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

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

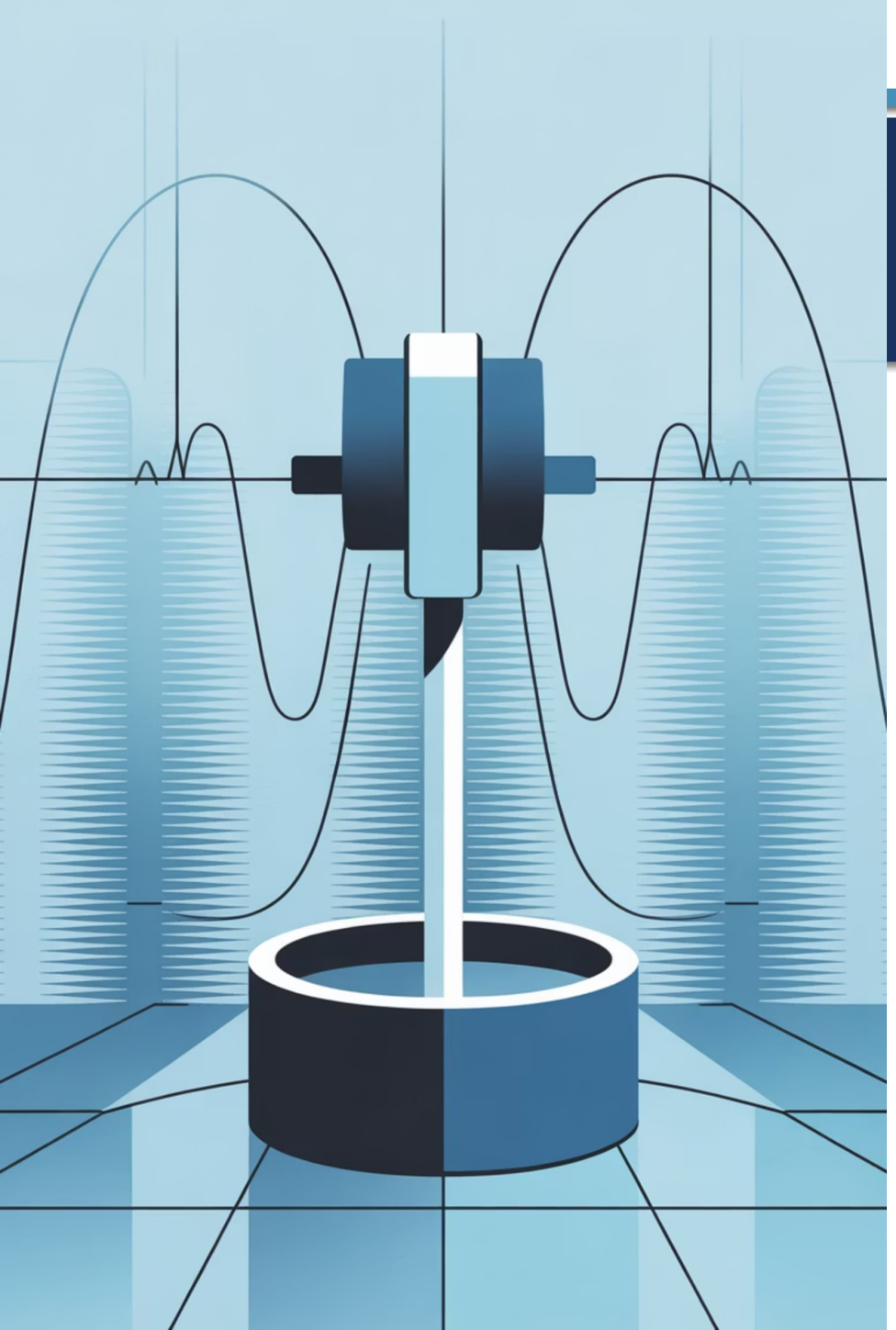
Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова
Кафедра «Геофизика и сейсмология»

GPH7142 - Инженерная сейсмология и сейсмостойкость
7М05302 – «Сейсмология

Лекция– 10

На тему «Методы оценки сейсмической опасности скорости»

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



Фундаментальные концепции сейсмической опасности

Детерминистический подход

Основан на анализе конкретных сейсмических источников и расчете максимально возможных воздействий. Учитывает геологическую историю региона, известные активные разломы и исторические землетрясения.

- Идентификация сейсмогенных зон
- Определение максимального магнитудного потенциала
- Расчет затухания сейсмических волн

Вероятностный подход

Интегрирует множество возможных сценариев землетрясений с их вероятностями возникновения. Позволяет оценить сейсмический риск для заданного временного интервала.

- Статистический анализ сейсмичности
- Закон повторяемости Гутенберга-Рихтера
- Построение карт сейсмической опасности

Скорости сейсмических волн: ключ к пониманию среды

P-волны (продольные)

Скорость: 5-8 км/с в земной коре

Первичные волны, распространяющиеся через сжатие и растяжение среды. Самые быстрые сейсмические волны, способные проходить через твердые и жидкие среды.

S-волны (поперечные)

Скорость: 3-4.5 км/с в земной коре

Вторичные волны, распространяющиеся перпендикулярно направлению движения. Не проходят через жидкости, что критично для определения структуры Земли.

Поверхностные волны

Скорость: 2-4 км/с

Волны Рэлея и Лява, распространяющиеся вдоль поверхности. Наиболее разрушительные для зданий и сооружений из-за большой амплитуды колебаний.

Соотношение скоростей Vp/Vs (коэффициент Пуассона) используется для определения типа горных пород и степени их насыщения флюидами. Типичные значения для консолидированных пород составляют 1.7-1.8, для рыхлых отложений могут достигать 2.0-3.0.



Методы измерения скоростей в инженерной сейсмологии

01

Сейсмическое профилирование

Метод преломленных волн (МПВ) для определения скоростного разреза верхней части разреза до глубин 30-50 метров.

02

Каротаж скважин

Прямое измерение скоростей в скважинах методами вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и акустического каротажа.

03

Микросейсмическое зондирование

Пассивный метод, использующий естественные микросейсмы для определения резонансных частот грунтовой толщи.

04

Поверхностные волны

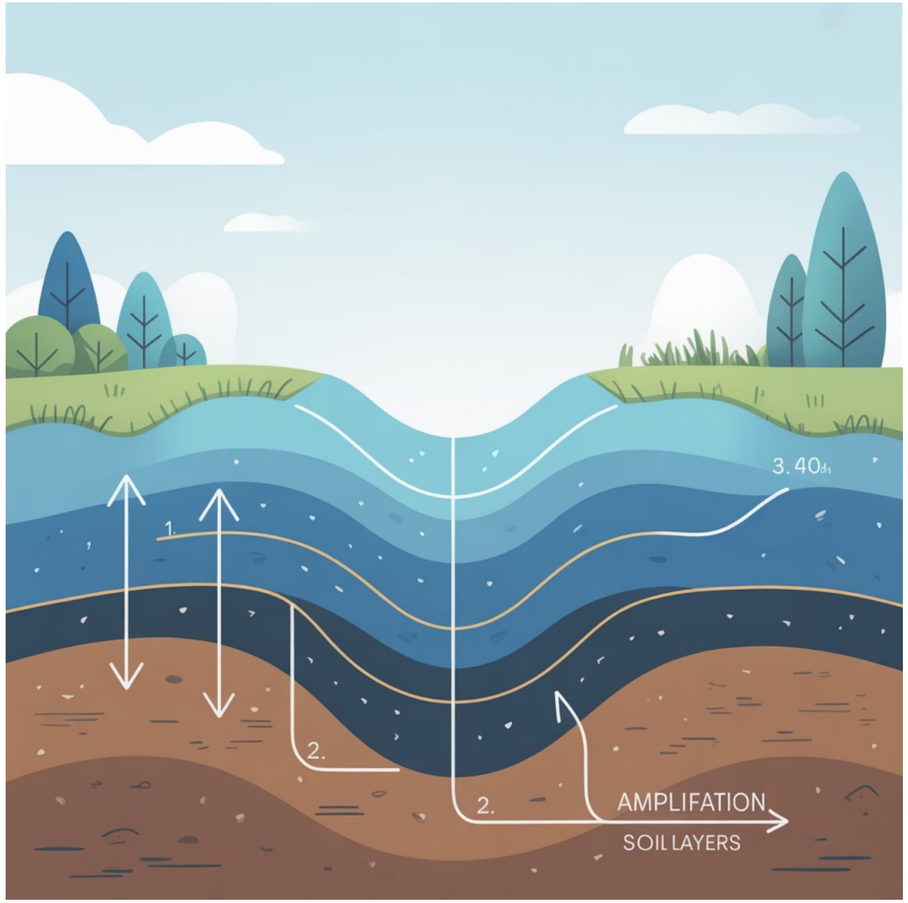
MASW-метод (Multichannel Analysis of Surface Waves) для построения профиля скоростей поперечных волн Vs.

Влияние скоростной структуры на сейсмическую опасность

Скоростная структура геологической среды оказывает определяющее влияние на характер распространения сейсмических волн и, следовательно, на уровень сейсмического воздействия на поверхности.

Ключевые эффекты:

- **Резонансное усиление** — когда период колебаний грунтовой толщи совпадает с периодом сейсмических волн, амплитуда колебаний может увеличиваться в 3-5 раз
- **Дисперсия волн** — различные частотные компоненты распространяются с разными скоростями, изменяя спектральный состав колебаний
- **Фокусировка энергии** — неоднородности скоростной структуры могут создавать зоны концентрации сейсмической энергии
- **Генерация поверхностных волн** — контрасты импеданса на границах слоев способствуют трансформации объемных волн в поверхностные



Важно: Мягкие грунты с низкими скоростями (Vs < 200 м/с) могут усиливать сейсмические колебания на 50-200% по сравнению со скальными основаниями.

Классификация грунтов по сейсмическим свойствам

1

Категория I: Скальные грунты

Vs ≥ 800 м/с

Магматические, метаморфические и прочные осадочные породы. Минимальное усиление сейсмических колебаний, расчетная балльность без повышения.

2

Категория II: Полускальные грунты

400 ≤ Vs < 800 м/с

Выветрелые скальные породы, плотные крупнообломочные и песчаные грунты. Умеренное усиление, повышение балльности на 0.5.

3

Категория III: Мягкие грунты

200 ≤ Vs < 400 м/с

Пески средней плотности, супеси, суглинки тугопластичной консистенции. Значительное усиление, повышение балльности на 1.0.

4

Категория IV: Особо неблагоприятные

Vs < 200 м/с

Рыхлые водонасыщенные пески, мягкопластичные глинистые грунты. Максимальное усиление, повышение балльности на 1.5-2.0.

Эта классификация, закрепленная в нормативных документах (СП 14.13330), является основой для учета местных грунтовых условий при сейсмическом микрорайонировании и проектировании.

Спектральный анализ сейсмической опасности

Спектры ускорений

Спектр ускорений показывает максимальную реакцию осциллятора с единичной массой на сейсмическое воздействие в зависимости от его собственного периода колебаний.

Практическое применение:

- Определение расчетных сейсмических нагрузок
- Учет динамических характеристик сооружения
- Оптимизация конструктивных решений

Упругие vs неупругие спектры

Упругие спектры предполагают линейное поведение конструкции. Неупругие (проектные) спектры учитывают способность конструкции к пластическим деформациям через коэффициент редукции R.

Формула связи:

$$S_d = \frac{S_a}{R}$$

где Sd — проектный спектр, Sa — упругий спектр, R — коэффициент редукции (1.5-5.0).

Современные подходы к построению карт сейсмической опасности

Сбор и систематизация данных

Каталоги землетрясений, геологические карты, результаты инструментальных наблюдений, палеосейсмологические данные. Формирование единой базы данных о сейсмичности региона за максимально длительный период.

Выделение сейсмогенных зон

Идентификация и параметризация потенциальных источников землетрясений на основе тектонического анализа, сейсмотектонических моделей и геофизических данных о строении земной коры.

Моделирование затухания

Использование эмпирических уравнений затухания (Ground Motion Prediction Equations - GMPE) для расчета параметров колебаний грунта на заданном расстоянии от очага землетрясения.

Вероятностный расчет

Интегрирование по всем возможным источникам и магнитудам с учетом их вероятностей. Построение кривых превышения для различных периодов повторяемости (475, 975, 2475 лет).

Учет локальных условий: сейсмическое микрорайонирование

Цели и задачи

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) уточняет общую сейсмическую опасность территории с учетом локальных инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Масштаб работ обычно составляет 1:25000 — 1:10000 для городских территорий.

Основные факторы учета:

- Скоростная структура грунтовой толщи
- Рельеф коренных пород и дневной поверхности
- Положение уровня грунтовых вод
- Физико-механические свойства грунтов
- Наличие карстовых полостей и оползневых зон



Методы выполнения СМР

1. **Инструментальные методы** — регистрация слабых землетрясений и взрывов, микросейсмическое зондирован
2. **Расчетные методы** — численное моделирование распространения сейсмических волн в слоистой среде
3. **Комбинированные методы** — сочетание инструментальных наблюдений с математическим моделированием

Результатом СМР являются карты сейсмического микрорайонирования с выделением зон различной балльности, которые используются для градостроительного планирования и проектирования.

Численное моделирование сейсмических воздействий

Одномерные модели

Используются для расчета усиления сейсмических колебаний в горизонтально-слоистой среде. Метод эквивалентной линеаризации и нелинейный анализ во временной области.

Программы: SHAKE, DEEPSOIL, STRATA

Двумерные модели

Позволяют учесть влияние рельефа дневной поверхности и коренных пород, наклонные границы слоев, латеральные неоднородности грунтовой толщи.

Методы: Конечные элементы, спектральные элементы

Трехмерные модели

Наиболее точное моделирование с учетом всех пространственных особенностей геологической среды. Требуют значительных вычислительных ресурсов.

Применение: Крупные города, особо важные объекты

Современные вычислительные мощности позволяют проводить детальное трехмерное моделирование распространения сейсмических волн для территорий мегаполисов с учетом реальной скоростной структуры осадочного чехла и кристаллического фундамента.

Практическое применение в сейсмостойком проектировании

Расчет сейсмических нагрузок

Использование спектров ускорений и скоростей для определения расчетных сейсмических сил. Учет категории грунтов, периода собственных колебаний здания, коэффициента конструктивной схемы.

Системы сейсмоизоляции

Применение опорных частей с низкой горизонтальной жесткостью для увеличения периода колебаний здания и выведения его из резонансной зоны спектра воздействий.

Мониторинг и верификация

Установка систем сейсмометрического контроля для регистрации реального поведения сооружений при землетрясениях и уточнения расчетных моделей.

Интеграция результатов оценки сейсмической опасности с учетом скоростных характеристик грунтов в процесс проектирования позволяет создавать безопасные и экономически эффективные конструктивные решения для сейсмически активных регионов.

Выводы и перспективы развития

Ключевые положения

- Скорости сейсмических волн — фундаментальный параметр для оценки сейсмической опасности и локальных эффектов усиления колебаний
- Классификация грунтов по скоростям Vs обеспечивает объективную основу для учета местных условий в проектировании
- Спектральный подход позволяет связать характеристики сейсмического воздействия с динамическими свойствами сооружений
- Численное моделирование открывает возможности детального прогноза сейсмических воздействий для конкретных площадок

Направления исследований

- Развитие методов высокоразрешающей сейсмической томографии для построения детальных скоростных моделей
- Совершенствование уравнений затухания с учетом нелинейного поведения грунтов
- Создание региональных баз данных параметров сильных движений
- Интеграция методов машинного обучения для анализа больших объемов сейсмологических данных

Комплексный подход к оценке сейсмической опасности с использованием современных методов измерения скоростей, численного моделирования и вероятностного анализа является основой обеспечения сейсмической безопасности застройки и критически важной инфраструктуры.