

**Пересыркин Евгений Николаевич**, д-р техн. наук, профессор,  
Сочинский государственный университет, г. Сочи (Россия)

**Юрченко Евгений Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент,  
Сочинский государственный университет, г. Сочи (Россия)

**Юрченко Елена Евгеньевна**, канд. техн. наук, доцент, Сочинский  
государственный университет, г. Сочи (Россия)

**Evgeniy Peresyarkin**, DSc in Engineering Science, Professor, Sochi  
State University, Sochi (Russia)

**Evgeniy Yurchenko**, PhD in Engineering Science, Associate Professor,  
Sochi State University, Sochi (Russia)

**Elena Yurchenko**, PhD in Engineering Science, Associate Professor,  
Sochi State University, Sochi (Russia)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СЕКЦИИ ЖИЛОГО ДОМА ТИПОВОЙ СЕРИИ 1-335АС ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

## **EXPERIMENTAL STUDY OF TYPICAL RESIDENTIAL HOUSE SECTION 1-335AS SERIES MODEL UNDER DYNAMIC LOADINGS**

### **АННОТАЦИЯ**

*Одной из причин несоответствия натуральных и расчётных данных о поведении зданий при сейсмическом воздействии является недостаточный учёт в расчётных моделях условий взаимодействия основания и наземных конструкций. Это обуславливает необходимость проведения натуральных испытаний. Однако такие испытания дороги и не позволяют в одном и даже в серии экспериментов отобразить всё многообразие воздействий и взаимодействий.*

*В статье излагаются постановка и результаты эксперимента на мало-размерной модели из пьезоматериала (оргстекла) типовой секции жилого дома серии 1-335АС на динамические воздействия. Масштабирование модели выполнено с соблюдением геометрического и физического подобия. Свободные колебания модели возникали от ударов пружинного пистолета прибора ОНИКС по стенке корыта с песком, в котором находилась модель секции здания серии 1-335АС, нагруженная в дополнение к собственному весу полезной нагрузкой, создаваемой слоем песка на перекрытиях. Измерения перемещений модели, как и грунта, производилось с помощью электродов двухканального микро-*

фонного усилителя, подключённого к компьютеру в режиме осциллографа. Использование пьезоматериала позволяет считывать электрические сигналы, возникающие при свободных колебаниях модели, и регистрировать их компьютером. Результаты измерений перемещений рамной системы сопоставлялись с соответствующими расчётными значениями, полученными при 7-балльном сейсмическом воздействии спектральным методом.

Сопоставление экспериментальных, расчётных данных и данных натуральных испытаний в Иркутске и Ангарске [1, с.189] показало, что горизонтальные перемещения малоразмерной модели из оргстекла превышают расчётные значения перемещений, полученные спектральным методом, и близки к данным натуральных испытаний. Резонансные характеристики модели соответствуют расчётным характеристикам.

Таким образом, показано, что малоразмерные модели из пьезоматериалов и изложенный метод проведения испытаний могут быть использованы для оценки уязвимости зданий при сейсмическом воздействии.

## **ABSTRACT**

*One of the reasons for the inconsistency of field and rated data on the behavior of buildings under seismic load is an insufficient registration of the interaction of the base and surface structures within computational models. This calls for full-scale testing. However, these tests are expensive and do not allow one or even several experiments show the entire diversity of effects and interactions.*

*The article presents the formulation and results of the experiment on small model of typical residential house section 1-335AS serie , made of the piezo material (Plexiglas), on the dynamic loadings. Scale models are performed in compliance with the geometrical and physical similarity. Free oscillations of the model arose because of device ONYX spring-actuated gun strokes on the trough wall with sand, which contained the model section of the building 1-335AS series, loaded, in addition to its own weight, with payload created by the sand layer on the floors. Measurements of model shifts, as well as soil, were made with the two-channel microphone amplifier electrodes, connected to the computer in the oscilloscope mode. Using piezo material allows to read electrical signals arising from the free vibration of the model, and to register them at the computer. The results of the frame shifts measurements were compared with the corresponding rated values obtained on 7-point seismic impact within the spectral method.*

*Comparison of experimental, rated data and data of field tests in Irkutsk and Angarsk [1, p.189] showed, that the horizontal shifts of small-size model made of plexiglass exceed its rated values obtained by the spectral method, and are close to those of full-scale tests. The resonance characteristics of the model correspond to the rated characteristics.*

*Thus, it was shown that small-size models of piezo materials and the method of testing set out can be used to assess the vulnerability of buildings under seismic load.*

**Ключевые слова:** модель здания, динамическая система, пьезоэффект, сейсмическая волна, формы колебаний

**Keywords:** building model, dynamic system, piezoelectric effect, seismic wave, wave modes

## **ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, наиболее достоверную информацию о сейсмостойкости зданий, особенно типовых, возможно получить только по результатам прошедшего землетрясения. Достаточно обширные исследования поведения жилых домов серии 1-335АС при сейсмическом воздействии, изложенные в работе [1, с.189], свидетельствуют о ряде особенностей деформирования и повреждений конструкций зданий этой серии, не прогнозируемых расчётным методом.

Каркасно-панельные дома серии 1-335АС представлены в застройке городов бывшего СССР в виде как не сейсмостойких модификаций, так и 7-, 8- и 9-балльных. В результате землетрясения в Иркутской области (г. Слюдянка, 27.08.2008) в домах этой серии поврежденными оказались горизонтальные стыки стеновых панелей лестничных клеток, то есть наиболее жесткие элементы, обеспечивающие сейсмостойкость здания в поперечном направлении и служащие безопасными путями эвакуации. Неожиданными такие повреждения стали потому, что наиболее уязвимыми для этой серии считаются «платформенные стыки» элементов плоских поперечных рам и соединения между колоннами и ригелями, выполненные на сварке закладных деталей с катетом шва 6-8 мм, часто подверженные коррозии в результате длительной эксплуатации.

После этого сейсмического события техническая паспортизация, измерение динамических характеристик и аналитическая оценка сейсмостойкости зданий этой серии с количеством секций от двух до шести, высотой 4-5 этажей, проведенные в Иркутске, Улан-Удэ, Ангарске, показали, что реальная сейсмостойкость зданий не превышает 6 баллов вместо проектных 7. При натурных испытаниях жилых домов [1, с.191, табл. 2] основной контролируемой величиной было отношение интенсивностей колебаний на высотных уровнях: покрытие верхнего этажа/грунт, – которое составило 2,6. Установлено снижение жесткости обследованных зданий на 20-30 %, увеличение амплитуды колебаний в области лестничных клеток и появление дополнительных деформаций вдоль продольной оси здания. Это порождает вопрос, почему сейсми-

ческое воздействие регулярно и повсеместно приводит к загадочным сдвиговым разрушениям зданий, которые происходят вопреки расчетам. Один из наиболее естественных ответов на этот вопрос состоит в том, что необходим более полный учет взаимодействия грунта и сооружения, связанный с проведением дорогостоящих натуральных испытаний, хотя бы для типовых серий.

Однако натурные эксперименты не только дороги, и потому их удел – малочисленность, но и не могут охватить всё многообразие условий взаимодействия здания с основанием. Поэтому нужны эксперименты на маломасштабных моделях, которые наряду с натурными испытаниями и математическим моделированием позволят получать важные в практическом отношении результаты. Ниже излагается метод проведения испытаний на малоразмерных моделях.

### **ИСПЫТАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ**

Малоразмерные модели из пьезоматериалов могут быть установлены на любые основания, где удобно воспроизводить любое взаимодействие с грунтом – от заземления (предусмотренного в математических моделях) до податливого. Использование пьезоматериалов (оргстекла) позволяет с помощью электродов микрофонного усилителя считывать электрические сигналы, возникающие при свободных колебаниях моделей, и регистрировать их компьютером, работающим как осциллограф.

Свободные колебания модели в нашем эксперименте возникли от ударов пружинного пистолета прибора ОНИКС по стенке корыта с песком, в котором находилась модель секции здания серии 1-335АС, нагруженная собственным весом и полезной нагрузкой, создаваемой слоем песка на перекрытиях.

Согласно инструкции к прибору ОНИКС потенциальная энергия сжатой пружины составляет  $\Pi = 0,12$  Дж.

Сила пружины  $F = -kx$ ,

где  $k$  – коэффициент упругости,  $x$  – деформация пружины – измеренное в приборе расстояние, на которое во время удара смещается боек пружины ( $x = 0,02$  м).

Потенциальная энергия пружины  $\Pi = F_{cp}x$ ,

где  $F_{cp} = (F_{max} + F_{min})/2$ ,  $F_{min} = 0$ ,  $F_{max} = 2 F_{cp}$ ,

$\Pi = kx^2/2$ , отсюда  $k = 2\Pi/x^2$ ,

$F = -2\Pi/x = -2*0,12/0,02 = -12$  Н, а  $F_{max} = 2 F_{cp} = 2*12 = 24$  Н.

Таким образом, сила удара, вызывающая свободные колебания модели, 24 Н.

Магнитуда воздействия определялась по результатам измерения колебаний линеек, погруженных в грунт основания, правый канал усилителя подведен к линейке, погруженной в грунт за моделью, левый – перед моделью. Расстояние между левым и правым каналом 21,5 см. По осциллограмме определяется разность амплитуд левого и правого каналов  $A_r$  электрических напряжений в mV, время прохода волны между левым и правым каналом  $t_r$ , период колебаний  $T_r$ . На основании полученных данных вычислена скорость распространения волны в грунте  $v_r$ , длина волны  $\lambda_r = v_r / f_r$ , частота колебаний грунта  $f_r$ , магнитуа силы воздействия по Рихтеру, составившая  $M=4-5$ , что согласно [3, с. 45] соответствует 7 баллам.

Масштабирование модели, выполненное по методике [2, с. 181], показало, что масштаб  $M$  1:100 сопоставим с динамическими и механическими характеристиками натурального объекта. Сечения колонн и ригелей модели 2\*4 мм, толщина перекрытий 1 мм, толщина стен 2,5 мм. Фундаменты ленточные шириной по подошве 7 мм, глубина погружения в грунт (песок) 8 мм. Соединения элементов модели выполнены клеем из дихлорэтана со стружкой из оргстекла.

Измерение горизонтальных перемещений модели секции здания серии 1-335АС, также как и грунта, производились с помощью электродов двухканального микрофонного усилителя, подключенного к компьютеру в режиме осциллографа. Электроды располагались на наружных колоннах или стенах посередине высоты каждого этажа, при этом левый канал усилителя – ближайший к месту удара, правый канал усилителя – на наиболее удаленной от удара конструкции. Расстояние между левым и правым каналом для модели – 12,4 см. По осциллограммам определялись амплитуды левого  $A_n$  и правого  $A_p$  каналов электрических напряжений в mV и с помощью передаточной системы переводились в мм.

Результаты измерений перемещений защемленной рамы сопоставлялись с расчетными значениями при 7-балльных сейсмических воздействиях, определенными спектральным методом от горизонтальных сосредоточенных нагрузок: в уровне первого этажа – 0,006 Н; в уровне второго – 0,012 Н; в третьего – 0,016 Н; в уровне четвертого – 0,018 Н; в уровне пятого – 0,016 Н. Нагрузка на перекрытия от собственного веса (рассчитывалась плоская рама) – 0,5 Н/м, а с учетом эксплуатационной нагрузки – 1 Н/м, вертикальные нагрузки на наружные колонны – 0,04 Н, на внутренние колонны – 0,02 Н.

Реакции на эти воздействия вычислены по конечно элементной программе, горизонтальные перемещения фиксировались в тех же

точках расчетной модели, на которых во время испытаний устанавливались электроды.

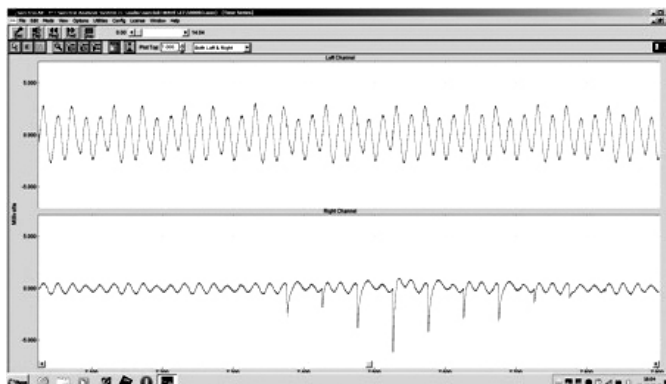
При сопоставлении экспериментальных данных с расчетными оказалось, что перемещения для прямой волны (по левому каналу) совпадали в уровнях 4 и 5 этажей, а для отраженной (по правому каналу) совпадали в уровне 3 этажа. Отсюда следует, что расчетные модели рамы учитывают реакции прямых волн и не учитывают реакции отраженных волн.

В модели экспериментальные значения перемещений стен лестничной клетки сравнивались с экспериментальными же значениями перемещений рамы. Оказалось, что перемещения стен лестничной клетки в уровнях 1-3 этажей при прямой волне в 2 раза превышали перемещения рамы. При отражённой волне они совпадали, а на 4-5 этажах уже перемещения рамы были значительно больше.

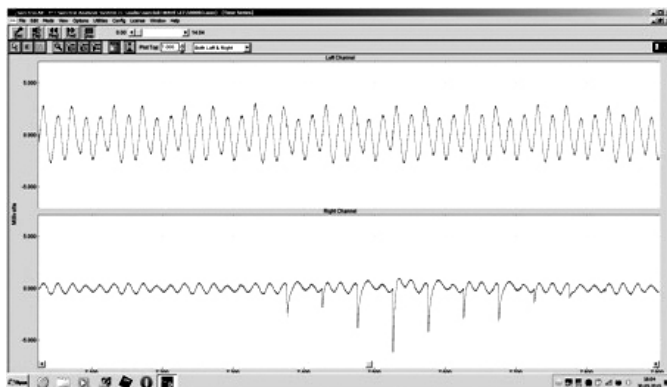
Резонансные характеристики экспериментальной модели оказались сопоставимы с расчетной моделью и по величине частоты колебаний расчётной рамы, равной 28 Гц.

В испытаниях на модели вынужденные колебания создавались следующим образом. На MP3-плеер были помещены файлы с записями гармонических колебаний разных частот: 20 Гц, 30 Гц, 40 Гц. На выход MP3-плеера подключался усилитель низкой частоты мощностью 18 Вт, а на его выход подключалась колонка мощностью 4 Вт, расположенная резонансной доской вверх. На колонку ставилась емкость с песком и моделью. Возникновение резонанса отмечалось на частоте 20 Гц, и отдельный всплеск – на частоте 30 Гц.

Оциллограммы представлены на рисунке 1 для 20 Гц, на рисунке 2 – для 30 Гц.



**Рисунок 1.** Оциллограмма вынужденных колебаний модели при частоте 20 Гц



**Рисунок 2.** Осциллограмма вынужденных колебаний модели при частоте 30 Гц

Экспериментальные перемещения модели близки к результатам испытаний реальных домов серии 1-335АС, приведенных в [1, с.189], по величине интенсивности колебаний, исчисляемой делением значения перемещения верхнего этажа на перемещение у фундамента – 2,6. В наших испытаниях она составила – 2,4.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Горизонтальные перемещения малоразмерной модели секции жилого дома серии 1-335АС из оргстекла при свободных колебаниях под действием волн в грунте превышают расчетные значения перемещений, полученные спектральным методом, но оказываются близкими к данным натуральных испытаний в Иркутске и Ангарске, приведенным в [1, с. 189].

Резонансные характеристики модели соответствуют расчетным характеристикам.

Испытания на моделях сооружений из пьезоматериалов, создающих при колебаниях электрические сигналы, которые относительно просто считываются и регистрируются, существенно расширяют возможности экспериментальных исследований сооружений на сейсмические и другие динамические воздействия. Такие сравнительно несложные испытания могут послужить важным дополнением к натурным испытаниям и исследованиям сооружений на математических моделях.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Баранников, В. Г. Инструментальная и расчётно-аналитическая оценка сейсмостойкости панельных жилых домов серии

- 1-335 / В. Г. Баранников, Г. И. Татьков, А. Д. Базаров, М. П. Калашников // Вестник Восточно-Сибирского государственного технологического университета: Научный журнал. – 2012. – № 1. – С. 189 – 192.
2. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия / М. Ф. Барштейн, Н. М. Бородачев, Л. Х. Блюмин и др.; Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с. – (Справочник проектировщика)
  3. Клячко, М. А. Землетрясение и мы / М. А. Клячко. – Санкт-Петербург: РИФ «Интеграф», 1999. – 233 с.

## REFERENCES

1. Barannikov V. G., Tatkov G. I., Bazarov A. D., Kalashnikov M. P. *Bulletin of the East Siberian State Technological University*. 2012. № 1. pp. 189 – 192. (rus)
2. *Dinamicheskiy raschet sooruzheniy na specialnye vozdeystviya* [The dynamic analysis of structures for special effects] / M. F. Barshteyn, N. M. Borodachev, L. H. Blyumin etc.; edited by B. G. Korenev, I.M. Rabinovich. Moscow: Stroyizdat, 1981. 215 p. (Handbook of Design Engineer) (rus)
3. Klyachko M. A. *Zemletryaseniye i my* [Earthquake and we]. Saint Petersburg: RIF «Intergraph», 1999. 233 p. (rus)

*Статья поступила в редколлегию 08.11.2015*