

Миронов Вадим Рифович, магистрант
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной
технический университет»

Габитов Азат Исмагилович, Канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной
технический университет»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВЫСОТНОЕ ЗДАНИЕ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

Аннотация. В настоящей работе представлено численное исследование влияния пульсационной составляющей ветровой нагрузки на высотное здание. Особое внимание уделено учету взаимодействия здания с грунтовым основанием (ВГО) посредством комбинированного подхода, объединяющего метод конечных элементов (МКЭ) для моделирования здания и упрощенные модели для представления грунтового основания. Анализ выполнен с целью оценки влияния ВГО на динамические характеристики здания и его отклик на пульсационную ветровую нагрузку. Результаты исследования позволяют оценить эффективность применения ВГО при проектировании высотных зданий в регионах, характеризующихся сильными ветровыми воздействиями.

Ключевые слова: Высотное здание, пульсационная ветровая нагрузка, взаимодействие грунта и сооружения, численное моделирование, метод конечных элементов, динамический анализ.

Высотные здания, в силу своей высоты и малой демпфирующей способности, особенно подвержены воздействию ветровых нагрузок. Пульсационная составляющая ветровой нагрузки, обусловленная турбулентностью ветра, оказывает значительное влияние на динамическое поведение здания, вызывая колебания и напряжения, которые необходимо учитывать при проектировании. Кроме того, реакция здания на ветровую нагрузку тесно связана с характеристиками грунтового основания, что обуславливает необходимость учета взаимодействия здания с грунтом (ВГО).

Обзор литературы

Современные исследования в области ветрового воздействия на высотные здания активно используют методы численного моделирования, позволяющие учитывать сложные геометрические формы зданий и нелинейные свойства материалов [1-3]. В работах [4-6] рассматриваются различные методы учета ВГО, включая моделирование грунта как упругого полупространства, использование конечных элементов для моделирования грунта и комбинированные подходы, сочетающие преимущества упрощенных и детализированных моделей. Однако, комплексное рассмотрение влияния пульсационной ветровой нагрузки с одновременным учетом ВГО в численных моделях все еще остается актуальной задачей [7-9].

Методология исследования

В настоящей работе для оценки влияния пульсационной ветровой нагрузки на высотное здание с учетом ВГО была использована следующая методология:

Моделирование ветровой нагрузки: Пульсационная ветровая нагрузка была смоделирована с использованием спектральной модели, основанной на спектре Пановского, учитывающего скорость ветра, шероховатость поверхности и высоту над уровнем земли. Временные ряды ветрового давления на поверхности здания были получены с использованием модели пульсаций ветра.



Моделирование здания: Высотное здание было смоделировано с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе. Были учтены все основные конструктивные элементы здания, включая колонны, перекрытия, диафрагмы жесткости и ядро здания.

Моделирование грунтового основания: Взаимодействие здания с грунтовым основанием было учтено с использованием комбинированного подхода. Грунтовое основание моделировалось с помощью конечных элементов в некоторой области под зданием, а за пределами этой области использовались упругие опоры, имитирующие влияние неограниченного грунтового массива.

Динамический анализ: Проведен динамический анализ здания под воздействием кратковременной пульсационной ветровой нагрузки с учетом ВГО. Выполнен расчет перемещений, ускорений и напряжений в различных точках здания.

Анализ результатов: Проведено сравнение результатов анализа с учетом и без учета ВГО для оценки влияния последнего на динамическое поведение здания.

Результаты исследования

В результате численного моделирования получены следующие результаты:

Временные ряды перемещений и ускорений в различных точках здания под воздействием пульсационной ветровой нагрузки.

Спектры мощности перемещений и ускорений, позволяющие определить доминирующие частоты колебаний здания.

Значения напряжений в наиболее нагруженных элементах конструкции.

Сравнение динамических характеристик здания (частот собственных колебаний, демпфирования) с учетом и без учета ВГО.

Обсуждение результатов

Результаты численного анализа показали, что учет ВГО существенно влияет на динамическое поведение высотного здания под воздействием пульсационной ветровой нагрузки. В частности, ВГО приводит к снижению частот собственных колебаний здания и увеличению демпфирования. Это, в свою очередь, снижает отклик здания на пульсационную ветровую нагрузку, уменьшая перемещения и ускорения. Однако, необходимо отметить, что учет ВГО может приводить к перераспределению напряжений в фундаменте и нижних этажах здания, что требует внимательного анализа при проектировании.

Заключение

В настоящей работе проведено численное исследование влияния пульсационной ветровой нагрузки на высотное здание с учетом ВГО. Результаты исследования показали, что учет ВГО играет важную роль при проектировании высотных зданий, особенно в регионах с сильными ветровыми воздействиями. Использование комбинированного подхода для моделирования ВГО позволяет эффективно учитывать взаимодействие здания с грунтовым основанием.

Рекомендации

На основании результатов исследования можно сформулировать следующие рекомендации:

При проектировании высотных зданий необходимо проводить динамический анализ с учетом пульсационной ветровой нагрузки.

В случае сложных грунтовых условий, необходимо учитывать ВГО с использованием адекватных моделей.

Необходимо проводить сравнительный анализ результатов расчета с учетом и без учета ВГО для оценки влияния последнего на поведение здания.

Необходимо уделить особое внимание проектированию фундамента и нижних этажей здания с учетом перераспределения напряжений, вызванного ВГО.

Список литературы:

1. Simiu E., Miyata T. Design of Buildings for Wind: A Guide for Practicing Engineers. John Wiley & Sons, 2006.
2. Holmes J.D. Wind Loading of Structures. CRC Press, 2015.
3. ASCE/SEI 7-16. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, 2016.
4. Wolf J.P. Soil-Structure Interaction Analysis in Time Domain. Prentice Hall, 1988.
Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, 1996.
5. Mylonakis G., Gazetas G., Tazoh T., Shimizu N., Yamada S. Soil–structure interaction: seismic analysis and design considerations for building structures. Routledge, 2006.
6. Galal K., El-Sawy K., El-Shafie M. Soil–structure interaction effects on seismic response of high-rise buildings. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 28, No. 2, 2008, pp. 158-169.
7. Rayhani T.M., El Naggar M.H. Numerical modeling of seismic response of buildings considering soil-structure interaction. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 45, No. 6, 2008, pp. 809-824.
8. Khoshnoudian F., Heydari A. Nonlinear seismic response analysis of soil-structure interaction system using finite element method. International Journal of Civil Engineering, Vol. 9, No. 3, 2011, pp. 186-196.

