



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2018, ТОМ 24, НОМЕР 2, 61–72
УДК 624.042:624.014.27

(18)-0376-1

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ УЗКОБАЗОЙ АНТЕННОЙ ОПОРЫ

А. М. Алёхин¹, М. В. Кроник², Е. В. Кирсанов

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹alyokhin_20@mail.ru, ²mary.kronik@yandex.ru

Получена 02 апреля 2018; принята 25 мая 2018.

Анотация. В статье выполнен анализ влияния нагрузок и воздействий на выбор конструктивной формы узкобазой антенной опоры радиорелейной связи, проанализированы группы башенных опор по конструктивному решению стволов, количеству граней, типу решетки. На основании изложенного анализа влияния нагрузок и воздействий, а также анализа существующей методики проектирования конструкций опор башенного типа отдано предпочтение четырехгранной узкобазой пирамидальной опоре с крестово-шпренгельной и крестовой решетками из уголкового профиля.

Ключевые слова: антенная опора, профили, решетка, нагрузки и воздействия, перемещения, усилия.

ВПЛИВ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ДІЙ НА ВИБІР КОНСТРУКТИВНОЇ ФОРМИ ВУЗЬКОБАЗОЇ АНТЕННОЇ ОПОРИ

А. М. Альохін¹, М. В. Кроник², Є. В. Кірсанов

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹alyokhin_20@mail.ru, ²mary.kronik@yandex.ru

Отримана 02 квітня 2018; прийнята 25 травня 2018.

Аннотація. У статті проаналізовано вплив навантажень та дій на вибір конструктивної форми вузькобазої антенної опори радіорелейного зв'язку, проаналізовано групи баштових опор за конструктивним рішенням стовбурів, кількістю граней, типом решітки. На підставі викладеного аналізу дій навантажень і впливів, а так само аналізу існуючої методики проектування конструкцій опор баштового типу, віддано перевагу чотиригранній вузькобазній пірамідальній опорі з хрестово-шпренгельною і хрестовою решітками з кутникового профілю.

Ключові слова: антенна опора, профілі, решітки, навантаження і впливи, переміщення, зусилля.

THE LOADS AND ACTIONS EFFECTS ON THE DECISION OF NARROW-BAND ANTENNA SUPPORT DESIGN SHAPE

Andrey Alyokhin¹, Maria Kronik², Evgeny Kirsanov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: ¹alyokhin_20@mail.ru, ²mary.kronik@yandex.ru

Received 02 April 2018; accepted 25 May 2018.

Abstract. The article analyzes the impact of loads and actions effects on the decision of narrow-band antenna support design shape of radio relay communication, it has been analyzed the group of tower supports on the design of the trunks, the number of faces, the type of lattice. On the basis of the analysis of the loads and actions effects, as well as the analysis of the existing methods of design of structures of supports of the tower type, it has been given priority to the quadrihedral narrow-base pyramid support with cross-spindle and cross lattice of the angular profile.

Keywords: antenna support, profiles, grid, loads and actions, displacements, forces.

Формулировка проблемы

За последние десятилетия развитие техники связи идет по пути широкого использования радиорелейной линии для радиосвязи, радиовещания и телевидения. Использование современных радиорелейных линий связи позволяет организовать многоканальную передачу на большие расстояния, обеспечивающую телефонные разговоры, различные служебные сообщения, а также передачи радиовещания и телевизионных программ.

В отличие от зданий и сооружений, для которых собственный вес и технологическая нагрузка являются преобладающими, в высотных сооружениях эти нагрузки в большинстве случаев имеют второстепенное значение и мало влияют на выбор конструктивной формы и назначение размеров сечений.

Наибольшая доля усилий и перемещений во всех высотных сооружениях возникает от действия на них ветра и обледенения [4].

Таким образом, в современных условиях развития беспроводных технологий особое значение приобретает вопрос о выборе конструктивной формы высотных узкобазных антенных опор для расположения на них передающего антенно-фидерного оборудования исходя из влияния нагрузок и воздействий на опору.

Анализ последних исследований и публикаций

Проблемами создания надежных конструкций антенных сооружений с высокими технико-экономическими показателями посвящены основные работы А. Г. Соколова [12] и Г. А. Савицкого [11]. В них рассмотрены вопросы расчета и рационального конструирования. Проанализировав основные конструктивные схемы решеток башен, преимущества отдавали башням с пирамидальным контуром и крестовыми решетками, поскольку они лучше других воспринимают усилия от ветровых нагрузок, а также обеспечивают наибольшую жесткость конструкции.

Методы расчета решетчатых башен рассмотрены в работах И. М. Рабиновича [9], Ю. А. Радцига [10], А. И. Виноградова [3], В. В. Трофимовича [17]. Изучение действия гололедно-ветровых нагрузок и воздействий на решетчатые башни проанализированы в работах ученых Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: Е. В. Горохова, Е. В. Шевченко [18], В. В. Губанова, В. Н. Васылева, А. М. Алёхина [1, 2].

Из теории колебаний основополагающими являются работы Н. К. Снитко [14], С. П. Тимошенко [16] и других авторов. Исследованию вопросов, связанных с динамикой сооружений посвящены работы В. В. Кулябко [7], Г. Клафа [6],

Дж. Пензиена [6], Е. С. Сорокина [13], И. М. Рабиновича [9] и других ученых.

Целью данной работы является выбор рациональной конструктивной формы узкобазой антенной опоры от максимальных усилий и перемещений.

Основной материал

К конструктивным разновидностям антенных опор относят мачты, башни и комбинированные решения. Основная особенность башенных и мачтовых сооружений заключается в сравнительно большом отношении их высоты к поперечным размерам.

Башенные опоры разделяются на группы по [12]:

1. Конструктивному решению стволов.
2. Количеством граней.
3. Типу решетки.

Опоры по конструктивному решению ствола делятся на решетчатые и сплошные. В зависимости от формы используемого сортамента, элементов и форм сооружения решетчатые опоры подразделяются на две подгруппы:

- а) из хорошо обтекаемых профилей (рис. 1), выполняемые из трубчатых и сплошных круглых стержней, обладающих наименьшими коэффициентами обтекания;



Рисунок 1. Общий вид решетчатой башни круглого сечения.

- б) выполняемые из уголков (рис. 2), швеллеров и прочих профилей, имеющих большие коэффициенты обтекания.

По количеству граней антенные опоры классифицируются на трех-, четырех- и многогранные. Многогранные башни так же уступают четырехгранным по конструктивным и технологическим показателям, однако по расходу стали они могут быть экономичнее только в том случае, если их высота будет превышать 150 метров.

Существуют три основных типа конфигурации башни (рис. 3): призматические, пирамидальные, башни с переломом граней по высоте.

По типу решетки антенные опоры подразделяются на (рис. 4): а) простую треугольную решетку; б) простую треугольную с распорками решетку; в) полураскосную решетку; г) крестовую решетку; д) ромбическую решетку; е) крестово-ромбическую решетку; ж) крестово-шпренгельную решетку [9].

В качестве объекта исследования принята четырехгранная узкобазая антенная опора из одиночных уголков с различными типами решеток, такими как: крестовая, ромбическая, крестово-ромбическая, крестово-шпренгельная, треугольная, треугольная с распорками, раскосная. Опоры представляют собой пространственные стержневые фермы в виде правильных четырехгранных пирамид с призматической верхней частью 1 м. Элементы секций соединяются болтами нормальной точности классом 5.6. Высота опор составляет 60 метров, размеры поперечного сечения по обухам $3,64 \times 3,64$ м. Для удобства выполнения расчетов сооружение разбива-

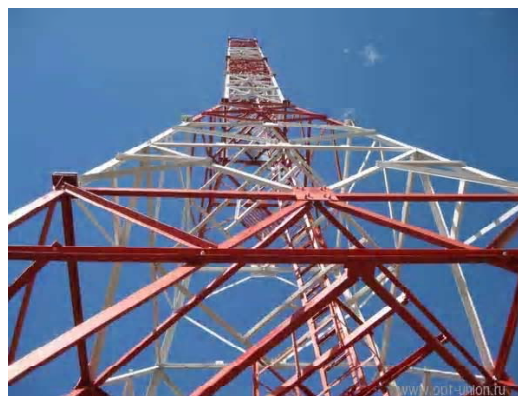


Рисунок 2. Общий вид решетчатой башни уголкового сечения.

ем на 6 участков (секций) (рис. 5). При высоте башни до 50 м рекомендуется назначать 4–5 участков, при высоте 100 м – 6–8, при высоте 200 м – 8–12 и при высоте 400 м – 10–16 [9]. Поочередно рассчитываем все участки, начиная с верхнего. Значение нагрузки определяем в соответствии с требованиями норм проектирования [10].

Расчет опоры ведется в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013 методом конечных элементов (МКЭ). Расчетные схемы опоры задавались пространственными с жестким прикреплением раскосов к поясам (рис. 6). Расчетная схема опоры с крестовой решеткой состоит из 732 элементов и 244 узлов. Деформативность

башни в целом оценивают по амплитуде ее колебаний, а распорок решетки по стреле прогиба. Под амплитудой колебаний понимают максимальное горизонтальное перемещение верхней точки башни от полной нормативной ветровой нагрузки, действующей на грань (рис. 7). Предельно допустимое перемещение для башен высотой H обычно принимают равным $H/100$ [15], если в проектном задании, техническом условии не указано другое значение. Для рассматриваемой опоры допустимый прогиб должен быть не более $f = H/100 = 60\,000/100 = 600$ мм [15].

Сбор нагрузки на узкобазую антенную опору велся по ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования» [5]. В расчете учитывались постоянные и климатические нагрузки (рис. 8). К климатическим нагрузкам относятся ветровые, гололедные и гололедно-ветровые воздействия. Собственный вес собран автоматически программным комплексом исходя от жесткостных параметров профиля.

По итогам расчета антенных опор были определены усилия и перемещения в антенной опоре от действия постоянных и климатических нагрузок. Наибольшая доля усилий и перемещений во всех высотных сооружениях возникает от действия на них ветра (рис. 9, 10).

Треугольная решетка работает только на поперечную силу. При обжатии пояса могут свободно раздвигаться, поэтому дополнительные напряжения не возникают. При установке распорок уменьшение расчетной длины поясов приводит к их изгибу. Такое же явление будет видно при ромбической решетке. В крестовой решетке распорки удерживают раздвижку ветвей, которые напрямую связаны с раскосами, поэто-

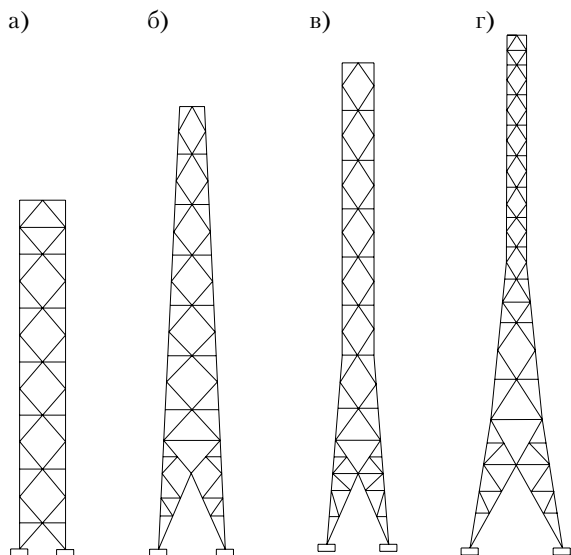


Рисунок 3. Основные типы конфигурации башни: а) призматические; б) пирамидальные; в), г) башни с переломом граней по высоте.

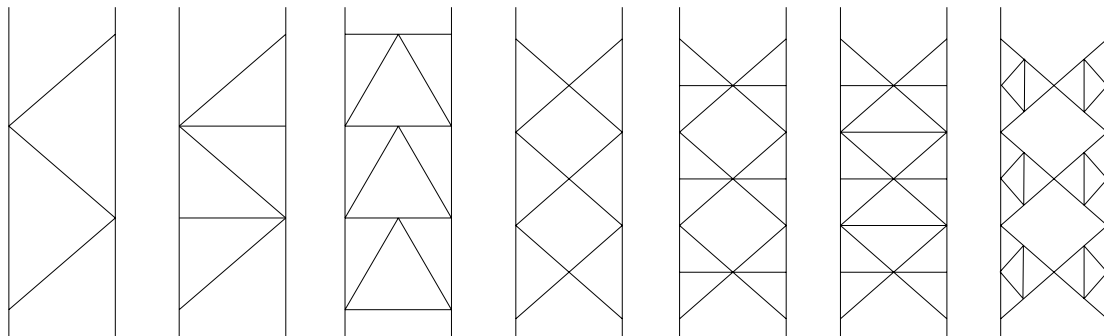


Рисунок 4. Основные типы решеток.

му дополнительные напряжения в этом случае возникают сильнее, однако изгиб ветвей не возникает [8]. При крестово-ромбической решетке также будут разгружаться пояса, растягиваться распорки и сжиматься раскосы, но появится изгиб поясов, только незначительный, так как перемещению ветвей будут препятствовать в основном распорки. Также незначительный изгиб ветвей и распорок наблюдается при полураскосной решетке. Опора со шпренгельной решетки дает возможность получить рациональное расстояние между элементами поперечной конструкции при рациональном угле наклона раскосов, а также уменьшить расчетную длину сжатых стержней [8].

По результатам анализа усилий и перемещений от ветровых нагрузок можно сделать вы-

вод, что наиболее оптимальной является опора с крестово-шпренгельной и крестовой решеткой, так как усилия в них 12 и 14 %, а перемещения на 12 и 9 % меньше, чем в других опорах.

В результате анализа напряженно-деформированного состояния опоры от комбинаций нагрузок, дающих наибольшие усилия и перемещения в элементах, можно сделать вывод, что наиболее неблагоприятным сочетанием является: собственный вес, вес оборудования, ветер под 45° . Максимальные усилия (рис. 11, табл. 1) и перемещения (рис. 12) возникают в опоре с крестовой и крестово-шпренгельной решеткой и составляют 17 и 18 % ($N = -447 \text{ кН}$, $f_x = 456 \text{ мм}$) и 15 и 20 % ($N = -462 \text{ кН}$, $f_x = 426 \text{ мм}$) (табл. 2, 3).

Высотное сооружение, которое зависит от периода собственных колебаний, рассчитывают

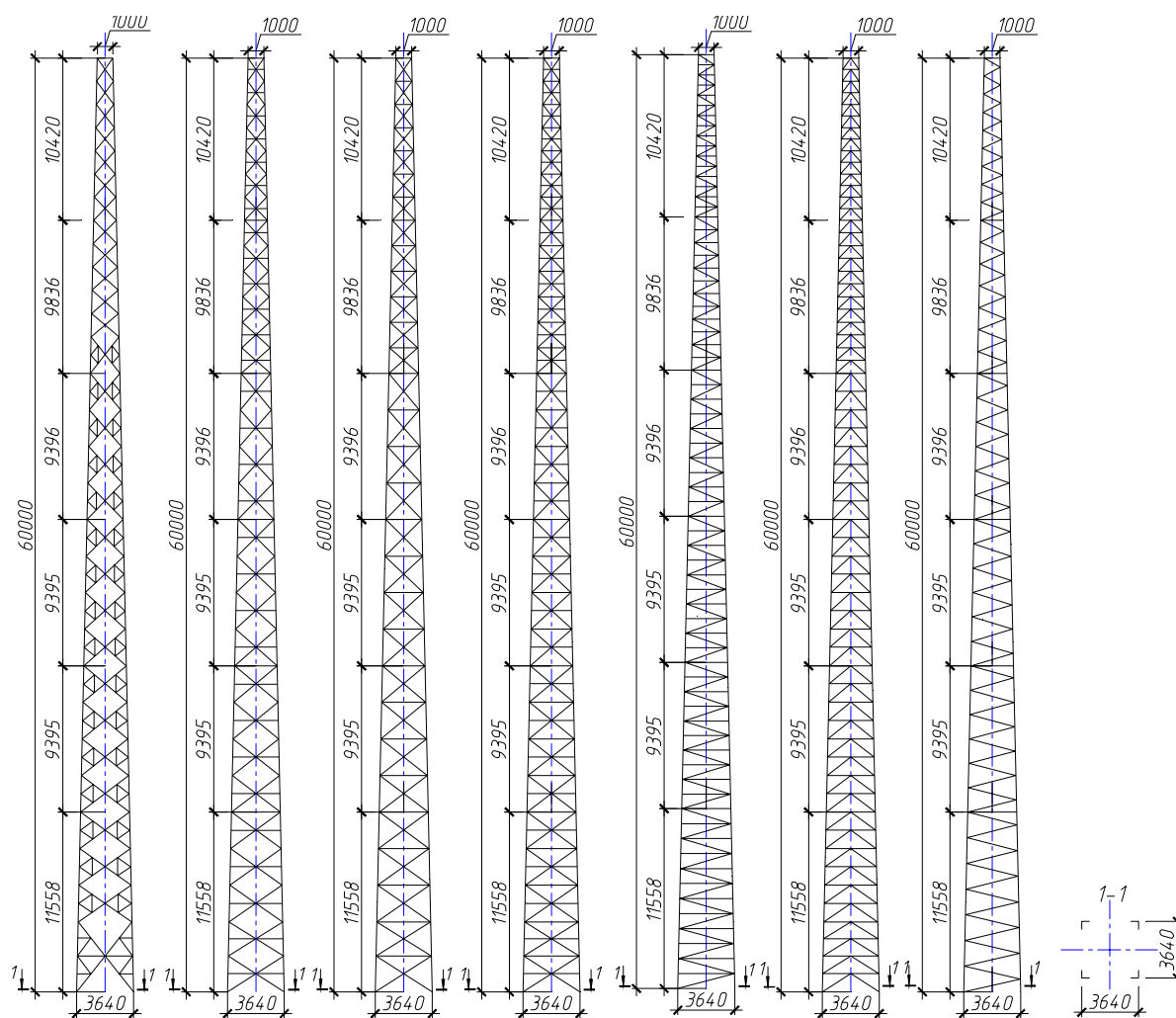


Рисунок 5. Рассматриваемая узкобазая антенная опора с основными типами решеток.

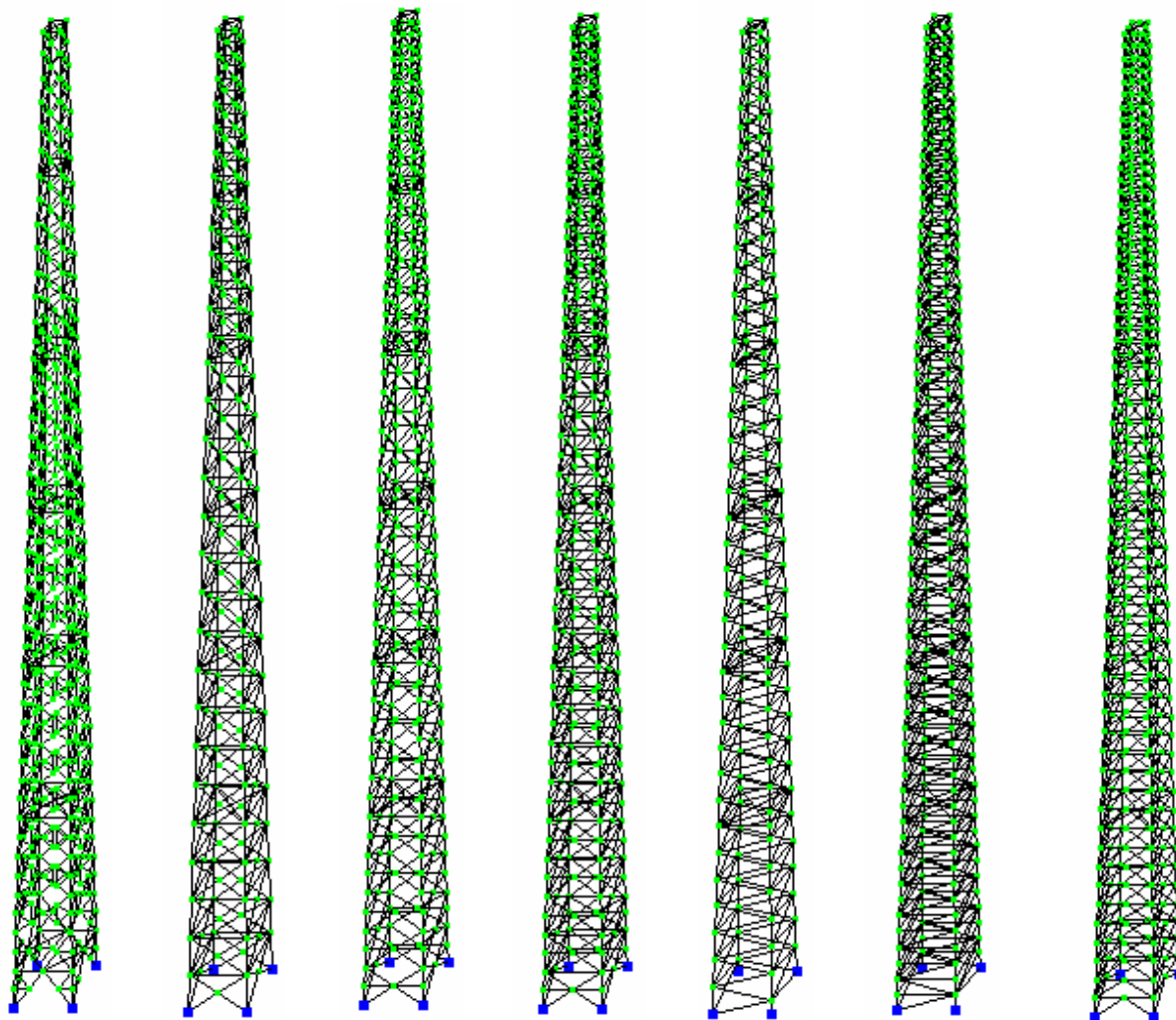


Рисунок 6. Расчетные схемы узкобазой антенной опоры с различными типами решеток.

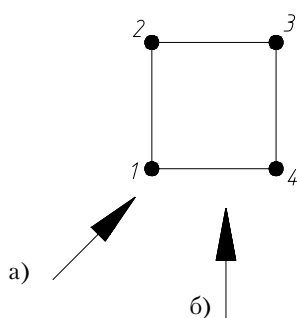


Рисунок 7. Схема наиболее опасных направлений ветра: а) при расчете поясов; б) при расчете решетки.

с учетом динамической составляющей ветровой нагрузки.

Масса и жесткость конечных элементов определены по фактическим размерам сечения кон-

структивных элементов башни. Средняя составляющая ветровой нагрузки, действующей на каждый ее элемент, определялась в соответствии с указаниями СНиП [15]. Для башни, расположенной в III-м ветровом районе, и, следовательно, при ее динамическом расчете на действие ветра учитывались колебания по трем низшим собственным формам. Динамический расчет производим в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013 методом модального анализа (МГСН) для определения частот колебаний антенной опоры.

Выводы

В результате проведенного анализа влияния нагрузок и воздействий на выбор конструктивной

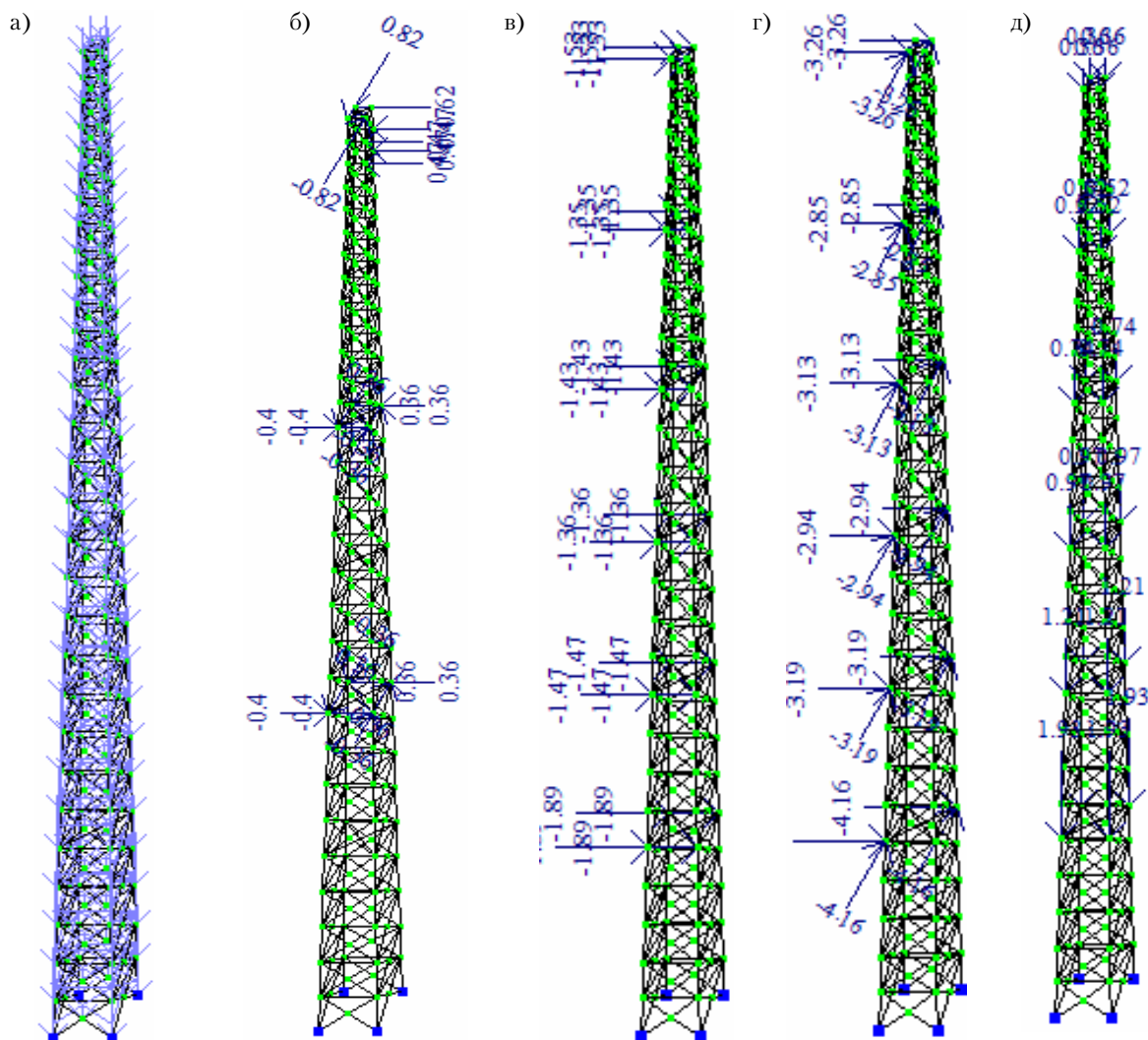


Рисунок 8. Постоянные и климатические нагрузки: а) собственный вес; б) антенно-фидерное оборудование; в) ветер под 90°; г) ветер под 45°; д) гололедная нагрузка.

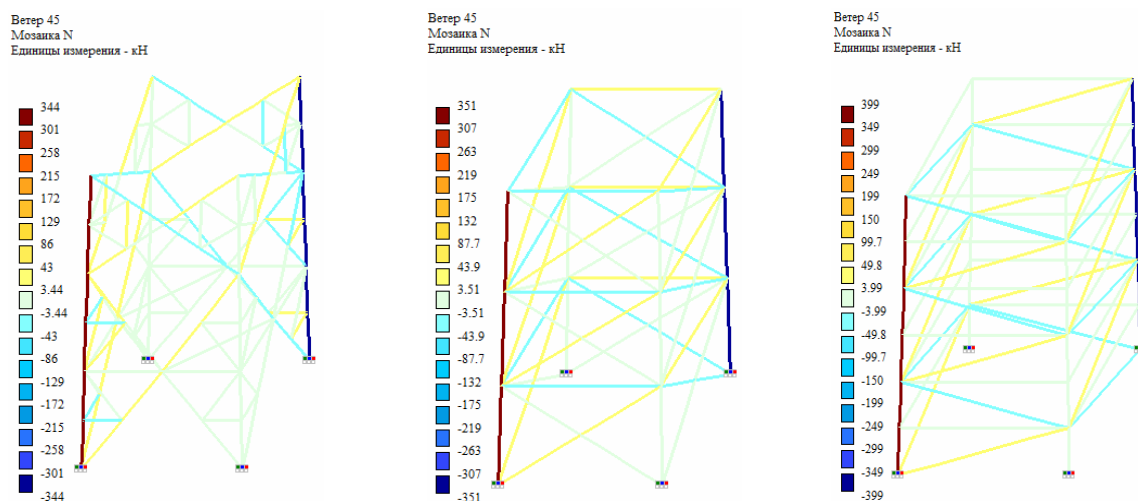


Рисунок 9. Максимальные усилия от ветровой нагрузки направленной под 45°.

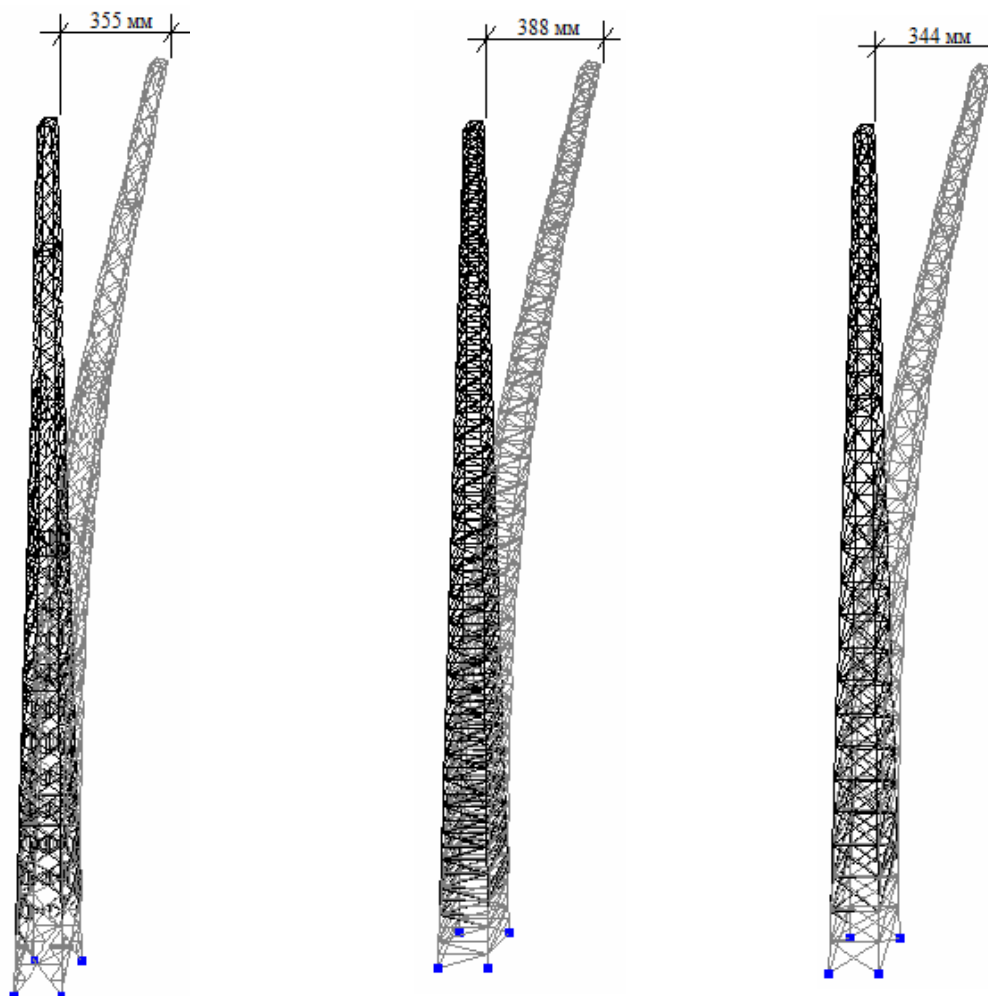
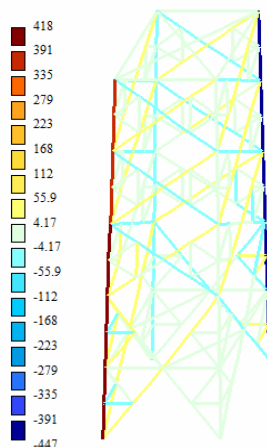
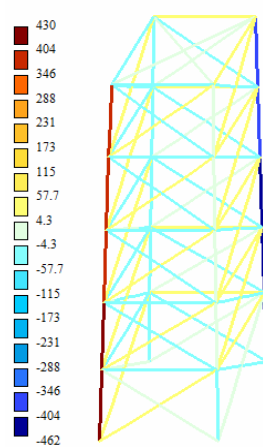


Рисунок 10. Перемещение от действия ветровой нагрузки под 45° в антенной опоре.

2-2
Мозаика N
Единицы измерения - кН



2-2
Мозаика N
Единицы измерения - кН



2-2
Мозаика N
Единицы измерения - кН

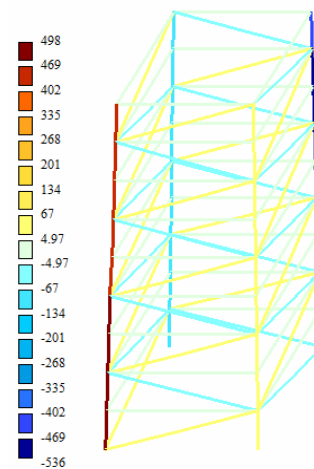


Рисунок 11. Максимальные усилия от комбинации нагрузок в опоре с крестово-шпренгельной, с крестовой и с треугольной с распорками решетками.

Таблица 1. Максимальное усилие в поясах и решетках по РСУ

№ п/п	Наименование антенной опоры	Усилие в поясах N, кН	Усилие в решетке N, кН
1	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с крестово-шпренгельной решеткой	–1 041,8	–53,295
2	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с ромбической решеткой	–1 052,5	–29,680
3	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с крестовой решеткой	–1 051,7	–37,883
4	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с крестово-ромбической решеткой	–1 166,2	–43,642
5	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с треугольной с раскосами решеткой	–1 185,9	–39,441
6	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с полураскосной решеткой	–1 162,3	–19,908
7	Пирамидальная четырехгранная узкобазая опора с треугольной решеткой	–1 048,9	–32,297

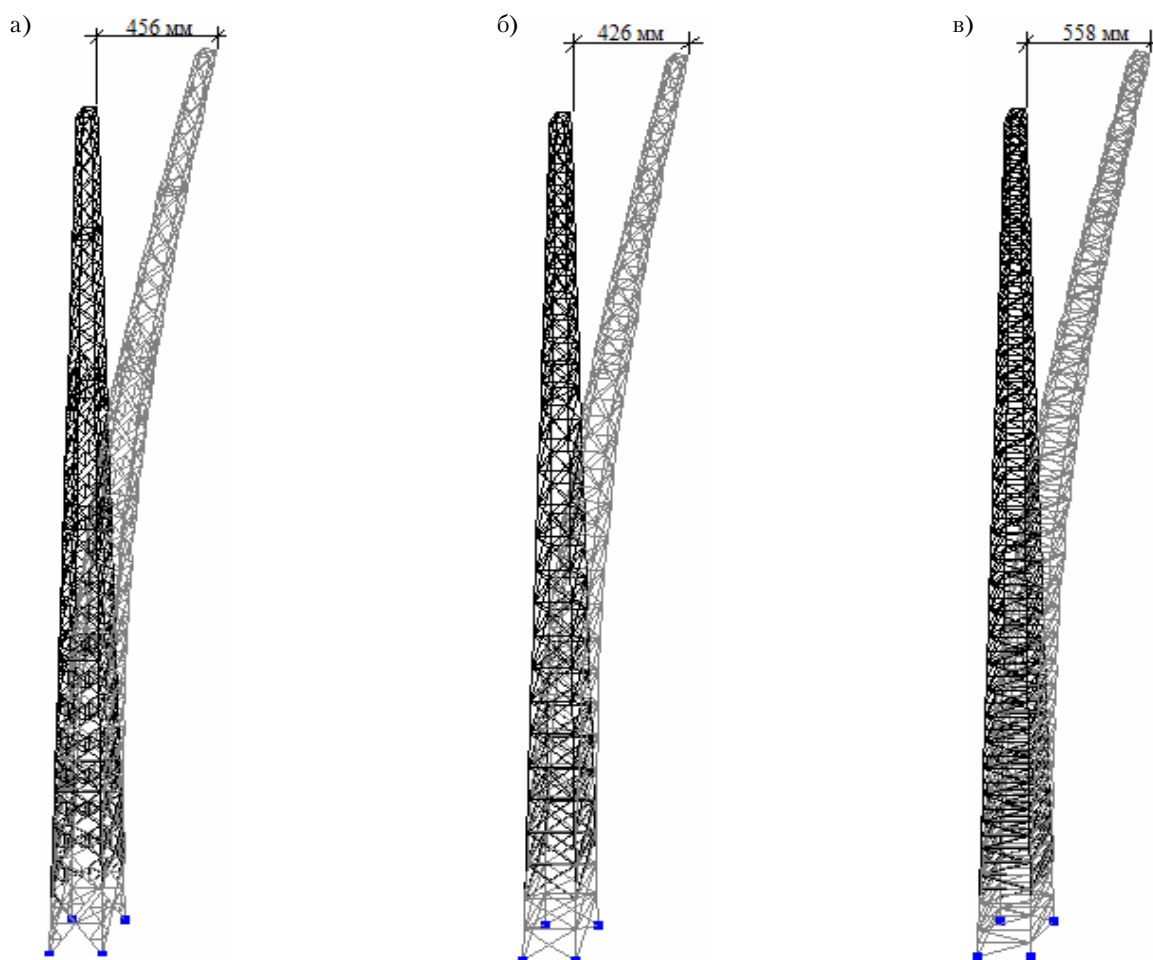


Рисунок 12. Максимальные перемещения от комбинации нагрузок в опоре: а) при сочетании 2–2 в опоре с крестово-шпренгельной решеткой $f_x = 456$ мм; б) при сочетании 2–2 в опоре с крестовой решеткой $f_x = 426$ мм; в) при сочетании 2–2 в опоре с треугольной с распорками решеткой $f_x = 558$ мм.

Таблица 2. Собственные значения, частоты, период колебаний в опоре с крестово-шпренгельной решеткой

№ п/п	Собств. значения	Частоты		Период	Коэфф. распределения	Модальная масса В, %	
		Рад/с	Гц	С			
1	0,150 700	6,635 702	1,056 641	0,946 396	0,341 252	4,226 735	4,226 735
2	0,150 700	6,635 707	1,056 641	0,946 395	0,762 016	21,075 799	25,302 534
3	0,044 613	22,415 110	3,569 285	0,280 168	–0,488 522	8,662 115	33,964 649

Таблица 3. Собственные значения, частоты, период колебаний в опоре с крестовой решеткой

№ п/п	Собств. значения	Частоты		Период	Коэфф. распределения	Модальная масса В, %	
		Рад/с	Гц	С			
1	0,151 143	6,616 244	1,056 641	0,949 179	–0,174 026	1,118 418	1,118 418
2	0,150 918	6,626 136	1,056 641	0,947 762	0,821 445	24,919 145	26,037 563
3	0,043 549	22,962 860	3,369 285	0,273 485	0,679 133	17,032 789	43,070 351

формы узкобазой антенной опоры, установлено, что наибольшая доля усилий и перемещений во всех антенных опорах возникает от действия на них ветровой нагрузки, направленной под 45°. По итогам расчета можно сказать, что наиболее рациональными являются опоры башенного типа с пирамидальным очертанием из профилей уголкового сечения с крестово-шпренгельной и крестовой решеткой, так как усилия от ветровых нагрузок составляют 12 и 14 %, а перемещения на 12 и 9 % меньше, чем в других опорах. По результатам численного исследования узкобазой

антенной опоры максимальные усилия и перемещения в крестово-шпренгельной решетке составили 17 и 18 % ($N = -447 \text{ кН}$, $f_x = 456 \text{ мм}$), в крестовой решетке 15 и 20 % ($N = -462 \text{ кН}$, $f_x = 426 \text{ мм}$), что меньше усилий и перемещений в других опорах.

По результатам динамического расчета частоты собственных колебаний антенной опоры с крестово-шпренгельной решеткой составляют $f_{\text{lim}} = 3,569 285 \text{ Гц}$ и с крестовой решеткой $f_{\text{lim}} = 3,369 285 \text{ Гц}$, что не превышает допустимой частоты $f_{\text{снуд}} = 3,8 \text{ Гц}$.

Литература

- Алехин, А. М. Действительная работа антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий : дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Андрей Михайлович Алехин. – Макеевка, 2009. – 198 с.
- Алехин, А. М. Численные исследования поведения антенных опор при действии гололедно-ветровых воздействий / А. М. Алехин // Металлические конструкции. 2008. Т. 14. № 3. С. 189–199.
- Виноградов, А. И. Вопросы расчета сооружений наименьшего веса / А. И. Виноградов // Труды Харьковского института инженеров железнодорожного транспорта. 1955. Вып. 25. С. 176.
- Горев, В. В. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. Специальные конструкции и сооружения : учеб. для строит. вузов / В. В. Горев. – М. : Высш. школа, 1999. – 544 с.
- ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия / Государственные строительные нормы Украины. – Издание официальное. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
- Клаф, Р. Динамика сооружений / Р. Клаф, Дж. Пензиен. – М. : Стройиздат, 1979. – 320 с.

References

- Alyokhin, A. M. The Actual work of antenna supports under the influence of icy-wind effects: Ph.D. thesis in Engineering Science: 05.23.01. Andrey M. Alyokhin. Makeyevka, 2009. 198 p.
- Alyokhin, A. M. Numerical Researches of Antenna Tower Conduct under Ice and Wind Attacks. In: *Steel construction*, 2008, Vol. 14, Number 3, pp. 189–199.
- Vinogradov, A. I. Problems of calculation of the least weight structures. In: *Proceedings of the Kharkov Institute of railway engineers*, 1955, Issue 25, P. 176.
- Gorev, V. V. Metal structures. In 3 vol. Vol. 3. Special design and construction. Moscow: Vischaya shkola, 1999. 544 p.
- DBN V. 1.2-2:2006. Loads and impacts. The official publication. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. 78 p.
- Clough, R.; Pension, George. Dynamics of structures. Moscow: Stroyizdat, 1979. 320 p.
- Kulyabko, V.; Maslowski, A.; Sartakov D. The Development of fundamentally new devices for damping oscillations of constructions on the basis of calculations of nonlinear oscillations of structures.

7. Кулябко, В. Разработка принципиально новых устройств гашения колебаний конструкций на основе расчетов нелинейных колебаний сооружений / В. Кулябко, А. Масловский, Д. Сартаков // *Theoretical Foundations in Civil Engineering*. Warsaw, 2009. № 17. С. 185–192.
8. Металлические конструкции / под ред. Н. П. Мельникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1980. – 776 с. – (Справочник проектировщика).
9. Рабинович, И. М. Некоторые вопросы теории статически неопределимых ферм / И. М. Рабинович // *Исследования по теории сооружений*. – М. ; Л. : Госстройиздат, 1959. – Вып. 8. – С. 485–498.
10. Радциг, Ю. А. Статически неопределимые фермы наименьшего веса / Ю. А. Радциг. – Казань : Издательство Казанского университета, 1969. – 289 с.
11. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – М. : Издательство литературы по строительству, 1972. – 111 с.
12. Соколов, А. Г. Металлические конструкции антенных устройств / А. Г. Соколов. – М. : Стройиздат, 1971. – 240 с.
13. Сорокин, Е. С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е. С. Сорокин. – М. : Госстройиздат, 1956. – 337 с.
14. Снитко, Н. К. Статическая устойчивость телевизионной стальной башни / Н. К. Снитко // *Исследования по теории сооружений*. – М. ; Л. : Госстройиздат, 1965. – Вып. 14. – С. 23–28.
15. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 96 с.
16. Тимошенко, С. П. Прочность и колебания элементов конструкций / С. П. Тимошенко. – М. : Наука, 1975. – 704 с.
17. Трофимович, В. В. Оптимальное проектирование металлических конструкций / В. В. Трофимович, В. А. Пермяков. – Киев : Вища школа, 1983. – 199 с.
18. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование башенных радиорелейных опор / Е. В. Шевченко, Н. Р. Жук, С. А. Удахин // *Вестник ДонНУАСА*. Вып. 2004–2(44). С. 7–10.
19. Davenport, A. G. Gust Loading Factors / A. G. Davenport // *Journal of Structural Division*. ASCE, 1967. Vol. 93. № 3. P. 11–34.
20. Davenport, A. G. The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures / A. G. Davenport // *Proc. Instn Civ. Engrs.* London, UK, 1961. №19. P. 449–472.
21. Gordeiev, V. The mutual influence of wind load and the structural design in the optimization of latticed towers/ V. Gordeiev, N. Shamanska // *IASS. APCS: From spatial structures to Space structures*. 2012. P. 394.
22. Silva, J. G. S. da. Anevaluation of structural steel design systems for transmission and telecommunication towers / J. G. S. da Silva, P. C. G. da S. Vellasco, S. A. L. de Andrade, M. L. R. de Olivera // *Proceedings of International IASS Symposium «Lightweight Structures in Civil Engineering – Contemporary Problems»*, June 24–28, Warsaw, 2002, pp. 162–165.
23. Simiu, E. Equivalent Static Wind Loads for Tall Buildings Design. In: *Journal of the Structural Division*, ASCE 102, 1976, pp. 719–737.
24. In: *Theoretical Foundations in Civil Engineering*, Warsaw, 2009, No. 17, pp. 185–192.
25. Metal structures. Ed. N. P. Melnikov. 2nd ed. Moscow: Stroyizdat, 1980. 776 p.
26. Rabinovich, I. M. Certain issues of the theory of statically indeterminate truss. In: *Studies on the theory of structures*, Moscow; Leningrad: Gosstroyizdat, 1959, Issue 8, pp. 485–498.
27. Radzig, Y. A. Statically indeterminate truss of lowest weight. Kazan: Publishing house of Kazan University, 1969. 289 p.
28. Savitsky, G. A. Wind load on constructions. Moscow: Publishing house of literature on construction, 1972. 111 p.
29. Sokolov, A. G. Steel structures of antenna devices. Moscow: Gosstroyizdat, 1971. 240 p.
30. Sorokin, E. S. Dynamic calculation of loadbearing structures of buildings. Moscow: Gosstroyizdat, 1956. 337 p.
31. Snitko, N. C. Static stability of television steel tower. In: *Studies on the theory of structures*, Moscow; Leningrad: Gosstroyizdat, 1965, Issue 14, pp. 23–28.
32. SNiP II-23-81* Steel constructions. Gosstroy of the USSR. Moscow: TSITP of USSR Gosstroy, 1991. 96 p.
33. Timoshenko, S. P. Strength and vibrations of structural elements. Moscow: Nauka, 1975. 704 p.
34. Trofimovich, V. V.; Permyakov, V. A. Optimal design of steel structures. Kiev: Vyshcha SHKOLA, 1983. 199 p.
35. Shevchenko, E. V.; Zhuk, N. R.; Udachin, S. A. Optimal design of radio relay tower. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, Issue 2004–2(44), pp. 7–10.
36. Davenport, A. G. Gust Loading Factors. In: *Journal of Structural Division*, ASCE, 1967, Vol. 93, No. 3, pp. 11–34.
37. Davenport, A. G. The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. In: *Proc. Instn Civ. Engrs.*, London, UK, 1961, No. 19, pp. 449–472.
38. Gordeiev, V.; Shamanska, N. The mutual influence of wind load and the structural design in the optimization of latticed towers. In: *IASS. APCS: From spatial structures to Space structures*, 2012. P. 394.
39. Silva, J. G. S. da; Vellasco, P. C. G. da S.; Andrade, S. A. L. de; Olivera M. L. R. de. Anevaluation of structural steel design systems for transmission and telecommunication towers. In: *Proceedings of International IASS Symposium «Lightweight Structures in Civil Engineering – Contemporary Problems»*, June 24–28, Warsaw, 2002, pp. 162–165.
40. Simiu, E. Equivalent Static Wind Loads for Tall Buildings Design. In: *Journal of the Structural Division*, ASCE 102, 1976, pp. 719–737.

- dings of International IASS Symposium «Light-weight Structures in Civil Engineering». Contemporary Problems, June 24–28. – Warsaw, 2002. – P. 162–165.
23. Simiu, E. Equivalent Static Wind Loads for Tall Buildings Design / E. Simiu // Journal of the Structural Division, ASCE 102. 1976. P. 719–737.

Алёхин Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: гололедные нагрузки на строительные конструкции, надежность воздушных линий электропередачи, испытание всех видов строительных конструкций.

Кроник Мария Витальевна – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование антенных опор под действием действительных нагрузок и воздействий.

Кирсанов Евгений Владимирович – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование антенных опор под действием действительных нагрузок и воздействий.

Альо́хін Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: ожеледні навантаження на будівельні конструкції, надійність повітряних ліній електропередачі, випробування всіх видів будівельних конструкцій.

Кроник Марія Віталіївна – магістрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування антенних опор під дією дійсних навантажень і впливів.

Кірсанов Євген Володимирович – магістрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування антенних опор під дією дійсних навантажень і впливів.

Alyokhin Andrey – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: ice loads on building structures, reliability of overhead power lines, testing of all types of building structures.

Kronik Maria – Master's degree student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: design of antenna supports under the action of actual loads and impacts.

Kirsanov Evgeny – Master's degree student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: design of antenna supports under the action of actual loads and impacts.