**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН В ИССЛЕДОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И В СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ**

**А.Ф. Еманов**, д-р техн. наук

(АСФ ФИЦ ЕГС РАН)

**А.А. Бах**, ст. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН

**А.А. Еманов**, канд геол -минерал наук

(АСФ ФИЦ ЕГС РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН)

**Аннотация.** В докладе рассматривается использование метода стоячих волн для изучения собственных колебаний зданий сложной конфигурации. Приводятся данные о экспериментальных исследованиях методом стоячих волн зданий одинаковой конструкции, но отличающихся наличием или отсутствием сейсмозащиты в виде гибкого этажа.

**Ключевые слова:** метод стоячих волн, энергия стоячих волн, сейсмозащита, сейсмическое микрорайонирование, собственные колебания.

Метод стоячих волн, разработанный с использованием свойства когерентности во времени этого типа волн, позволяет получать из разновремённых наблюдений с опорной точкой данные о одновременных колебаниях исследуемого объекта по полному полю стоячих волн. Строятся карты амплитуд по каждой стоячей волне, карты фаз колебаний для каждой стоячей волны и карты значений когерентности для каждой стоячей волны.

Точность, детальность и разрешённость анализа в методе стоячих волн являются регулируемыми в эксперименте параметрами. Все эти параметры зависят от значений когерентности. Величина последней отражает соотношение энергии стоячих волн к другим волнам на значениях собственных частот объекта. Чем выше когерентность, тем меньше время регистрации для достижения результата заданной точности.

Целью работы является, используя возможности метода стоячих волн экспериментально изучить собственные колебания зданий сложных конструкций с наличием сейсмозащиты, изучить зависящие от частоты резонансные свойства геологиче6ского разреза и построить методику оценки сейсмостойкости на основе изучения полного поля стоячих волн в зданиях и в верхней части разреза.

Применение метода стоячих волн в сейсмическом микрорайонировании позволяет выделить резонансные частоты слоев верхней части разреза и затем для каждой из частот построить карты усиления колебаний в слое для заданной площадки. Результатом является набор карт для каждой из собственных частот разреза. Дополнительный результат набор карт точности карт усиления колебаний. Данная методика позволяет изучать не только вертикальные резонансы, но и горизонтальные. Для строителей информация о частотно зависимом усилении даёт понимание какой этажности строить здания, чтобы избежать совпадения резонансов среды и зданий.

Сложные конструкции зданий приводят к тому, что наличие дополнительных отражающих границ внутри здания обеспечивает формирование нескольких систем стоячих волн. Мы имеем модели взаимосвязанных резонаторов и вложенных резонаторов известных в физике и не применяющихся в расчёте зданий и сооружений.

Проведены экспериментальные исследования методом стоячих волн зданий одинаковой конструкции, но отличающихся наличием или отсутствием сейсмозащиты в виде гибкого этажа. Поля собственных колебаний для зданий в целом построены в виде карт амплитуд, карт фаз и карт когерентности. Результаты сопоставимы, но изменения собственных частот не соответствуют теоретическим расчётам, заложенным в основу расчёта сейсмозащиты. Обнаружено существование у сейсмозащищённого здания резонансов, сформировавшихся за счёт введения в конструкцию сейсмозащиты.

Для зданий с не однородной конструкцией, в частности наличие технического этажа перед чердаком обнаруживается формирование двух полей стоячих волн. Одно для здания в целом, когда верх не закреплён и второго вложенного резонатора, верх которого заканчивается на границе основной конструкции здания с техническим этажом. Верхняя граница вложенного поля стоячих волн проявляет себя как жёстко закреплённая. Наличие вложенного резонатора меняет собственные частоты и здания в целом, что делает расчёты по стандартным методикам не точными. Неверная модель здания вызывает ошибки в расчёте сейсмозащиты и снижает эффективность последней.

При исследовании методом стоячих волн обнаруживается факт устойчивой картины значений когерентности. Обнаруживаются участки пониженных значений, которые могут быть интерпретированы как области с умеренными нелинейными эффектами в колебаниях здания. Обычно переход в нелинейный режим колебаний связывают с стадией предразрушения. В данном случае мы обнаруживаем нелинейности, связанные взаимодействием структуры блоков из которых состоит здание. Возможность экспериментально изучать нелинейные эффекты в колебаниях зданий открывает новые возможности в оценке их устойчивости при сейсмических воздействиях и даёт информацию для совершенствования моделей, использующихся в расчётах.

Экспериментально показано, что для верификации расчётных моделей зданий необходимы детальные исследования методом стоячих волн всего поля собственных колебаний. Установлено, что в ряде случаев модель здания необходимо рассматривать как систему связанных резонаторов или систему вложенных резонаторов. Теория таких систем применяется в физике, но не используется пока в расчёте зданий и инженерных сооружений.