – 310 м, а в ее стволе размещены лифт и лестница-стремянка. Монтаж такой мачты осуществлялся ползучим краном.



Рисунок 3. Фрагмент сплошностенчатой трубчатой мачты

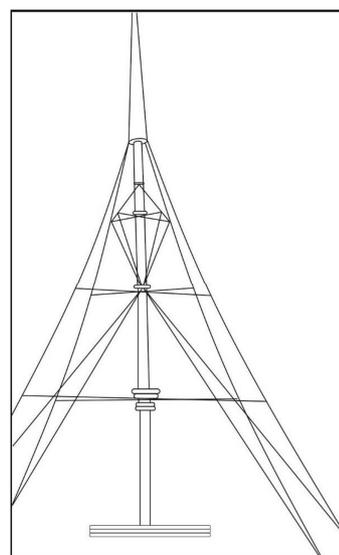


Рисунок 4. Комбинированная мачта с рейями и круто поставленными оттяжками

3. Комбинированная мачта (рис.4) – решение, позволяющее сочетать в себе качества, обеспечивающие экономию металла, а также сокращение сроков строительства. Высота такой мачты составляет около 500 м, толщина стенок 16-20 мм. Внутри ее ствола размещены лифт, фидеры и кабели. Ствол укреплен четырьмя ярусами оттяжек и каждый ярус имеет три оттяжки из тросов закрытого типа. При поддержке оттяжек реями повышается жёсткость мачты и виброустойчивость канатов, что важно для высоких конструкций. За последнее время такие мачты сооружены на нескольких телевизионных центрах. По сравнению с башнями этот тип мачты требует меньше стали, но он намного сложнее в эксплуатации и монтаже.

В целом для мачтовых сооружений прослеживается единый жизненный цикл (рис.5).

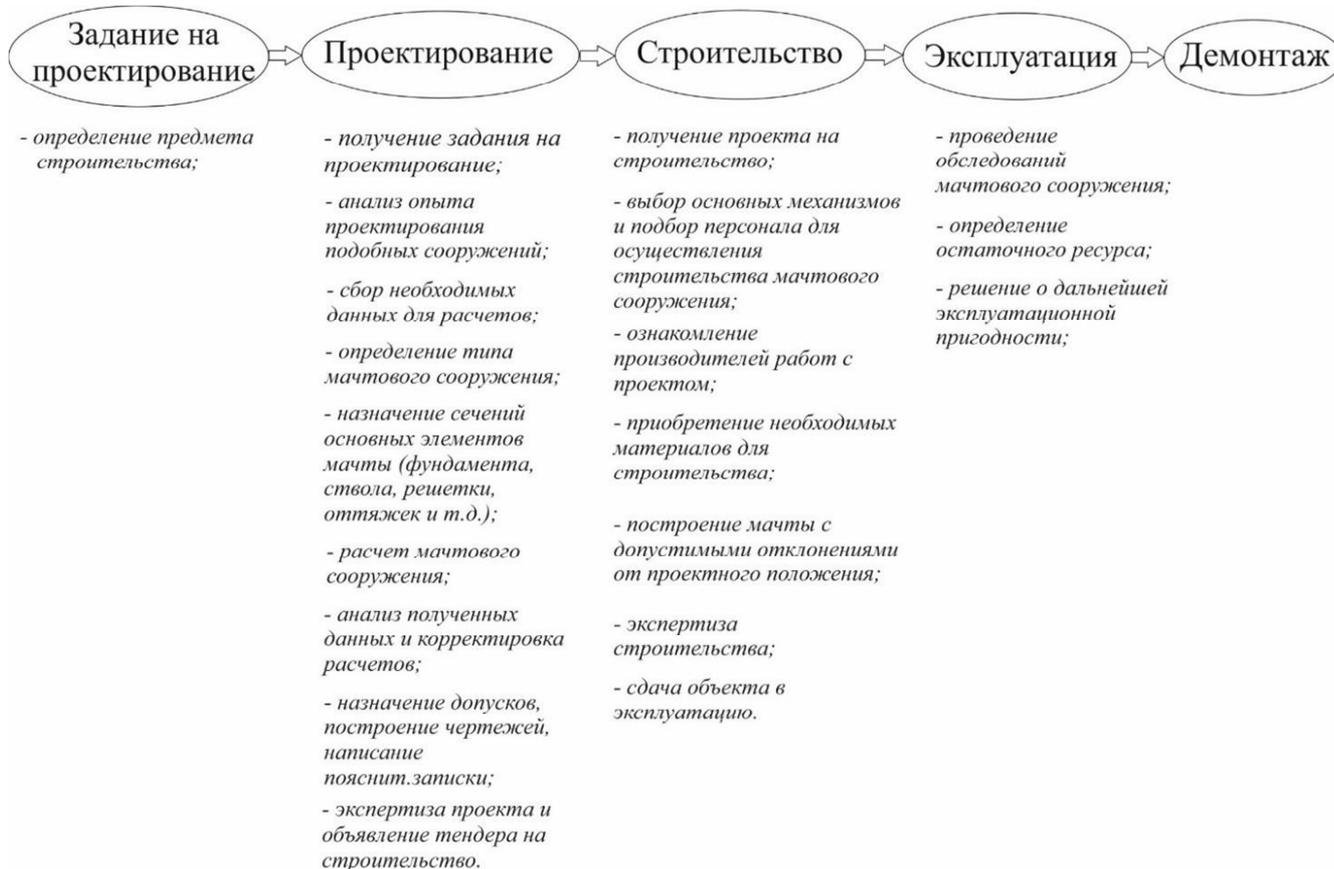


Рисунок 5. Жизненный цикл мачтового сооружения

Основными задачами проектирования радиомачт являются:

- создание прочной и устойчивой конструкции;
- возможность поддержания конструкции в таком состоянии, при котором обеспечивается безаварийная работа на весь намеченный срок эксплуатации, что обеспечивается доступностью осмотра и возобновлением защитных покрытий против разрушения материалов от атмосферной коррозии.

Существующие антенно-мачтовые сооружения эксплуатируются с отклонениями от проектной формы. Допустимые значения отклонений опор к высоте, приведены в нормах СП 16.13330.2017 [10] и СП 70.13330.2012 [11], а также у Matthew Grey [12] и статьях [13, 14].

Отклонения основных геометрических параметров несущих конструкций мачт при различных видах повреждаемости даже на небольшие значения могут отразиться на несущей способности, а могут быть незначительными. Отдельные повреждения могут не оказывать существенного влияния на несущую способность, однако снижают эксплуатационную пригодность сооружения.

На основании работ Губанова В.В. и Голикова А. В. [15], в которых приведены результаты натурных исследований мачтовых сооружений для сотовой связи, и работ Межинской И. В. [15–17] можно выделить основные виды повреждений:

1. Отклонение оси оттяжек от проектного положения в плане. На обследованных мачтах отклонения достигают до 30% общего числа элементов, от чего возникают дополнительные усилия в элементах ствола от кручения, изменяется величина распора оттяжек (см. рис.6);



Рис.6. Мачты на оттяжках с отклонениями оси оттяжек от вертикали.

2. Наличие переломов поясов в пределах между лацменными узлами стрелкой до 50 мм и искривление элементов решетки ствола стрелкой до 30 мм (см. рис.7);



Рисунок 7. Искривление распорки ствола

3. Эксцентриситет крепления элементов решетки к поясам и стыковки элементов решетки между собой, при этом возникают дополнительные узловые моменты, которые должны учитываться при расчете (см. рис.8);



Рисунок 8. Смещение оси элементов решетки

4. Спиралевидность, закручивание ствола мачты по высоте на угол до 30° . Следствием данного дефекта является смещение осей оттяжек от оси ствола мачты, что приводит к появлению крутящего момента в стволе (см. рис.9);



Рисунок 9. Закручивание ствола мачты по высоте

5. Применение прямошовных труб для поясов, отсутствие герметизации внутренних поверхностей, что приводит к разрушению труб поясов по сварному шву вследствие расширения при замерзании попавшей во внутренне пространство воды (см. рис.10);



Рисунок 10. Трещины в трубах поясов по сварному шву

6. Некачественные фланцевые соединения. Они встречаются у 80% сооружений. Между соединительными фланцами имеются зазоры от 1 до 5 мм, что является нарушением требований п.4.20.7 СП «Несущие и ограждающие конструкции» [11] и гл.5 ст.36 п.2 и гл.6 ст.38 п.5 384-ФЗ [1] (см. рис. 11);



Рисунок 11. Зазоры между соединительными фланцами

7. Несоответствие типа каната требованиям проекта;
8. Отклонение в усилии монтажного натяжения оттяжек до 100%;
9. Несоответствие конструкции крепления мачты данным проекта.

По результатам выполненной классификации дефектов и повреждений стволы мачт можно выделить основные повреждения и их влияние на несущую способность и их эксплуатационную пригодность данных сооружений (таблица 1)

Таблица 1. Повреждения мачт и влияние их на несущую способность и эксплуатационную пригодность

Тип повреждения	Диапазон варьирования	Влияние на несущую способность и эксплуатационную пригодность
Отклонение оси оттяжек от проектного положения в плане	до 30%	Возникают дополнительные усилия в элементах ствола от кручения и изменяется величина натяжения
Переломы поясов и искривление элементов решетки ствола	до 70 мм	Возникают дополнительные моменты в элементах и, как следствие, происходит снижение их несущей способности
Эксцентриситет крепления элементов решетки к поясам и стыковки элементов решетки между собой	до 50 мм	Возникают дополнительные узловые моменты, которые должны учитываться при расчете
Закручивание ствола мачты по высоте	до 30°	Происходит смещение осей оттяжек от оси ствола мачты, что приводит к возникновению крутящего
Применение прямошовных труб для поясов, отсутствие герметизации внутренних поверхностей	-	Появление продольных трещин вследствие расширения при замерзании попавшей во внутренне пространство воды. Снижается несущая способность и срок службы мачты

Тип повреждения	Диапазон варьирования	Влияние на несущую способность и эксплуатационную пригодность
Некачественные фланцевые соединения	от 1 до 10 мм	Возникают дополнительные напряжения во фланцах
Несоответствие типа каната требованиям проекта		Значительно снижается долговечность
Отклонение в усилии монтажного натяжения оттяжек	до 100 %	Происходит увеличение усилий в элементах ствола, увеличиваются деформации

Все вышеперечисленные повреждения, особенно при совместной их реализации, оказывают значительное влияние на работу мачты, что в 2018 году, с ростом спроса на АМС, является актуальной проблемой. Опираясь на опыт оценки влияния повреждений на работу сооружений связи можно констатировать, что даже незначительное отклонение или несоблюдение требованиям проекта может оказать существенное влияние на несущую способность, а значит и на безопасность эксплуатации. Обеспечение актуальным требованиям безопасности Федерального закона N 384-ФЗ [1] применительно к конструкциям АМС проектируемых объектов и объектов, находящихся в эксплуатации, требует проведения комплекса работ по накоплению, систематизации и внедрение знаний о влиянии повреждений на характер работы несущих конструкций.

3. Результаты и обсуждение

Для оценки влияния наиболее значимых дефектов на НДС мачтовых сооружений выполнено исследование влияния смещения оттяжек в плане на работу стволов мачт [18–20].

Выполнено моделирование работы мачты в г. Волгоград, высотой 32,0 м с двумя уровнями оттяжек при смещении анкеров оттяжек на угол от 1° до 3°.

На мачте располагается оборудование – принимающая тарелка, передающая антенна и фидеры Ø 28мм (8шт.). Расчетная схема разделена на 8 участков, длина каждого – 4 м (рис.12).

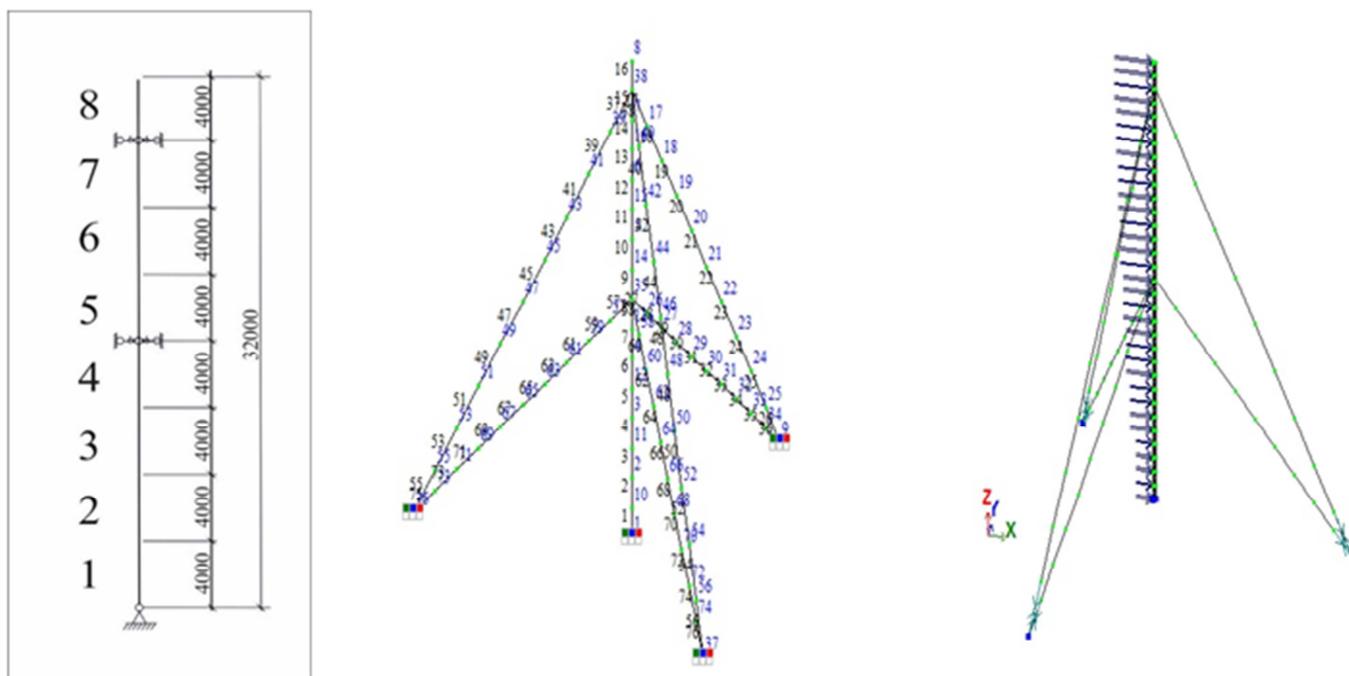


Рисунок 12. Пространственные расчетные (стержневая и решетчатая) схемы мачты

После создания расчетных схем и назначения предварительных сечений элементов был выполнен расчет ветровой нагрузки на мачту с учетом требований СП 16.13330.2017 [10], СП 70.13330.2012 [11] и рекомендаций Adlin Nelofer [21] и M.Ghafari Osgoie [22].

Нормативное значение ветровой нагрузки w определяется как сумма средней w_m и пульсационной w_p составляющих:

$$W = W_m + W_p, \quad (1)$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли определяется по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c, \quad (2)$$

где w_0 - нормативное значение ветрового давления, равное 0,38 кПа (III ветровой район) [29];

$k(z_e)$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e , определяемый по таблице 11.2 [23];

c - аэродинамический коэффициент, зависящий от геометрической формы сооружения, определяемый в соответствии с Д.1.14 [23].

Результаты расчета нормативного значения средней составляющей ветровой нагрузки w_m сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета средней составляющей ветровой нагрузки

№ участка	Отметка границ, м	$k(z)$	c	w_m , кПа
8	32.0	1.035	0.03	0.012
	28.0			
7	28.0	0.981		0.011
	24.0			
6	24.0	0.923		0.011
	20.0			
5	20.0	0.858		0.010
	16.0			
4	16.0	0.784		0.009
	12.0			
3	12.0	0.699		0.008
	8.0			
2	8.0	0.594	0.007	
	4.0			
1	4.0	0.451	0.005	
	0.0			

Для расчета пульсационной составляющей был выполнен динамический расчет, в результате которого были получены частоты собственных колебаний системы (рис.13).

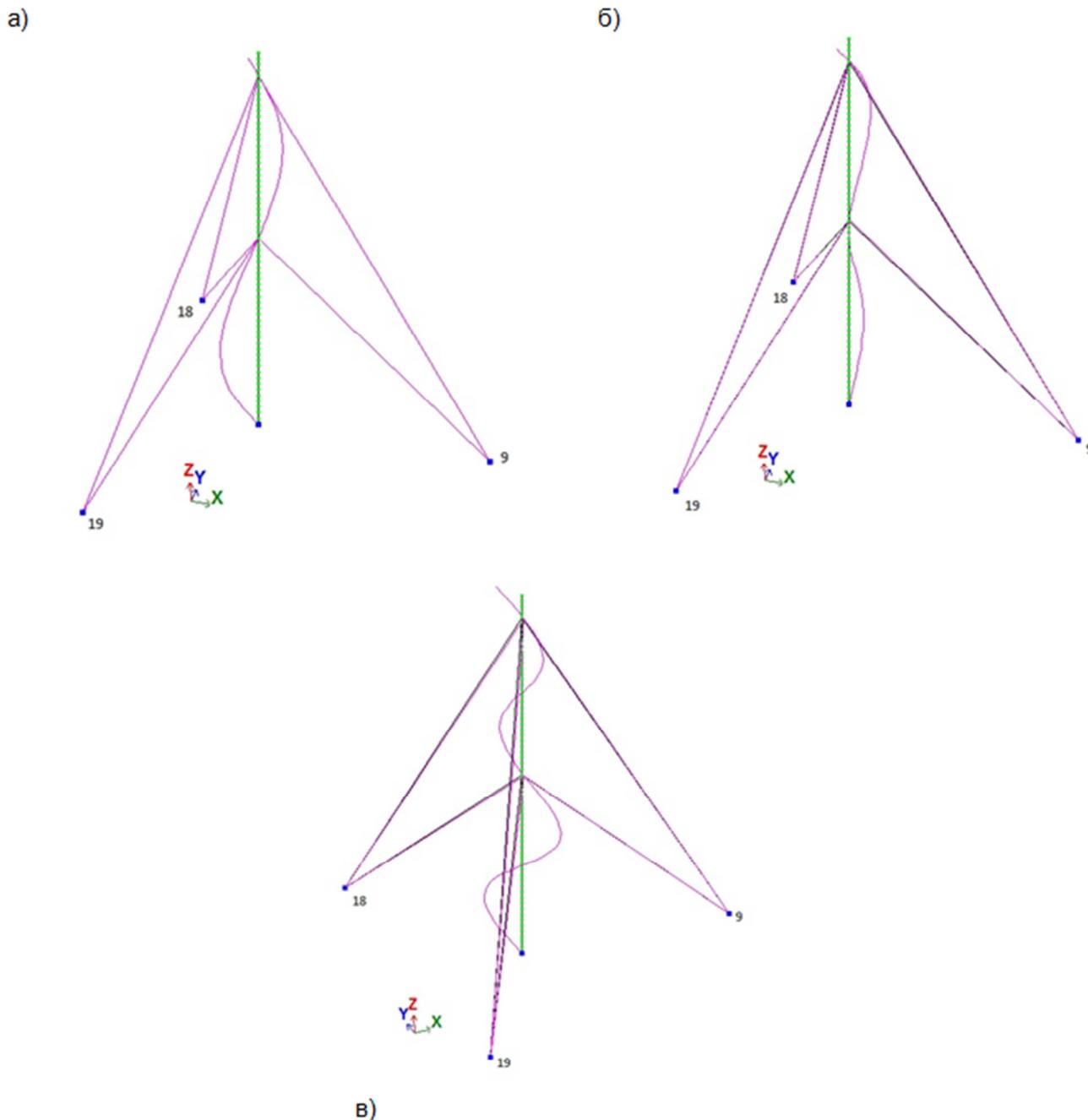


Рисунок 13. Формы колебаний мачты: а) I форма с частотой $f_1=4,28$ Гц; б) III форма с частотой $f_3=6,8$ Гц; в) V форма с частотой $f_5=10,65$ Гц; № 9,18,19 – номера якорей оттяжек

Нормативное значение пульсационной составляющей нагрузки w_p на эквивалентной высоте z_e определяется как для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний $f_1=4,28$, Гц, больше предельного значения собственной частоты для г. Волгоград $f_l=3,8$ (таблица 11.5 [23]) по формуле:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (3)$$

где w_m – средняя составляющая ветровой нагрузки, значения которой сведены в табл.2;
 $\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 [23];
 v – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, принимаемый по таблице 11.6 [23].

Расчетная ветровая нагрузка на контур w^k определяется по формуле:

$$w^k = w \cdot b \cdot \gamma_f, \quad (4)$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,4; b – ширина сооружения, равная 0,3 м

Учтена ветровая нагрузка на питающие провода w фидеры, кПа, так как он расположен по всей высоте сооружения. Расчет ветровой нагрузки на фидеры выполнен для аэродинамического коэффициента $s=1,2$ (согласно п.Д.1.12 [23]). Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты расчета ветровой нагрузки

№ участка	Отметка границ, м	$\zeta(z_e)$	v	w_m , кПа	w_p , кПа	w , кПа фидеры	w , кПа	w_p^k , кН/м
8	32.0	0.84	0.849	0.012	0.008	0.556	0.576	0.242
	28.0							
7	28.0	0.86		0.011	0.008	0.527	0.546	0.230
	24.0							
6	24.0	0.89		0.011	0.008	0.496	0.515	0.216
	20.0							
5	20.0	0.92		0.010	0.008	0.461	0.479	0.201
	16.0							
4	16.0	0.97		0.009	0.007	0.421	0.437	0.184
	12.0							
3	12.0	1.02		0.008	0.007	0.376	0.391	0.164
	8.0							
2	8.0	1.11	0.007	0.006	0.319	0.332	0.139	
	4.0							
1	4.0	1.27	0.005	0.005	0.242	0.252	0.106	
	0.0							

Расчет мачты выполнен с применением рекомендаций по сбору нагрузок, расчету усилий и перемещений от влияния дефектов и повреждений следующих авторов:

- И.Д. Евзерова [24] по работе с мачтовым сооружением в среде ПК ЛИРА;
- В.В. Губанова [25] по определению величины предварительного натяжения в оттяжках;
- Л.В. Хаткова [26] по обеспечению надежности сооружения при воздействии ветровой нагрузки;
- А.В. Иоскевич [27] по пульсационному воздействию ветра на сооружение;
- В.А. Рыбакова (представителя политехнической школы строительной механики СПбГПУ [28]) по методу конечных элементов (МКЭ) для стержневых систем.

По результатам расчета в пространственной системе под действием нагрузки получены усилия в элементах мачты и деформации (рис.14).

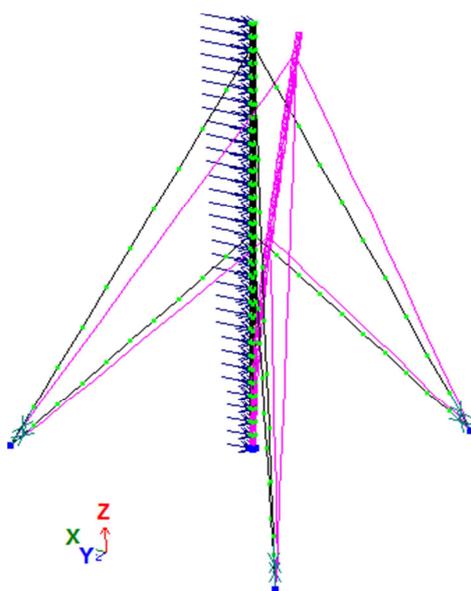


Рисунок 14. Деформация пространственной системы

Для анализа влияния поворотов анкеров оттяжек на НДС стволы мачт были построены графики зависимостей изменения усилий в стволе и элементах решетки мачты от угла поворота (см. рис.15).

Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы:

- следствием смещения анкеров оттяжек о проектного положения даже на малые углы является увеличение усилий в элементах ствола за счет возникновения дополнительного крутящего момента;
- изменение усилий в поясах происходит по линейной зависимости;
- наиболее чувствительными к повороту анкеров оттяжек являются раскосы ствола мачты, что необходимо учитывать, как при выполнении расчетов существующих конструкций АМС, так и при назначении допусков для вновь проектируемых мачтовых сооружений.

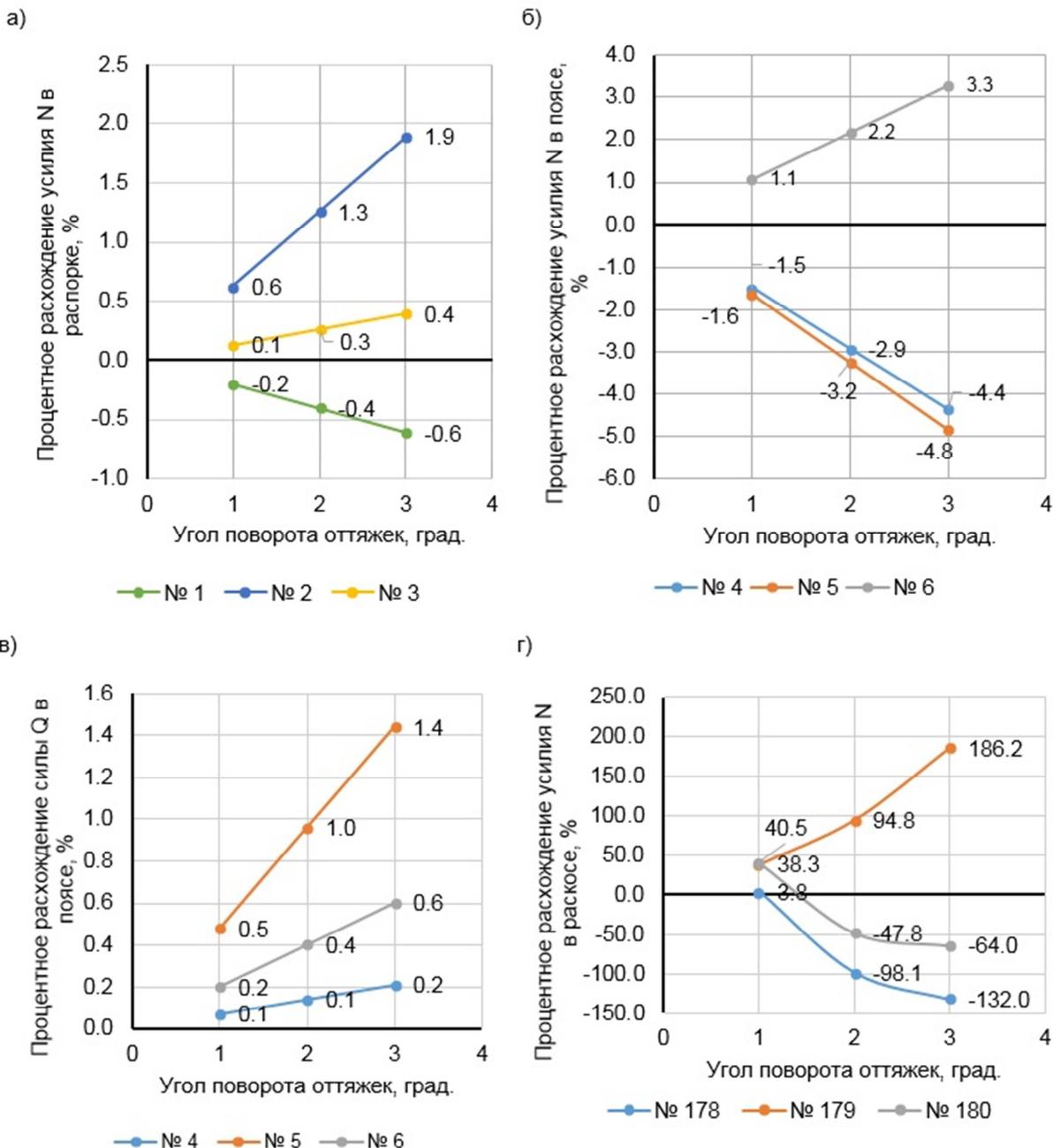


Рисунок 15. Зависимости изменения усилий от угла поворота относительно ствола мачты: а) в распорках, б) в поясах, в) продольная сила в поясах, г) продольная сила в раскосах; №1,2,3 – порядковые номера распорок; №4,5,6 – порядковые номера поясов; №178,179,180 – порядковые номера раскосов

4. Заключение

Выполненные в работе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Оценка влияния выявленных на практике отклонений на несущую способность и эксплуатационную пригодность стволы мачт с дефектами показывает, что наиболее опасными повреждениями являются:

- искривление оси ствола на участках между лацменными узлами;
- искривления элементов решетки ствола;
- смещения крепления оттяжек от проектного положения. Такие повреждения снижают несущую способность до 25%.

2. По результатам расчета мачт с дефектом в виде поворота оттяжек было выявлено, что изменение угла крепления оттяжек от проектного положения даже на 1° существенно влияет на перераспределение усилий ствола мачты, что нельзя не учитывать при проектировании (назначении допусков) и оценке несущей способности сооружения.

3. При смещении якорей происходит закручивание ствола, при котором происходит разгрузка поясов мачты и догрузка ее раскосов. По результатам исследования влияния угла закручивания были получены аналитические зависимости (рис.15), при анализе которых установлено, что увеличение усилий в элементах решетки достигает 20% на каждый 1° поворота оттяжек.

Полученные результаты могут быть использованы для направленного регулирования НДС проектируемых антенно-мачтовых сооружений и сооружений, находящихся в эксплуатации.

Литература

- [1]. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
- [2]. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Система цифрового телевизионного вещания стандарта DVT-T // Издательство политехнического университета, Санкт-Петербург. 2011. 207с.
- [3]. Савицкий Г. А. Основы расчета радиомачт. М.: Государственное издательство по вопросам связи и радио, 1953. 275 с.
- [4]. Савицкий Г.А. Антенно-мачтовые сооружения. М.: Государственное издательство по вопросам связи и радио, 1962. 232 с.
- [5]. Воеводин А. А. Шпренгельные радиомачты. М.: Радио и связь, 1981. 175 с.
- [6]. Brian, W. Smith. Communication structures. London: Thomas Telford Publishing, 2006. 338 p.
- [7]. Краснощеков Ю.В. Эффективность антенных опор, возводимых на ограниченной площади // Вестник СибАДИ, №5(27), 2012. С.60-65.
- [8]. Мельников Н.П. Антенные сооружения (башни, мачты, радиотелескопы). М.: Издательство «Знание», 1969. 49 с.
- [9]. Соколов А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование). М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 171 с.
- [10]. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
- [11]. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87
- [12]. Grey M. Finite Element Seismic Analysis of Guyed Masts. St. Cross College, 2006. 152с.
- [13]. Murty K. S. Madugula. Dynamic response of lattice towers and guyed masts. Reston, Virginia: ASCE, 2002. 266 p.
- [14]. Design of Steel Structures. Part 3_1. Towers, Masts and Chimneys. Towers and Masts: Eurocode 3. Brussels, Belgium: CEN, 2006. 79 p.
- [15]. Губанов В. В., Межинская И. В., Голиков А. В. Особенности и характеристики повреждаемости дымовых труб на оттяжках // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2007. Вип. 2007-6 (68). С. 8-12.

References

- [1]. Federal law Federalnyy zakon ot 30.12.2009 N 384-FZ (red. ot 02.07.2013) "Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy" [Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures].
- [2]. Gelgor A.L., Popov Ye.A. Sistema tsifrovogo televizionnogo veshchaniya standartu DVT-T [DVT-T digital television broadcasting system]. Izdatelstvo politekhnicheskogo universiteta, Sankt-Peterburg. 2011. 207p. (rus)
- [3]. Savitskiy G. A. Osnovy rascheta radiomacht [Basics of radio math calculation]. M.: Gosudarstvennoye izdatelstvo po voprosam svyazi i radio, 1953. 275 p. (rus)
- [4]. Savitskiy G.A. Antenna-machtovyye sooruzheniya [Antenna and mast constructions]. M.: Gosudarstvennoye izdatelstvo po voprosam svyazi i radio, 1962. 232 p. (rus)
- [5]. Voyevodin A. A. Shprengelnyye radiomachty [Radio and Communication]. M.: Radio i svyaz, 1981. 175 p. (rus)
- [6]. Brian, W. Smith. Communication structures. London: Thomas Telford Publishing, 2006. 338 p.
- [7]. Krasnoshchekov Yu.V. Effektivnost antenykh opor, vozvodimykh na ogranichennoy ploshchadi [Efficiency of antenna supports erected on a limited area]. Vestnik SibADI, No. 5 (27), 2012. Pp. 60-65. (rus)
- [8]. Melnikov N.P. Antennyye sooruzheniya (bashni, machty, radioteleskopy) [Antenna constructions (towers, masts, radio telescopes)]. M.: Izdatelstvo «Znaniye», 1969. 49 p. (rus)
- [9]. Sokolov A. G. Opory liniy peredach (raschet i konstruirovaniye) [Supports of transmission lines (calculation and design)]. M.: Gosudarstvennoye izdatelstvo literatury po stroitelstvu, arkhitekture i stroitelnyim materialam, 1961. 171 p. (rus)
- [10]. Set of rules SP 16.13330.2017. Stalnyye konstruksii [Steel structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*.
- [11]. Set of rules SP 70.13330.2012 Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruksii [Bearing and enclosing structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.03.01-87
- [12]. Grey M. Finite Element Seismic Analysis of Guyed Masts. St. Cross College, 2006. 152с.
- [13]. Murty K. S. Madugula. Dynamic response of lattice towers and guyed masts. Reston, Virginia: ASCE, 2002. 266 p.
- [14]. Design of Steel Structures. Part 3_1. Towers, Masts and Chimneys. Towers and Masts: Eurocode 3. Brussels, Belgium: CEN, 2006. 79 p.

- [16]. Губанов В.В., Межинская И.В. Анализ конструктивных решений и технического состояния мачт сотовой связи / В.В. Губанов, И.В. Межинська // Аналіз конструктивних рішень і технічного стану щогл мобільного зв'язку, 2011. С. 225-235.
- [17]. Межинская И.В. Влияние характеристик оттяжек на работу мачтовых сооружений // Сборник докладов международной научно-технической конференции студентов. М.: МГСУ, апрель 2008. С. 27-37.
- [18]. Губанов В.В. Сравнение методик расчета устойчивости ствол мачт сотовой связи // Порівняння методик розрахунку стійкості стовбурів щогл стільниково зв'язку, 2009. С. 253-259.
- [19]. Губанов В. В. Обеспечение долговечности решетчатых башен: диссертация кандидата технических наук: 05.23.01. Макеевка, 1995. 204 с.
- [20]. Antennas, Towers, and Antenna-Supporting Structures. S37-01. Toronto: Canadian Standards Association, 2001. 118 p.
- [21]. Adlin Nelofer J., N. Saravana Kumar. Finite Element Analysis of Guyed Masts under Seismic Excitation. India, 2016. Pp. 580-586.
- [22]. M. Ghafari Osgoie, G. McClure & X.H. Zhang. Assessing the variability of seismic response analysis of a tall guyed telecommunication tower with ambient vibration measurements. Canada, 2012. 9 p.
- [23]. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
- [24]. Евзеров И.Д., Лазнюк М.В., Нилова Т.А. Расчет и проектирование мачт на оттяжках в среде ПК ЛИРА // Металлические конструкции. №1, том 15, 2009. С. 23-29.
- [25]. Губанов В. В., Межинская И. В. Определение величины предварительного напряжения и площади поперечного сечения оттяжек для мачт высотой до 50 м, 1961.
- [26]. Хаткова Л.В., Дагиль В.Г. Проблемы надежности зданий и сооружений при воздействии нагрузок и высоких температур // Сборник статей промислов будівництво та інженерні споруди, № 4, 2016. С.41-43.
- [27]. 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, № 3 (30), 2015. С. 81-97.
- [28]. В.А. Рыбаков. Методы решения научно-технических задач в строительстве. Численные методы расчета тонкостенных стержней // Издательство Политехнического Университета. Санкт-Петербург, 2013. 166 с.
- [15]. Gubanov V. V., Mezhinskaya I. V., Golikov A. V. Osobennosti i kharakteristiki povrezhdayemosti dymovykh trub na otyyazhkakh [Features and characteristics of damages of chimneys on drafts]. Visnik Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnitstva i arkhitekturi. 2007. No. 2007-6 (68). Pp. 8-12.
- [16]. Gubanov V.V., Mezhinskaya I.V. Analiz konstruktivnykh resheniy i tekhnicheskogo sostoyaniya macht sotovoy svyazi [Analysis of constructive solutions and technical condition of cellular communication masts]. Analiz konstruktivnykh rishen I tekhnichnogo stanu shchogl mobilnogo zv'yazku, 2011. Pp. 225-235.
- [17]. Mezhinskaya I.V. Vliyaniye kharakteristik otyyazhek na rabotu machtovykh sooruzheniy [Influence of the characteristics of braces on the work of mast constructions]. Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov. M.: MGSU, aprel 2008. Pp. 27-37. (rus)
- [18]. Gubanov V.V. Sravneniye metodik rascheta ustoychivosti stvolov macht sotovoy svyazi [Comparison of the methods for calculating the stability of masts of cellular communications]. Porivnyannya metodik rozrakhunku stiykosti stovburiv shchogl stilnikovo zv'yazku, 2009. Pp. 253-259.
- [19]. Gubanov V. V. Obespecheniye dolgovechnosti reshetchatykh bashen [Providing longevity of lattice towers]: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.01. Makeyevka, 1995. 204 p.
- [20]. Antennas, Towers, and Antenna-Supporting Structures. S37-01. Toronto: Canadian Standards Association, 2001. 118 p.
- [21]. Adlin Nelofer J., N. Saravana Kumar. Finite Element Analysis of Guyed Masts under Seismic Excitation. India, 2016. Pp. 580 586.
- [22]. M. Ghafari Osgoie, G. McClure & X.H. Zhang. Assessing the variability of seismic response analysis of a tall guyed telecommunication tower with ambient vibration measurements. Canada, 2012. 9 p.
- [23]. Set of Rules SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya [Loads and effects]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*
- [24]. Yevzerov I.D., Laznyuk M.V., Nilova T.A. Raschet i proyektirovaniye macht na otyyazhkakh v srede PK LIRA [Calculation and design of masts on detents in the PC environment LIRA]. Metallicheskiye konstruksii. No. 1, Vol. 15, 2009. Pp. 23-29. (rus)
- [25]. Gubanov V. V., Mezhinskaya I. V. Opredeleniye velichiny predvaritel'nogo napryazheniya i ploshchadi poperechnogo secheniya otyyazhek dlya macht vysotoy do 50 m [Determination of the value of the prestress and the cross-sectional area of the braces for masts with a height of up to 50 m], 1961. (rus)
- [26]. Khatkova L.V., Dagil V.G. Problemy nadezhnosti zdaniy i sooruzheniy pri vozdeystvii nagruzok i vysokikh temperatur [Problems of the reliability of buildings and structures under the influence of loads and high temperatures]. Sbornik statey promislve budivnitstvo ta inzhenerni sporudi, No. 4, 2016. Pp. 41-43.
- [27]. 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, No.3(30), Pp. 81-97. (rus).
- [28]. V.A. Rybakov. Metody resheniya nauchno-tekhnicheskikh zadach v stroitelstve. Chislennyye metody rascheta tonkostennykh stержней [Methods of solving scientific and technical problems in construction. Numerical methods for calculating thin-walled rods]. Izdatelstvo Politekhicheskogo Universiteta. Sankt-Peterburg, 2013. 166 p. (rus)

Контактная информация

- 1.* +7(987)6563050, olya.zakurdaeva.n@yandex.ru (Закурдаева Ольга Николаевна, студент)
2. +7(917)8476749, alexandr_golikov@mail.ru (Голиков Александр Владимирович, к.т.н., доцент)

Contact information

- 1.* +7(987)6563050, olya.zakurdaeva.n@yandex.ru (Olga Zakurdaeva, Student)
2. +7(917)8476749, alexandr_golikov@mail.ru (Alexander Golikov, Ph.D., Associate Professor)

© Закурдаева О.Н., Голиков А.В., 2018