

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Сравнение результатов сейсмического расчёта по СНиП II-7-81* 1995 года и по СП 14.13330.2014

В.А. Тарасов¹, М.Ю. Барановский², Ю.Е. Павлушкина³, Л.С. Мелещенко⁴, Р.М. Шакиров⁵,
Т.Л. Имескенов⁶, Э.Г. Загидуллина⁷

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 69.04

Научная статья

История

Подана в редакцию 25 декабря 2014
Принята 29 декабря 2014

Ключевые слова

расчёт ветроэнергетических установок,
динамический расчёт,
расчёт на сейсмические воздействия,
нормативные документы,
динамика сооружений

АННОТАЦИЯ

Расчёт на сейсмические воздействия является одним из основных динамических расчётов, который следует проводить при проектировании ответственных зданий и сооружений, а так же при строительстве в сейсмических районах. Проблема обеспечения сейсмостойкости, а как следствие и надёжности конструкций является одной из основных проблем для ряда регионов России и ближнего зарубежья. В данной статье приводится подробный расчёт ветроэнергетической установки (ВЭУ) типа ТГ-750М на сейсмическое воздействие по нормативной методике по предшествующему и ныне действующему нормативным документам для разных типов грунтов. Полученные результаты свидетельствуют о повышении расчётных инерционных нагрузок, а как следствие и о повышении коэффициентов запаса при проектировании строительных конструкций на сейсмостойкость по новому нормативному документу (СП 14.13330.2014).

Содержание

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Введение | 53 |
| 2. | Обзор иностранной и отечественной литературы | 53 |
| 3. | Постановка задачи | 54 |
| 4. | Описание исследования | 57 |
| 5. | Выводы | 68 |

¹ Контактный автор:
+7 (952) 2010537, vтарасов3766@yandex.ru (Тарасов Владимир Александрович, студент)
² +7 (921) 4077354, bm_y@mail.ru (Барановский Михаил Юрьевич, инженер, студент)
³ +7 (967) 510 5967, pearlblack@mail.ru (Павлушкина Юлия Евгеньевна, студент)
⁴ +7 (911) 093 2954, lekis94@me.com (Мелещенко Леонид Сергеевич, студент)
⁵ +7 (981) 680 9533, shakirov_ruslan@inbox.ru (Шакиров Руслан Маратович, студент)
⁶ +7 (911) 793 5150, trueaman1994@mail.ru (Имескенов Тумэн Лопсонович, студент)
⁷ +7 (921) 787 5010, elvrkaspb@mail.ru (Загидуллина Эльвира Гадилевна, студент)

1. Введение

Сейсмическое воздействие – специальный термин, который в практике расчётов конструкций на сейсмостойкость обозначает колебательное движение грунта при землетрясении, создающее кинематическое возбуждение колебаний строительных конструкций[1].

Расчёт на сейсмостойкость зданий и сооружений, особенно в сейсмически – активных районах, является одним из основных расчётов, проводимых для обеспечения требуемой надёжности конструкции[2].

В Российских нормах интенсивность землетрясений определяется по шкале **MSK-64**. По этой 12-ти бальной шкале можно определить интенсивность конкретного землетрясения. Расчётными, по нормам считаются землетрясения интенсивностью в 7, 8 и 9 баллов. Однако в связи с тем, что непредсказуемо место и сила землетрясений в будущем, исходные данные для расчёта на сейсмические воздействия задаются на вероятностной основе[1].

Существует несколько методов расчёта конструкций на сейсмостойкость:

- статическая теория сейсмостойкости;
- динамический анализ;
- анализ с использованием интегральных преобразований (операторный метод);
- линейно-спектральная теория сейсмостойкости (ЛСТ).

В отечественных нормах используется линейно-спектральная теория, по которой и будет произведён расчёт. Данный метод расчёта основан на разложении системы дифференциальных уравнений движений по собственным формам. Согласно ему, анализ сейсмостойкости конструкции включает в себя:

- составление динамической расчётной схемы;
- модальный анализ выбранной расчётной схемы;
- определение модальных (т.е. соответствующих каждой из собственных форм) инерционных сейсмических нагрузок;
- приложение модальных инерционных нагрузок к расчётной схеме статически и определение модальных откликов конструкции (определение перемещений, внутренних усилий);
- вычисление суммарного (расчётного) сейсмического отклика, суммируя соответствующие модальные отклики по специальным формулам;
- оценка сейсмостойкости конструкции по суммарному отклику [1].

В данной статье для расчёта была выбрана ветровая электрическая турбогенераторная установка типа ТГ-750М.

2. Обзор иностранной и отечественной литературы

Расчёту конструкций на сейсмостойкость посвящены сотни книг и научных трудов. Во все времена люди старались предотвратить разрушения сооружений при землетрясениях, однако к достаточно обоснованному решению данной задачи человечество подошло лишь в 19-20 веках.

Среди российских и советских учёных и инженеров можно выделить Айзенберга Я.Н., Гвоздева А.А., Бирбраера А.П., Шульмана С.Г., Рабиновича И.М., Барштейна М.Ф., Коренева Б.Г., Тимошенко С.П.

Во многих изданиях основной для расчёта на сейсмические воздействия принимается линейно-спектральная теория, наиболее часто применяемая. Однако развиваются и другие методы расчётов, в частности непосредственный динамический анализ сооружений[1-10].

Расчёт в данном исследовании производился по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) [11] и по СП14.13330.2014 [12]. Принципиальные различия в определении коэффициента динамичности произошли после обновления СНиП II-7-81* в 2000 году. И сохранились в последующем СП 14.13330.2014.

Исходная информация по ветроэнергетической установке ТГ-750М, необходимая для расчёта, была заимствована с сайта производителя [13].

3. Постановка задачи

Целью исследования является анализ и сравнение результатов расчёта по старому :СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) [11] и новому СП14.13330.2014 [12].

Исследование можно разделить на 3 этапа:

1. Расчёт ветроэнергетической установки типа ТГ-750М по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.);
2. Расчёт ветроэнергетической установки типа ТГ-750М по СП 14.13330.2014;
3. Сравнение и анализ полученных результатов

На рисунке 1 представлена ветровая электрическая турбогенераторная установка типа ТГ-750М.



Рисунок 1. Ветровая электрическая турбогенераторная установка ТГ-750М

Технические характеристики ТГ-750М нужные для расчёта, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики ТГ-750М

| Наименование параметра (характеристики) | Значение |
|--|----------------------|
| Тип | горизонтально-осевая |
| Высота опоры, м | 48,00 |
| Диаметр нижней части опоры, м | 4,00 |
| Диаметр верхней части опоры, м | 1,72 |
| Средний внешний диаметр опоры, м | 2,86 |
| Средний внутренний диаметр опоры, м | 2,82 |
| Средняя толщина стенки опоры, м | 0,02 |
| Масса оборудования, т | 53,00 |

Опора (мачта) выполнена из стальной трубы, круглого поперечного сечения, которое является переменным и уменьшается с высотой. Однако для упрощения расчёта сделаем допущение, о том, что сечение опоры постоянной по всей длине, с толщиной стенки 20 мм. Чертёж поперечного сечения опоры представлен на рисунке 2. Материал мачты принят сталь обыкновенная с характеристиками, указанными в таблице 2.

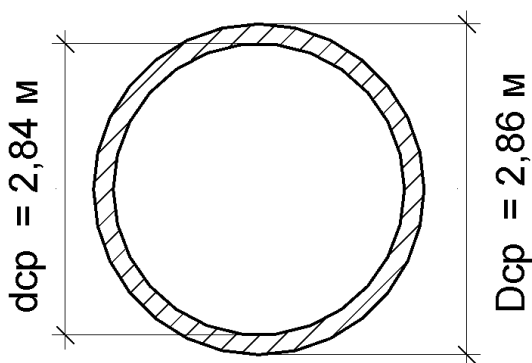


Рисунок 2. Поперечное сечение опоры ВЭУ ТГ-750М

Таблица 2. Характеристики стали обыкновенной

| Характеристика | Значение | Единицы измерения |
|----------------------|----------------------|-------------------|
| Объёмный вес | 77,0085 | кН/м ³ |
| Модуль упругости | 2,06·10 ⁸ | кН/м ² |
| Коэффициент Пуассона | 0,3 | - |

Для упрощения рассчитаем ВЭУ только лишь на горизонтальное сейсмическое воздействие, действующее по оси «Х» глобальной системы координат. Тогда расчётную схему можно представить в виде плоской рамы, в плоскости XoZ .

Для более точного расчёта выберем динамическую расчётную схему с двумя (не считая массы в основании) сосредоточенными массами, а значит и двумя динамическими степенями свободы. Очевидно, что при расчёте по ЛСТ будет учтён вклад первых двух форм колебаний. Динамическая расчётная схема ВЭУ представлена на рисунке 3.

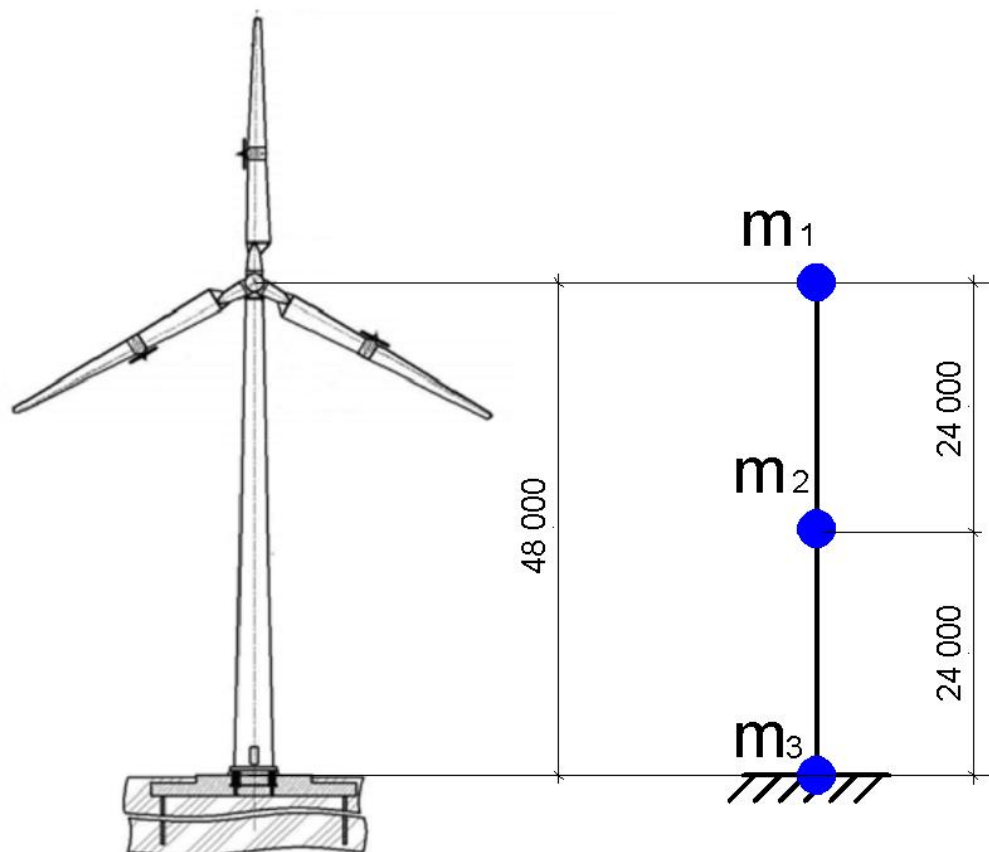


Рисунок 3. Динамическая расчётная схема ВЭУ ТГ-750М

К сосредоточенной массе m_1 относится масса оборудования и масса 12 метров опоры. Ко второй сосредоточенной массе m_2 относится масса 24 метров опоры. К массе m_3 относится масса оставшихся 12 метров опоры. Третья сосредоточенная масса не имеет динамических степеней свободы, а значит в расчёте по определению инерционных сил не участвует. Численные значения масс и весов сосредоточенных масс m_1 и m_2 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Массы и веса сосредоточенных масс

| Наименование массы | Значение массы, т | Значение весов масс, кН |
|--------------------|-------------------|-------------------------|
| m_1 | 69,81 | 684,8 |
| m_2 | 33,62 | 329,8 |

4. Описание исследования

Первым этапом расчёта на динамические воздействия является модальный анализ конструкции.

Модальный анализ – определение собственных динамических характеристик динамической расчётной схемы. Он проводится по уравнению 1.

$$([D] \cdot [M] - \lambda \cdot [E]) \cdot [u] = [0] \quad (1)$$

Вначале по формуле 2 найдём собственные частоты и периоды конструкции.

$$([D] \cdot [M] - \lambda \cdot [E]) = [0] \quad (2)$$

Здесь [M] – матрица масс, равная:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 69,81 & 0 \\ 0 & 33,62 \end{bmatrix};$$

[D] – матрица податливости, равная:

$$[D] = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \end{bmatrix}$$

Определим коэффициенты матрицы податливости. На рисунке 4 представлены эпюры первого и второго вспомогательного состояния.

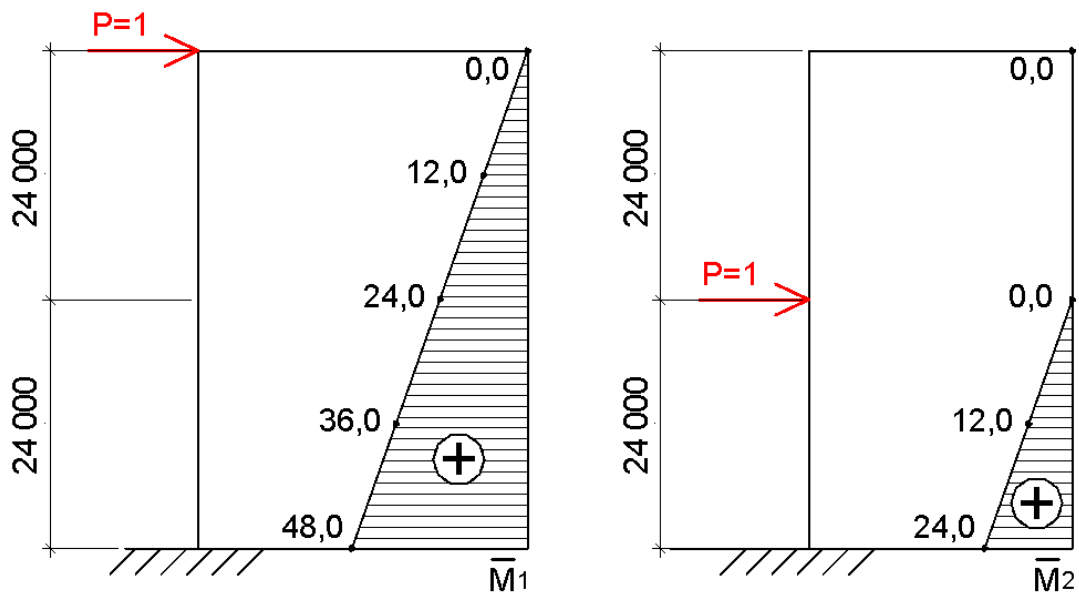


Рисунок 4. Первое и второе вспомогательные состояния

Коэффициенты матрицы податливости вычислим по формуле Симпсона (формула 3).

$$\delta_{ij} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{EI_i} \cdot [\bar{M}_i^{нач} \cdot \bar{M}_j^{нач} + 4 \cdot \bar{M}_i^{сеп} \cdot \bar{M}_j^{сеп} + \bar{M}_i^{кон} \cdot \bar{M}_j^{кон}] \quad (3)$$

$$\delta_{11} = \frac{48}{6 \cdot EI} \cdot [48^2 + 4 \cdot 24^2 + 0] = \frac{36864}{EI}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{24}{6 \cdot EI} \cdot [48 \cdot 24 + 4 \cdot 36 \cdot 12 + 0] = \frac{11520}{EI}$$

$$\delta_{22} = \frac{24}{6 \cdot EI} \cdot [24^2 + 4 \cdot 12^2 + 0] = \frac{4608}{EI}$$

Матрица податливости примет следующий вид:

$$[D] = \frac{1}{EI} \cdot \begin{bmatrix} 36864 & 11520 \\ 11520 & 4608 \end{bmatrix}$$

Теперь приступим к определению собственных чисел, по которым далее будут вычислены собственные частоты и периоды.

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} - \lambda \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{EI} \begin{bmatrix} 36864 & 11520 \\ 11520 & 4608 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 69,81 & 0 \\ 0 & 33,62 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Вычислим изгибную жёсткость мачты по формуле 4.

$$I = \frac{\pi \cdot R^4 - \pi \cdot r^4}{4} \quad (4)$$

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} = \frac{3,14 \cdot (1,43^4 - 1,41^4)}{4} = 0,1798234 \text{ м}^4$$

$$E \cdot I = 2,06 \cdot 10^8 \cdot 0,1798234 = 37,04 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$\begin{bmatrix} 0,069478 - \lambda & 0,010456 \\ 0,021712 & 0,0041825 - \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$(0,069478 - \lambda) \cdot (0,0041825 - \lambda) - 0,010456 \cdot 0,021712 = 0$$

$$\lambda^2 - 0,072615 \cdot \lambda + 0,00006357 = 0$$

$$\lambda_1 = 0,07172874442$$

$$\lambda_2 = 0,00088625558$$

Собственные числа связаны с собственными частотами по следующему соотношению (формула 5).

$$\omega_i = \sqrt{\frac{1}{\lambda_i}} \quad (5)$$

Формула 6 отражает связь собственной циклической частоты с периодом.

$$T_i = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_i} \quad (6)$$

$$\lambda_1 = 0,0717287444$$

$$\lambda_2 = 0,0008862556$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{\lambda_1}} = \sqrt{\frac{1}{0,0717287444}} = 3,73 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{1}{\lambda_2}} = \sqrt{\frac{1}{0,0008862556}} = 33,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$T_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 3,14}{3,73} = 1,6836 \text{ с} \quad T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_2} = \frac{2 \cdot 3,14}{33,6} = 0,1869 \text{ с}$$

Теперь для определения форм колебаний снова вернёмся к уравнению (формула 1), подставим туда полученные значения собственных чисел и посчитаем перемещения в каждой из форм колебаний в относительных единицах (большее перемещение принято равным единице, а второе выражено в его долях).

Первая форма свободных колебаний

$$([D] \cdot [M] - \lambda \cdot [E]) \cdot [u] = [0]$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} - \lambda_1 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\} \cdot \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,069478 - 0,071729 & 0,010456 \\ 0,021712 & 0,0041825 - 0,071729 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} -0,002251 \cdot u_{11} + 0,010456 \cdot u_{21} = 0 \\ 0,021712 \cdot u_{11} - 0,0675465 \cdot u_{21} = 0 \end{cases}$$

$$u_{11} = 1000 u_{21} = 316,5$$

$$[u_1] = \begin{bmatrix} 1000 \\ 316,5 \end{bmatrix}$$

Первая форма свободных колебаний представлена на рисунке 5.

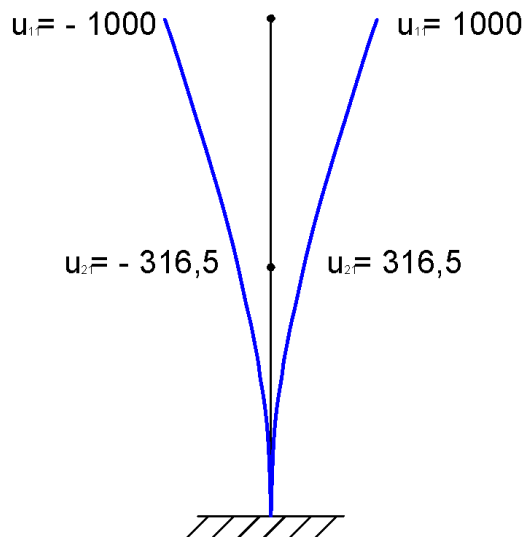


Рисунок 5. Первая форма свободных колебаний

Вторая форма собственных колебаний

$$([D] \cdot [M] - \lambda \cdot [E]) \cdot [u] = [0]$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} - \lambda_2 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\} \cdot \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,069478 - 0,000886 & 0,010456 \\ 0,021712 & 0,0041825 - 0,000886 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{12} \\ u_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} 0,068592 \cdot u_{12} + 0,010456 \cdot u_{22} = 0 \\ 0,021712 \cdot u_{12} - 0,0032965 \cdot u_{22} = 0 \end{cases}$$

$$u_{12} = -152,4 u_{22} = 1000$$

$$[u_2] = \begin{bmatrix} -152,4 \\ 1000 \end{bmatrix}$$

Первая форма свободных колебаний представлена на рисунке 6.

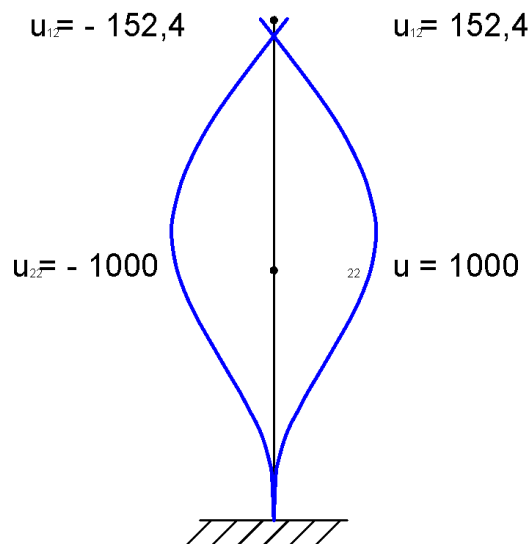


Рисунок 6. Вторая форма свободных колебаний

Вычисление сил инерции, действующих на ВЭУ

Рассчитаем теперь силы инерции, действующие на расчётную схему ВЭУ по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) [11] и по СП14.13330.2014 [12]. При этом решим поставленную задачу для I, II и III категории грунтов по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) и для I-II и III-IV категорий грунтов по СП14.13330.2014. Примем во всех случаях сейсмичность района в 8 баллов. Для наглядности сравнение проведём в таблице 4.

Таблица 4. Вычисление сил инерции

| Расчёт по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) | Расчёт по СП14.13330.2014 |
|--|--|
| Расчётная сила инерции вычисляется по формулам: | |
| $S_{ik}^{расч} = K_1 \cdot K_2 \cdot S_{ik}^0$ | $S_{ik}^{расч} = K_0 \cdot K_1 \cdot S_{ik}^0$ |
| K_1 – коэффициент учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый | K_0 – коэффициент учитывающий назначение сооружения и его ответственность, принимаемый |

| по таблице 3 СНиП K₁ = 0,25 (Здания и сооружения в конструкциях которых могут быть допущены остаточные деформации, затрудняющие нормальную эксплуатацию) | по таблице 3 СП K₀ = 1,0 (Здания и сооружения не указанные в 1 и 2 пунктах) |
|---|--|
| <p>K₂ – коэффициент учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений, принимаемый по таблице 4 СНиП</p> <p>K₂ = 1,0 (Здания не указанные в других пунктах)</p> | <p>K₁ – коэффициент учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый по таблице 4 СП</p> <p>K₁ = 0,25 (Здания и сооружения в конструкциях которых могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования. Здание со стальным каркасом без вертикальных диафрагм или связей)</p> |
| <p>S_{ik}⁰ – значение сейсмической нагрузки для i-й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций</p> $S_{ik}^0 = [Q_k] \cdot A \cdot K_w \cdot \beta_i \cdot [\eta_{ik}]$ | <p>S_{ik}⁰ – значение сейсмической нагрузки для i-й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций</p> $S_{ik}^0 = [Q_k] \cdot A \cdot K_w \cdot \beta_i \cdot [\eta_{ik}]$ |
| [Q _k] – матрица весов масс | [Q _k] – матрица весов масс |
| <p>A – относительное ускорение, равное отношению сейсмических ускорений грунта к ускорению свободного падения.</p> <p>A = 0,2(Для сейсмичности района в 8 баллов по школе MSK-64)</p> | |
| <p>K_w – коэффициент, учитывающий конструктивные решения зданий и сооружений</p> <p>K_w = 1,5 (Высокие сооружений небольших размеров в плане – башни, мачты и т.д.)</p> | |
| <p>[η_{ik}] – матрица коэффициентов, зависящих от формы деформации здания</p> $[\eta_{ik}] = \frac{[u_i]^T \cdot [Q_k] \cdot [e]}{[u_i]^T \cdot [Q_k] \cdot [u_i]} \cdot [u_i]$ $\begin{bmatrix} \eta_{11} \\ \eta_{21} \end{bmatrix} = \frac{[1000 \ 316,5] \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}}{[1000 \ 316,5] \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1000 \\ 316,5 \end{bmatrix}} \cdot \begin{bmatrix} 1000 \\ 316,5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,0993887 \\ 0,3479565 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} \eta_{12} \\ \eta_{22} \end{bmatrix} = \frac{[-152,4 \ 1000] \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}}{[-152,4 \ 1000] \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -152,4 \\ 1000 \end{bmatrix}} \cdot \begin{bmatrix} -152,4 \\ 1000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,099357 \\ 0,6519488 \end{bmatrix}$ | |

Продолжение таблицы 4

β_i – коэффициент динамичности, соответствующий i -й форме колебаний. Он определяется в зависимости от категории грунта и периода в собственной форме колебаний. На рисунке 7 и 8 представлены графики для определения β_i по СНиП и СП, соответственно.

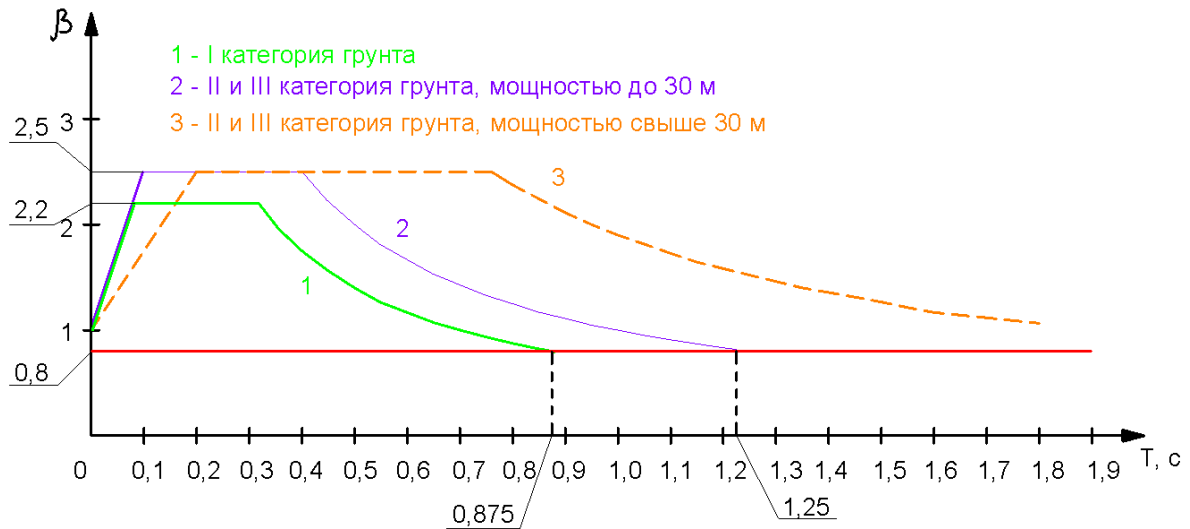


Рисунок 7. График для определения β_i по СНиП

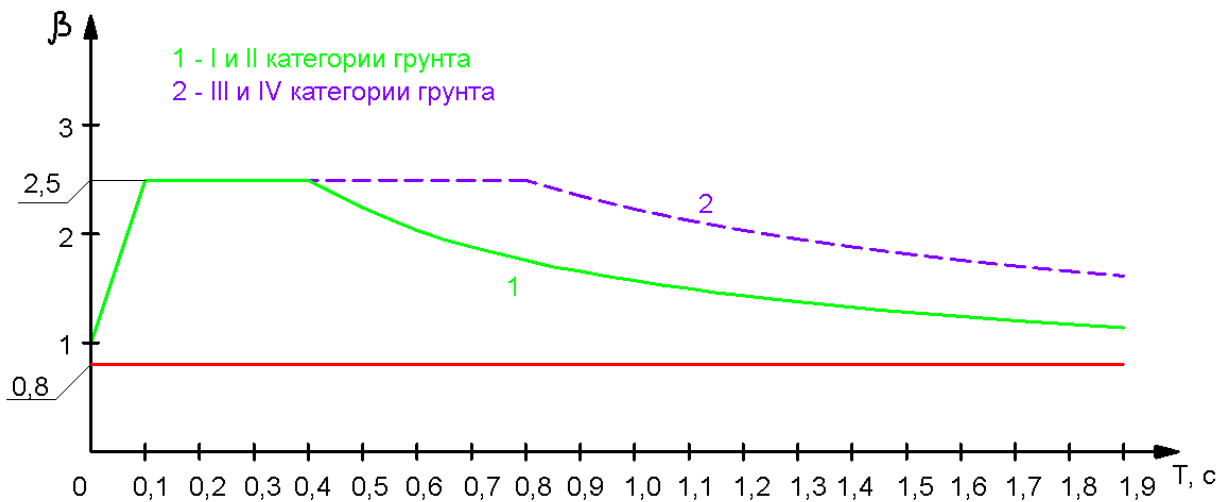


Рисунок 8. График для определения β_i по СП

Продолжение таблицы 4

| Для I категории грунта по СНиП и по СП | |
|--|---|
| $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,318 c \Rightarrow \beta_1 = \frac{0,7}{T_1}$ $\beta_1 = \frac{0,7}{1,6836} = 0,4158$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 0,8$</p> | $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,4 c \Rightarrow \beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{T_1}}$ $\beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{1,6836}} = 1,2186$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,2186$</p> |
| $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,08 c < T_2 < 0,318 c \Rightarrow \beta_2 = 2,2$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,2$</p> | $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,4 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> |
| Для II категорий грунта при мощности слоя до 30 м по СНиП и для II категории грунта по СП | |
| $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,4 c \Rightarrow \beta_1 = \frac{1}{T_1}$ $\beta_1 = \frac{1}{1,6836} = 0,594$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 0,8$</p> | $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,4 c \Rightarrow \beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{T_1}}$ $\beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{1,6836}} = 1,2186$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,2186$</p> |
| $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,4 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> | $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,4 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> |
| Для II категорий грунта при мощности слоя свыше 30 м по СНиП и для II категории грунта по СП | |
| $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,76 c \Rightarrow \beta_1 = \frac{1,9}{T_1}$ $\beta_1 = \frac{1,9}{1,6836} = 1,1285$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,1285$</p> | $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,4 c \Rightarrow \beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{T_1}}$ $\beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{1,6836}} = 1,2186$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,286$</p> |

Продолжение таблицы 4

| | |
|--|---|
| $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow T_2 < 0,2 c \Rightarrow \beta_2 = 1 + 7,5 \cdot T_2$ $\beta_2 = 1 + 7,5 \cdot 0,1869 = 2,402$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,402$</p> | $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,4 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> |
| Для III категорий грунта при мощности слоя до 30 м по СНиП и для III-IV категорий грунта по СП | |
| $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,4 c \Rightarrow \beta_1 = \frac{1}{T_1}$ $\beta_1 = \frac{1}{1,6836} = 0,594$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 0,8$</p> | $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,8 c \Rightarrow \beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{T_1}}$ $\beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{1,6836}} = 1,7233$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,7233$</p> |
| $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,4 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> | $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,8 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> |
| Для III категорий грунта при мощности слоя свыше 30 м по СНиП и для III-IV категории грунта по СП | |
| $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,76 c \Rightarrow \beta_1 = \frac{1,9}{T_1}$ $\beta_1 = \frac{1,9}{1,6836} = 1,1285$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,1285$</p> | $T_1 = 1,6836 c \Rightarrow T_1 > 0,8 c \Rightarrow \beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{T_1}}$ $\beta_1 = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{1,6836}} = 1,7233$ <p>По указанию СНиП значение β должно быть не менее 0,8. Окончательно принимаем $\beta_1 = 1,7233$</p> |
| $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow T_2 < 0,2 c \Rightarrow \beta_2 = 1 + 7,5 \cdot T_2$ $\beta_2 = 1 + 7,5 \cdot 0,1869 = 2,402$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,402$</p> | $T_2 = 0,1869 c \Rightarrow 0,1 c < T_2 < 0,8 c \Rightarrow \beta_2 = 2,5$ <p>Окончательно принимаем $\beta_2 = 2,5$</p> |

Продолжение таблицы 4

| Вычислим значение сил инерции, выраженное через β | |
|--|--|
| $S_{ik}^{расч} = K_1 \cdot K_2 \cdot [Q_k] \cdot A \cdot K_w \cdot \beta_i \cdot [\eta_{ik}]$ $S_1^{расч} = 0,25 \cdot 1 \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot \beta_i \cdot \begin{bmatrix} 1,09939 \\ 0,34796 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} S_{11}^{расч} \\ S_{21}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_1 \cdot \begin{bmatrix} 56,5 \\ 8,6 \end{bmatrix}$ | $S_{ik}^{расч} = K_0 \cdot K_1 \cdot [Q_k] \cdot A \cdot K_w \cdot \beta_i \cdot [\eta_{ik}]$ $S_1^{расч} = 1 \cdot 0,25 \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot \beta_i \cdot \begin{bmatrix} 1,09939 \\ 0,34796 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} S_{11}^{расч} \\ S_{21}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_1 \cdot \begin{bmatrix} 56,5 \\ 8,6 \end{bmatrix}$ |
| $S_2^{расч} = 0,25 \cdot 1 \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot \beta_i \cdot \begin{bmatrix} -0,09936 \\ 0,65195 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} S_{12}^{расч} \\ S_{22}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_2 \cdot \begin{bmatrix} -5,1 \\ 16,1 \end{bmatrix}$ | $S_2^{расч} = 1 \cdot 0,25 \cdot \begin{bmatrix} 684,8 & 0 \\ 0 & 329,8 \end{bmatrix} \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot \beta_i \cdot \begin{bmatrix} -0,09936 \\ 0,65195 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} S_{12}^{расч} \\ S_{22}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_2 \cdot \begin{bmatrix} -5,1 \\ 16,1 \end{bmatrix}$ |

По таблице 4 видно, что при расчёте ВЭУ по старому СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) [11] и по новому СП14.13330.2014 [12] в общем случае расчётные силы инерции отличаются лишь в следствии различного значения динамического коэффициента β . Результаты расчёта численных значений коэффициента динамичности β , а также их отличие в процентах сведём в таблицу 5. Из расчёта понятно, что динамические коэффициенты, вычисленные по СП14.13330.2014 [12] в некоторых случаях равны, но в основном превышают значения β , вычисленные по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) [11].

Таблица 5. Численное сравнение коэффициентов динамичности

| Категория грунта | | Значение периода, с | β по СНиП | β по СП | Превышение β по СП над β по СНиП, % |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|---|
| I категория грунта | | 1,6838 | 0,8 | 1,2186 | 52,3 |
| | | 0,1869 | 2,2 | 2,5 | 13,6 |
| II категория грунта | мощность до 30 м | 1,6838 | 0,8 | 1,2186 | 52,3 |
| | | 0,1869 | 2,5 | 2,5 | 0,0 |
| | мощность свыше 30 м | 1,6838 | 1,1285 | 1,2186 | 8,0 |
| | | 0,1869 | 2,402 | 2,5 | 4,1 |
| III категория грунта | мощность до 30 м | 1,6838 | 0,8 | 1,7233 | 115,4 |
| | | 0,1869 | 2,5 | 2,5 | 0,0 |
| | мощность свыше 30 м | 1,6838 | 1,1285 | 1,7233 | 52,7 |
| | | 0,1869 | 2,402 | 2,5 | 4,1 |
| IV категория грунта | | 1,6838 | – | 1,7233 | – |
| | | 0,1869 | – | 2,5 | – |

Из таблицы 5 следует, что значительно увеличались (в среднем на 50%) значения коэффициентов динамичности, соответствующих формам с большими периодами, а значит и с большей амплитудой колебаний. Посчитаем теперь значения изгибающих моментов для первой категории грунта и соответствующие им перемещения сосредоточенных масс по нормативной методике.

По нормативной методике при динамическом расчёте систем с несколькими степенями свободы требуется определить значение изгибающих моментов в каждой из учитываемых форм колебаний. Далее для получения итоговой эпюры изгибающих моментов нужно просуммировать по специальной формуле соответствующие значения усилий. Формула, по которой высчитывается наиболее вероятный при сейсмическом воздействии суммарный отклик конструкции (в нашем случае значения изгибающих моментов) называется «правило ККСК» [1], что означает квадратный корень из суммы квадратов. При этом знак суммарному отклику присваивается тот, который соответствует максимальному по модулю отклику по всем учитываемым СФК. Таким образом, суммарную эпюру моментов можно будет построить по значениям полученным по формуле 7.

$$M_i^{сум} = \sqrt{(M_{i1})^2 + (M_{i2})^2} \quad (7)$$

Сведём расчёт численных значений сил инерции в таблицу 6.

Таблица 6. Вычисление численных значений сил инерции

| Расчёт по СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) | Расчёт по СП14.13330.2014 |
|--|--|
| Учитывая зависимость, полученную в таблице 5, силы инерции определяются так: | |
| $\beta_1 = 0,8; \begin{bmatrix} S_{11}^{расч} \\ S_{21}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_1 \cdot \begin{bmatrix} 56,5 \\ 8,6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 45,2 \\ 6,9 \end{bmatrix}$ | $\beta_1 = 1,2186 \begin{bmatrix} S_{11}^{расч} \\ S_{21}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_1 \cdot \begin{bmatrix} 56,5 \\ 8,6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 68,9 \\ 10,5 \end{bmatrix}$ |
| $\beta_2 = 2,2; \begin{bmatrix} S_{12}^{расч} \\ S_{22}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_2 \cdot \begin{bmatrix} -5,1 \\ 16,1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -11,2 \\ 35,4 \end{bmatrix}$ | $\beta_2 = 2,5 \begin{bmatrix} S_{12}^{расч} \\ S_{22}^{расч} \end{bmatrix} = \beta_2 \cdot \begin{bmatrix} -5,1 \\ 16,1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -12,8 \\ 40,2 \end{bmatrix}$ |
| Эпюры изгибающих моментов в 1 и во 2 СФК представлены соответственно на рисунках 9 и 10, 11 и 12. | |
| <p style="text-align: center;">М_{1сфк}, кН*м</p> | <p style="text-align: center;">М_{1сфк}, кН*м</p> |
| Рисунок 9. Эпюра изгибающих моментов в 1 СФК | Рисунок 11. Эпюра изгибающих моментов в 1 СФК |

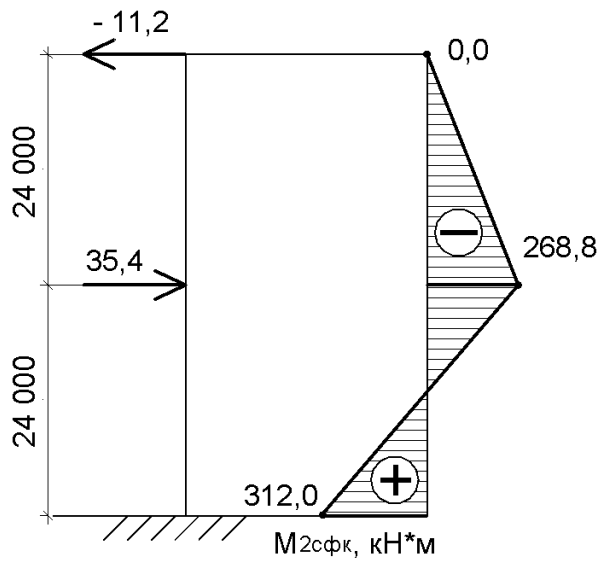


Рисунок 10. Эпюра изгибающих моментов во 2 СФК

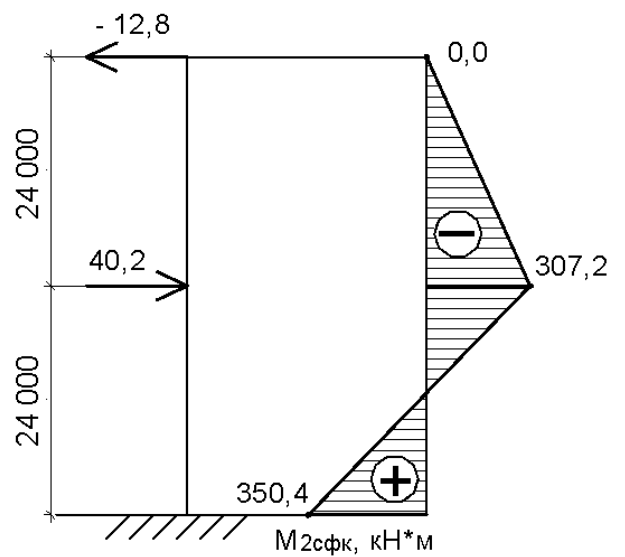


Рисунок 12. Эпюра изгибающих моментов во 2 СФК

Суммарные эпюры изгибающих моментов представлены соответственно на рисунках 13 и 14.

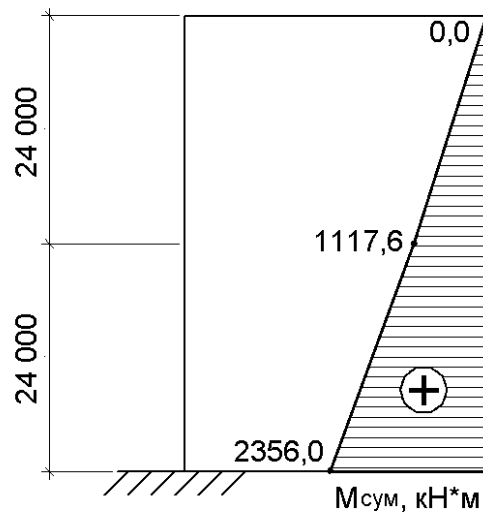


Рисунок 13. Суммарная эпюра изгибающих моментов

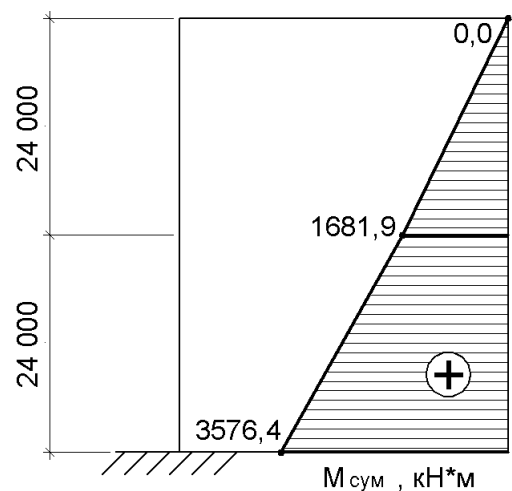


Рисунок 14. Суммарная эпюра изгибающих моментов

Как видно из таблицы 6, значение итогового изгибающего момента, рассчитанное по новому СП14.13330.2014 превышает соответствующие значения данного внутреннего усилия, рассчитанные по старому СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) примерно на 52 %. Это означает, что при расчёте по обновлённому нормативному документу в конструкцию закладывается дополнительный запас прочности.

Этот запас в общем случае удорожает строительство здания, однако в случае экстремальных воздействий гарантирует безопасность строительных конструкций с большей вероятностью.

5. Выводы

По результатам исследования в данной статье были получены следующие выводы:

1) В новом СП14.13330.2014 коэффициент динамичности, рассчитываемый в зависимости от периода СФК и категории грунта определяется по 2-м графикам (первый для грунтов I и II категории, второй для III и IV категории), в старом же СНиП II-7-81* (актуал. 1995 г.) для определения коэффициента динамичности использовалось 3 графика.

2) Численное значение динамического коэффициента по новому нормативному документу увеличено:

- на 50% для форм колебаний с большим периодом $T \geq 0,8$ с, то есть для колебаний с относительно низкой частотой;

- на 3-14% для форм колебаний с периодом $T \leq 0,8$ с, то есть для колебаний с относительно высокой частотой.

Можно что принципиальное увеличение (в 2 раза и более) произошло для определения динамического коэффициента для первых форм колебаний, что является логичным по причине того, что первые формы колебаний при больших периодах и низкой частоте вносят основной вклад в суммарные значения искомого отклика конструкции.

3) В связи с вышесказанным, значение суммарного отклика (в данной статье это суммарная эпюра изгибающего момента) также увеличилось приблизительно на 50 % при расчёте по-новому СП14.13330.2014.

4) Увеличение динамического коэффициента, а вслед за ним и расчётных сейсмических нагрузок, действующих на здание или сооружение, увеличивают запас прочности конструкций, а также их безопасность и надёжность.

Литература

- [1]. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость – Спб. : Наука, 1998.— 254 с.
- [2]. Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.:Наука 1978.
- [3]. Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. Оценка сейсмостойкости сооружений и оборудования АЭСв рамках нормативной методики// Энергетическое строительство. 1987.№1.С.19-22
- [4]. Барштейн М.Ф., Ильичев В.А., Коренев Б.Г. Динамический расчет зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1984.
- [5]. Константинов И.А. Динамика гидротехнических сооружений. Расчет плотин на сейсмическое воздействие: учебное пособие. Л., 1976
- [6]. Мартемьянов А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах. М.: Стройиздат 1985
- [7]. Константинов И.А. , Лалина И.И. Строительная механика. Расчет стержневых систем. Спб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2005. 155 с.
- [8]. Киселев В.А. Строительная мехника: Специальный курс (динамика и устойчивость сооружений). М.: Стройиздат, 1980.
- [9]. Розин Л.А., Константинов И.А., Смелов В.А. Расчет статически определимых систем. Л.:Изд-во ЛГУ, 1984 .— 228 с.
- [10].Динамический расчет сооружений на специальные воздействия (Справочник проектировщика) / Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. М.:Стройиздат, 1981.— 216 с.
- [11].Ватин Н.И., Синельников А.С. Большепролетные надземные пешеходные переходы из легкого холодногнутого стального профиля // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. No1. С. 47-52.
- [12].Зарубин П.Е., Барановский М.Ю., Тарасов В.А. Tekla structures – инновация в создании конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 5. С. 1-8.
- [13].Vatin N. I, Sinelnikov A. S. Strength and durability of thin-walled cross-sections // Design, fabrication and economy of metal structures. 2013. Pp. 165-170.
- [14].Mrdak Ivan, Rakocevic Marina, Zugic Ljiljana, Usmanov Rustam, Murgul Vera, Vatin Nikolay. Analysis of the influence of dynamic properties of structures on seismic response according to Montenegrin and European regulations. 2014. Vol. 633-634, Pp. 1069-1076.
- [15].Масляев А.В. Сейсмостойкость зданий с учетом повторных сильных толчков при землетрясении // Промышленное и гражданское строительство.2008. No3. С. 45-47.
- [16].Абовский Н.П., Инжутов И.С., Хорошавин Е.А., Деордиев С.В., Палагушкин В.И. О возможностях внешнихсейсмозащитных устройств. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 6 . С. 38-41.
- [17].Смирнов В.И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России.Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений . 2013. № 4 . С. 41-54.
- [18].Андреев В.И., Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В. Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом нелинейных эффектов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXIвека. 2012. 7(162). С. 33-35.
- [19].Ржевский В.А. Сейсмостойкость зданий в условиях сильных землетрясений, Ташкент: «ФАН», 1990, 260 с.
- [20].Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989. – 320 с
- [21].Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения, Ереван:«Айастан», 1973, 328с.
- [22].Барановский М.Ю., Тарасов В.А. Стандартизированные ферменные конструкции с уклоном 10% пролётами 24, 30, 36 метров // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7. С. 93-101.

Comparison of the seismic calculation results according to SNiP II-7-81* 1995 and SP 14.13330.2014

V.A. Tarasov¹, M.Yu. Baranovskii², Yu.E. Pavlushkina³, L.S. Meleshchenkov⁴, R.M. Shakirov⁵,
T.L. Imeskenov⁶, E.G. Zagidullina⁷

Saint-Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Technical paper

Article history

Received 25 December 2014
Accepted 29 December 2014

Keywords

calculation of wind power installations,
dynamic calculation,
calculation on seismic influences,
standard documents,
building dynamic

ABSTRACT

Calculation on seismic influences is one of the main dynamic calculations which should be carried out at design of responsible buildings and constructions, and also at construction in seismic countries.

The problem of ensuring seismic stability and as a result and reliability of designs is one of the main problems for a number of regions of Russia and the neighboring countries.

Detailed calculation of the TG-750M (wind electrical turbo-generator) wind power installation on seismic influence by a standard technique according to the previous and current normative documents for different types of soil is given in this article.

All calculations were executed manually and then checked in the program SCAD complex.

The received results testify to increase of settlement inertial loadings and as a result and to increase of coefficients of a stock at design of construction design on seismic stability according to the new normative document (to the joint venture 14.13330.2014).

¹ *Corresponding author:*
+7 (952) 2010537, vtarasov3766@yandex.ru (Vladimir Aleksandrovich Tarasov, Student)
² +7 (921) 4077354, bm_y@mail.ru (Mikhail Yurievich Baranovskii, Engineer, Student)
³ +7 (967) 510 5967, pearlblack@mail.ru (Yulia Evgenyevna Pavlushkina, Student)
⁴ +7 (911) 093 2954, lekis94@me.com (Leonid Sergeevich Meleshchenkov, Student)
⁵ +7 (981) 680 9533, shakirov_ruslan@inbox.ru (Ruslan Maratovich Shakirov, Student)
⁶ +7 (911) 793 5150, truelman1994@mail.ru (Tumen Lopsonovich Imeskenov, Student)
⁷ +7 (921) 787 5010, elvrkaspb@mail.ru (Elvira Gadilevna Zagidullina, Student)

References

- [1]. Birbrayer A.N. *Raschet konstruksiy na seysmostoykost* – Spb. [Calculation of designs on seismic stability – SPb.] : Nauka, 1998.— 254 p.(rus)
- [2]. Ayzenberg Ya.M. i dr. *Adaptivnyye sistemy seysmicheskoy zashchity sooruzheniy* [Adaptive systems of seismic protection of constructions]. M.:Nauka 1978.(rus)
- [3]. Birbrayer A.N., Shulman S.G. *Otsenka seysmostoykosti sooruzheniy i oborudovaniya AESv ramkakh normativnoy metodiki* [Assessment of seismic stability of constructions and equipment of AESV framework of a standard technique]// *Energeticheskoye stroitelstvo*. 1987. Vol. 1. Pp.19-22(rus)
- [4]. Barshteyn M.F., Ilichev V.A., Korenev B.G. *Dinamicheskyy raschet zdaniy i sooruzheniy* [Dynamic calculation of buildings and constructions]. M.: Stroyizdat, 1984.(rus)
- [5]. Konstantinov I.A. *Dinamika gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Dynamics of hydraulic engineering constructions]. *Raschet plotin na seysmicheskoye vozdeystviye: uchebnoye posobiye*. L., 1976(rus)
- [6]. Martemyanov A.I. *Proyektirovaniye i stroitelstvo zdaniy i sooruzheniy v seysmicheskikh rayonakh* [Design and construction of buildings and constructions in seismic countries]. M.: Stroyizdat 1985(rus)
- [7]. Konstantinov I.A., Lalina I.I. *Stroitel'naya mekhanika. Raschet sterzhnevyykh system* [Construction mechanics. Calculation of rod systems]. Spb.: Izd-vo Politekhn. un-ta. 2005. 155 p.(rus)
- [8]. Kiselev V.A. *Stroitel'naya mekhnika: Spetsialnyy kurs (dinamika i ustoychivost sooruzheniy)* [Construction mekhnika: Special course (dynamics and stability of constructions)]. M.: Stroyizdat, 1980(rus)
- [9]. Rozin L.A., Konstantinov I.A., Smelov V.A. *Raschet staticheski opredelimykh system* [Calculation of statically definable systems]. L.:Izd-vo LGU, 1984 .— 228 p.(rus)
- [10]. *Dinamicheskyy raschet sooruzheniy na spayetsialnyye vozdeystviya (Spravochnik proyektirovshchika)* [Dynamic calculation of constructions on spayetsialny influences (The reference book of the designer)] / Pod red. B.G. Koreneva, I.M. Rabinovicha. M.:Stroyizdat, 1981.— 216 p.(rus)
- [11]. Vatin N.I., Sinelnikov A.S. *Bolsheproletnyye nadzemnyye peshekhodnyye perekhody iz legkogo kholodnognutogo stalnogo profilya* [Wide-span elevated crosswalks from an easy kholodnognuty steel profile] // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2012. Vol. 1. Pp. 47-52.(rus)
- [12]. Zarubin P.Ye., Baranovskiy M., Tarasov V.A. *Tekla structures – innovatsiya v sozdanii konstruksiy* [Tekla structures – an innovation in creation of designs] *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. Vol. 5. Pp. 1-8.(rus)
- [13]. Vatin N. I, Sinelnikov A. S. Strength and durability of thin-walled cross-sections // *Design, fabrication and economy of metal structures*. 2013. Pp. 165-170.
- [14]. Mrdak Ivan, Rakocevic Marina, Zugic Ljiljana, Usmanov Rustam, Murgul Vera, Vatin Nikolay. Analysis of the influence of dynamic properties of structures on seismic response according to Montenegrin and European regulations. 2014. Vol. 633-634, Pp. 1069-1076.
- [15]. Maslyayev A.V. *Seysmostoykost zdaniy s uchetom povtornykh silnykh tolchkov pri zemletryaseni* [Seismic stability of buildings taking into account repeated strong pushes at an earthquake] // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*. 2008. Vol. 3. Pp. 45-47.(rus)
- [16]. Abovskiy N.P., Inzhutov I.S., Khoroshavin Ye.A., Deordiyev S.V., Palagushkin V.I. *O vozmozhnostyakh vneshnikhseysmozashchitnykh ustroystv* [About opportunities vneshnikhseysmozashchitnykh of devices]. *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2011. Vol. 6. Pp. 38-41.(rus)
- [17]. Smirnov V.I. *Seysmoizolyatsiya – sovremennaya antiseysmicheskaya zashchita zdaniy v Rossii* [Seismoisolation – modern aseismic protection of buildings in Russia]. *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy* . 2013. Vol. 4. Pp. 41-54.(rus)
- [18]. Andreyev V.I., Dzhinchvelashvili G.A., Kolesnikov A.V. *Raschet zdaniy i sooruzheniy na seysmicheskiye vozdeystviya s uchetom nelineynykh effektov* [Calculation of buildings and constructions on seismic influences taking into account nonlinear effects] // *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXIveka*. 2012. Vol. 7(162). Pp. 33-35.(rus)
- [19]. Rzhhevskiy V.A. *Seysmostoykost zdaniy v usloviyakh silnykh zemletryaseni* [Seismic stability of buildings in strong earthquakes]. Tashkent: «FAN», 1990, 260 p.(rus)
- [20]. Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashin A.V. *Sovremennyye metody seysmozashchity zdaniy* [Modern methods of seismoprotection of buildings]. M.: Stroyizdat, 1989. – 320 p.(rus)

- [21]. Khachiyani E.Ye. *Seismicheskiye vozdeystviya na vysotnyye zdaniya i sooruzheniya* [Seismic impacts on high-rise buildings and constructions]. Yerevan: «Ayastan», 1973. - 328 p. (rus)
- [22]. Baranovskiy M., Tarasov V. *Standartizirovannyye fermennyye konstruksii s uklonom 10% proletami 24, 30, 36 metrov* [The standardized farm designs with a bias of 10% flights 24, 30, 36 meters] Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. Vol. 7. Pp. 93-101. (rus).