



(18)-0378-1

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОРЫ ВЭУ МОЩНОСТЬЮ 65 КВТ

А. М. Алёхин¹, Д. С. Полянский²

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹alyokhin_20@mail.ru, ²dimap3110@gmail.com

Получена 27 апреля 2018; принята 25 мая 2018.

Анотация. В данной статье представлены результаты численных исследований стальной решетчатой опоры ветроэнергетической установки (ВЭУ) из уголкового профиля. Главной целью работы являлось определение усилий и перемещений от действия нагрузок, вызванных работой ветроэнергетической установки мощностью 65 кВт. Для этого была построена пространственная модель решетчатых опор с крестовой, полураскосной и треугольной решетками и выполнен их численный анализ. Полученные результаты позволили подобрать оптимальную опору для ветрогенератора «Vestas V-16», а также определить основные нагрузки, действующие на опору ветрогенератора.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэнергетическая установка (ВЭУ), нагрузки, опора ВЭУ, численные исследования, усилия, перемещения.

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ПОТУЖНІСТЮ 65 КВТ

А. М. Альохін¹, Д. С. Полянський²

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹alyokhin_20@mail.ru, ²dimap3110@gmail.com

Отримана 27 квітня 2018; прийнята 25 травня 2018.

Аннотация. У даній статті представлені результати чисельних досліджень сталеві гратчастої опори вітроенергетичної установки (ВЕУ) з кутових профілів. Головною метою роботи було визначення зусиль і переміщень в результаті дії навантажень, які викликані роботою вітроенергетичної установки потужністю 65 кВт. Для цього була змодельована просторова модель гратчастих опор з хрестовою, напіврозкісною і трикутною решітками та виконано їх чисельний аналіз. Отримані результати дозволили підібрати оптимальну опору для вітрогенератора «Vestas V-16», а також визначити основні навантаження, що діють на опору вітрогенератора.

Ключові слова: вітроенергетика, вітроенергетична установка (ВЕУ), навантаження, опора ВЕУ, чисельні дослідження, зусилля, переміщення.

NUMERICAL RESEARCHES OF THE PROP OF A 65 KW WIND POWER PLANT

Andrey Alyokhin¹, Dmitriy Polyanskii²

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

E-mail: ¹ alyokhin_20@mail.ru, ² dimap3110@gmail.com

Received 27 April 2018; accepted 25 May 2018.

Abstract. This article presents the results of numerical research of the steel lattice support of a wind power plant (WPP) from angle profile. The main purpose of the work was to determine the forces and displacements from the action of loads caused by the operation of a 65 kW wind power plant. For this purpose, a spatial model of lattice supports with a cross, half-braced and triangular lattices was constructed and their numerical analysis was performed. The obtained results allowed to choose the optimal support for the «Vestas V-16» wind turbine, and also to determine the main loads acting on the support of the wind generator.

Keywords: wind power, wind power plant (WPP), loads, WPP prop, numerical studies, efforts, movements.

Формулировка проблемы

Характерной чертой развития современной энергетики является широкое вовлечение в энергобаланс возобновляемых источников энергии. В этой отрасли первое место занимает ветроэнергетика. За последние годы ветроэнергетика стала по-настоящему бурно развивающейся отраслью современной энергетики. Запасы этой энергии неисчерпаемы, поскольку ветер возникает в результате действия солнца.

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (механическую, тепловую, электрическую и др.).

Анализ последних исследований и публикаций

В связи с тем, что запасы ископаемого топлива исчерпаемы, а отходы тепловых и атомных электростанций способствуют загрязнению окружающей среды, вопрос использования экологически чистых способов производства электроэнергии актуален для мировой общественности и обсуждается уже не первое десятилетие. В периодических изданиях постоянно обсуждаются проблемы состояния и развития ветроэнергетики в странах Европы [1–2].

Цели

Выбор оптимальной решетчатой опоры ВЭУ для ветрогенератора «Vestas V-16» от действия нагрузок и воздействий.

Основной материал

Классификация ВЭУ:

1. По расположению ветроколеса относительно ветра:
 - горизонтальные (двухлопастные, трёхлопастные, многолопастные);
 - вертикальные (геликоидные, ротор Дарье, с прямыми лопастями).
2. По типу ветроустановок:
 - механические;
 - ветроэлектрические (работающие на электросеть);
 - автономные ветроэнергетические установки.
3. По мощности:
 - большой мощности (свыше 1 МВт);
 - средней мощности (от 100 кВт до 1 МВт);
 - малой мощности (от 5 до 99 кВт).

Ветроэнергетические установки классифицируются по двум основным признакам – геометрии ветроколеса и его расположению относительно направления ветра. Основное распространение получили трёхкрыльчатые установки с горизонтальной осью вращения (рис. 1).

Опора – конструктивная составляющая часть ВЭУ, предназначенная для размещения ротора на необходимой высоте. Препятствия, расположенные вокруг ветроустановки, нарушают линейность ветрового потока и создают завихрения. С помощью опоры ротор выносится на такую высоту, где влияние этих вихрей снижается (рис 2). Кроме того, с высотой растет величина отбора мощности от ветрового потока. Высота опоры зависит от мощности генератора, а мощность генератора выбирается исходя из среднегодовой скорости ветра.

По конструктивному решению опоры ВЭУ классифицируются по материалу:

- металлические;
- железобетонные.

Железобетонная опора (рис. 3) представляет собой усеченную конусную трубу. При изготовлении для обеспечения необходимой прочности и жесткости опоры требуется значительное армирование. Кроме того, при установке железобетонной опоры предъявляются повышенные требования к фундаменту.

Конструкция этой опоры отличается высокой материалоемкостью, значительной трудоем-

костью, большим объемом бетонных работ, железобетонная опора более подвержена разрушению в результате неблагоприятных атмосферных воздействий и вибраций.

Сплошная опора отражает примерно 90 % мощности ветрового потока, приходящегося на ее площадь, и существенно влияет на ее динамические свойства, поскольку конструкция опоры во многом определяет характер взаимодействия возникающих при этом сил.

Металлические опоры подразделяются на:

- опоры с тросовыми растяжками;
- стальные трубчатые опоры;
- решётчатые опоры.

Стальная опора с тросовыми растяжками должна состоять из стальной цилиндрической трубы, которая поддерживается натянутыми стальными тросами. Для противодействия изгибающим нагрузкам, вызываемых ветродвигателем, тросы должны иметь большое натяжение, что увеличивает нагрузку на фундамент, особенно фундамент самой трубы. Для получения приемлемой жесткости тросы должны быть закреплены под значительным углом к опоре, что приводит к увеличению занимаемой площади.

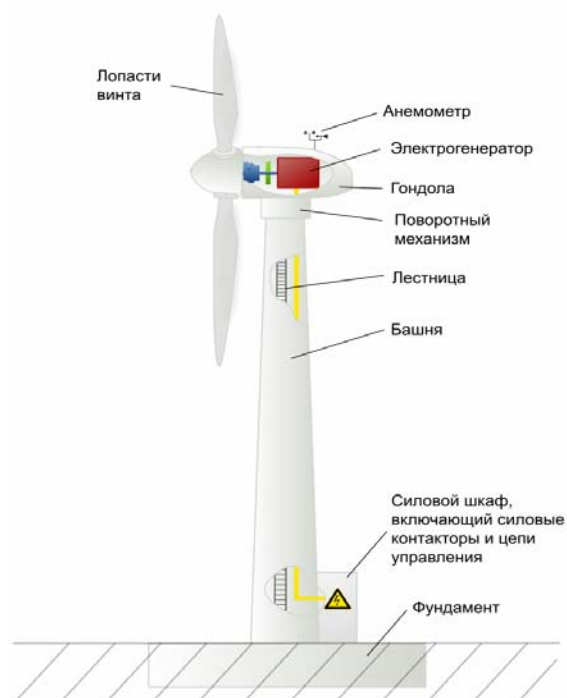


Рисунок 1. Конструктивная схема ВЭУ с горизонтальной осью вращения.

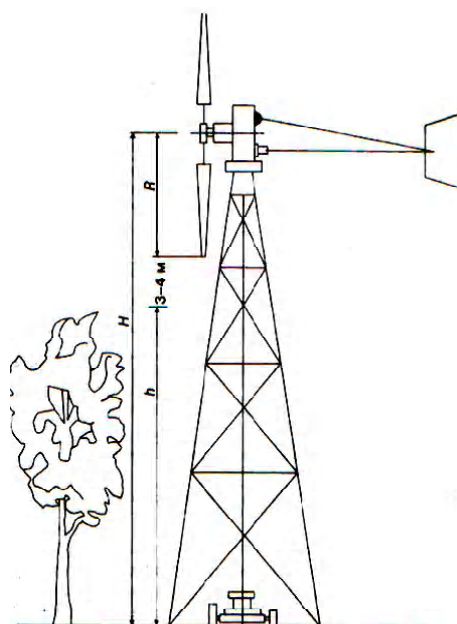


Рисунок 2. Выбор высоты опоры ветрогенератора в зависимости от высоты препятствия: H – высота мачты; h – высота препятствия; R – радиус ветрогенератора (расстояние от оси вращения до нижнего края лопасти).

Кроме того, нагрузки, воспринимаемые опорой, приводят к возникновению вибрации тросов, поэтому при использовании ветродвигателя значительного диаметра существенным является вопрос обеспечения необходимого зазора между лопастями и тросами опоры (рис. 4).

Стальная трубчатая опора включает в себя трубчатый цилиндрический сварной корпус, в основе которого находится усеченный конус (рис. 5). Однако стальные трубчатые опоры имеют высокую металлоемкость и при своем создании требуют определенной технологии, что уве-



Рисунок 3. Железобетонная опора ВЭУ.

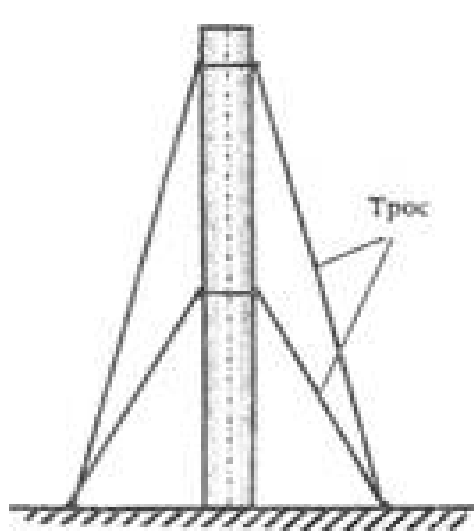


Рисунок 4. Опора с тросовыми растяжками.

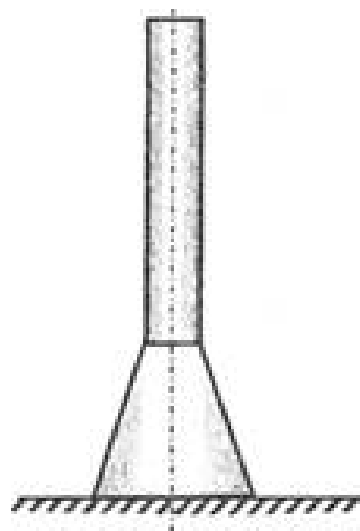


Рисунок 5. Стальная трубчатая опора.

личивает затраты на производство и строительство.

Стальная решетчатая опора существенно искажает структуру ветрового потока, который проходит через нее, поскольку значительное количество конструктивных деталей, наличие открытых лестничных маршей приводит к его значительной турбулизации.

Решётчатые стальные опоры могут быть выполнены в плане трёхгранные, четырёхгранные и многогранные.

Тип решетки зависит от геометрической формы поясов, так как их жесткость определяет величину допустимого размера панелей (рис. 6).

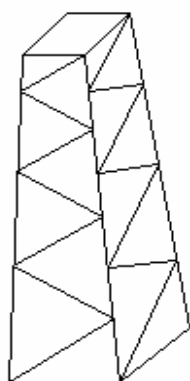
Пояса опор выполняют из труб, одиночных уголков, составных сечений из уголков и сварных составных сечений из листа. Раскосы выполняют из труб, круглой стали, одиночных уголков,

крестовых и тавровых сечений из уголков, а также составных сечений из швеллеров. Распорки выполняют из труб, уголков, составных сечений из уголков и швеллеров.

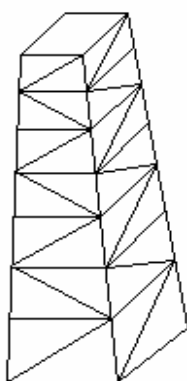
Для определения численного анализа опоры ВЭУ было рассмотрено три варианта стальных решетчатых опор ВЭУ из уголкового профиля (рис. 7).

В работе были проанализированы и рассмотрены следующие виды нагрузок:

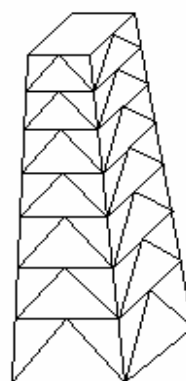
- гравитационные и инерционные нагрузки – это статические и динамические нагрузки, действующие на элементы ВЭУ и возникающие в результате действия силы тяжести, вращения и вибрации;
- аэродинамические нагрузки – это статические и динамические нагрузки, которые вызваны обтеканием ветрового потока подвижных



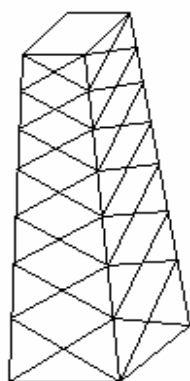
**Треугольная
решетка**



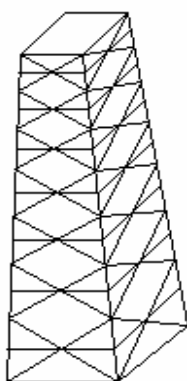
**Треугольная
с распорками**



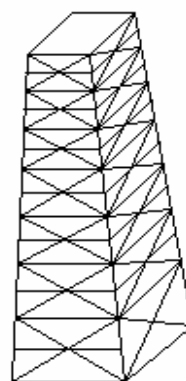
Полураскосная



**Крестовая
решетка**



**Ромбическая
решетка**



**Крестово-ромбическая
решетка**

Рисунок 6. Виды решеток стальных башен.

(вращающихся) и неподвижных частей конструкции ВЭУ. Они зависят от частоты вращения ВК, осреднённой скорости ветрового потока и турбулентности данного потока;

- эксплуатационные нагрузки действуют на ВЭУ в процессе её работы и возникают вследствие управляющих воздействий на элементы системы установки. К ним относятся нагрузки, возникающие в процессе регулирования частоты вращения ветроколеса путём изменения угла установки лопастей на ветер или включения аэродинамических тормозов и т.п.

Для каждой из трёх предложенных опор был выполнен сбор нагрузок. Основными нагрузками, влияющими на опоры ВЭУ, являются:

- собственный вес элементов башни и гондолы ВЭУ;
- климатические нагрузки на опору и гондолу ВЭУ (снеговая, ветровая);
- лобовое давление ветра на ветроустановку;
- момент, возникающий на валу ветроколеса;
- инерционные нагрузки от работы ВЭУ (гироскопический момент, центробежная сила).

Статический и динамический расчёты выполнялись с применением программного комплекса ЛИРА-САПР. Расчётной схемой является стальная решетчатая опора из уголковых профилей с крестовой, полураскосной и треугольной

решеткой (рис. 8). Сопряжение всех узлов принято жестким, так как разница между жестким и шарнирным сопряжением узлов при анализе форм собственных колебаний не превышает 3 %. Тип конечного элемента 10 «Универсальный пространственный стержневой КЭ». Высота опор составляет 30 м.

Ниже в табличной форме (табл. 1–3) будут выполнены сравнительные анализы усилий, перемещений и частот, по собственным формам колебаний.

По результатам сравнения усилий, перемещений и частот собственных колебаний решеток опоры следует вывод о том, что наиболее предпочтительной является опора с крестовой решеткой. Так как в ней возникают наименьшие продольные усилия 237 кН, что меньше на 12 %, чем в полураскосной и на 4 % меньше, чем в треугольной решетках. Также при крестовой решетке достигается наибольшая жесткость опоры, что способствует наименьшим перемещениям на 27,5 мм, что меньше на 13 %, чем при полураскосной решетке и на 20 % меньше, чем в треугольной решетке. Поэтому в следующем пункте будет выполнен детальный численный анализ опоры ВЭУ с крестовой решеткой.

Наибольшие продольные усилия возникают в поясах опоры, а именно в нижней секции опоры

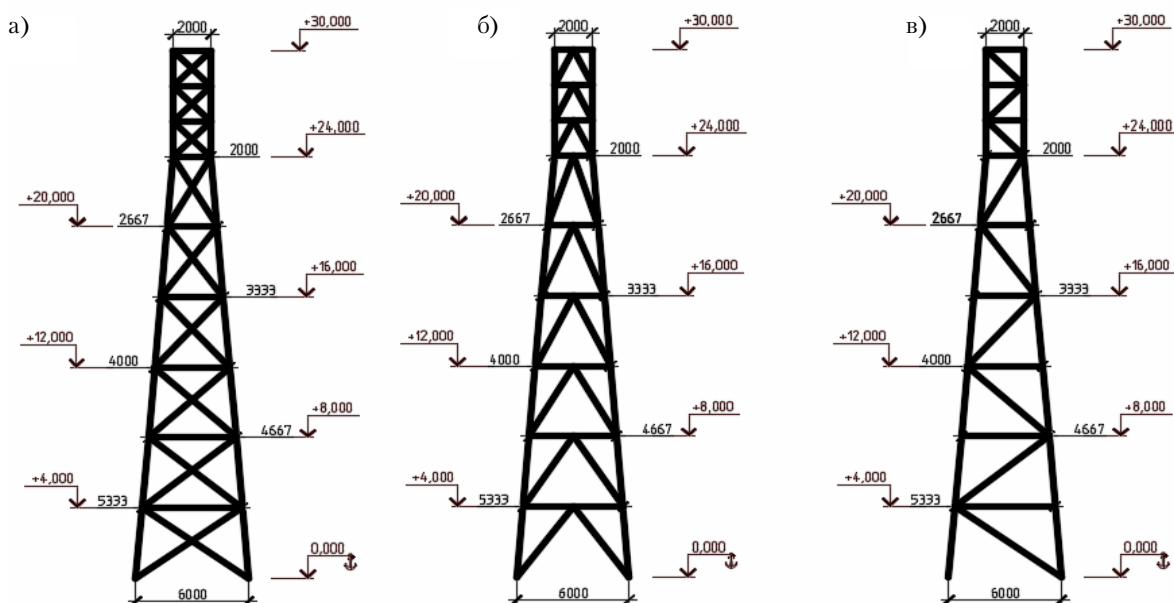


Рисунок 7. Стальные решетчатые опоры ВЭУ из уголковых профилей: а) крестовая решетка; б) полураскосная; в) треугольная.

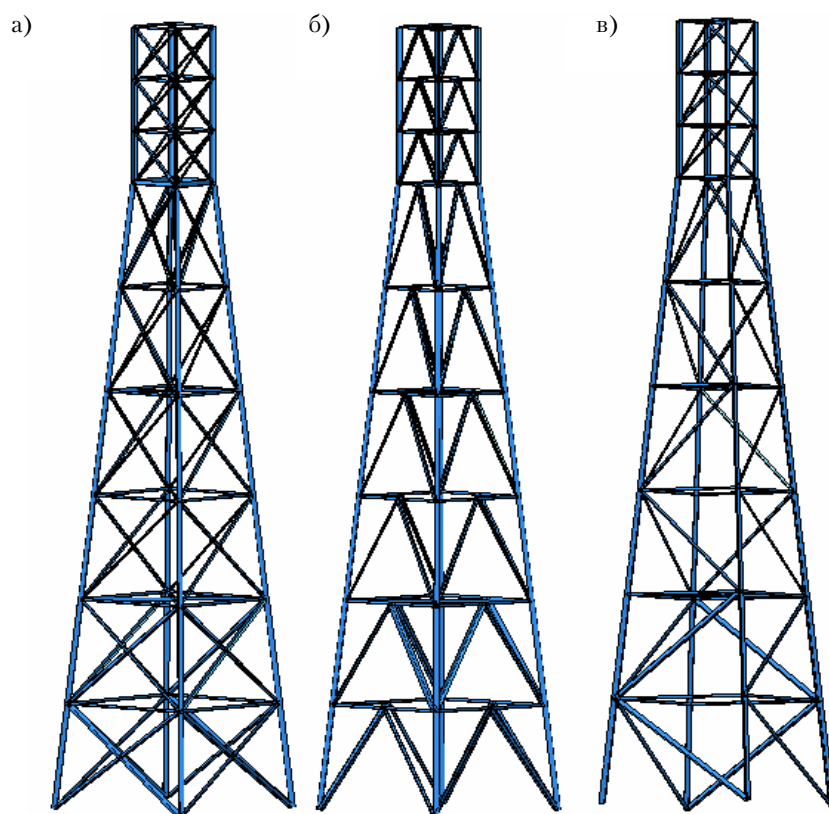


Рисунок 8. Общий вид моделируемых опор: а) крестовая решетка; б) полураскосная; в) треугольная.

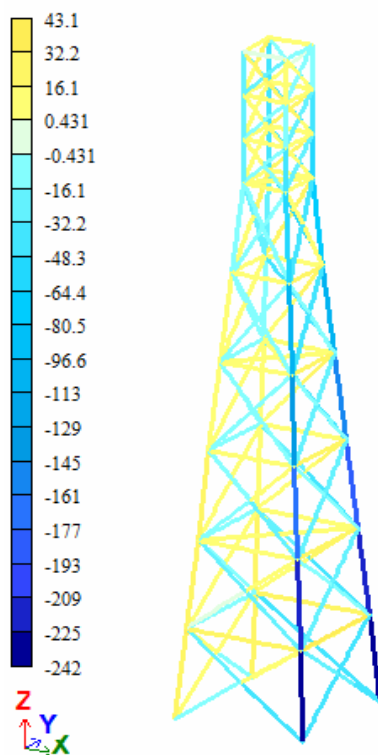


Рисунок 9. Мозаика продольных сил N , кН.

Таблица 1. Сравнение усилий

Решетка	Усилия		
	М, кН·м (max)	N, кН (max)	Q, кН (max)
крестовая	17,4	–237	–12
полуракосная	9,0	–265	–14
треугольная	23,0	–246	–15

Таблица 2. Сравнение перемещений

Решетка	Перемещения, мм		
	x	y	z
крестовая	27,5	3,4	–4,2
полуракосная	31,0	6,5	–4,8
треугольная	33,0	6,6	–3,9

Таблица 3. Сравнение частот собственных колебаний

Решетка	Форма колебания	Круговая частота, Рад/с	Частота, Гц	Период, с
крестовая	1	9,898	3,400	0,635
	2	9,898	1,575	0,635
	3	21,725	3,458	0,289
полуракосная	1	9,501	1,512	0,661
	2	9,501	1,512	0,661
	3	17,269	2,748	0,364
треугольная	1	10,861	1,729	0,579
	2	11,003	1,751	0,571
	3	27,257	4,338	0,231

(рис. 9). Максимальное значение продольной силы составляет –246 кН. Основной нагрузкой, которая вызывает сжатие поясов, является ветровая нагрузка, действующая непосредственно на элементы опоры, а также на гондолу ВЭУ и торцовую часть гондолы и лопасти ветроколеса.

В верхней секции башни доминирующими являются продольные усилия (рис. 10). Это обусловлено тем, что верхняя секция больше всего подвергается воздействию динамических воздействий, вызванных ветродвигателем и вращением лопастей. Нагрузки, которые являются определяющими при анализе продольных сил, –

крутящий момент от центробежной силы, вызванный дисбалансом масс ветроколеса, и момент от его вращения.

Максимальное значение изгибающего момента сосредоточено в верхней секции башни, а именно в поясах (рис. 11). Определяющими нагрузками в этом случае являются моменты от центробежной силы и вращения ветроколеса.

Ряд форм собственных колебаний башни ВЭУ соответствует наибольшим амплитудам вибрации на отдельных конструктивных элементах (раскосах, лопастях), поэтому анализу подвергались три первые формы собственных колебаний [14].

Таблица 4. Узловые перемещения верхней секции опоры.

№ узла	Перемещения		
	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)
1	15,60979	1,752 054	–1,04961
2	20,00807	–0,517 530	–3,48115
3	17,82575	–0,587 660	–3,41949
9	16,69062	0,673 133	–2,22040
10	17,76474	2,175 976	–1,13192
11	21,85916	–0,263 260	–3,47370
18	17,90557	1,757 368	–1,24516
24	23,18688	2,765 893	–1,56367
25	23,25458	–0,486 150	–3,80653
30	19,21908	0,716 027	–2,43917
33	25,51562	–0,279 660	–3,85543
34	21,86158	3,356 302	–1,33817
35	25,49513	3,390 784	–1,71990
37	19,97116	2,692 659	–1,23829
38	20,50321	2,251 657	–1,39068
45	18,34810	1,968 246	–1,20043
49	20,60406	–0,501 480	–3,67825
52	15,62098	–0,555 590	–3,27587
53	17,92275	–0,532 540	–3,47142
60	18,39100	–0,560 220	–3,45914
69	18,89976	1,072 219	–2,33724
70	20,97302	0,306 997	–2,40600
71	21,89365	1,148 270	–2,63152
72	24,42260	0,336 022	–2,76181
73	20,01785	2,456 144	–1,34524
74	25,28308	3,032 824	–1,48859
75	20,09390	–0,537 750	–3,62352
76	25,31210	–0,416 750	–3,67922

По результатам численного анализа следует вывод о том, что ни по одной из трёх учитываемых форм колебаний значение собственной частоты (рис. 12) не превышает нормативной – 5 Гц [7].

Высота опоры ВЭУ составляет 30 м, поэтому, согласно [10], допустимый прогиб должен быть не более 300 мм. Максимальное перемещение опоры составило 26 мм. Номера узлов представлены на рисунке 13. Все узловые перемещения верхней секции приведены в таблице 4.

Общие выводы по работе

По результатам численного исследования опоры ВЭУ мощностью 65 кВт установлено, что максимальные усилия в крестовой решетке на 12 % меньше, чем в полураскосной, и на 4 % меньше, чем в треугольной, перемещения соответственно – на 13 и 20 %.

Результаты динамического расчёта показали, что частота собственных колебаний по третьей форме составила 3,5 Гц, что меньше на 30 % и соответствует требованиям [7] равной 5 Гц.

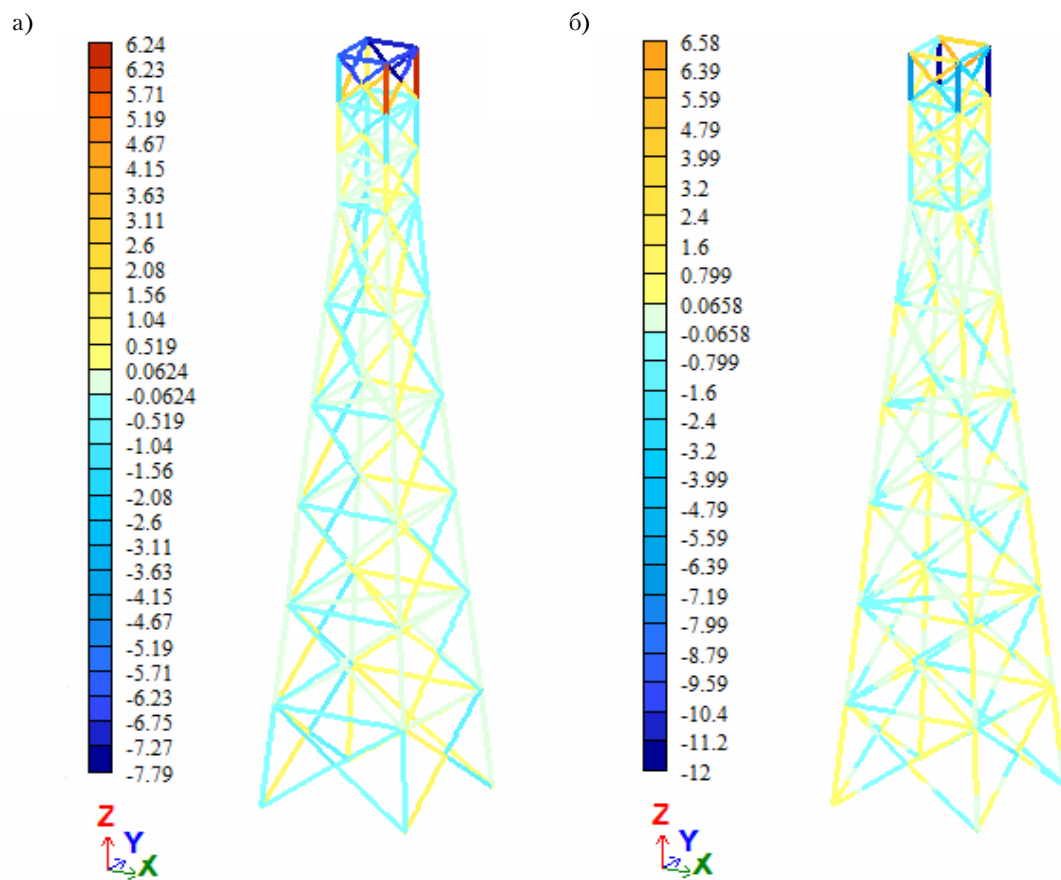


Рисунок 10. Мозаика поперечных сил, кН: а) Q_y ; б) Q_z .

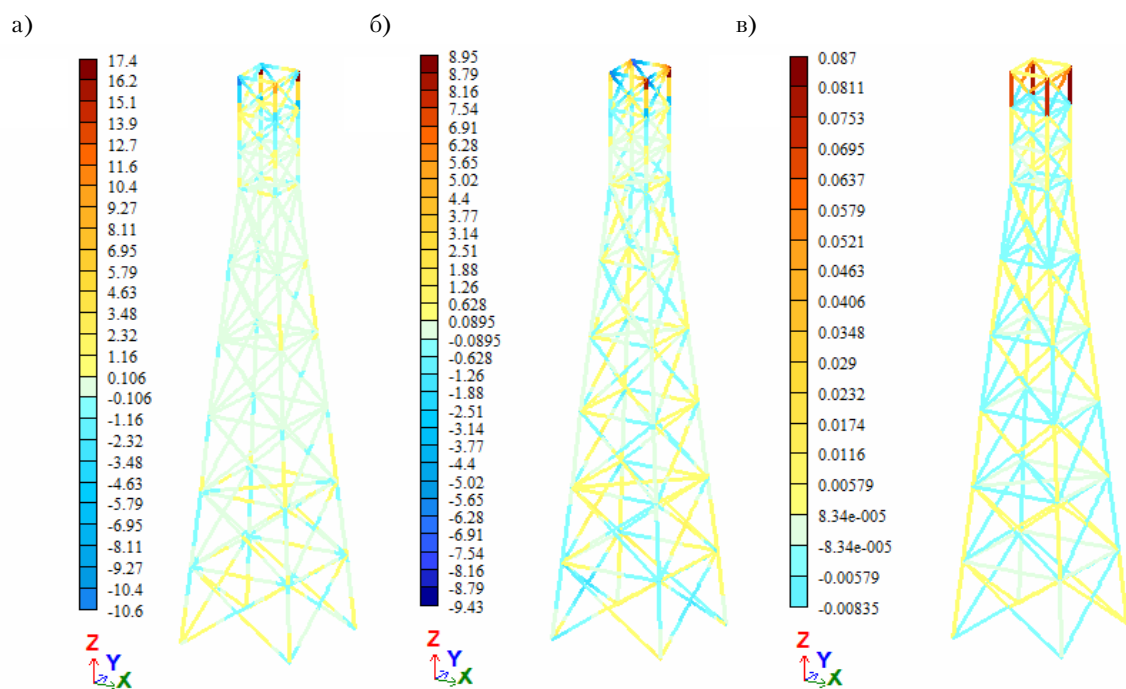


Рисунок 11. Мозаика изгибающих моментов, кН: а) M_y ; б) M_z ; в) M_x .

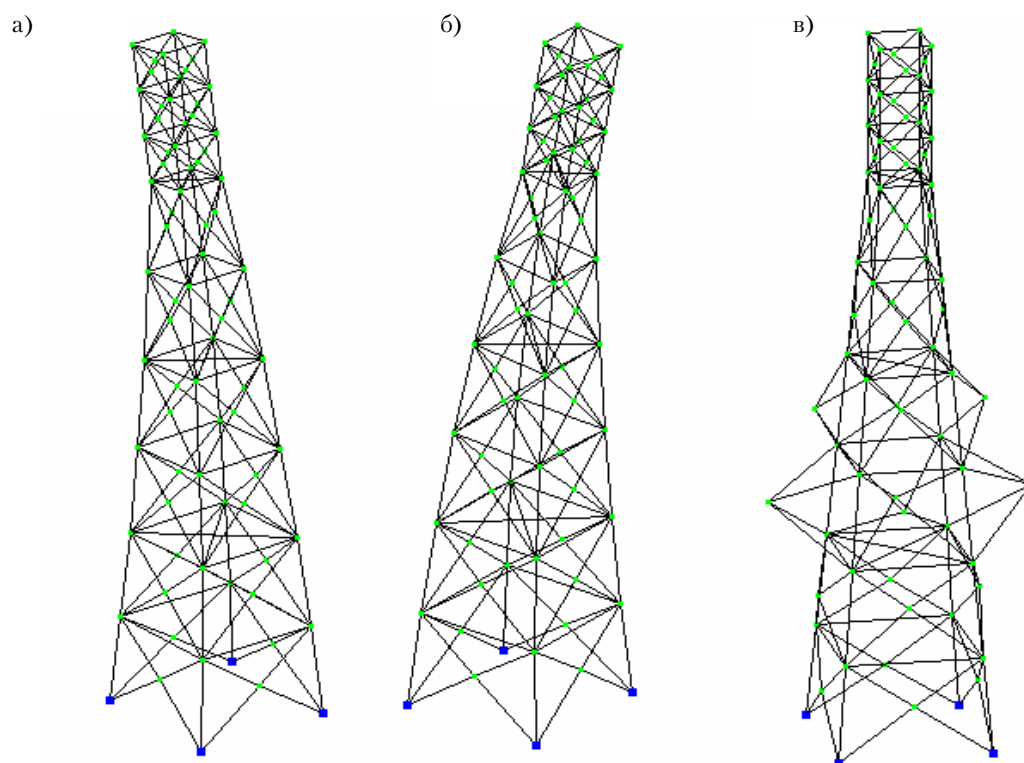


Рисунок 12. Анализ по частотам собственных колебаний, кН: а) первая частота; б) вторая частота; в) третья частота.

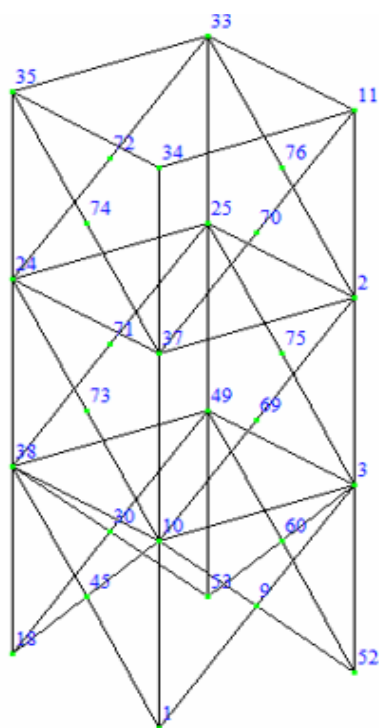


Рисунок 13. Нумерация узлов.

Литература

1. Брылёва, В. А. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / В. А. Брылёва, Л. Б. Воробьёва. – Минск, 1996. – 224 с.
2. Изменения и дополнения к комплексной программе строительства ветряных электростанций. – К., 2000. – 109 с.
3. Перспективы развития ветроэнергетики в Донбассе / Е. В. Горохов, С. В. Турбин, Ю. П. Некрасов, М. В. Бусько // Донбасс–2020: перспективы развития глазами молодых ученых : материалы II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Донецк : ДонНТУ, 2004. – С. 4.
4. Горохов, Е. В. Методика и результаты исследования динамического поведения решетчатой башни ветроэлектрической установки / Е. В. Горохов, М. В. Бусько, С. В. Турбин. – Макеевка : ДонНАСА, 2006. – 12 с.
5. Справочник по динамике сооружений / под ред. Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. – М. : Стройиздат, 1972. – 511 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия / Государственные строительные нормы Украины. – Издание официальное. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
7. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М., 1987. – 50 с.
8. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектростанции / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков ; Севастополь : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т» ; Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.
9. Global Wind Energy Council / GWEC report. – 2017. – 4 p.
10. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Строительная климатология. – Киев : Минстрой Украины, 2010. – 128 с.
11. СТО 70238424.27.100.059-2009 Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. – Москва. – 192 с.
12. Горохов, Е. В. Алгоритмы расчета стальных конструкций / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушчанов, А. М. Югов и др.; под ред. Е. В. Горохова. – М. : Стройиздат, 1989. – 368 с.
13. Стальные башни (проектирование и монтаж) / В. Ф. Павловский, М. П. Кондра. – Киев : Будівельник, 1979. – 200 с.
14. Горохов, Е. В. Методика и результаты исследования динамического поведения решетчатой башни ветроэлектрической установки / Е. В. Горохов, М. В. Бусько, С. В. Турбин. – Макеевка : ДонНАСА, 2006. – 12 с.
15. Елистратов, В. В. Динамические расчёты системы «ВЭУ–фундамент–основание» : учебное пособие / В. В. Елистратов, И. А. Константинов, А. А. Панфилов. – Санкт-Петербург, 1999. – 49 с.
16. Елистратов, В. В. Нагрузки на элементы ВЭУ, на её фундамент и основание : учебное пособие / В. В. Елистратов, И. А. Константинов, А. А. Панфилов. – Санкт-Петербург, 1999. – 38 с.

References

1. Bryleva, V. A.; Vorobieva, L. B. Unconventional renewable energy sources. Minsk, 1996. 224 p.
2. Changes and additions to the comprehensive program of construction of wind power plants. Kyiv, 2000. 109 p.
3. Gorokhov, E. V.; Turbin, S. V.; Nekrasov, Yu. P.; Busko M. V. Prospects of development of wind energy in Donbass. In: *Donbass–2020: prospects of development through the eyes of young scientists: materials of the II International scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists*. Donetsk: DonNTU, 2004, pp. 4.
4. Gorokhov, E. V.; Busko, M. V.; Turbin, S. V. Methods and results of the study of the dynamic behavior of the lattice tower of the wind power plant. Makeevka: DonNACEA, 2006. 12 p.
5. Handbook on the dynamics of buildings. Ed. B. G. Korenev and I. M. Rabinovich. Moscow: Stroyizdat, 1972. 511 p.
6. DBN V. 1.2-2:2006. Loads and impacts. The official publication. Kyiv: Ministry Of Construction Of Ukraine, 2006. 78 p.
7. SNIP 2.01.07-85. Loads and impacts. Gosstroy USSR. Moscow, 1987. 50 p.
8. Krivtsov, V. S.; Oleynikov, A. M.; Yakovlev, O. I. Inexhaustible energy. Book 1. Wind Power Kharkov, Sevastopol: National aerospace university; «Kharkov aviation institute», 2003. 400 p.
9. Global Wind Energy Council. GWEC report. 2017. 4 p.
10. DSTU-N B V. 1.1-27:2010 Construction climatology. Kyiv: Ministry Of Construction Of Ukraine, 2010. 128 p.
11. STO 70238424.27.100.059-2009 The wind power plant (WPP). The conditions of creation. Norms and requirements. Moscow. 192 p.
12. Gorokhov, E. V.; Mushchanov, V. F.; Yugov, A. M., etc.; ed. E. V. Gorokhov. Algorithms for calculation of steel structures. Moscow: Stroyizdat, 1989. 368 p.
13. Pavlovsky, V. F.; Kondra M. P. Steel tower (design and installation). Kyiv: Budivelnik, 1979. 200 p.
14. Gorokhov, E. V.; Busko, M. V.; Turbines, S. V. Methods and results of the study of the dynamic behavior of the lattice tower of the wind power plant. Makeevka: DonNACEA, 2006. 12 p.
15. Elistratov, V. V.; Konstantinov, I. A.; Panfilov, A. A. The Dynamic system «Wind turbine–Foundation–base»: textbook. St. Petersburg, 1999. 49 p.
16. Elistratov, V. V.; Konstantinov, I. A.; Panfilov, A. A. Loads on elements of wind energy, its Foundation and Foundation: textbook. St. Petersburg, 1999. 38 p.
17. Davenport, A. G. Gust Loading Factors. In: *Journal of Structural Division. ASCE*, 1967, Vol. 93, № 3, pp. 11–34.
18. Davenport, A. G. The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. In: *Proc. Instn. Civ. Engrs. London*, UK, 1961, № 19, pp. 449–472.

17. Davenport, A. G. Gust Loading Factors / A. G. Davenport // *Journal of Structural Division*. – ASCE, 1967. Vol. 93. № 3. P. 11–34.
18. 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.
19. 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.
20. 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*. – P. 162–165.
21. Simiu, E. Equivalent Static Wind Loads for Tall Buildings Design / E. Simiu // *Journal of the Structural Division, ASCE* 102. 1976. P. 719–737.
19. 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.
20. 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.
21. Simiu, E. Equivalent Static Wind Loads for Tall Buildings Design. In: *Journal of the Structural Division, ASCE* 102, 1976, pp. 719–737.

Алехин 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.

Полянський Дмитрій Сергєєвич – магістрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: ветроэнергетика, ветроэнергетическая установка (ВЭУ), нагрузки, опора ВЭУ, численные исследования, усилия, перемещения.

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.

Полянський Дмитрій Сергійович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вітроенергетика, вітроенергетична установка (ВЕУ), навантаження, опора ВЕУ, чисельні дослідження, зусилля, переміщення.

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.

Polyanskii Dmitriy – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: wind power, wind power plant (WPP), loads, WPP prop, numerical studies, efforts, movements.