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– 8**
На тему «Проектирования сейсмостойких зданий»

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

# Основы сейсмостойкого проектирования

Сейсмостойкое проектирование представляет собой междисциплинарную область инженерии, которая объединяет знания из геологии, строительной механики, материаловедения и архитектуры. Главная цель — создание зданий и сооружений, способных противостоять динамическим нагрузкам, возникающим во время землетрясений.

При землетрясении здание подвергается сложным колебательным движениям. Сейсмические волны распространяются через грунт и передают энергию фундаменту, что приводит к возникновению инерционных сил в конструкции. Эти силы могут значительно превышать статические нагрузки, для которых обычно проектируются здания.

## Типы сейсмических волн

- Продольные волны (P-волны) — самые быстрые
- Поперечные волны (S-волны) — более разрушительные
- Поверхностные волны — наиболее опасные для зданий

## Факторы воздействия

- Магнитуда и эпицентральное расстояние
- Глубина очага землетрясения
- Грунтовые условия площадки строительства
- Продолжительность колебаний

Современные нормы проектирования требуют, чтобы здания не только сохраняли несущую способность при сильных землетрясениях, но и оставались функциональными при землетрясениях умеренной интенсивности, минимизируя экономические потери и обеспечивая безопасность людей.

# Принципы сейсмостойкого проектирования

## Прочность

Конструкция должна обладать достаточной прочностью, чтобы противостоять сейсмическим нагрузкам без разрушения критических элементов

## Пластичность

Способность конструкции деформироваться без потери несущей способности, поглощая сейсмическую энергию

## Жёсткость

Оптимальная жёсткость предотвращает чрезмерные деформации и контролирует период колебаний здания

## Регулярность

Симметричная планировка и равномерное распределение масс снижают крутильные эффекты

Эти четыре принципа формируют основу философии сейсмостойкого проектирования. Прочность гарантирует, что здание выдержит экстремальные нагрузки. Пластичность позволяет конструкции «работать» во время землетрясения, образуя пластические шарниры в заранее определённых зонах, что предотвращает хрупкое разрушение. Жёсткость должна быть сбалансированной: слишком жёсткие конструкции испытывают большие ускорения, а слишком гибкие — большие перемещения. Регулярность в плане и по высоте минимизирует концентрацию напряжений и непредсказуемое поведение конструкции.

Важно понимать, что эти принципы должны применяться комплексно. Например, высокая прочность без достаточной пластичности может привести к хрупкому разрушению. Точно так же регулярная конструкция с недостаточной жёсткостью может испытывать чрезмерные деформации.

# Концепция проектирования на сейсмические воздействия

01

## Уровень эксплуатационной пригодности

При слабых землетрясениях (повторяемость 50-100 лет) здание должно оставаться полностью функциональным без повреждений

02

## Уровень ограниченных повреждений

При умеренных землетрясениях (повторяемость 200-500 лет) допускаются небольшие повреждения, но здание остаётся работоспособным

03

## Уровень предотвращения обрушения

При сильных редких землетрясениях (повторяемость 1000-2500 лет) предотвращается полное обрушение, обеспечивается эвакуация людей

Современная концепция многоуровневого проектирования признаёт, что экономически нецелесообразно проектировать здания так, чтобы они оставались неповреждёнными при самых сильных возможных землетрясениях. Вместо этого устанавливаются различные критерии производительности для землетрясений разной интенсивности.

Для обычных зданий основное требование — предотвращение обрушения при расчётном землетрясении. Для особо важных объектов (больницы, пожарные станции, объекты гражданской обороны) требования более строгие: эти здания должны оставаться функциональными даже после сильного землетрясения. Это достигается путём повышения коэффициентов надёжности и использования специальных конструктивных решений.

# Материалы для сейсмостойкого строительства

## Железобетон

**Преимущества:** высокая прочность на сжатие, пластичность при правильном армировании, монолитность конструкции, огнестойкость, широкая доступность и относительная экономичность.

**Особенности применения:** критически важно обеспечить достаточное поперечное армирование (хомуты) для предотвращения хрупкого разрушения. Класс бетона должен быть не ниже B20, арматура класса A400 и выше.

## Конструкционная сталь

**Преимущества:** отличная пластичность, высокая прочность при небольшом весе, предсказуемое поведение при циклических нагрузках, скорость монтажа.

**Особенности применения:** требуется надёжное проектирование соединений — они должны быть прочнее соединяемых элементов. Необходима защита от коррозии и огня.

## Древесина

**Преимущества:** малый вес, хорошее соотношение прочности к весу, естественная пластичность, экологичность, отличное поведение при кратковременных динамических нагрузках.

**Особенности применения:** эффективна для малоэтажных зданий. Требуется защита от влаги, биологических повреждений и огня. Особое внимание к узловым соединениям.

## Композитные материалы

**Преимущества:** высокая прочность, коррозионная стойкость, возможность усиления существующих конструкций углеродными и стеклопластиковыми лентами.

**Особенности применения:** используются для усиления критических зон, повышения пластичности колонн и балок. Высокая стоимость ограничивает широкое применение.

Правильный выбор материалов и их сочетание определяет эффективность сейсмостойкой конструкции. Современная практика часто использует гибридные системы: например, железобетонный каркас с стальными связями или деревянные конструкции с металлическими соединениями.

# Детали конструктивного решения

## Армирование колонн

Продольная арматура обеспечивает прочность на сжатие и изгиб. Поперечное армирование (хомуты) предотвращает выпучивание продольных стержней и обеспечивает конфайнмент бетона, повышая пластичность.

## Узлы рам

Узловая зона испытывает сложное напряжённое состояние при землетрясении. Требуется усиленное армирование для предотвращения разрушения до образования пластических шарниров в балках.

## Стены жёсткости

Граничные элементы стен должны иметь усиленное конфайнментное армирование. Это обеспечивает пластичность при больших деформациях и предотвращает хрупкое разрушение сжатой зоны.

Качество конструктивных деталей критически важно для сейсмостойкости. Недостаточное анкерование арматуры, неправильное расположение стыков, отсутствие конструктивных мер по обеспечению пластичности — всё это может привести к преждевременному разрушению даже при правильно выполненном общем расчёте здания.

Особое внимание следует уделять зонам потенциального образования пластических шарниров. Эти зоны должны иметь повышенное поперечное армирование на длине не менее двух высот сечения элемента от критического сечения.

# Современные системы сейсмозащиты

## Сейсмоизоляция

Системы сейсмоизоляции размещаются между фундаментом и надземной частью здания. Они значительно снижают передачу сейсмических ускорений на конструкцию.

**Типы изоляторов:**

- Резинометаллические опоры — слоистые элементы из резины и стальных пластин
- Маятниковые изоляторы — работают по принципу перевёрнутого маятника
- Скользящие опоры — используют поверхности с низким трением

**Преимущества:** снижение нагрузок на 4-6 раз, защита оборудования, уменьшение повреждений. **Недостатки:** высокая стоимость, требуется специальное обслуживание, большие горизонтальные перемещения.

## Демпфирующие устройства

Демпферы устанавливаются внутри конструкции для рассеивания сейсмической энергии путём преобразования её в тепло.

**Виды демпферов:**

- Вязкие демпферы — используют вязкую жидкость
- Фрикционные демпферы — работают за счёт трения
- Металлические демпферы — пластические деформации металла
- Вязкоупругие демпферы — полимерные материалы

**Преимущества:** эффективное энергопоглощение, можно добавить в существующие здания. **Недостатки:** требуется точный расчёт и правильное размещение.

## Настроенные массовые демпферы

Большая масса, установленная в верхней части здания и настроенная на резонанс с собственными колебаниями конструкции, создаёт противофазные колебания.

**Применение:** особенно эффективны для высотных зданий и башен, где важно контролировать колебания от ветра и землетрясений.

**Преимущества:** уменьшение амплитуды колебаний до 40%, повышение комфорта. **Недостатки:** большие габариты и масса, высокая стоимость, эффективны только для узкого диапазона частот.

Системы сейсмозащиты представляют собой прогрессивное направление в проектировании, позволяющее значительно повысить безопасность зданий или снизить их стоимость за счёт уменьшения требований к несущим конструкциям.

# Влияние грунтовых условий

1

## Тип I: Скальные грунты

Коренные скальные породы практически не изменяют характеристики сейсмических волн. Это наиболее благоприятные условия для строительства. Коэффициент условий работы минимален.

2

## Тип II: Плотные связные грунты

Плотные глины, суглинки, супеси с показателем текучести менее 0,5. Грунты обладают достаточной несущей способностью, умеренно усиливают сейсмические колебания.

3

## Тип III: Песчаные и рыхлые связные грунты

Пески средней плотности, мягкопластичные глинистые грунты. Значительно усиливают сейсмические колебания, особенно в диапазоне периодов 0,3-0,6 с. Требуют учёта повышенных коэффициентов.

4

## Особые грунтовые условия

Насыпные грунты, водонасыщенные пески, просадочные грунты. Возможны явления разжижения при землетрясении. Требуется специальное обоснование или улучшение грунтовых условий.

Грунтовые условия площадки строительства оказывают определяющее влияние на интенсивность сейсмических воздействий. Мягкие грунты могут усиливать сейсмические колебания в 2-3 раза по сравнению со скальным основанием. Это явление называется локальным грунтовым эффектом.

При проектировании необходимо проводить инженерно-геологические изыскания для определения типа грунтов и их характеристик. В некоторых случаях целесообразно применять методы улучшения грунтов: уплотнение, замена, устройство свайных фундаментов.

# Контроль качества и обследование зданий

## Контроль на стадии строительства

Качество сейсмостойкого строительства закладывается на всех этапах, начиная с проектирования и заканчивая эксплуатацией. Критически важен контроль на стадии возведения:

- **Контроль материалов:** прочность бетона, класс арматуры, качество сварных соединений
- **Контроль армирования:** соответствие проекту диаметров, шагов, защитного слоя, анкеровки
- **Контроль бетонирования:** качество укладки, уплотнения, условия твердения
- **Контроль узлов:** особое внимание к рамным узлам, стыкам стен, соединениям

Даже незначительные отклонения от проекта могут существенно снизить сейсмостойкость здания. Например, уменьшение количества хомутов или увеличение их шага на 20% может снизить пластичность элемента в несколько раз.



## Обследование существующих зданий

Для оценки сейсмостойкости существующих зданий проводится комплексное обследование:

1. Визуальный осмотр — выявление трещин, деформаций, повреждений
2. Инструментальные измерения — прочность материалов, армирование
3. Анализ проектной документации — соответствие нормам
4. Расчётная оценка — проверка несущей способности

**Методы усиления:**

- Устройство дополнительных связей и диафрагм
- Усиление колонн и стен стальными или композитными обоймами
- Увеличение сечений элементов
- Устройство дополнительных стен жёсткости

# Заключение и перспективы развития

«Землетрясения не убивают людей — это делают здания. Наша задача как инженеров — проектировать конструкции, которые защитят жизни даже при самых экстремальных воздействиях.»

## Ключевые выводы

- Сейсмостойкое проектирование основано на балансе прочности, пластичности и жёсткости
- Правильный выбор конструктивной системы и материалов определяет эффективность сейсмозащиты
- Детали конструктивного решения не менее важны, чем общий расчёт
- Современные системы сейсмозащиты позволяют значительно повысить безопасность
- Качество строительства критически важно для реализации проектных решений

## Направления развития

- **Интеллектуальные конструкции:** системы активного управления с датчиками и актуаторами
- **Новые материалы:** высокопрочные бетоны, композиты с памятью формы
- **BIM-технологии:** цифровое моделирование для оптимизации проектных решений
- **Машинное обучение:** прогнозирование поведения конструкций на основе больших данных

Сейсмостойкое проектирование продолжает развиваться, интегрируя новые материалы, технологии и методы расчёта. Опыт прошлых землетрясений постоянно обогащает нашу инженерную практику, позволяя создавать всё более безопасные и экономичные конструкции. Будущее за интеллектуальными адаптивными системами, способными в реальном времени реагировать на сейсмические воздействия и минимизировать ущерб.