

УДК 624.04 (075.8)

UDC 624.04 (075.8)

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБОСНОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
РЕШЕТЧАТЫХ ВЫШЕК****CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL  
JUSTIFICATION OF METAL CELL TOWERS**Дегтярев Владимир Георгиевич  
магистрантDegtyarev Vladimir Georgievich  
undergraduate studentКулага Игорь Геннадьевич  
студентKulaga Igor Gennadievich  
studentДегтярев Григорий Владимирович  
д.т.н., профессор, «Заслуженный строитель  
Кубани»  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*Degtyarev Grigoriy Vladimirovich  
Dr.Sci.Tech., professor, Deserved builder of Kuban  
*Kuban state agrarian university,  
Krasnodar, Russia*

В статье проанализированы основные факторы, влияющие на работу металлических решетчатых вышек, и определены критерии оценки выбора наиболее эффективных из них

The article presents the analysis of the major factors influencing work of metal cell towers and the criteria of an assessment of the choice of the most effective ones

Ключевые слова: КОНСТРУИРОВАНИЕ  
ВЫШЕК, ВАРИАНТНЫЕ РАСЧЕТЫ,  
ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ, КРИТЕРИИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ

Keywords: DESIGNING OF TOWERS,  
ALTERNATIVE CALCULATIONS, ASSESSMENT  
PARAMETERS, CRITERIA OF EFFICIENCY

Мобильная связь последнего поколения распространяется в российских регионах очень быстро - все федеральные операторы ведут активный монтаж дополнительного оборудования. В городских условиях базовые станции предпочитают устанавливать на уже существующих конструкциях. Если высоты здания не достаточно, предусматривается установка на данное строение дополнительной конструкции, в виде металлической решетчатой вышки. Как правило, эти вышки своей длиной не превышают 20 м.

Рассмотрим наиболее распространенные виды металлических решетчатых конструкций по своей геометрической форме. Такие конструкции бывают треугольной и квадратной формы в плане, реже встречаются решетчатые конструкции имеющие форму ромба в плане. Для исследования выбраны, получившие наибольшее применение, металлические решетчатые конструкции треугольной формы в плане [1].

Первый вариант конструкции: треугольная в плане металлическая решетчатая конструкция высотой 20 метров со сторонами 1200мм, разделенная условными шарнирами на 4 равные секции, каждая из которых имеет длину 5 метров, раскосы и распорки в каждой секции идут с шагом 1250 мм по высоте конструкции; в уровне первой секции расположены подкосы длиной 7071 мм, расположенные между собой под углом 120 градусов, а по отношению к вышке – под углом 45 градусов (следует стремиться располагать наклонные элементы ферм и решетчатых конструкций под углом 45 градусов, так как в этом случае нагрузка распределяется по конструкции равномернее) и закреплены на высоте 5 метров (см. Рисунок 1).

Второй вариант конструкции: первая секция имеет в плане равносторонний треугольник со сторонами 2400 мм на уровне закрепления металлической конструкции и со сторонами 1200 мм на высоте 5 метров; вторая, третья и четвертая секции аналогичны с секциями вышки

(*Синий* – пояса конструкции,  
*зеленый* – внутренняя обрешетка,  
*красный* – подкосы)

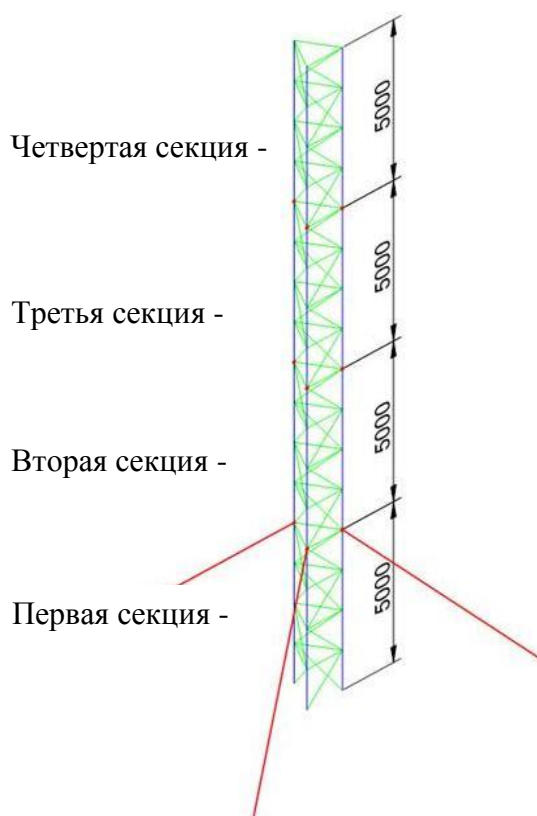
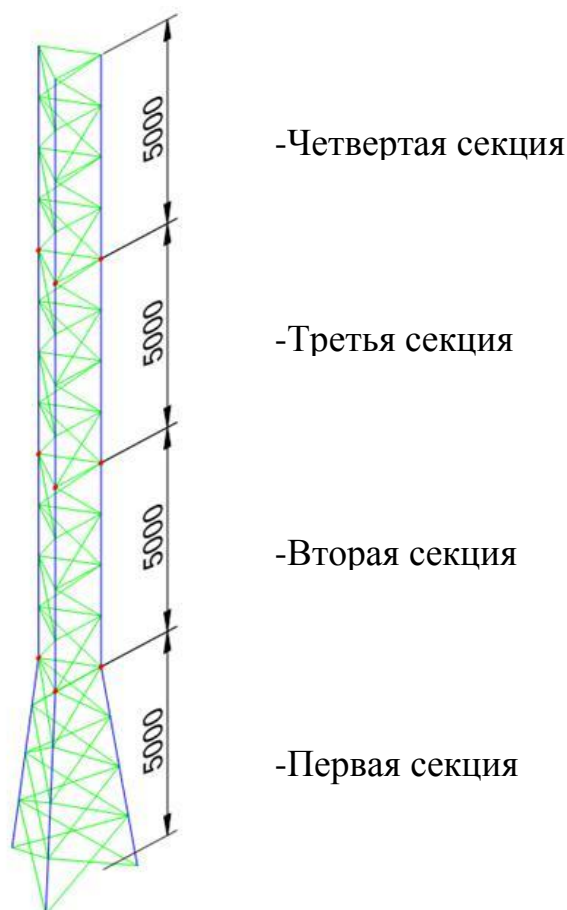


Рисунок 1 – Вышка с подкосами в уровне нижней секции, расположенными под углом 45 градусов (вариант №1)

первого варианта, имеют в плане треугольник со сторонами 1200 мм, с шагом раскосов и подкосов 1250 мм, каждая секция длиной 5 метров; общая длина конструкции 20м (см. Рисунок 2).



*(Синий – пояса конструкции, зеленый – внутренняя обрешетка)*

Рисунок 2 – Вышка с трапециевидной нижней секцией (Вариант №2)

На рисунке 3 представлена диаграмма сравнения конструкций по материалоемкости. Как видно из диаграммы, второй вариант конструкции весит на 90,64 кг больше чем первый вариант, что составляет в процентном соотношении 8.83%.

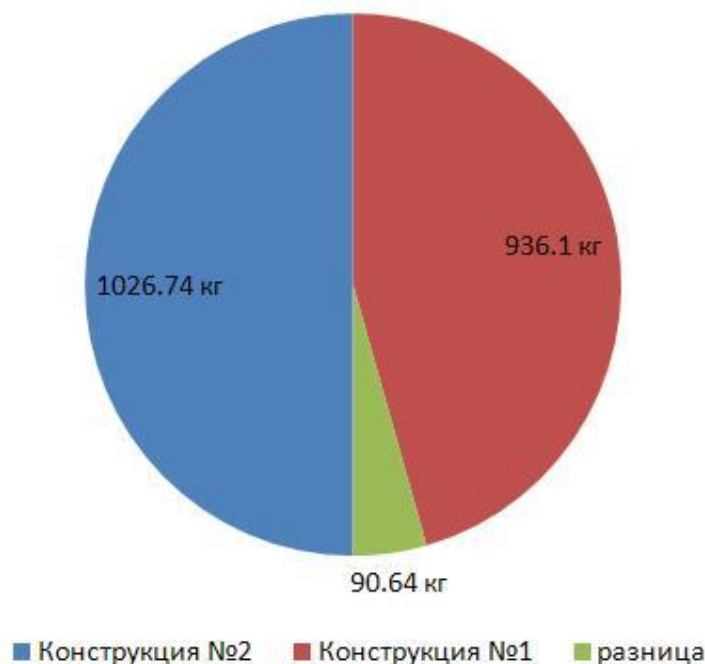


Рисунок 3 – Сравнение конструкций по материалоемкости

Металлическую решетчатую конструкцию на крышу здания монтируют укрупненно, по секциям. Данный способ монтажа прост в исполнении и значительно сокращает сроки возведения металлической конструкции. Секции, 5 метров в длину каждая, крепятся друг с другом последовательно по средствам болтовых соединений, в расчете данные узлы будут считаться условно шарнирными, что позволит исключить моментные и поперечные силы в данных узлах [2,3].

Обе вышки конструировались из материалов одинакового сечения:

- труба 102x4 для поясов;
- труба 60x4 для внутренней обрешетки.

Для определения прочностных характеристик обеих конструкций произведем их расчет в программном комплексе Stark ES [4,5].

Произведем расчет вышки с подкосами, в уровне нижней секции, расположенными под углом 45 градусов.

В таблице 1 представлены комбинации нагрузжений.

*Таблица 1* Комбинации нагрузжений

| Номер | НГ-1 | НГ-2 | НГ-3 | НГ-4 | НГ-5 | НГ-6 | НГ-7 | НГ-8 | НГ-9 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| К-1   | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| К-2   | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| К-3   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    |
| К-4   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    |
| К-5   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    |
| К-6   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    |
| К-7   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| К-8   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |

НГ-1 – нагрузка от собственного веса;

НГ-2 – нагрузка от ветра по первому направлению;

НГ-3 – нагрузка от ветра по второму направлению;

НГ-4-5 – нагрузка сейсмическая по первому направлению;

НГ-6-7 – нагрузка сейсмическая по второму направлению;

НГ-8-9 – нагрузка сейсмическая по наихудшему направлению.

Произведем расчет собственных колебаний для определения пульсационной составляющей ветровой нагрузки, результаты которого приведены в таблице 2.

*Таблица 2* Собственные частоты колебаний

| Комб. | Форма | W      | f     | T    |
|-------|-------|--------|-------|------|
|       |       | рад/с  | Гц    | с    |
| 1     | 1     | 20.19  | 3.21  | 0.31 |
|       | 2     | 20.19  | 3.21  | 0.31 |
|       | 3     | 64.04  | 10.19 | 0.10 |
|       | 4     | 115.86 | 18.44 | 0.05 |
|       | 5     | 115.86 | 18.44 | 0.05 |

*Продолжение таблицы 2*

| Комб. | Форма | W<br>рад/с | f<br>Гц | T<br>с |
|-------|-------|------------|---------|--------|
| 2     | 6     | 142.53     | 22.68   | 0.04   |
|       | 1     | 20.19      | 3.21    | 0.31   |
|       | 2     | 20.19      | 3.21    | 0.31   |
|       | 3     | 64.04      | 10.19   | 0.10   |
|       | 4     | 115.86     | 18.44   | 0.05   |
|       | 5     | 115.86     | 18.44   | 0.05   |
| 3     | 6     | 142.51     | 22.68   | 0.04   |
|       | 1     | 20.18      | 3.21    | 0.31   |
|       | 2     | 20.19      | 3.21    | 0.31   |
|       | 3     | 64.04      | 10.19   | 0.10   |
|       | 4     | 115.86     | 18.44   | 0.05   |
|       | 5     | 115.86     | 18.44   | 0.05   |
|       | 6     | 142.51     | 22.68   | 0.04   |

Выполним расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки согласно СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия», расчет произведем по двум направлениям.

Произведем анализ форм и частот деформируемых колебаний для определения сейсмических нагрузок, результаты расчета представлены в таблице 3.

*Таблица 3* Собственные частоты колебаний

| Комб. | Форма | W<br>рад/с | f<br>Гц | T<br>с |
|-------|-------|------------|---------|--------|
| 1     | 1     | 20.19      | 3.21    | 0.31   |
|       | 2     | 20.19      | 3.21    | 0.31   |
|       | 3     | 64.04      | 10.19   | 0.10   |
|       | 4     | 115.86     | 18.44   | 0.05   |
|       | 5     | 115.86     | 18.44   | 0.05   |
|       | 6     | 142.53     | 22.68   | 0.04   |

Продолжение таблицы 3

| Комб. форма | $\omega$<br>рад/с | $f$<br>Гц | $T$<br>с |
|-------------|-------------------|-----------|----------|
| 7           | 186.12            | 29.62     | 0.03     |
| 8           | 186.12            | 29.62     | 0.03     |
| 9           | 243.69            | 38.78     | 0.03     |
| 10          | 255.51            | 40.67     | 0.02     |
| 11          | 255.51            | 40.67     | 0.02     |
| 12          | 256.09            | 40.76     | 0.02     |

На рисунках 2, 3, 4 отображены первые три формы собственных колебаний конструкции.

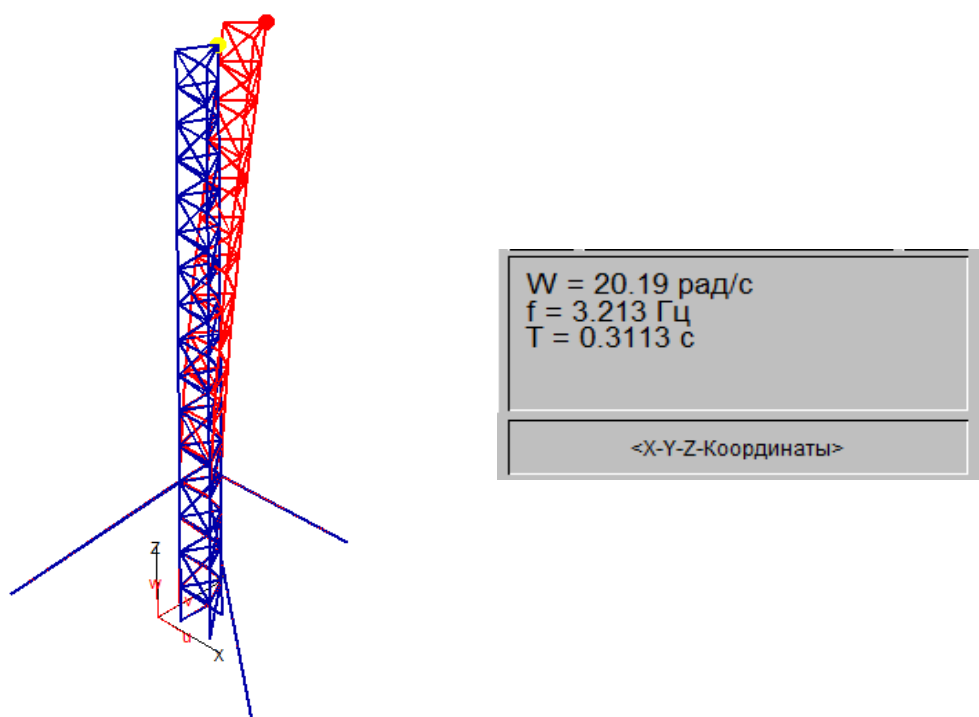


Рисунок 2 - Первая форма собственных колебаний

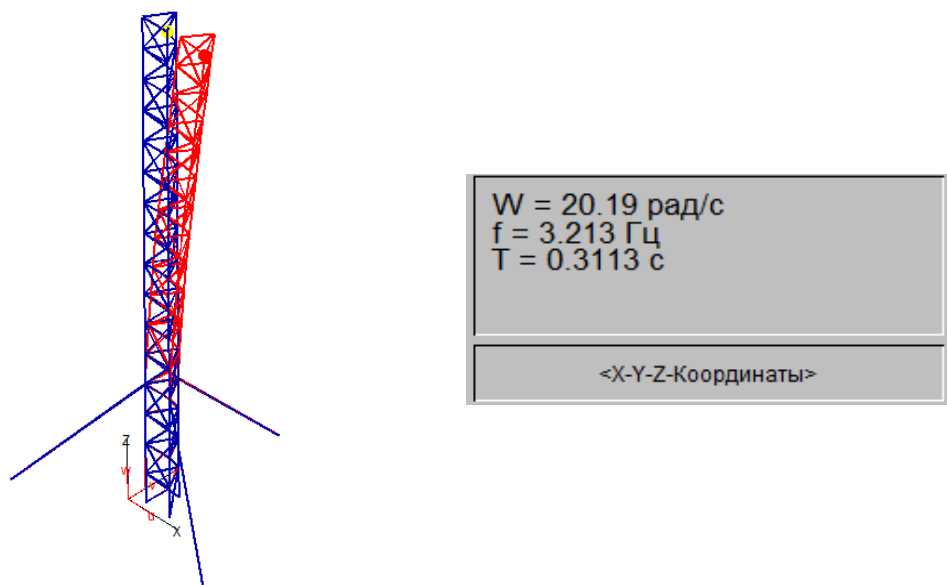


Рисунок 3 - Вторая форма собственных колебаний

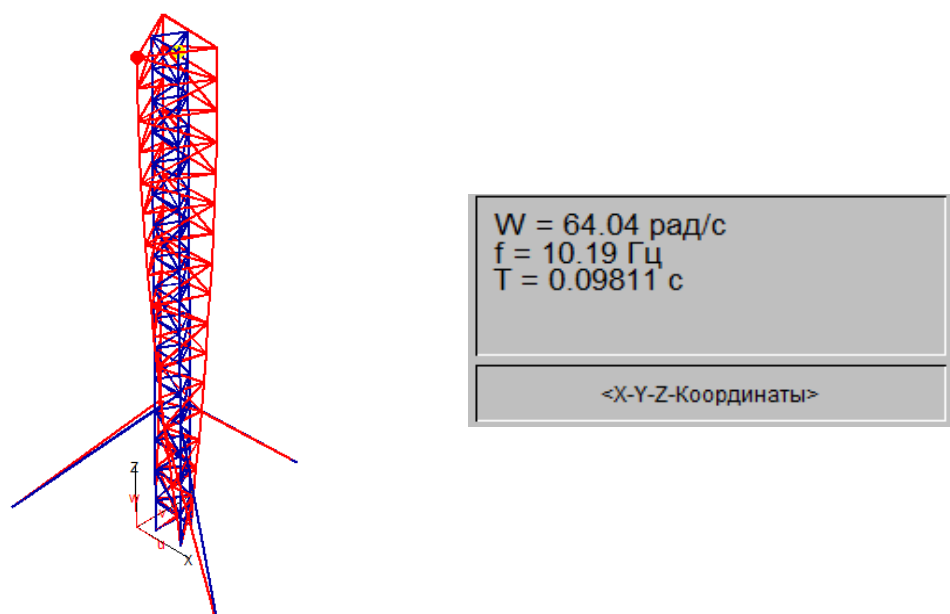


Рисунок 4 - Третья форма собственных колебаний

Произведем расчет по определению наиболее опасного направления сейсмического воздействия.

В таблице 4 представлены характеристики системы.



Таблица 4 Характеристики системы

| Элементы | Узлы | Нагрузки | Собств. формы | Консистентность масс |
|----------|------|----------|---------------|----------------------|
| 147      | 54   | 2        | 12            | да                   |

В таблице 5 представлено опасное направление сейсмического воздействия для поступательного воздействия по результатам решения оптимизационной задачи.

Таблица 5 Опасное направление сейсмического воздействия

| Количество<br>собств. форм | Угол<br>с осью OX | Угол<br>сплоскостью XOY |
|----------------------------|-------------------|-------------------------|
| 12                         | 89.670            | 0.000                   |

Направляющие косинусы (ориентация) форм для поступательного воздействия представлены в таблице 6.

Таблица 6 Направляющие косинусы

| Направление | Форма          | OX           | OY           | OZ           |
|-------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1           | Форма 1        | -0.004       | 0.999        | 0.000        |
| 2           | Форма 2        | 0.999        | 0.004        | 0.000        |
| 3           | Форма 3        | 0.000        | 0.000        | 1.000        |
| 4           | Форма 4        | 0.007        | -0.999       | 0.000        |
| 5           | Форма 5        | -0.999       | -0.007       | 0.000        |
| 6           | Форма 6        | 0.000        | 0.000        | -1.000       |
| 7           | Форма 7        | 0.015        | -0.999       | 0.000        |
| 8           | Форма 8        | 0.999        | 0.015        | 0.000        |
| 9           | Форма 9        | 0.000        | 0.000        | 1.000        |
| 10          | Форма 10       | 0.912        | -0.411       | 0.000        |
| 11          | Форма 11       | -0.411       | -0.912       | 0.000        |
| 12          | Форма 12       | 0.000        | 0.000        | -1.000       |
|             | <b>bad_dir</b> | <b>0.006</b> | <b>1.000</b> | <b>0.000</b> |

Произведем расчет по определению критических коэффициентов по всем комбинациям воздействия и выделим из них наименьший, результат расчета представлен на рисунке 5.

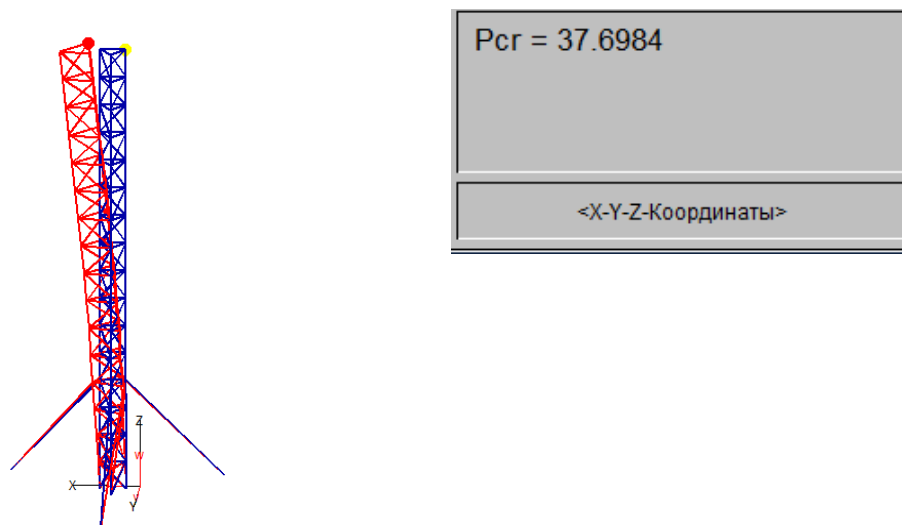


Рисунок 5 - Минимальный критический коэффициент

Произведем статический расчет с целью определения максимальных перемещений по всем комбинациям нагрузжений, представленных в таблице 1. Результаты расчета отображены на рисунках 6-13.

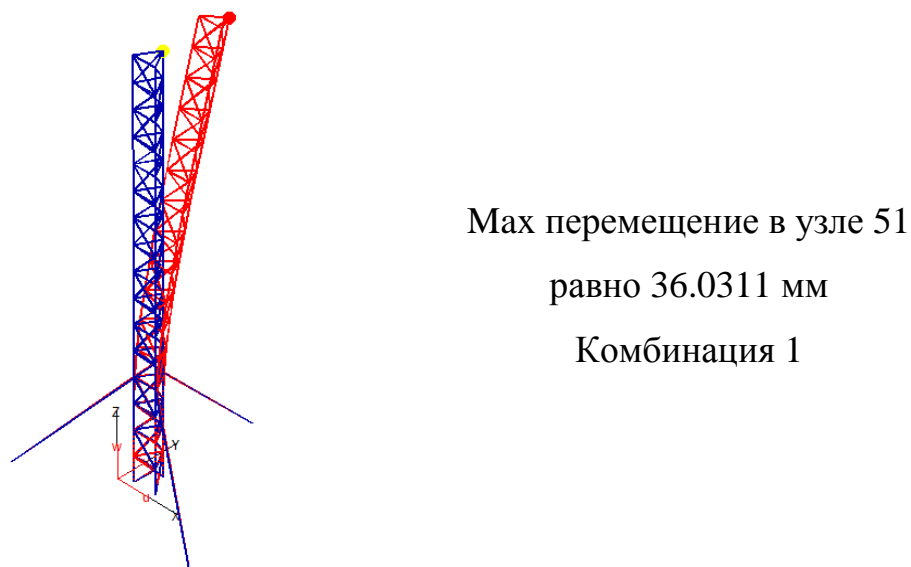
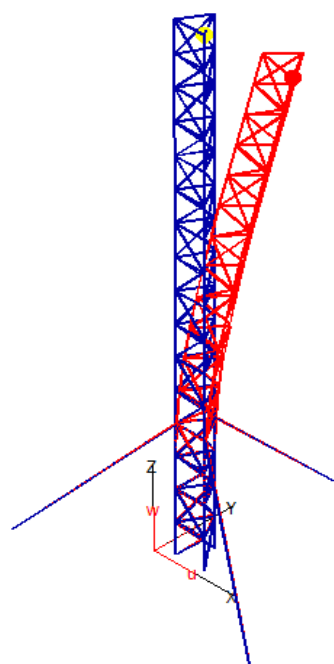
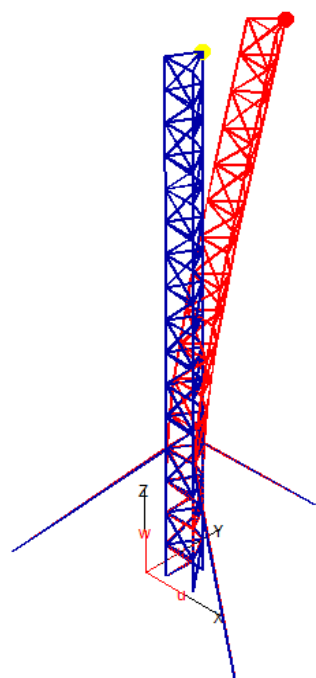


Рисунок 6 - Максимальное перемещение, комбинация 1



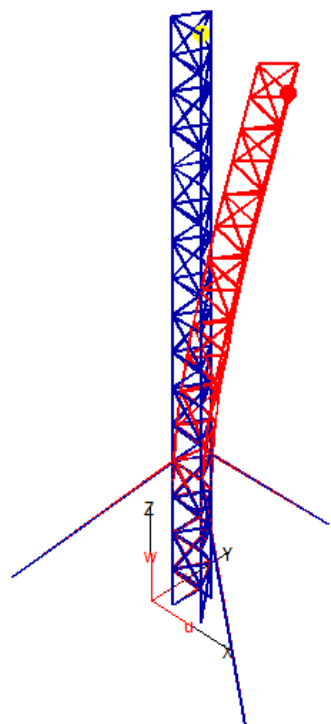
Мах перемещение в узле 50  
равно 32.7124 мм  
Комбинация 2

Рисунок 7 - Максимальное перемещение, комбинация 2



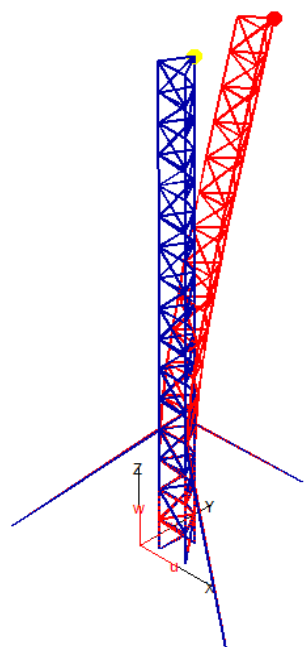
Мах перемещение в узле 51  
равно 32.7305 мм  
Комбинация 3

Рисунок 8 - Максимальное перемещение, комбинация 3



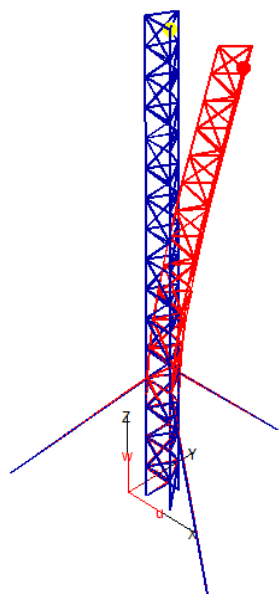
Мах перемещение в узле 50  
равно 36.0244 мм  
Комбинация 4

Рисунок 9 - Максимальное перемещение, комбинация 4



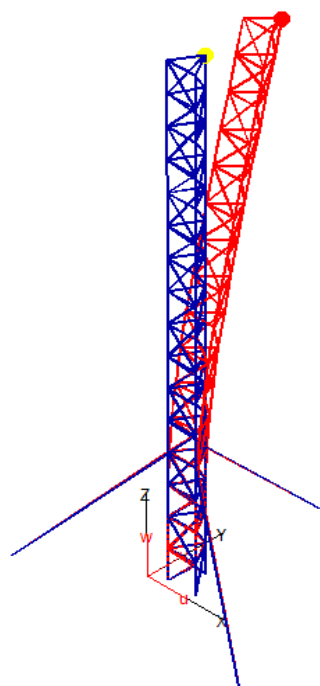
Мах перемещение в узле 51  
равно 36.0309 мм  
Комбинация 5

Рисунок 10 - Максимальное перемещение, комбинация 5



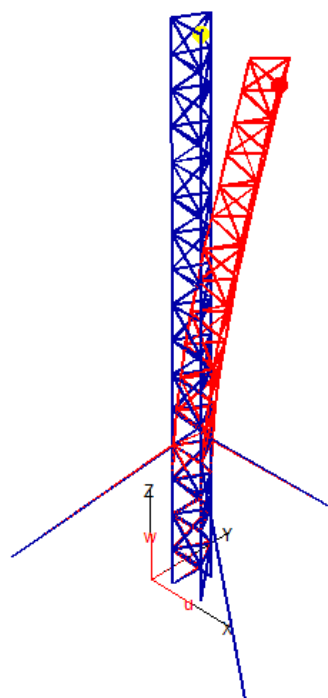
Мах перемещение в узле 50  
равно 32.7124 мм  
Комбинация 6

Рисунок 11 - Максимальное перемещение, комбинация 6



Мах перемещение в узле 50  
равно 32.536 мм  
Комбинация 8

Рисунок 12 - Максимальное перемещение, комбинация 7



Мах перемещение в узле 50  
равно 32.536 мм  
Комбинация 8

Рисунок 13 - Максимальное перемещение, комбинация 8

В результате расчета вышки с подкосами в уровне нижней секции расположенными под углом 45 градусов установлен минимальный критический коэффициент нагрузки (показывающий во сколько раз необходимо увеличить нагрузку, чтобы данная система потеряла устойчивость), равный 37.6984. Наряду с этим, установлено максимальное перемещение численно равное 36.0311мм, которое прослеживается при первой комбинации нагружений.

Произведем расчет вышки с трапецевидной нижней секцией.

В таблице 7 представлены комбинации нагружений.

Таблица 7 Комбинации нагружений

| Номер | НГ-1 | НГ-2 | НГ-3 | НГ-4 | НГ-5 | НГ-6 | НГ-7 | НГ-8 | НГ-9 | НГ-10 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| К-1   | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| К-2   | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| К-3   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| К-4   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0     |

*Продолжение таблицы 7*

| Номер | НГ-1 | НГ-2 | НГ-3 | НГ-4 | НГ-5 | НГ-6 | НГ-7 | НГ-8 | НГ-9 | НГ-10 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| К-5   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1     |
| К-6   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1     |
| К-7   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| К-8   | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |

НГ-1 – нагрузка от собственного веса;

НГ-2 – нагрузка от ветра по первому направлению;

НГ-3 – нагрузка от ветра по второму направлению;

НГ-4-5 – нагрузка сейсмическая по первому направлению;

НГ-6-7 – нагрузка сейсмическая по второму направлению;

НГ-8-9-10 – нагрузка сейсмическая по наихудшему направлению.

Произведем расчет собственных колебаний для определения пульсационной составляющей ветровой нагрузки, результаты которого приведены в таблице 8.

*Таблица 8* Собственные частоты колебаний

| Комб. | Форма | W      | f     | T    |
|-------|-------|--------|-------|------|
|       |       | рад/с  | Гц    | с    |
| 1     | 1     | 17.61  | 2.80  | 0.36 |
|       | 2     | 17.61  | 2.80  | 0.36 |
|       | 3     | 80.53  | 12.82 | 0.08 |
|       | 4     | 97.07  | 15.45 | 0.06 |
|       | 5     | 97.07  | 15.45 | 0.06 |
|       | 6     | 229.02 | 36.45 | 0.03 |
| 2     | 1     | 17.61  | 2.80  | 0.36 |
|       | 2     | 17.61  | 2.80  | 0.36 |
|       | 3     | 80.53  | 12.82 | 0.08 |
|       | 4     | 97.07  | 15.45 | 0.06 |
|       | 5     | 97.07  | 15.45 | 0.06 |
|       | 6     | 229.01 | 36.45 | 0.03 |

*Продолжение таблицы 8*

| Комб. | Форма | Собственные частоты |         |        |
|-------|-------|---------------------|---------|--------|
|       |       | W<br>рад/с          | f<br>Гц | T<br>с |
| 3     | 1     | 17.61               | 2.80    | 0.36   |
|       | 2     | 17.61               | 2.80    | 0.36   |
|       | 3     | 80.53               | 12.82   | 0.08   |
|       | 4     | 97.07               | 15.45   | 0.06   |
|       | 5     | 97.07               | 15.45   | 0.06   |
|       | 6     | 229.01              | 36.45   | 0.03   |

Выполним расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки согласно СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия», расчет произведем по двум направлениям.

Произведем анализ форм и частот деформируемых колебаний для определения сейсмических нагрузок, результаты расчета представлены в таблице 9.

*Таблица 9* Собственные частоты колебаний

| Комб. | Форма | Собственные частоты |         |        |
|-------|-------|---------------------|---------|--------|
|       |       | W<br>рад/с          | f<br>Гц | T<br>с |
| 1     | 1     | 17.61               | 2.80    | 0.36   |
|       | 2     | 17.61               | 2.80    | 0.36   |
|       | 3     | 80.53               | 12.82   | 0.08   |
|       | 4     | 97.07               | 15.45   | 0.06   |
|       | 5     | 97.07               | 15.45   | 0.06   |
|       | 6     | 229.02              | 36.45   | 0.03   |
|       | 7     | 229.02              | 36.45   | 0.03   |
|       | 8     | 237.43              | 37.79   | 0.03   |
|       | 9     | 260.72              | 41.50   | 0.02   |
|       | 10    | 294.25              | 46.83   | 0.02   |
|       | 11    | 294.25              | 46.83   | 0.02   |
|       | 12    | 342.64              | 54.53   | 0.02   |



На рисунках 14, 15, 16 отображены первые три формы собственных колебаний конструкции.

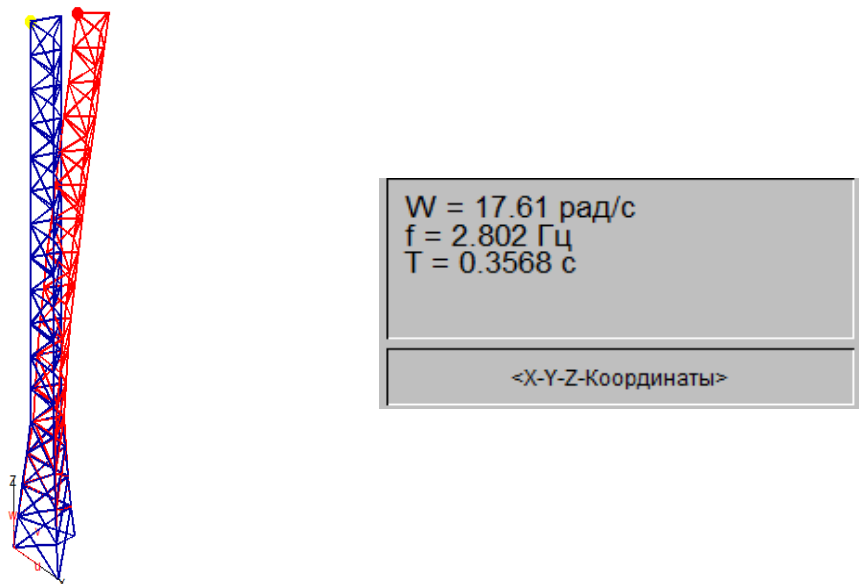


Рисунок 14 - Первая форма собственных колебаний

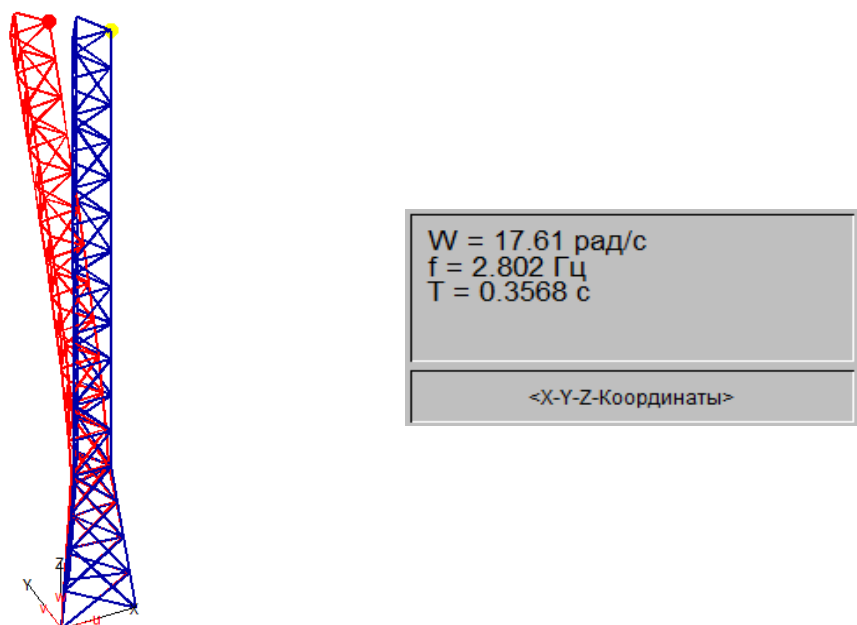


Рисунок 15 - Вторая форма собственных колебаний

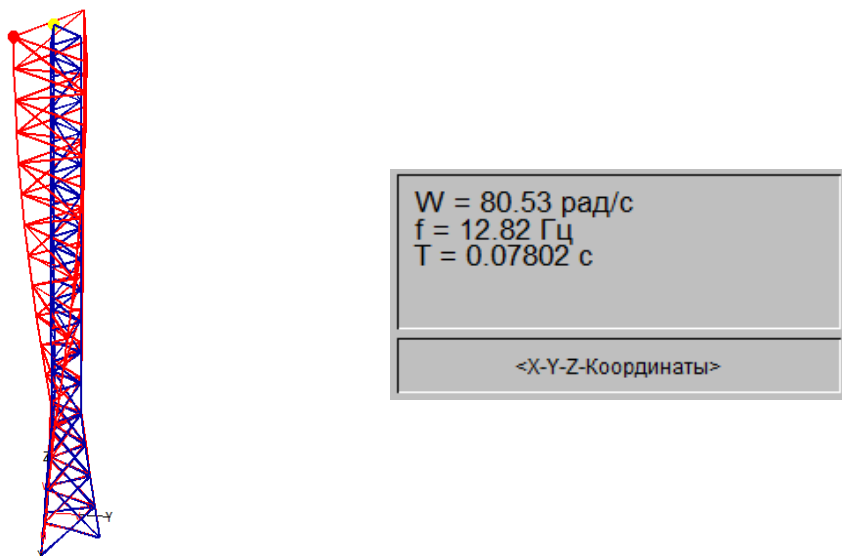


Рисунок 16 - Третья форма собственных колебаний

Произведем расчет по определению наиболее опасного направления сейсмического воздействия.

В таблице 10 представлены характеристики системы.

Таблица 10 Характеристики системы

| Элементы | Узлы | Нагрузки | Собств. формы | Консистентность масс |
|----------|------|----------|---------------|----------------------|
| 171      | 63   | 2        | 12            | да                   |

В таблице 11 представлено опасное направление сейсмического воздействия для поступательного воздействия по результатам решения оптимизационной задачи.

Таблица 11 Опасное направление сейсмического воздействия

| Количество<br>собств. форм | Угол<br>с осью OX | Угол<br>с плоскостью XOY |
|----------------------------|-------------------|--------------------------|
| 12                         | 5.177             | 0.000                    |

Направляющие косинусы (ориентация) форм для поступательного воздействия представлены в таблице 12.

Таблица 12 Направляющие косинусы.

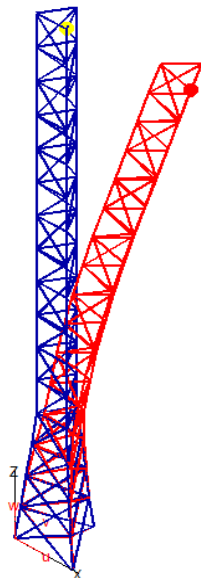
| Направление | Форма          | OX           | OY           | OZ           |
|-------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1           | Форма 1        | 0.568        | 0.823        | 0.000        |
| 2           | Форма 2        | -0.823       | 0.568        | 0.000        |
| 3           | Форма 3        | 0.000        | 0.000        | -1.000       |
| 4           | Форма 4        | -0.435       | 0.900        | 0.000        |
| 5           | Форма 5        | 0.900        | 0.435        | 0.000        |
| 6           | Форма 6        | 0.161        | 0.987        | 0.000        |
| 7           | Форма 7        | 0.987        | -0.161       | 0.000        |
| 8           | Форма 8        | 0.000        | 0.000        | -1.000       |
| 9           | Форма 9        | 0.000        | 0.000        | 1.000        |
| 10          | Форма 10       | 0.850        | 0.527        | 0.000        |
| 11          | Форма 11       | 0.527        | -0.850       | 0.000        |
| 12          | Форма 12       | -0.996       | -0.090       | 0.000        |
|             | <b>bad_dir</b> | <b>0.996</b> | <b>0.090</b> | <b>0.000</b> |

Произведем расчет по определению критических коэффициентов по всем формам воздействия и выделим из них наименьший, результат расчета представлен на рисунке 17.



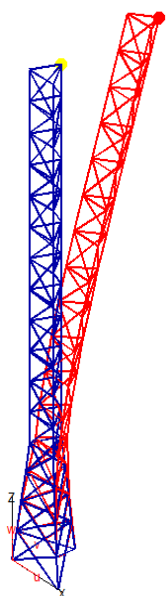
Рисунок 17 - Минимальный критический коэффициент

Произведем статический расчет с целью определения максимальных перемещений по всем комбинациям нагрузений, представленных в таблице 7. Результаты расчета отображены на рисунках 18-25.



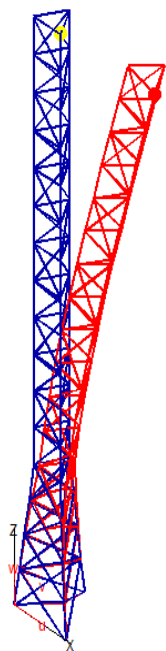
Мах перемещение в узле 30  
равно 46.2378 мм  
Комбинация 1

Рисунок 18 - Максимальное перемещение, комбинация 1



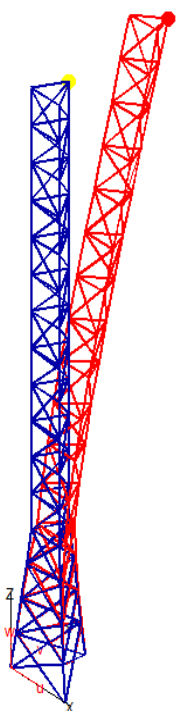
Мах перемещение в узле 13  
равно 47.1442 мм  
Комбинация 2

Рисунок 19 - Максимальное перемещение, комбинация 2



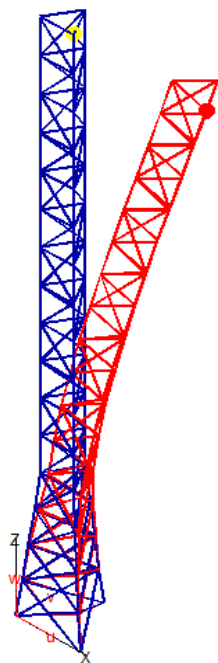
Мах перемещение в узле 30  
равно 39.7421 мм  
Комбинация 3

Рисунок 20 - Максимальное перемещение, комбинация 3



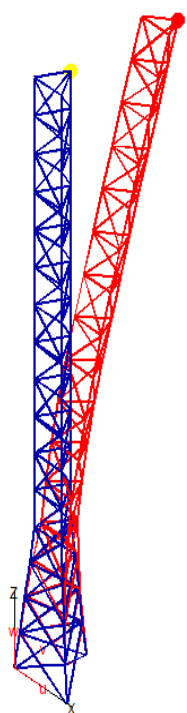
Мах перемещение в узле 13  
равно 46.2451 мм  
Комбинация 4

Рисунок 21 - Максимальное перемещение, комбинация 4



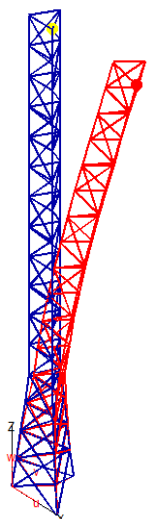
Мах перемещение в узле30  
равно 47.0994 мм  
Комбинация 5

Рисунок 22 - Максимальное перемещение, комбинация 5



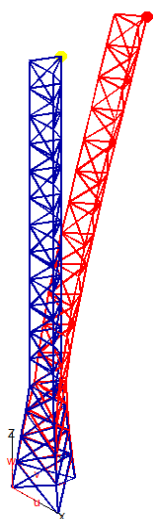
Мах перемещение в узле 13  
равно 44.0361 мм  
Комбинация 6

Рисунок 23 - Максимальное перемещение, комбинация 6



Мах перемещение в узле 30  
равно 43.3561 мм  
Комбинация 7

Рисунок 24 - Максимальное перемещение, комбинация 7



Мах перемещение в узле 13  
равно 43.359 мм  
Комбинация 8

Рисунок 25 - Максимальное перемещение, комбинация 8

В результате расчета вышки с трапециевидной нижней секцией установлен минимальный критический коэффициент нагрузки (показывающий во сколько раз необходимо увеличить нагрузку, чтобы данная система потеряла устойчивость), равный 50.5137. Наряду с этим, установлено максимальное перемещение численно равное 47.1442 мм, которое прослеживается при второй комбинации нагружений.

Опираясь на выше изложенные расчеты, установлено: минимальный критический коэффициент при расчете вышки с трапециевидной нижней секцией превосходит минимальный критический коэффициент при расчете вышки с подкосами и их разность численно равна 12.8153, из этого следует, что коэффициент критической нагрузки при расчете второго варианта вышки превосходит коэффициент критической нагрузки при расчете первого варианта конструкции на 25.37 процента. Для более наглядного представления разности минимальных коэффициентов критической нагрузки представим диаграмму их численной зависимости на рисунке 26.

Диаграмма численной зависимости коэффициентов критической нагрузки

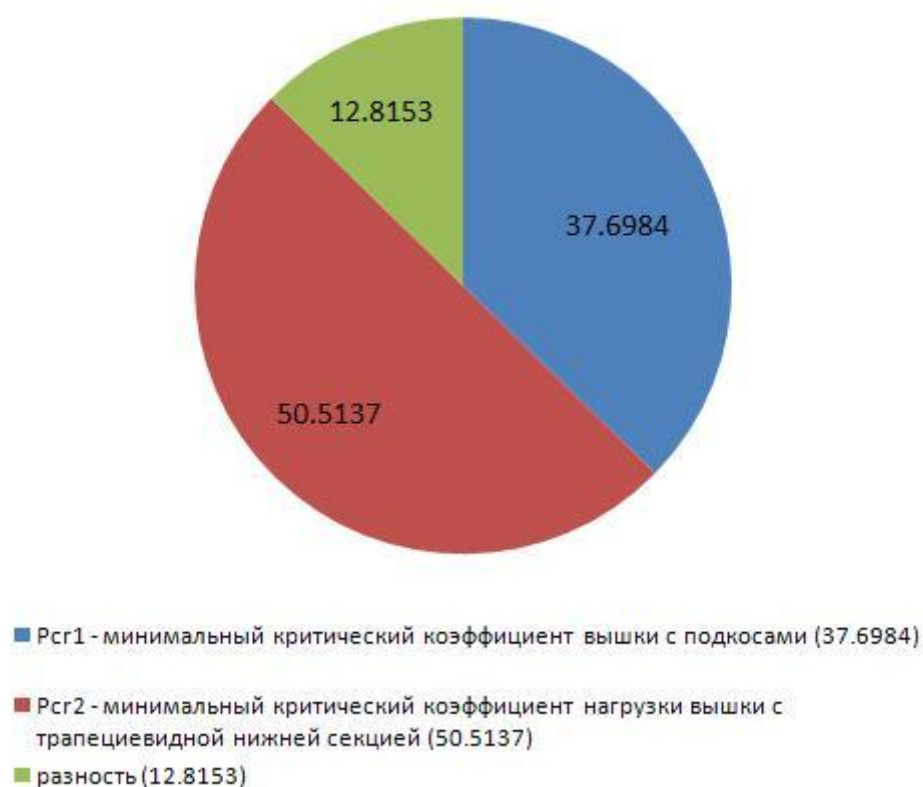


Рисунок 26 - Диаграмма численной зависимости



Так же было установлено, что максимальные перемещения при расчете первого варианта вышки составляют 36.0311 мм, а при расчете второго варианта вышки – 47.1442 мм, из этого следует, что максимальные перемещения при расчете первого варианта вышки на 23.57 процента меньше по отношению к перемещениям при расчете второго варианта вышки. Представим диаграмму численной зависимости максимальных перемещений вышки с трапецевидной нижней секцией и вышки с подкосами на рисунке 27.



Рисунок 27 - Диаграмма численной зависимости максимальных перемещений

Проанализировав данные результаты, делаем выводы:

- с точки зрения материалоемкости наиболее выгодным является конструктивное решение вышки с подкосами, которое эффективнее на 8.83 процента;

- сравнивая конструкции по коэффициентам критических нагрузок, наиболее устойчивой является вышка с трапециевидной нижней секцией на 25.37 процента;

- сравнивая конструкции по максимальным перемещениям, менее подверженной деформациям является конструктивное решение первого варианта вышки, т.к. максимальное значение ее перемещения на 23.57 процента меньше чем у конструктивного решения второго варианта вышки.

Выбор того или иного конструктивного решения остается за проектировщиком, однако, в зависимости от поставленной цели необходимо учитывать полученные обобщающие рекомендации.

#### Список литературы:

- 1 СНиП II-23.81\*. Стальные конструкции. – М.: ЦПП, 2008. – 90 с.
- 2 СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. – М.: ГУП ЦПП, 2003г. - 44 с.
- 3 СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах. – М.: ЦПП, 2002г. – 44 с.
- 4 Программный комплекс для расчета строительных конструкций на прочность устойчивость и колебания STARK ES. Версия 4.2 (2006). Руководство пользователя. – М.: ЕВРОСОФТ, 2006. – 383 с.
- 5 Рекомендации по определению расчетной сейсмической нагрузки для сооружений с учетом пространственного характера воздействия и работы конструкций. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1989. – 142 с.

#### References

- 1 SNIIP II-23.81\*. Stal'nye konstrukcii. – М.: CPP, 2008. – 90 s.
- 2 SNIIP 2.01.07-85\*. Nagruzki i vozdejstvija. – М.: GUP CPP, 2003g. - 44 s.
- 3 SNIIP II-7-81\*. Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah. – М.: CPP, 2002g. – 44 s.
- 4 Programmnyj kompleks dlja rascheta stroitel'nyh konstrukcij na prochnost' ustojchivost' i kolebanija STARK ES. Versija 4.2 (2006). Rukovodstvo pol'zovatelja. – М.: EVROSOFT, 2006. – 383 s.
- 5 Rekomendacii po opredeleniju raschetnoj sejsmicheskoj nagruzki dlja sooruzhenij s uchetom prostranstvennogo haraktera vozdejstvija i raboty konstrukcij. – М.: CNIISK im. V.A. Kucherenko, 1989. – 142 s.