

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБКИХ ПОКРЫТИЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

DYNAMIC RESEARCH OF FLEXIBLE COVERINGS OF SPECIAL BUILDINGS

Е.Л. Кошелева, Е.Ю. Сергеевцев, Д.А. Зубков

E.L. Kosheleva, E.Yu. Sregeevtsev, D.A. Zubkov

ГОУ ВПО МГСУ

В настоящей работе приведены методика и результаты натурных динамических исследований двух объектов с гибкими покрытиями, возведенных в сейсмоопасных районах.

This work presents field dynamic researches methodology and results of two objects with flexible coverings constructed in a earthquake-prone areas.

Достоверность результатов расчетов сейсмостойкости зданий и сооружений во многом зависит от адекватности их расчетных схем реальной работе конструкций. Современные программы расчетов для ЭВМ позволяют учитывать практически любые конструктивные особенности строительных объектов. Проблема, однако, заключается в том, что далеко не все конструктивные элементы того или иного здания или сооружения имеют четко выраженные параметры для введения их в расчет. Это относится часто к характеру соединений элементов конструкций, наличию различного рода не несущих перегородок, недостаточно обоснованных динамических свойств грунтового основания и др. Результаты расчетов при этом могут оказаться недостаточно обоснованными. В таких случаях для особо ответственных и конструктивно сложных объектов целесообразно проводить ретроспективную проверку их сейсмостойкости (динамической прочности) на основе натурных динамических исследований. В этих случаях динамическая расчетная схема объекта может быть скорректирована по результатам определения его динамических характеристик в натурных условиях. В перспективе накопление и систематизация результатов натурных динамических исследований зданий и сооружений позволит использовать для них в расчетах более обоснованные расчетные схемы.

В настоящей работе приведены методика и результаты натурных динамических исследований двух конструктивно близких объектов, возведенных в районах с 8-ми балльной расчетной сейсмичностью. Это здание «Питьевой галереи» в г. Ессентуки и здание «Центрального рынка» в г. Ангарске. Динамические исследования их были проведены в связи с экспертными исследованиями аварии конструктивно близкого к ним здания «Басманного рынка» в г. Москве.

В работе подлежали измерению частоты и амплитуды колебаний исследуемых объектов. Для этого в качестве измерительных приборов использовались виброметры маятникового типа СМ-3, модернизированные установкой внутри их корпуса многопозиционных усилителей с независимыми источниками питания. В качестве регистратора использовался персональный компьютер типа ноутбук в комплекте с многока-

нальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Регистрировались в основном фоновые колебания объектов. Это колебания, вызываемые общим вибрационным фоном вблизи объектов, создаваемым движением различного транспорта, работой какого-либо оборудования и ветровыми нагрузками. Кроме того, регистрировались колебания объектов от специально создаваемых импульсных воздействий с целью возбуждения в них свободных колебаний. В каждом эксперименте регистрация колебаний производилась одновременно в нескольких точках объекта. Измерения колебаний проводились по трем направлениям: горизонтальному радиальному, горизонтальному тангенциальному, вертикальному.

В качестве первого объекта было принято здание «Питьевой галереи» (ПГ) в г. Ессентуки. Это здание имеет в плане форму круга с диаметром в осях 59,5 м. Общая высота здания от нижней отметки фундамента до верха покрытия 12,4 м (от нулевой отметки поверхности грунта до верха покрытия 9,5 м). Конструктивной особенностью здания является вантовое покрытие. Несущими конструкциями здания являются 24 распределенных по длине окружности железобетонных колонны, на которых покоится внешнее железобетонное опорное кольцо сечением $0,7 \times 0,7$ м. Несущими конструкциями покрытия являются 48 парных вант из арматурной стали диаметром 36 мм. С одного конца ванты закреплены на внешнем опорном кольце, а с другого – на стальном внутреннем кольце диаметром 14,8 м. Сверху по вантам уложены сборные железобетонные плиты, которые и составляют основную нагрузку на них. В каждой точке измерения проводились в горизонтальном радиальном, горизонтальном тангенциальном и вертикальном направлениях. Четыре точки размещены на внешнем опорном кольце, внутреннем кольце и на грунте рядом со зданием. Кроме того, две точки расположены в средней части вант и одна в средней части пролета внешнего кольца между колоннами. Конструктивная схема здания приведена на рис.1.

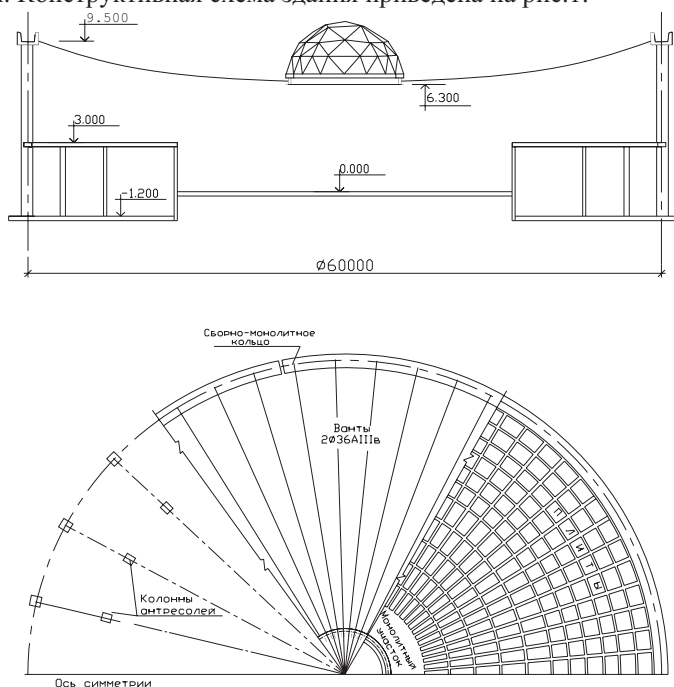


Рис.1. Конструктивная схема здания «Питьевой галереи» в г. Ессентуки

В качестве второго объекта было принято здание «Центрального рынка» (ЦР) в г. Ангарске. Конструктивно это здание похоже на здание ПГ в г. Ессентуки, но отличается общими размерами, рядом конструктивных особенностей отдельных элементов. Внешний диаметр здания в осях составляет 46,5 м; высота колонн – 12,0 м; диаметр внутреннего кольца – 8,0 м. Как и в первом случае, внешнее опорное кольцо железобетонное; внутреннее – стальное. В отличие от здания ПГ в качестве вант здесь использовались стальные канаты, которые в процессе монтажа подвергались предварительной вытяжке для уменьшения их деформаций при эксплуатации здания. Несущими конструкциями здесь являются 24 распределенные по длине окружности железобетонные колонны, на которых покоится внешнее опорное железобетонное кольцо сечением $1,3 \times 0,8$ м, связанное с внутренним кольцом 72-мя вантами. Приборы размещались в 8-ми точках на внешнем опорном кольце, в 8-ми точках на внутреннем кольце и в одной точке на грунте. В каждой точке измерялись горизонтальные радиальные, горизонтальные тангенциальные и вертикальные колебания. Конструктивная схема здания приведена на рис. 2.

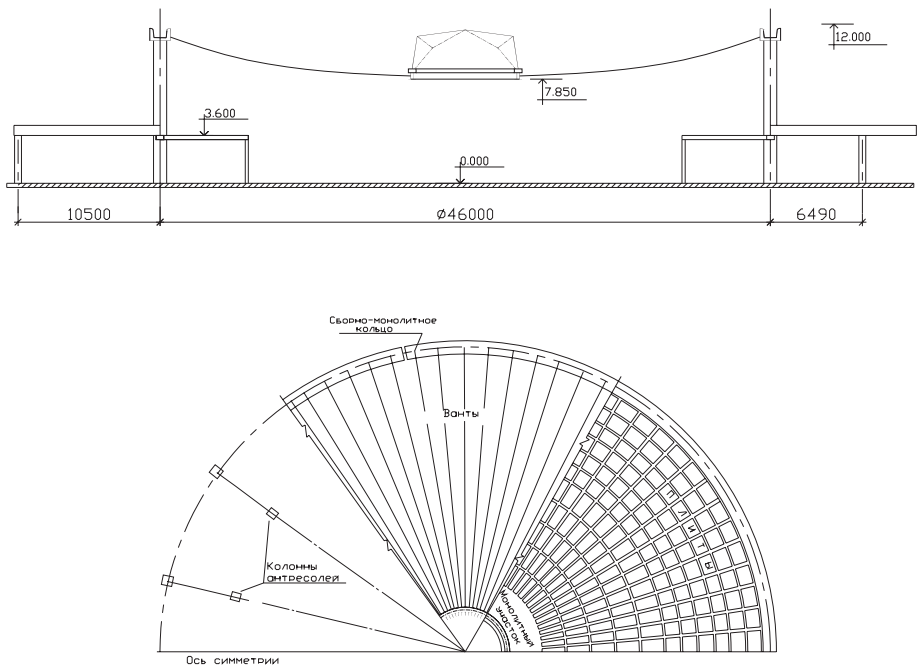


Рис. 2. Конструктивная схема здания центрального рынка в г. Ангарске

Для определения динамических характеристик зданий, виброизмерительные приборы на нем размещались по определенной схеме. Точки размещения приборов приведены на рис.3. Точки 5, 1, 4, 3, 13, 8, 9 размещены на одной оси проходящей через колонны 20 и 9; точки 7, 6, 12, 14, 15, 10, 11 размещены на одной оси, проходящей через колонны 4 и 14. Точки 5, 7, 9, 11 размещались рядом со зданием на грунте. Точка 2 размещалась на внешнем кольце посередине между колоннами 19 и 20. Точки 4 и 15 размещались посередине длины ванта между внешним и внутренним кольцами. Точки

3, 12, 13, 14 размещались на внутреннем кольце. Записывались колебания зданий, вызываемые общим вибрационным фоном (порывы ветра, движение транспорта) и специально создаваемыми импульсными воздействиями. При обработке записей выделялись собственные колебания здания. Для анализа форм колебаний велись синхронные записи одновременно в ряде точек.

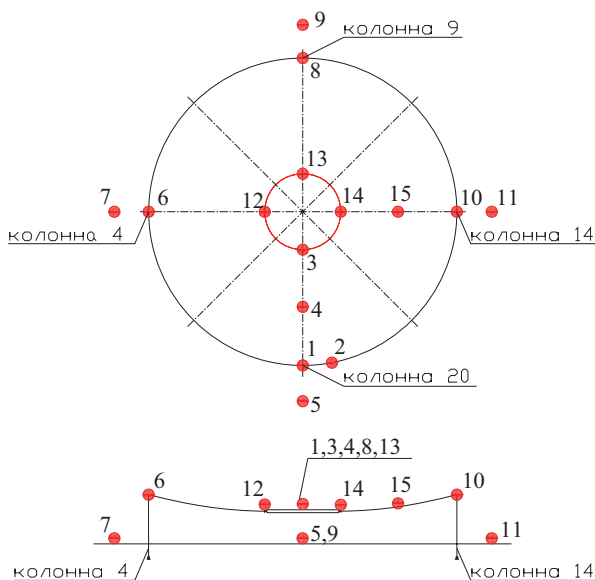


Рис. 3. Расположение измерительных точек

На рис. 4 приведены фрагменты записи смещений в двух точках здания «Питевой галереи» в точке 1 на внешнем опорном кольце и в точке 3 на внутреннем кольце (горизонтальные радиальные колебания на одной оси). Как видим, обе точки имеют синфазные колебания. При этом амплитуды смещений точки 3 несколько превышают амплитуды точки 1.

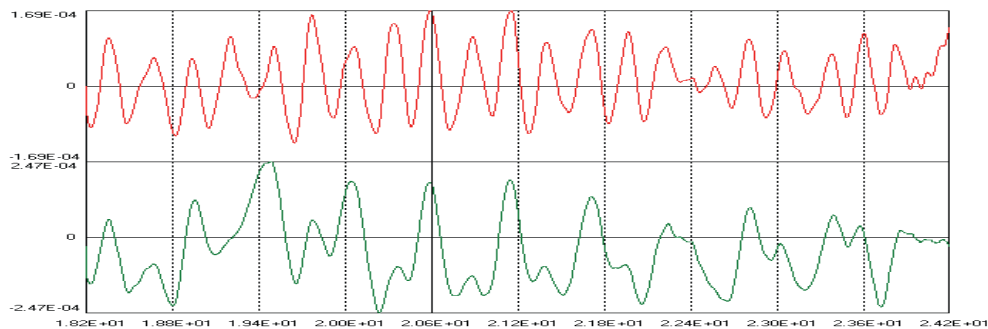


Рис.4. Фрагменты записи смещений (мм) фоновых колебаний: точка 1 на наружном кольце в радиальном направлении, точка 3 на внутреннем кольце в радиальном направлении

На рис.5. представлены спектральные плотности, построенные для этих двух точек. Для радиальных колебаний точки 1 имеем один преобладающий пик на частоте 3,6 Гц. Для радиальных колебаний в точке 3 имеем один преобладающий пик на частоте 3,6 Гц и относительно невысокий пик на частоте 1,8 Гц.

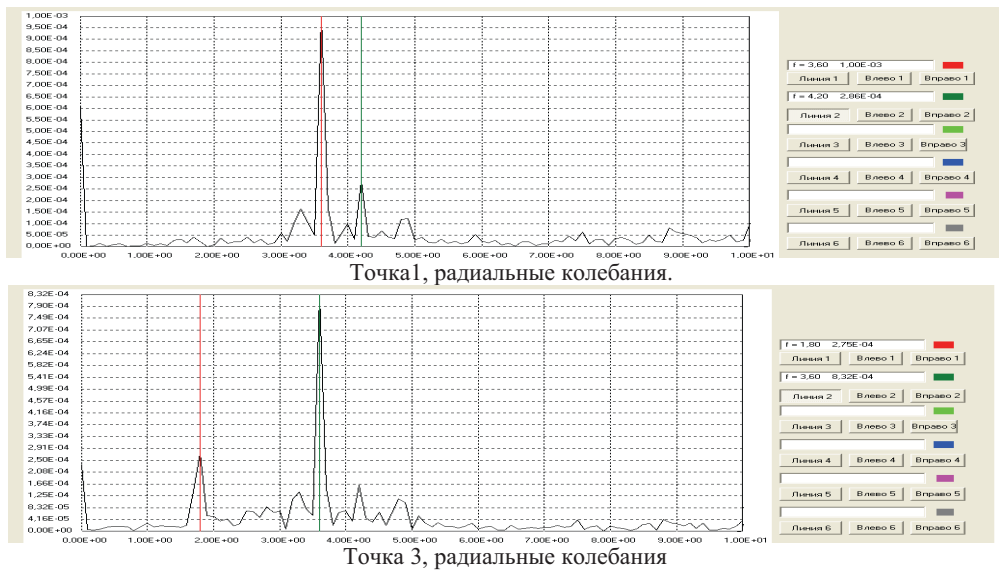


Рис.5. Спектральные плотности записей фоновых колебаний на внешнем и внутреннем опорных кольцах здания «Питьевой галереи» в г. Ессентуки

На рис.6 приведен фрагмент записи смещений здания «Центрального рынка» в г. Ангарске для точек 1 и 3. Записи сделаны при импульсных воздействиях на внутреннее кольцо.

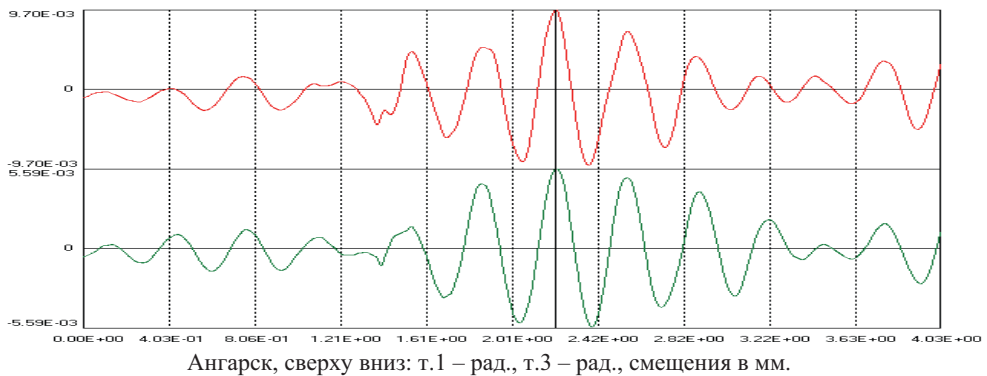


Рис. 6. Фрагмент записи смещений (мм): точка 1 на наружном кольце в радиальном направлении, точка 3 на внутреннем кольце в радиальном направлении

Визуальный анализ записи смещений на рис.6 показывает, что амплитуды смещений точки 1 примерно в 1,7 раза превышают амплитуды смещений точки 5, и при этом имеем практически синфазные колебания этих точек. Спектральные плотности,

построенные по этим записям, приведены на рис.7. Для точки 1 получены графики с тремя разновеликими пиками на частотах 2,1Гц; 2,8Гц; 3,2Гц. Для точки 3 получены фактически два высоких пика на частотах 2,8 Гц и 3,2Гц. Преобладающий пик на обеих точках на частоте 3,2 Гц.

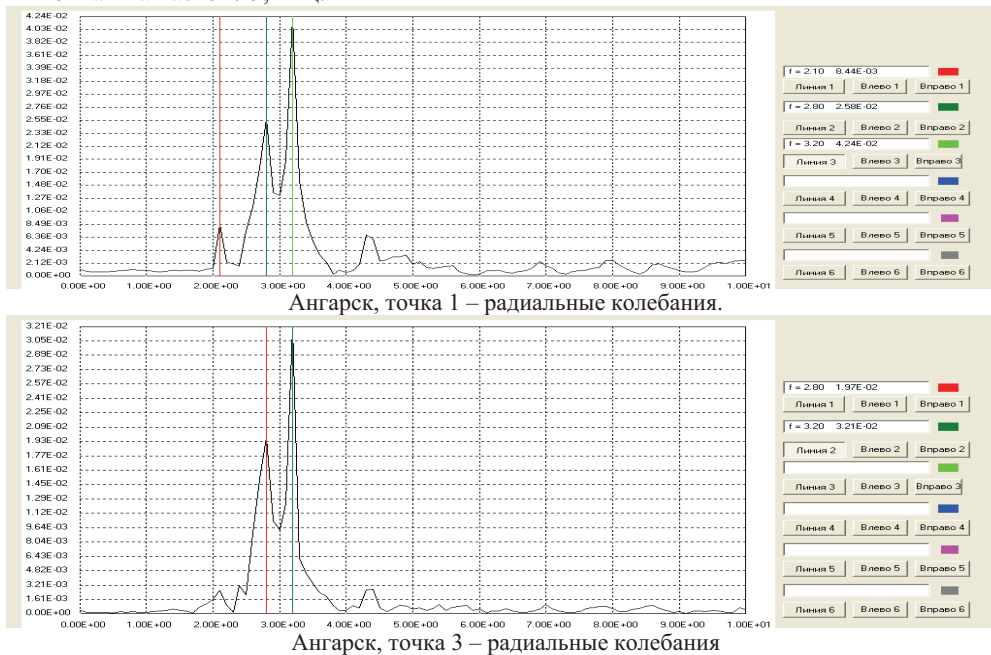


Рис.7. Спектральные плотности записей колебаний в точках 1и 3, от импульсных воздействий

Построенные по результатам обработки записей колебаний обоих объектов формы колебаний приведены на рис. 8.

Для здания «Питевой галереи» в Ессентуках:

Частота 1,7 Гц – вертикальные колебания вантового покрытия. Упругие деформации стержней вант на осевое растяжение – сжатие при слабых вертикальных и горизонтальных изгибных деформациях внешнего опорного кольца.

Частота 2,7 Гц – предположительно изгибные деформации внешнего опорного кольца с двумя волнами в окружном направлении.

Частота 3,6 Гц – общие колебания внешнего опорного кольца как жесткого тела на упругих опорах – колоннах. Вблизи этой частоты зафиксированы также крутильные колебания внешнего кольца и его изгибные деформации. Возможно им соответствуют пики на частотах 4,2 Гц и 4,8 Гц.

Для здания «Центрального рынка» в Ангарске:

Частота 2,1 Гц – изгибные колебания внешнего опорного кольца с 2-мя волнами в окружном направлении.

Частота 2,4 Гц – вертикальные колебания вантового покрытия (упругие деформации тросов - вант на осевое растяжение сжатие).

Частота 3,2 Гц – общие колебания внешнего опорного кольца на колоннах вместе с покрытием в горизонтальной плоскости плюс одновременно вертикальные колебания покрытия. При этом внешнее опорное кольцо совершает также изгибные колебания с 3-мя волнами в окружном направлении.

Формы колебаний

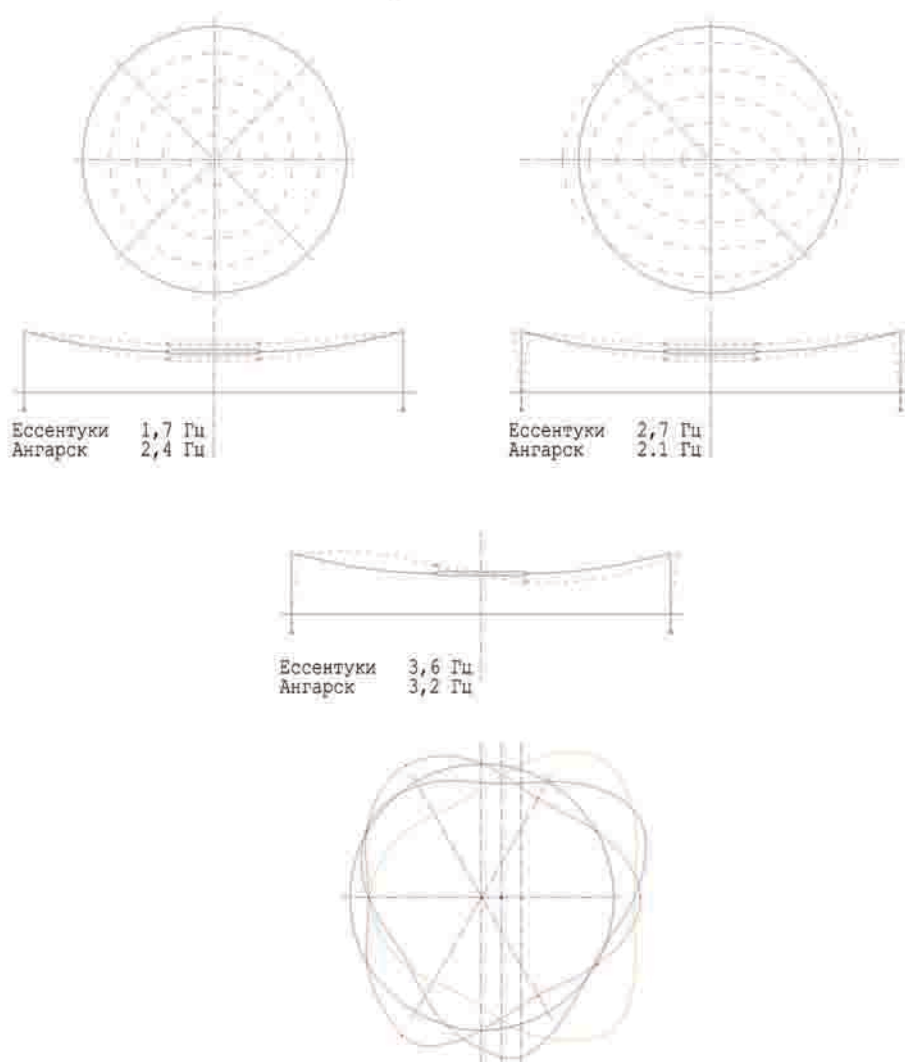


Рис.8. Формы и соответствующие частоты колебаний

Сравнительный анализ частот собственных колебаний здания «Питевой галереи» в г. Эссентуки и здания «Центрального рынка» в г. Ангарске

Сводные результаты определения частот собственных колебаний обоих зданий на основе анализа большого количества записей их микроколебаний в ряде характерных точек представлены в таблице 1.

Как видим, низшая частота вертикальных колебаний вантового покрытия здания «Питевой галереи» существенно меньше, что определяется его большим диаметром. Собственные частоты других конструктивных элементов оказались существенно меньшими для здания «Центрального рынка».

Таблица 1

Частоты собственных колебаний зданий

№ п/п	Наименование здания	Частоты собственных вертикальных колебаний вантового покрытия (Гц)	Частоты собственных колебаний зданий на уровне верха внешнего опорного кольца	
			Радиальные коле- бания (Гц)	Тангенциальные Колебания (Гц)
1	2	3	4	5
1	Здание «Питье- вой галереи» в г. Ессентуки	1,7; 3,6	3,6; 4,7	4,6 – 4,9
2	Здание «Цен- трального рын- ка» в г. Ангарске	2,4; 3,2	2,1; 3,2	2,1; 3,2

Заключение

Успешно апробирована методика натурных исследований динамических характеристик конструктивно сложных пространственных сооружений на основе записей их микроколебаний вызванных различного рода динамическими воздействиями

Определены частоты и соответствующие им формы собственных колебаний двух конструктивно близких специальных зданий возведенных в сейсмически активных районах на основе записей их микроколебаний.

Полученные результаты натурных динамических исследований были использованы для построения уточненных расчетных схем этих зданий с целью экстраполяции их на здание Басманного рынка в процессе экспертизы причин его разрушения.

Полученные частотные спектры обоих зданий указывают на возможность резонансных явлений в них при землетрясениях. Сложный характер их реакции на динамические воздействия и разрушение подобного здания в Москве при очень слабых микросейсмических воздействиях техногенного происхождения требуют ретроспективной проверки их сейсмостойкости на основе современных норм и возможностей вычислительной техники.

Литература

1. Шаблинский Г.Э., Исайкин А.С., Зубков Д.А. Мониторинг динамических характеристик зданий и сооружений для оценки стабильности состояния их конструкций / Сборник материалов Международной конференции-выставки «Уникальные и специальные технологии в строительстве», Москва, 12-13 апреля 2005 года. М., 2005.
2. Шаблинский Г.Э., Исайкин А.С., Зубков Д.А., Старчевский А. В. Экспериментальные исследования динамических характеристик строительных конструкций АЭС в натурных условиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005, №6.
3. Shablinsky G., Zoubkov D., Isaikin A., Frequency Response Analysis of Novovoronezhskaya NPP main Building / 18 The International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMIRT 18) August 7-12, 2005, Beijing, China.
4. Dmitriy Zoubkov, Alexander Isaykin, Alexsey Lopanchuk, Sergey Nefedov. Measurement of dynamic parameters of nuclear power plant reinforced concrete framing after prolonged operation / European Symposium on Service Life and Serviceability of Concrete Structures ESCS – 2006, Finland.

Literature

1. Shablinskij G. Je., Isajkin A.S., Zubkov D. A. Monitoring dinamicheskikh harakteristik zdaniy i sooruzhenij dlja ocenki stabil'nosti sostojanija ih konstrukcij / Sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii-vystavki «Unikal'nye i special'nye tehnologii v stroitel'stve», Moskva, 12-13 aprelja 2005 goda. M., 2005.

2. Shablinskij G. Je., Isajkin A.S., Zubkov D. A., Starchevskij A. V. Jeksperimental'nye issledovanija dinamicheskikh harakteristik stroitel'nyh konstrukcij AJeS v naturnyh uslovijah // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2005, №6.

Ключевые слова: сейсмостойкость, натурные динамические исследования, виброметр, измерение колебаний, фоновые колебания, частота собственных колебаний, формы собственных колебаний

Key words: Earthquake-resistant, dynamic field research, vibrometer, vibration measurement, background vibration, frequency of natural vibration, form of natural vibrations

Адрес 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26,
тел./факс: +7(495) 781-80-07, e-mail: kanz@mgsu.ru

Рецензент: Исайкин А.С., к.т.н., директор ООО «Инждсстройсервис-1»