**РАЗВИТИЕ АЛГОРИТМОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR INTERPRETING THE METHOD OF STANDING WAVES FOR THE STUDY OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF COMPLEX CONSTRUCTIONS**

**Еманов Александр Федорович**

доктор технических наук, директор, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, тел. +7 (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru;

**Бах Александр Александрович**

старший научный сотрудник, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, тел. +7-913-713-51-09, e-mail: abakh61@mail.ru.

**Alexander F. Emanov**

doctor of technical sciences, branch director, Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey RAS”, tel. +7 (383) 333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru;

**Alexander A. Bach**

Senior Engineer, Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey RAS”, tel. +7-913-713-51-09, e-mail: abakh61@mail.ru.

**Аннотация.** По материалам исследований методом стоячих волн сложных инженерных объектов получены результаты, демонстрирующие значительные отклонения экспериментальных данных о моделях зданий от моделей зданий, принятых в основу расчёта сейсмостойкости и устойчивости конструкций. Установлены объективные причины существующих отличий. Во-первых, это существование отражающих границ внутри здания, когда стоячие волны формируют общее поле для здания в целом и локальное поле для части объекта. Во-вторых, блочное строение объекта, когда некоторые блоки, то независимо колеблются, то объединяются в одну систему. В-третьих, существование стен с двойными отражающими свойствами, что меняет поле стоячих волн. В-четвёртых, сложная геометрия объекта формирует поля стоячих волн, не описывающиеся двумя волновыми числами. В работе представлена алгоритмическая схема интерпретации стоячих волн в объектах сложных конструкций. Экспериментальные данные показывают, что в теории зданий необходимо переходить к моделям вложенных резонаторов и к моделям связанных резонаторов, а верификацию моделей возложить на метод стоячих волн.

**Ключевые слова:** Экспериментальное обоснование новых зданий, сейсмическое воздействие на здания, когерентность

**Annotation.** Based on the research of the standing wave method of complex engineering objects, results were obtained that demonstrate significant deviations of experimental data on building models from building models used as the basis for calculating seismic stability and structural stability. Established the objective reasons for existing differences. First, it is the existence of reflecting boundaries inside the building, when standing waves form a common field for the building as a whole and a local field for a part of the object. Secondly, block structure of an object, when some blocks, then independently oscillate, then unite into one system. Thirdly, the existence of walls with double reflective properties, which changes the field of standing waves. Fourthly, the complex geometry of an object forms fields of standing waves that are not described by two wave numbers. The paper presents an algorithmic scheme for interpreting standing waves in objects of complex structures. Experimental data show that in the theory of buildings it is necessary to switch to the models of nested resonators and to the models of coupled resonators, and the verification of models should be assigned to the standing-wave method.

**Keywords:** experimental interpretation of new buildings, seismic effects on buildings, coherence

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-78-80**

Самыми простыми примерами сложных по полю стоячих волн объектов являются здания, внутри которых существует отражающая граница. В данном случае формируется поле стоячих волн внутри другого поля. Такой результат получен для здания, над которым существует технический этаж и чердак. Основное поле стоячих волн (ряд мод) формируется для здания в целом и верх здания свободно колеблется. В этом случае в каждой моде верх является полупериодом с максимумом колебаний на крыше. При этом узловые линии для каждой стоячей волны смещены вверх. Для вложенного поля стоячих волн верхняя граница представлена последним жилым этажом. Эта граница зажата и на ней нулевые колебания. Узловые линии для этих волн опущены к низу. Наличие границы приводит к существованию стоячих волн одной и той же кратности, но соответствующих разным объёмам зданий.

Распространённым усложнением конструкций здания является сейсмоизоляция или свайные фундаменты. Мы сталкиваемся с примерами, когда фиксируется поле стоячих волн для всего здания в целом и поле стоячих волн части здания выше сейсмоизоляции.

Другим примером сложного объекта являются здания со сложным строением стен. Для одного из служебных зданий технического университета в Томске фиксируются две моды одного порядка (3,1). Одна стоячая волна в здании с той особенностью, что свободные колебания испытывает не только верх здания, но и левая вертикальная стена здания. Низ и правая стена зажаты. Зафиксирована другая стоячая волна в этом же здании с той же кратностью, но картина иная. В данном случае свободные колебания у верха здания и правой стены, а левая стена и низ зажаты. Представленные данные говорят, что сложно построенные стены могут вести себя двояко. Отражать внешней гранью колебания и внутренней. В этом случае, вероятно, внешние отражения имеют свободу колебаний, а внутренние ведут себя как зажатые. В результате мы имеем резонансы в здании, которые не описываются теоретическими расчётами.

Ещё одним вариантом сложных объектов являются геометрически сложные конструкции и блочные конструкции. К таким конструкциям относятся плотины ГЭС. Строение в виде трапеции, когда верх шире, чем низ создают уникальные условия для формирования полей собственных колебаний. На Богучанской ГЭС блочное строение привело к тому, что ярко выраженная первая мода существует только в одном блоке, а с повышением кратности в единое колебание захватывается всё больше блоков. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС по основным модам ведёт себя как струна по верху здания, но при этом по ряду мод имеем картину изменения кратности по горизонтали с высотой платины. Для описания такого эффекта не достаточно двух волновых чисел (кратность по вертикали, кратность по горизонтали), приходится вводить кратность для разных уровней плотины. Полная интерпретация полей стоячих волн выполняется по следующей схеме:

• Выделение собственных частот и построение карт амплитуд стоячих волн, карт фаз, карт когерентности для каждой собственной частоты.

• Определение объёмов, в которых существуют группы стоячих волн. Фактически нахождение в объекте отражающих границ или выявление блочного строения.

• Обнаружение эффектов, связанных с изменениями кратности, вызванными сложной геометрией объекта.

• Раздельная интерпретация по каждой стоячей волне с определением граничных условий по области её существования.

• Интерпретация по каждой из стоячих волн на основе обратного решения волнового уравнения.