

УДК 624.04

**ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА
ГРАДИРЕН ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО И ПИРАМИДАЛЬНОГО ТИПОВ**

Шейн Александр Иванович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика».

Мальков Артем Игоревич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

аспирант.

Аннотация

Описываются виды башенных градирен и основы технологии производственного процесса их работе. Рассматривается схема организации процедуры динамического расчета башенных градирен в условиях экстремальных пульсирующих ветровых воздействий или при сейсмической нагрузке. Записано уравнение работы башни совместно с гасителем колебаний

Ключевые слова: градирня, динамический расчет, гашение колебаний.

**BUILDING A DYNAMIC MODEL FOR CALCULATING HYPERBOLIC
AND PYRAMIDAL COOLING TOWERS**

Shein Alexander Ivanovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Doctor of Sciences, Professor, Head of the department “Mechanics”.

Malkov Artem Igorevich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

postgraduate student.

Annotation

The basics of the production process technology for cooling towers are described. The scheme of organization of the procedure for dynamic calculation of tower cooling towers in conditions of extreme pulsating wind impacts or under seismic load is considered. The equation of operation of the tower together with the vibration dampener is written.

Keywords: cooling tower, dynamic calculation, vibration damping.

Градирня - это конструкция для охлаждения воды в системах обратного водоснабжения энергетических объектов (ТЭС, АЭС) и крупных промышленных предприятий. Применение воды для энергетических объектов связано с организацией максимально возможного замкнутого цикла при охлаждении оборудования в целях предохранения его от быстрого разрушения под влиянием высоких температур. Требования, предъявляемые к температуре воды, диктуются надежностью работы установок в условиях производственных процессов. От устойчивой работы градирен зависит безопасность системы охлаждения технологического цикла, а, следовательно, и безопасность всего энергетического комплекса. Основные особенности работы градирен изложены в [1].

Конструктивно, очень часто, градирни представляют собой высокую башню со стальным каркасом гиперболического, конического или пирамидального очертания. Для таких башен характерно наличие циклической симметрии стального каркаса. В башенных градирнях тяга воздуха создается высокой вытяжной башней (трубой). Эти сооружения относятся к градирням открытого, или атмосферного типа, в которых для протока воздуха через них используются естественные токи воздуха - ветер и отчасти естественная конвекция.

На территории предприятия для обеспечения беспрепятственного доступа атмосферного воздуха градирни располагают вдали от высоких сооружений на

открытой местности. Поэтому здесь возможны экстремальные пульсирующие ветровые нагрузки.

Мы будем рассматривать отдельно стоящие башенные градирни, круглые или многоугольные в плане (имеющие форму квадрата, прямоугольника, многоугольника или круга), выполненные из стального каркаса с внутренней обшивкой. Обшивка металлических каркасных башен принимается из алюминиевых гофрированных листов, из асбестоцементных волнистых листов усиленного профиля или пластмассовых волнистых листов. Гиперболическая форма градирни - наиболее рациональна в аэродинамическом отношении. Пирамидальная форма – наиболее проста в исполнении.

Башни градирен могут быть подвергнуты циклическим воздействиям сейсмического или ветрового характера. Кроме того, возможны биения каркаса от дебаланса ротора вентилятора. При этом вероятно развитие колебаний значительных амплитуд.

Развитие колебаний башен градирен могут предотвратить или существенно уменьшить специальные устройства - гасители колебаний и, тем самым, обеспечить безаварийную работу предприятия. Исследования по гашению колебаний призматических башен и сетчатых куполов приведены в работах [2-19].

Конструкция градирни может быть разделена на отдельные элементы:

- оболочка башни;
- опорная колоннада и фундамент башни;
- водосборный бассейн;
- несущий каркас;
- оросительное и водоулавливающее устройства;
- подводящие трубы и трубы водораспределения.



Рисунок 1 - Вид башенных градирен предприятия

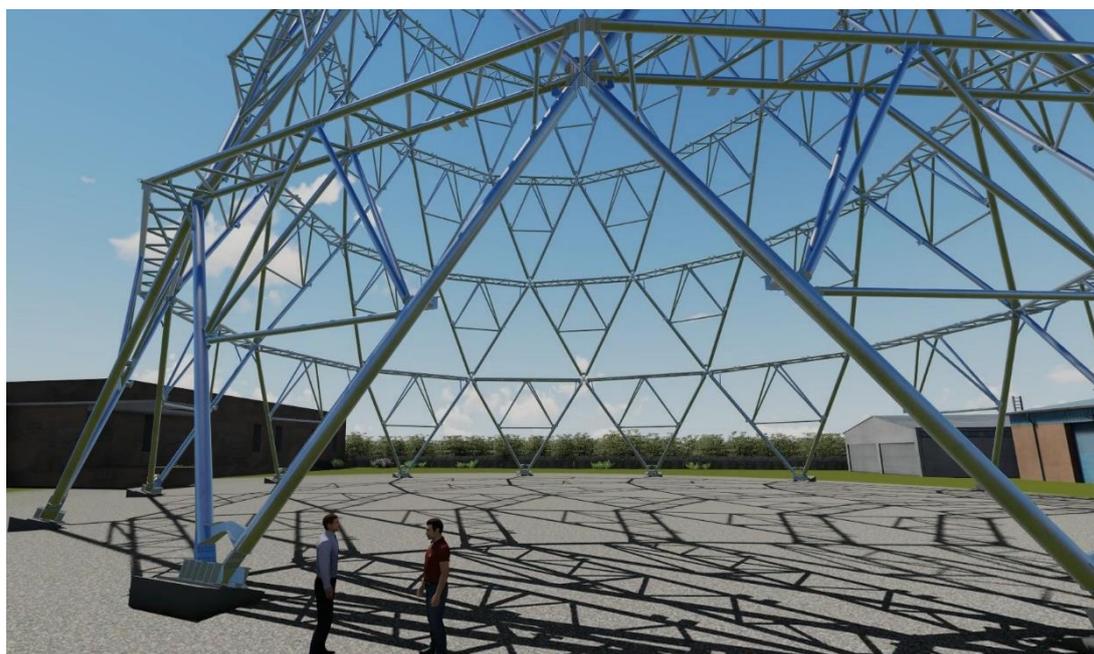


Рисунок 2 - Каркас башни-градирни

Для решения задач определению требуемых характеристик движения механической системы, представляющую собой башню, необходимо:

1. Сформировать геометрическую модель конструкции градирни. При этом целесообразно исключить геометрические элементы и детали, которые не

требуются для динамического расчёта несущего каркаса рассматриваемой модели. В данном случае рационально исключить наружную обшивку и внутреннюю гидравлическую начинку вытяжной башни.

Важно отметить, что, как правило, башни градирен представляют собой циклически симметричные механические системы

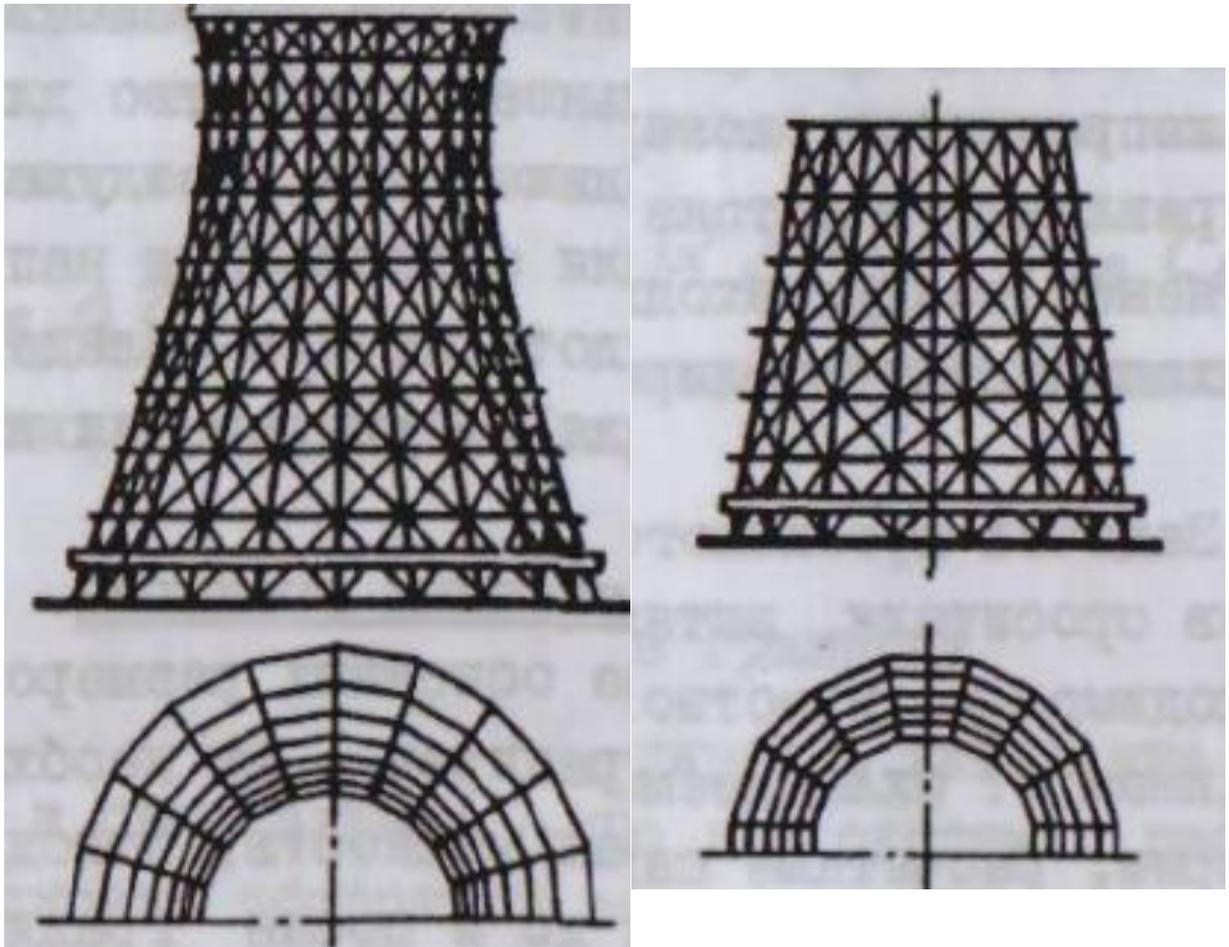


Рисунок 3 - Геометрические модели каркасов гиперболической и пирамидальной градирен

2. Выбрать подходящий тип конечных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния башни. В нашем случае это ферменные или балочные стержневые конечные элементы.

3. Назначить параметры балок или ферменных стержней.

4. Определить тип и величину узловых масс башни.

5. Определить и математически описать характер внешних воздействий, т.е. задать акселерограмму землетрясения или скорость ветрового потока во времени и пространстве.

6. Используя МКЭ составить дифференциальные уравнения движения башен в зависимости от характера возмущающих воздействий.

$$M\ddot{U} + B\dot{U} + KU = P(t), \quad (1)$$

где M – диагональная матрица масс;

U – вектор перемещений;

B – матрица демпфирования (матрица сопротивления движению);

K – матрица жесткости системы;

$P(t)$ – вектор узловых нагрузок.

7. Используя прямые методы решения произвести необходимые вычисления. При использовании метода Ньюмарка уравнения движения примут вид:

$$M \left[\frac{4U(t + \Delta t) - 4U(t) - 4\dot{U}(t) \cdot \Delta t}{(\Delta t)^2} - \ddot{U}(t) \right] + B \frac{2U(t + \Delta t) - 2U(t) - \dot{U}(t) \cdot \Delta t}{\Delta t} + KU(t + \Delta t) = P(t + \Delta t). \quad (2)$$

При этом, уравнение рекуррентной последовательности определения перемещений можно представить в виде:

$$U(t + \Delta t) = \left[3M + 2B \cdot \Delta t + K \cdot (\Delta t)^2 \right]^{-1} \cdot \left\{ M \frac{2U(t) + 4\dot{U}(t) \cdot \Delta t + U(t - \Delta t)}{(\Delta t)^2} + B \frac{2U(t) + \dot{U}(t) \cdot \Delta t}{\Delta t} + P(t + \Delta t) \right\} \cdot (\Delta t)^2. \quad (3)$$

Здесь скорости перемещения узлов башни целесообразно выразить через левую разность, т.е. через известные перемещения

$$\dot{U}(t) = \frac{U(t) - U(t - \Delta t)}{\Delta t}. \quad (4)$$

Начало шагового процесса организуется с момента времени $t = 0$, $U(0) = U_0$, $\dot{U}(0) = \dot{U}_0$.

Определить места несущего каркаса, подверженные наиболее сильным деформациям.

8. Установить гасители колебаний (сформировать математическую модель башня – гаситель:

$$(M + M_g) \cdot \ddot{U} + (B + B_g) \dot{U} + (K + K_g) \cdot U = P(t) + P_g(t) \quad (5)$$

где индекс g показывает влияние гасителей колебаний. P_g - это сила активного гасителя, если таковой используется.

9. Произвести вычисления. На основе численных экспериментов подобрать наиболее эффективные параметры гасителей колебаний.

Библиографический список:

1. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84). М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.

2. Шеин А.И., Чуманов А.В. Особенности колебательных движений циклически-симметричных рамных систем [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2019. № 9. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no-9-aprel-2019/stroitel'naya-mehanika/shein-a-i-chumanov-a-v-osobennosti-kolebatelnyh-dvizhenii-ciklicheski-simmetrichnyh-ramnyh-sistem/view>

3 Shein A.I., Zemtsova O.G. Analytical solution of optimization problem of stability of frame systems // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic edition. 2018. С. 42-65.

4. Шеин А.И., Земцова О.Г. Жидкостной гаситель колебаний высотных сооружений при сейсмических воздействиях // Приднепровский научный вестник. 2018. Т. 5. № 3. С. 49.

5. Шеин А.И., Чуманов А.В. Численные эксперименты по гашению колебаний рамных каркасов с помощью пластических накладок, установленных на элементы каркаса [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2018. №7. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no7/stroitel'naya-mehanika/7.2/at_download/file

6. Шеин А.И., Чуманов А.В. Численные эксперименты по гашению колебаний вертикального стержня реактивными гасителями [Электронный

ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2018. №8. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no8/matematicheskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/8.2/at_download/file

7. Шеин А.И., Земцова О.Г. Метод двух попыток оценки устойчивости равновесного состояния и движения механической системы [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2018. №8. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no8/stroitel'naya-mehanika/8.3/at_download/file

8. Шеин А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Влияние конструктивного и эксплуатационного отказов на долговечность строительных конструкций // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2 (31). С. 64-71.

9. Шеин А.И., Чуманов А.В. Конструктивные способы гашения колебаний зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2017. №6. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no6/stroitel'naya-mehanika/6.7/at_download/file

10. Земцова О.Г., Шеин А.И. Вычисление угловой скорости вращения опорной плоскости подвеса маятникового гасителя // Уральский научный вестник. 2016. т. 6. № 1. С. 183-186.

11. Shein A., Chumanov A., Zemtsova O. Vibration damping of structures using dissipative properties of the composite system of the type "elastic - plastic" // ARPN journal of engineering and applied sciences. 2016. т. 11. № 17. С. 10315-10318.

12. Шеин А.И., Земцова О.Г. Методика математического моделирования маятникового гасителя пространственных колебаний для сооружений башенного типа [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №3. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL:

http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/3.3/at_download/file

13, Шейн А.И., Чуманов А.В. Метод внешних нагрузок при расчете упругопластических балочных систем МКЭ [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №3. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitel'naya-mehanika/3.9/at_download/file

14. Шейн А.И., Кузнецов А.Н., Чуманов А.В. Моделирование ветровых воздействий на высотные сооружения [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №4. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/4.1/at_download/file

15. Земцова О.Г., Шейн А.И. Методика математической оптимизации механической системы на примере многомассового гасителя колебаний [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №4. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitel'naya-mehanika/4.6/at_download/file

16. Shein A., Zemtsova O. The dynamics of the system "elastic foundation-high rise construction-dynamic ring-type damper" // Journal of engineering and applied sciences. 2016. т. 11. № 11. С. 2424-2429.

17. Шейн А.И., Раевский Л.А. Экономическая эффективность применения новых технологий для уменьшения колебаний высотных сооружений // Интернет-журнал Науковедение. 2015. т. 7. № 2 (27). С. 125.

18. Шейн А.И. Математическое моделирование механических систем на примере задачи гашения колебаний высотных сооружений [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2014. №1. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy->

programm/matematicheskoe-modelirovanie-mehnicheskih-sistem-na-primere-zadachi-gasheniya-kolebani-vysotnyh-sooruzhenii/view

19. Шейн А.И., Бочкарев Р.В. Использование композитных систем типа "упругий - пластический" для гашения колебаний конструкций [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №2. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitel'naya-mehanika/2.4/view>