НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова
Кафедра «Геофизика и сейсмология»

GPH7142 - Инженерная сейсмология и сейсмостойкость
7М05302 – «Сейсмология

Лекция– 7
На тему «Практический метод расчета на сейсмические воздействия»

Преподаватель: ***Ратов Боранбай Товбасарович*** – доктор технических наук, профессор

Введение в сейсмическое проектирование

Сейсмическое воздействие представляет собой одну из наиболее опасных и непредсказуемых нагрузок, которые должны учитываться при проектировании зданий и сооружений. В отличие от статических нагрузок, землетрясение создает динамические колебания, распространяющиеся через грунт и вызывающие вынужденные колебания конструкций.

Основная задача инженера-конструктора — обеспечить безопасность людей и сохранность имущества путем правильного учета сейсмических воздействий на всех этапах проектирования. Современные методы расчета позволяют с достаточной точностью моделировать поведение конструкций при землетрясениях различной интенсивности.

Практический метод расчета основывается на упрощенных, но достаточно точных подходах, которые могут быть применены в реальной инженерной практике без использования сложного программного обеспечения на начальных этапах проектирования.

Ключевые понятия

- Сейсмичность площадки строительства
- Балльность землетрясения по шкале MSK-64
- Спектр ответа конструкции
- Коэффициент динамичности
- Период собственных колебаний
- Демпфирование колебаний

Нормативная база и основные принципы

В Российской Федерации расчет конструкций на сейсмические воздействия регламентируется сводом правил СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах». Этот документ устанавливает требования к проектированию, строительству и реконструкции зданий и сооружений в районах сейсмичностью 6, 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64.

Цель расчета

Обеспечение безопасности людей и предотвращение обрушения конструкций при расчетном землетрясении

Степени ответственности

Здания классифицируются по уровням ответственности: повышенный, нормальный и пониженный

Методы расчета

Линейно-спектральный, нелинейный динамический, прямое динамическое интегрирование

Основной принцип современного сейсмостойкого проектирования — это многоуровневая защита. При слабых землетрясениях конструкции должны оставаться в упругой стадии работы без повреждений. При сильных землетрясениях допускаются повреждения, но здание не должно обрушиться, обеспечивая безопасную эвакуацию людей.

Определение расчетных сейсмических нагрузок

Базовая формула

Сейсмическая нагрузка на здание определяется по следующей формуле:

$$S_i = K_1 \quad A \quad S_{pi} \quad Q_i \quad \eta_i$$

где:

- **Si** — сейсмическая нагрузка на уровне i
- **K1** — коэффициент, учитывающий назначение сооружения
- **A** — коэффициент, учитывающий сейсмичность площадки
- **Spi** — коэффициент динамичности
- **Qi** — вес конструкций на уровне i
- **ηi** — коэффициент, учитывающий форму колебаний

Коэффициент сейсмичности A

Балльность	Значение A
6 баллов	0.025
7 баллов	0.050
8 баллов	0.100
9 баллов	0.200

Коэффициент K1 принимается в зависимости от класса ответственности здания: для повышенного уровня K1 = 1.5, для нормального K1 = 1.0, для пониженного K1 = 0.8.

Важно понимать, что каждый из этих коэффициентов учитывает различные факторы, влияющие на сейсмическую нагрузку. Правильное определение всех параметров — залог безопасного проектирования.

Определение периода собственных колебаний

Период собственных колебаний T — один из важнейших параметров при сейсмическом расчете. Он характеризует время, за которое конструкция совершает одно полное колебание. От периода зависит величина коэффициента динамичности и, следовательно, расчетная сейсмическая нагрузка.

Упрощенная формула для зданий

Для многоэтажных зданий период первой формы колебаний можно определить по упрощенной формуле:

$$T_1 = 0.0175\ H\sqrt{\frac{1}{A}}$$

где H — высота здания в метрах, A — коэффициент, характеризующий жесткость здания (для каркасных зданий A = 0.5-0.7, для зданий со связями A = 1.0-1.5)

Формула Релея

Более точное определение периода возможно по формуле Релея:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\sum Q_i\ \ u_i^2}{g\sum Q_i\ \ u_i}}$$

где Qi — вес на уровне i, ui — горизонтальное перемещение от условной горизонтальной нагрузки, g — ускорение свободного падения

Численные методы

В современной практике период колебаний определяется с помощью программных комплексов (ЛИРА, SCAD, SAP2000), которые используют метод конечных элементов для построения динамической модели здания и решения задачи на собственные значения.

Коэффициент динамичности и спектр ответа

Понятие спектра ответа

Спектр ответа — это зависимость максимального отклика конструкции от ее периода собственных колебаний при заданном землетрясении. Нормативный спектр учитывает характеристики грунтов основания и интенсивность ожидаемого землетрясения.

Коэффициент динамичности β показывает, во сколько раз динамическая нагрузка больше статической. Он определяется по нормативным кривым в зависимости от периода колебаний T и категории грунта.

Категории грунтов

- **I категория:** Скальные грунты (βmax = 2.0-2.5)
- **II категория:** Крупнообломочные и песчаные грунты плотные (βmax = 2.5-3.0)
- **III категория:** Песчаные средней плотности, супеси, суглинки (βmax = 3.0-4.0)
- **IV категория:** Рыхлые пески, глинистые грунты (βmax = 4.0-5.0)

Максимальное значение β достигается при T = 0.3-0.6 с в зависимости от категории грунта. При малых и больших периодах коэффициент динамичности уменьшается.

Практически для зданий высотой 5-9 этажей на грунтах II категории коэффициент динамичности составляет 2.5-3.0, что означает, что динамическая сейсмическая нагрузка в 2.5-3 раза превышает статическую нагрузку той же интенсивности.

Последовательность практического расчета

Шаг 1: Сбор исходных данных

Определите сейсмичность площадки по картам ОСР (общего сейсмического районирования), категорию грунтов основания по инженерно-геологическим изысканиям, класс ответственности здания по назначению.

Шаг 2: Расчет весов

Вычислите постоянные и временные нагрузки на каждом уровне здания. В сейсмический расчет включается полная постоянная нагрузка и часть временной (30-50% в зависимости от назначения помещений).

Шаг 3: Определение периода

Найдите период первой формы колебаний T1 по упрощенной формуле или методом Релея. Для более точных результатов используйте программное обеспечение для динамического анализа.

Шаг 4: Вычисление нагрузок

Определите коэффициент динамичности β по графикам для соответствующей категории грунта и периода T. Рассчитайте сейсмические нагрузки Si для каждого уровня здания по базовой формуле.

Шаг 5: Проверка несущих элементов

Выполните расчет прочности и устойчивости несущих конструкций с учетом сейсмических нагрузок. Проверьте выполнение условий по предельным состояниям первой и второй группы.

Конструктивные мероприятия по повышению сейсмостойкости

Помимо расчетного обоснования, важнейшую роль в обеспечении сейсмостойкости играют конструктивные решения. Правильное конструирование часто важнее точных расчетов, поскольку позволяет создать резервы прочности и пластичности.

Регулярность конструкции

Здание должно иметь простую геометрическую форму в плане и по высоте. Избегайте резких изменений жесткости и массы по этажам. Симметричное расположение несущих элементов предотвращает крутильные колебания.

Надежные узлы

Узловые соединения должны быть способны воспринимать циклические нагрузки без разрушения. Особое внимание — соединениям сборных элементов, анкеровке арматуры, сварным швам.

Фундаментная плита

Единая жесткая фундаментная плита обеспечивает совместную работу всех вертикальных несущих элементов и исключает неравномерные осадки при землетрясении.

Диафрагмы жесткости

Монолитные перекрытия выполняют функцию горизонтальных диафрагм, объединяющих вертикальные элементы и распределяющих между ними горизонтальные нагрузки.

Дополнительное армирование

В критических зонах (узлы, опорные участки) предусматривается усиленное армирование, поперечное армирование колонн, конструктивные пояса на уровне перекрытий.

Антисейсмические швы

Сложные в плане здания разделяются антисейсмическими швами на отдельные отсеки с независимой работой. Ширина шва должна исключать соударение частей здания.

Практический пример расчета

Исходные данные

Рассмотрим 5-этажное жилое здание с монолитным железобетонным каркасом. Здание расположено в районе сейсмичностью 8 баллов на грунтах II категории. Высота этажа 3.0 м, общая высота здания H = 15 м. Класс ответственности — нормальный (K1 = 1.0).

Расчет периода колебаний

Используем упрощенную формулу для каркасного здания:

$$T_1 = 0.0175 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.6}} = 0.34 \text{ с}$$

Определение коэффициента динамичности

Для грунтов II категории и периода T = 0.34 с по нормативным графикам находим β = 2.8

Расчетная сейсмическая нагрузка

Принимаем вес одного этажа Q = 1200 кН. Коэффициент A для 8 баллов: A = 0.1

$$S = 1.0 \cdot 0.1 \cdot 2.8 \cdot 1200 = 336 \text{ кН}$$

Распределение по высоте

Сейсмическая нагрузка распределяется по высоте здания пропорционально произведению массы и высоты:

- 5 этаж (h=15 м): S5 = 112 кН
- 4 этаж (h=12 м): S4 = 90 кН
- 3 этаж (h=9 м): S3 = 67 кН
- 2 этаж (h=6 м): S2 = 45 кН
- 1 этаж (h=3 м): S1 = 22 кН

Суммарная горизонтальная нагрузка: ΣS = 336 кН

Максимальный изгибающий момент в основании здания: M = 112×15 + 90×12 + 67×9 + 45×6 + 22×3 = 3453 кН·м

На основании полученных усилий выполняется проверка прочности колонн, диафрагм жесткости и фундаментов с учетом комбинации сейсмических нагрузок с постоянными и временными нагрузками.

Ключевые выводы и рекомендации

1

Комплексный подход

Сейсмостойкое проектирование требует сочетания расчетных методов и конструктивных мероприятий. Недостаточно только рассчитать нагрузки — необходимо обеспечить правильное конструирование узлов и деталей.

2

Учет местных условий

Особое внимание уделяйте категории грунтов основания, так как она существенно влияет на сейсмическую нагрузку. Используйте данные инженерно-геологических изысканий, а не справочные значения.

3

Регулярность и симметрия

Стремитесь к простым регулярным конструктивным схемам. Избегайте L-образных, Т-образных форм без антисейсмических швов. Симметрия снижает крутильные эффекты.

4

Проверка программой

Даже используя упрощенные методы на начальных этапах, обязательно выполните уточненный расчет в специализированных программах для окончательного проектирования.

Важно помнить: Сейсмостойкость — это не только расчет, но и культура проектирования и строительства. Качество выполнения работ, контроль на всех этапах, использование качественных материалов не менее важны, чем правильные расчеты.

Овладение практическими методами расчета на сейсмические воздействия — важный этап профессионального развития инженера-конструктора. Продолжайте изучать нормативную документацию, анализировать опыт землетрясений и совершенствовать свои навыки проектирования надежных сооружений.