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– 12
На тему «Оценка сейсмических рисков»

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

Что такое сейсмический риск?

Определение

Сейсмический риск — это вероятность возникновения социально-экономических и экологических последствий землетрясения определенной интенсивности на конкретной территории в течение заданного периода времени. Это интегральная величина, которая учитывает не только природные факторы, но и характеристики застройки, плотность населения и экономическую ценность объектов.

Оценка сейсмического риска является фундаментальной задачей современной сейсмологии и инженерной защиты, позволяющей принимать обоснованные решения по планированию территорий, проектированию зданий и сооружений, а также разработке мер по снижению возможного ущерба.

Ключевые компоненты

- **Сейсмическая опасность** — вероятность возникновения землетрясения и его параметры
- **Уязвимость объектов** — степень подверженности зданий и инфраструктуры разрушению
- **Подверженность** — количество людей, зданий и материальных ценностей в зоне воздействия
- **Потенциальный ущерб** — ожидаемые потери жизней, повреждения зданий и экономические убытки

Сейсмическая опасность: природная составляющая

Геологические факторы

Изучение активных разломов, сейсмогенных зон и тектонических структур

- Картирование разломных систем
- Определение скорости деформации
- Палеосейсмологические исследования

Сейсмологический мониторинг

Регистрация и анализ сейсмических событий с использованием сети станций

- Каталоги землетрясений
- Параметры очагов
- Повторяемость событий

Оценка колебаний грунта

Прогнозирование максимальных ускорений и спектральных характеристик

- Модели затухания
- Локальные грунтовые условия
- Эффекты рельефа

Сейсмическая опасность определяется через вероятность превышения определенного уровня колебаний грунта (например, пикового ускорения PGA) в течение заданного периода времени. Для её оценки используются детерминистские и вероятностные методы. **Вероятностный анализ сейсмической опасности (PSHA)** — это современный подход, который интегрирует информацию о всех потенциальных источниках землетрясений в регионе, их повторяемости и законах распространения сейсмических волн.

Результатом такого анализа являются карты сейсмического районирования, которые показывают ожидаемые параметры колебаний грунта с заданной вероятностью превышения (обычно 10% за 50 лет, что соответствует периоду повторяемости 475 лет). Эти карты служат основой для строительных норм и правил.

Методы оценки сейсмической опасности

01

Идентификация источников

Определение всех потенциальных сейсмогенных зон и активных разломов в исследуемом регионе

02

Характеристика источников

Установление максимальных магнитуд, повторяемости землетрясений по закону Гутенберга-Рихтера

03

Модели распространения

Применение уравнений прогнозирования колебаний грунта (GMPE) для различных расстояний

04

Учёт локальных условий

Корректировка на грунтовые условия площадки с учётом усиления и резонансных эффектов

05

Вероятностная интеграция

Объединение всех факторов для получения кривых опасности и карт районирования

Уязвимость зданий и сооружений

Уязвимость характеризует степень повреждения, которое может получить здание или сооружение при воздействии сейсмической нагрузки определённой интенсивности. Она зависит от множества факторов: типа конструкции, материалов, года постройки, качества строительства и технического состояния.

Каменная кладка

Здания из неармированной каменной кладки являются наиболее уязвимыми из-за отсутствия связей и низкой сопротивляемости растяжению

Железобетон

Рамные и панельные здания обладают средней уязвимостью, особенно при недостаточном армировании узлов

Металлические каркасы

Стальные конструкции с правильными связями демонстрируют хорошую сейсмостойкость и пластичность



Функции уязвимости описывают вероятность достижения различных степеней повреждения в зависимости от интенсивности воздействия. Обычно выделяют пять градаций: отсутствие повреждений, легкие, умеренные, значительные повреждения и полное разрушение.

Классификация повреждений зданий

D0 — Без повреждений

Здание не получило повреждений, все конструктивные элементы в исправном состоянии, возможны минимальные косметические дефекты

D1 — Лёгкие повреждения

Волосяные трещины в штукатурке, отслоения отделки, повреждения неконструктивных элементов. Ремонт не требуется

D2 — Умеренные повреждения

Трещины в стенах и перегородках, частичное повреждение облицовки, необходим косметический ремонт без эвакуации

D3 — Значительные повреждения

Крупные трещины в несущих стенах, частичное разрушение отдельных элементов, требуется капитальный ремонт

D4 — Очень значительные

Серьёзные повреждения несущих конструкций, частичные обрушения, здание на грани разрушения, восстановление нецелесообразно

D5 — Полное разрушение

Обрушение несущих конструкций, здание полностью разрушено, восстановление невозможно

Оценка подверженности и экспозиции

Подверженность (exposure) представляет собой инвентаризацию всех элементов, находящихся в зоне риска: населения, зданий, инфраструктуры, экономической деятельности. Это критически важный компонент оценки риска, поскольку даже при высокой сейсмической опасности риск будет минимальным, если в зоне воздействия отсутствуют ценные объекты.

Население

Количество жителей, их распределение по времени суток (днём на работе, ночью дома), демографическая структура, наличие уязвимых групп (дети, пожилые, люди с ограниченными возможностями)

Здания и жильё

Жилой фонд, коммерческие здания, промышленные объекты — их количество, площадь, этажность, типология, восстановительная стоимость, характер использования

Инфраструктура

Объекты жизнеобеспечения: электростанции, водопровод, канализация, дороги, мосты, туннели, линии связи, объекты здравоохранения и образования

Современные методы оценки подверженности используют ГИС-технологии, спутниковое дистанционное зондирование, данные переписей населения, кадастровую информацию. Точность оценки экспозиции напрямую влияет на достоверность расчётов ожидаемого ущерба.

Количественная оценка сейсмического риска

Сейсмический риск количественно выражается через ожидаемые потери — человеческие жертвы и экономический ущерб. Основная формула расчёта риска объединяет три компонента:

> Риск = Опасность × Уязвимость × Подверженность

Прямые потери

- **Человеческие жертвы:** погибшие и раненые, рассчитываются на основе типов зданий, времени суток, плотности населения
- **Структурный ущерб:** стоимость ремонта или замены повреждённых зданий и сооружений
- **Повреждение содержимого:** ущерб оборудованию, мебели, товарам внутри зданий
- **Инфраструктурные потери:** повреждения дорог, мостов, коммуникаций

Косвенные потери

- **Простой предприятий:** потеря производства из-за повреждений или нарушения цепочек поставок
- **Социальные последствия:** временное расселение, психологические травмы, социальная дезорганизация
- **Экономический спад:** снижение налоговых поступлений, рост безработицы в пострадавшем регионе

Для практической оценки используются программные комплексы, такие как HAZUS (США), OpenQuake (международный), которые интегрируют все компоненты анализа и позволяют получить детальные карты риска и сценарии возможных потерь.

Меры по снижению сейсмического риска

Проектирование

Применение современных сейсмостойких технологий, соблюдение строительных норм, использование систем сейсмоизоляции и демпфирования

Усиление

Ретрофит существующих зданий: установка дополнительных связей, усиление узлов, применение композитных материалов для повышения несущей способности

Образование

Обучение населения правилам поведения при землетрясении, регулярные тренировки и учения, формирование культуры безопасности

Планирование

Территориальное планирование с учётом сейсмического микрорайонирования, страхование, создание систем раннего оповещения и планов эвакуации

Эффективная стратегия снижения рисков требует комплексного подхода на всех уровнях: от государственной политики и градостроительных решений до индивидуальных мер домовладельцев. Инвестиции в превентивные меры значительно более эффективны экономически, чем затраты на ликвидацию последствий.



Современные вызовы и направления развития

Изменение климата

Влияние климатических изменений на сейсмичность, взаимосвязь с наводнениями и оползнями, каскадные катастрофы

Урбанизация

Рост мегаполисов в сейсмоопасных регионах, уплотнение застройки, увеличение концентрации рисков

Цифровые технологии

Машинное обучение для анализа сейсмических данных, цифровые двойники городов, IoT-сенсоры для мониторинга зданий

Международное сотрудничество

Обмен данными и опытом, унификация методологий оценки риска, глобальные проекты по снижению рисков стихийных бедствий

Современная наука о сейсмических рисках активно развивается, интегрируя достижения геофизики, материаловедения, информационных технологий и социальных наук. Особое внимание уделяется разработке систем оперативного прогнозирования последствий произошедших землетрясений (ShakeMap, PAGER), которые позволяют в течение минут после события оценить масштабы бедствия и организовать эффективное реагирование.

Важным направлением является также развитие систем раннего предупреждения, которые используют разницу скоростей распространения продольных и поперечных сейсмических волн для оповещения населения за секунды до прихода разрушительных колебаний.

Выводы: интеграция знаний для безопасности

Оценка сейсмических рисков — это междисциплинарная задача, требующая синтеза знаний из геологии, сейсмологии, строительной механики, экономики и социологии. Успешное решение этой задачи критически важно для обеспечения устойчивого развития территорий в сейсмоопасных регионах.

Комплексный подход

Эффективная оценка риска требует учёта всех компонентов: от природной опасности до социальной уязвимости населения

Научная основа

Решения по снижению рисков должны базироваться на актуальных научных данных и передовых методологиях анализа

Превентивные меры

Инвестиции в предупреждение многократно окупаются снижением будущих потерь при землетрясениях

Непрерывное совершенствование

Методы оценки постоянно развиваются с появлением новых данных, технологий и понимания процессов

Понимание принципов оценки сейсмических рисков — это основа для принятия обоснованных решений на всех уровнях: от индивидуального выбора места проживания до государственной политики в области безопасности. Только через интеграцию научных знаний, инженерных решений и общественной осведомлённости мы можем создать устойчивые и безопасные сообщества, способные противостоять сейсмической угрозе.