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– 5
На тему «Инженерный анализ последствий землетрясений»

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

Природа сейсмических воздействий

Механизм землетрясений

Землетрясения представляют собой внезапное высвобождение энергии в земной коре, вызванное движением тектонических плит. Этот процесс генерирует сейсмические волны, распространяющиеся через земную толщу и достигающие поверхности. Понимание механизма возникновения землетрясений критически важно для прогнозирования их воздействия на строительные конструкции.

Существует три основных типа тектонических границ: конвергентные (сближающиеся), дивергентные (расходящиеся) и трансформные (сдвиговые). Наиболее разрушительные землетрясения обычно происходят на конвергентных границах, где одна плита подныривает под другую в процессе субдукции.

Типы сейсмических волн

- **P-волны** (продольные): самые быстрые волны, распространяются через твердые породы и жидкости
- **S-волны** (поперечные): медленнее P-волн, проходят только через твердые материалы
- **Поверхностные волны**: Love и Rayleigh волны, самые разрушительные для зданий

Каждый тип волн оказывает специфическое воздействие на строительные конструкции, что необходимо учитывать при сейсмостойком проектировании.

Параметры оценки сейсмичности

Магнитуда

Шкала Рихтера и моментная магнитуда (Mw) измеряют энергию, высвобожденную в очаге землетрясения. Каждое увеличение на единицу соответствует 31,6-кратному увеличению энергии.

- M < 3.0: микроземлетрясения
- M 3.0-5.0: слабые толчки
- M 5.0-7.0: умеренные до сильных
- M > 7.0: крупные землетрясения

Интенсивность

Шкалы MSK-64 и EMS-98 описывают воздействие на людей, здания и природную среду. В отличие от магнитуды, интенсивность варьируется в зависимости от расстояния до эпицентра и местных грунтовых условий.

- I-IV: не ощущается или слабо
- V-VI: повреждения слабых зданий
- VII-VIII: серьезные повреждения
- IX-XII: массовые разрушения

Ускорение грунта

Пиковое ускорение грунта (PGA) измеряется как доля от ускорения свободного падения (g). Это ключевой параметр для расчета сейсмических нагрузок на конструкции.

- PGA < 0.05g: минимальные повреждения
- PGA 0.05-0.15g: легкие повреждения
- PGA 0.15-0.30g: средние повреждения
- PGA > 0.30g: тяжелые разрушения

Правильная оценка этих параметров позволяет инженерам определить сейсмическую опасность региона и разработать соответствующие проектные решения. Современные нормативы требуют учета всех трех параметров при проектировании зданий в сейсмоопасных зонах.

Типология повреждений зданий

01

Повреждения несущих конструкций

Трещины в колоннах, балках и стенах; разрушение узлов соединений; потеря несущей способности

02

Деформации каркаса

Остаточные горизонтальные смещения этажей; наклон здания; эффект «мягкого этажа»

03

Повреждения ограждающих конструкций

Выпадение заполнения; повреждение фасадных панелей; разрушение перегородок

04

Повреждения фундаментов

Неравномерные осадки; трещины в фундаментных конструкциях; разжижение грунта

Классификация повреждений по степени тяжести согласно европейским стандартам включает пять категорий: от незначительных (Grade 1) до полного обрушения (Grade 5). Каждая категория характеризуется специфическими признаками, требованиями к ремонту и оценкой остаточной несущей способности.

Особое внимание уделяется выявлению скрытых повреждений, которые могут не проявляться визуально, но существенно снижают безопасность конструкции. К таким повреждениям относятся внутренние трещины в бетоне, остаточные деформации арматуры и ослабление соединений.

Критически важно: Послеаварийное обследование должно проводиться квалифицированными специалистами с использованием инструментальных методов диагностики.

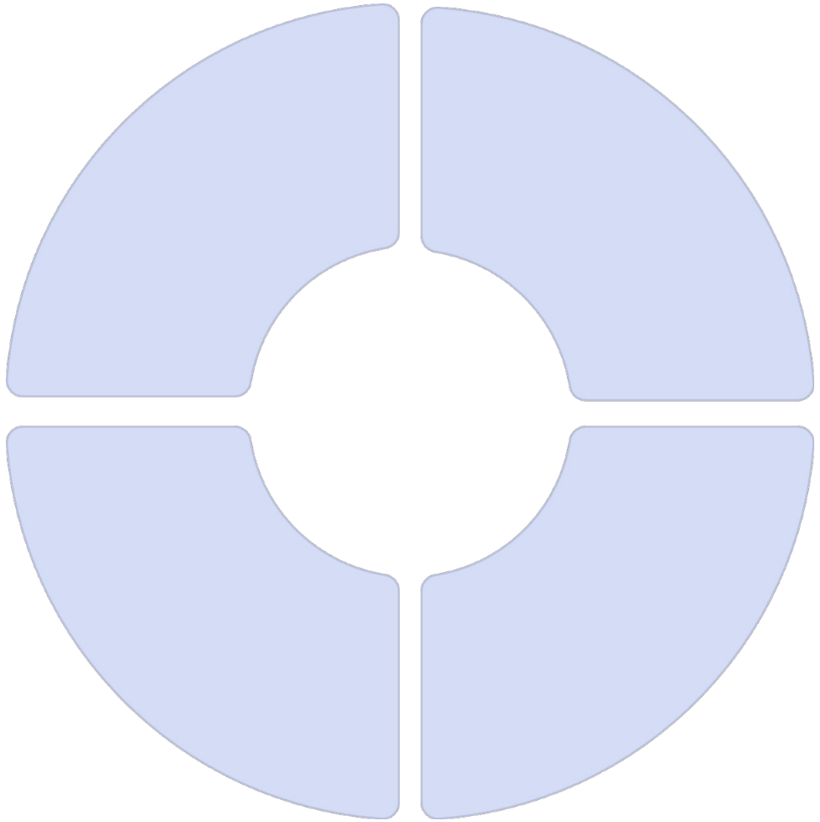
Факторы, влияющие на степень разрушений

Характеристики воздействия

- Магнитуда и интенсивность
- Длительность колебаний
- Частотный состав
- Направленность воздействия

Грунтовые условия

- Тип и плотность грунта
- Эффект резонанса
- Риск разжижения
- Топография участка



Проектные решения

- Планировочная схема
- Регулярность конструкций
- Соотношение размеров
- Детали соединений

Конструктивная система

- Тип конструкции
- Жесткость и пластичность
- Динамические характеристики
- Качество строительства

Взаимодействие этих факторов определяет сейсмическое поведение здания. Например, мягкие грунты могут усиливать сейсмические колебания в 3-5 раз по сравнению с скальными основаниями. Резонансные эффекты возникают, когда период собственных колебаний здания совпадает с преобладающим периодом грунтовых колебаний, что приводит к значительному увеличению амплитуды колебаний и возможным катастрофическим повреждениям.

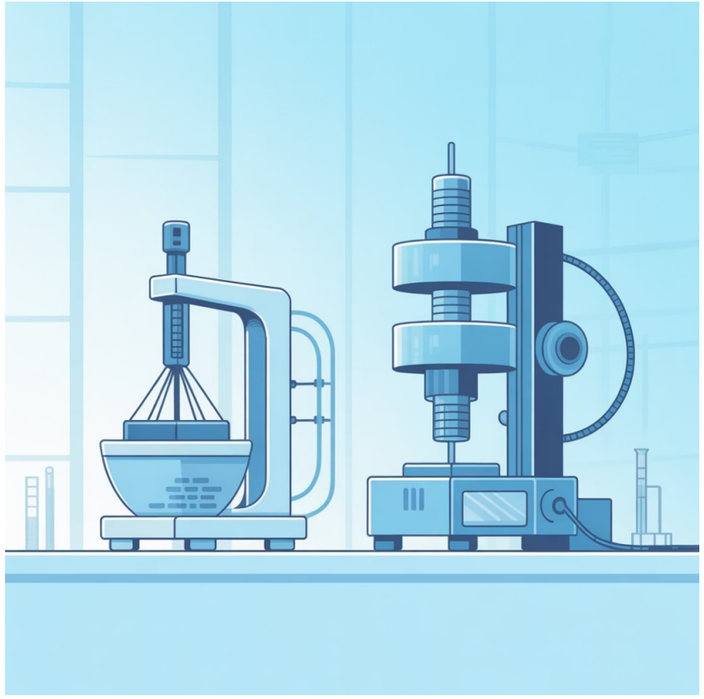
Методы инженерного обследования

Визуальное обследование



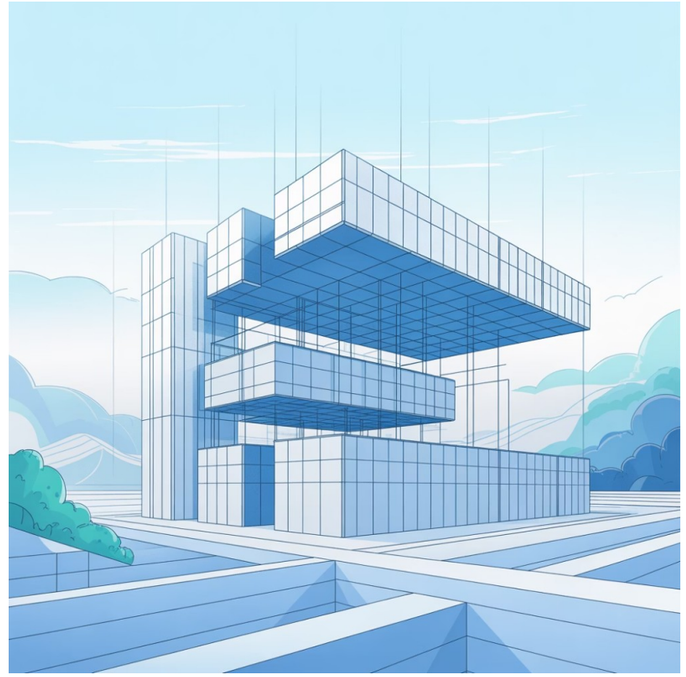
Первичная оценка повреждений включает детальный осмотр всех конструктивных элементов, фиксацию трещин, деформаций и разрушений. Инженеры используют стандартизированные формы для документирования повреждений и составления предварительного заключения о безопасности здания.

Инструментальные методы



Неразрушающий контроль включает ультразвуковое тестирование, георадар, инфракрасную термографию и динамические испытания. Эти методы позволяют оценить внутреннее состояние конструкций без их разрушения и выявить скрытые дефекты.

Расчетный анализ



Численное моделирование с использованием метода конечных элементов позволяет оценить остаточную несущую способность поврежденных конструкций и спрогнозировать их поведение при повторных сейсмических воздействиях.

Срочная оценка

0-48 часов после события

Детальное обследование

1-2 недели после землетрясения

Проектирование усиления

Разработка решений по восстановлению

Анализ реальных случаев разрушений

1

Землетрясение в Нортридже (1994)

M=6.7, Калифорния. Выявило уязвимость стальных каркасов с жесткими узлами. Привело к пересмотру норм проектирования стальных конструкций и разработке новых типов соединений.

2

Землетрясение в Кобе (1995)

M=6.9, Япония. Продемонстрировало важность сейсмоизоляции и необходимость модернизации старых зданий. Более 100 000 зданий были повреждены или разрушены.

3

Землетрясение в Чили (2010)

M=8.8. Показало эффективность современных норм сейсмостойкого проектирования. Несмотря на огромную магнитуду, количество обрушений было относительно невелико.

4

Землетрясение в Кентербери (2011)

M=6.3, Новая Зеландия. Разрушение центра Крайстчерча привело к разработке новых подходов к оценке сейсмической уязвимости каменной кладки.

Анализ последствий этих землетрясений позволил идентифицировать типичные уязвимости различных конструктивных систем и разработать улучшенные методы проектирования. Каждое крупное землетрясение становится источником ценных данных для совершенствования строительных норм и практики проектирования сейсмостойких зданий.

Современные технологии сейсмозащиты

Сейсмоизоляция

Специальные опорные части между фундаментом и надземной частью здания значительно снижают передачу сейсмических колебаний на конструкции. Эффективность достигает 70-80% снижения ускорений.

Демпфирующие устройства

Системы активного и пассивного демпфирования поглощают сейсмическую энергию, снижая амплитуду колебаний здания. Включают вязкие, фрикционные и металлические демпферы.

Конструктивные решения

Специальное армирование критических зон, использование высокопрочных материалов и продуманные детали соединений обеспечивают пластичность и предотвращают хрупкое разрушение.

Принципы сейсмостойкого проектирования

1. **Регулярность планировки:** симметричное расположение несущих элементов и масс
2. **Избыточность:** наличие альтернативных путей передачи нагрузок
3. **Пластичность:** способность к значительным деформациям без разрушения
4. **Связность:** надежные соединения всех элементов конструкции

Расчетная философия

Современный подход основан на многоуровневой защите: при слабых землетрясениях здание не должно иметь повреждений, при умеренных допускаются ремонтируемые повреждения, при сильных предотвращается обрушение и сохраняются жизни людей.

Усиление существующих зданий

Железобетонные рубашки

Увеличение сечений колонн и балок путем добавления нового бетона и арматуры. Повышает прочность и жесткость конструкций на 40-60%.

Композитные материалы

Обертывание элементов углеволокном (CFRP) или стеклопластиком. Увеличивает пластичность и предотвращает хрупкое разрушение при минимальном изменении размеров.

Стальные связи

Установка дополнительных стальных диагональных элементов в каркас здания. Эффективно повышает жесткость и прочность при относительно низкой стоимости.

Новые стены жесткости

Добавление железобетонных или стальных стен между существующими колоннами. Существенно улучшает сейсмическое поведение каркасных зданий.

Выбор метода усиления зависит от типа конструкции, степени дефицита сейсмостойкости, технических ограничений и экономических факторов. Часто применяется комбинация различных методов для достижения требуемого уровня сейсмической безопасности. Важно учитывать, что усиление должно быть комплексным и охватывать все критические элементы конструктивной системы.

Нормативная база и расчетные требования

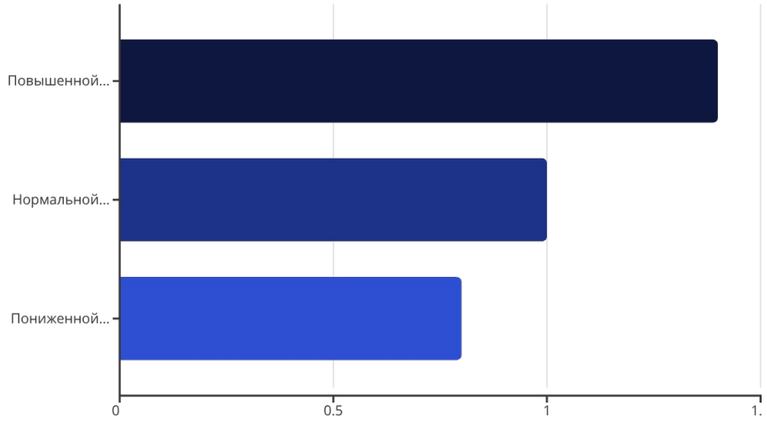
Основные нормативные документы

В России сейсмостойкое проектирование регламентируется СП 14.13330 «Строительство в сейсмических районах», который устанавливает требования к расчету и конструированию зданий в зависимости от сейсмичности площадки строительства (6, 7, 8, 9 баллов).

Международный стандарт Еврокод 8 (EN 1998) определяет подход на основе спектрального анализа и коэффициента поведения конструкции, отражающего ее способность к пластическому деформированию. Американские нормы ASCE 7 и IBC применяют концепцию категорий сейсмостойкости и детализированные требования к конструктивным системам.

Карты сейсмического районирования

Общее сейсмическое районирование (ОСР) России определяет базовые параметры сейсмической опасности для всей территории страны. Детальное сейсмическое микрорайонирование (СМР) учитывает влияние местных грунтовых условий и топографии на интенсивность колебаний.



Важное замечание

Коэффициент надежности по ответственности корректирует расчетные сейсмические нагрузки в зависимости от класса ответственности здания.

01

Определение сейсмичности

Анализ карт ОСР и проведение СМР

02

Выбор расчетной модели

Спектральный или динамический анализ

03

Расчет конструкций

Определение усилий и деформаций

04

Проверка критериев

Прочность, жесткость, пластичность

05

Конструктивные меры

Детализация узлов и соединений

Выводы и перспективы развития

Ключевые положения

- Инженерный анализ последствий землетрясений является основой для совершенствования методов сейсмостойкого проектирования
- Комплексный подход, включающий визуальное обследование, инструментальную диагностику и численное моделирование, обеспечивает достоверную оценку повреждений
- Изучение реальных случаев разрушений позволяет выявить слабые места конструктивных систем и разработать эффективные решения по их устранению
- Современные технологии сейсмозащиты значительно повышают безопасность зданий в сейсмоопасных регионах

Направления развития

- **Искусственный интеллект:** применение машинного обучения для автоматической оценки повреждений по фотографиям и видео
- **BIM-технологии:** интеграция данных о сейсмостойкости в информационные модели зданий на всех этапах жизненного цикла
- **Умные конструкции:** разработка адаптивных систем с датчиками и актуаторами для активного контроля сейсмического отклика
- **Новые материалы:** использование материалов с памятью формы, самозалечивающегося бетона и высокоэффективных композитов

Будущее сейсмостойкого строительства связано с интеграцией передовых технологий проектирования, новых материалов и систем мониторинга. Развитие вычислительных мощностей позволяет проводить все более точное моделирование сейсмического поведения сложных конструкций. Междисциплинарное сотрудничество инженеров, сейсмологов, геотехников и специалистов по материалам обеспечивает комплексный подход к повышению сейсмической безопасности зданий и сооружений.

> «Землетрясения не убивают людей — убивают здания. Наша задача как инженеров — проектировать и строить сооружения, которые сохранят жизни при любых сейсмических воздействиях.»