МЕТОДЫ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РЕЗОНАНСНОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК В ЗОНАХ ПЛОТНОЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

УДК 519.718.2; 519.713; 30.15.27; 519.711.3; 624.131.439

Михаил Сергеевич Хлыстунов
Директор Центра управления научной и инновационной деятельностью Московского государственного строительного университета кандидат технических наук, почетный доктор наук, профессор

Прокопьев Валерий Иванович
Профессор кафедры информатики и прикладной математики МГСУ, кандидат технических наук

Жанна Геннадьевна Могилюк
Заведующая сектором ОНИЛ КГК, старший преподаватель кафедры прикладной механики и математики Московского государственного строительного университета

Проведение натурных исследований геодинамических резонансов, ответственных как за геодинамическую устойчивость систем типа «объект-основание», так и за ускоренное проявление неравномерных деформаций неоднородных оснований, в последнее время приобретает все большую актуальность в связи с программами высотного и подземного строительства в мегаполисах России. Наряду с этим результаты исследований подтвердили возможность их использования для резонансного геодинамического профилирования строительных площадок. Для оценки совокупного влияния природных и техногенных микросейсм, а также динамических характеристик тонкой структуры геологического разреза оснований и геодинамических резонансов строительных объектов, на снижение устойчивости и на скорость сверхпроектного износа несущих конструкций соседних зданий, особенно в зонах плотной исторической застройки.

В 4 кв. 2008 г. и в 1 кв. 2009 г. такие исследования проводились МГСУ в инициативном порядке в соответствии с МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве» и распоряжением Правительства Москвы «Об организации работы по обеспечению антитеррористической защищенности и комплексной безопасности высотных зданий и сооружений города Москвы».

Исследования проводились с использованием геофизической станции грависейсмометрического мониторинга высотных зданий СГМ-03В и станции вибродозиметрического мониторинга строительных объектов СВД-60У.

Отличительными характеристиками данных станций являлись принципиально новые уникальные возможности аппаратуры по разрешающей способности грависейсмометрических модулей станции СГМ-03В на уровне единиц микроГал и наличие высокочувствительных трехкомпонентных датчиков угловых ускорений в измерительных модулях станции СВД-60У.

Данные многодневного грависейсмометрического мониторинга строительных объектов позволили, помимо низкочастотных микросейсм, с достаточно высокой точностью наблюдать воздействие на здания приливных вариаций (рис.1).

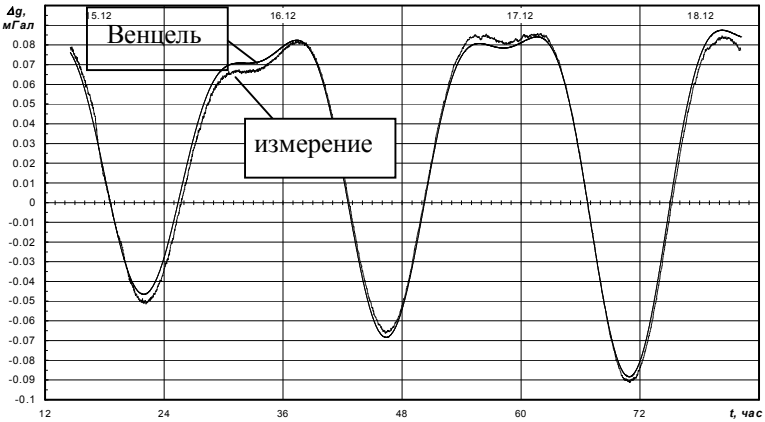

Рис.1. Проявления приливных вариаций
в результатах мониторинга

Уникальные возможности станций мониторинга позволили надежно регистрировать вертикальные и горизонтальные грависейсмические нагрузки в системе типа «объект-основание», а также контролировать эволюцию продольных, маятниковых и торсионных геодинамических резонансов высотных или большепролетных зданий с целью обнаружения, классификации и интерпретации в реальном масштабе времени ранних спектральных предвестников постулируемых геодинамических аварийных ситуаций. Формирование информации раннего предупреждения о росте риска геотехнических аварийных ситуаций и сообщений о результатах интерпретации их спектральных предвестников.

Станция СГМ-03В инсталировалась в единую локальную компьютерную сеть совместно со станцией СВД-60У для параллельного вибродозиметрического мониторинга скорости деградации остаточного ресурса надежности зданий путем регистрации нелинейных аккумулятивных процессов вибродинамического многоциклового нагружения и ударного

(например, взрывного) разупрочнения строительных конструкций подземных сооружений, высотных и большепролетных зданий и в течение всего их жизненного цикла.

Высокая чувствительность аппаратуры станций позволяет регистрировать не только собственные геодинамические резонансы системы «объект-основание» строящегося или контролируемого здания, но также и влияние на эволюцию ее динамических характеристик геодинамических резонансов окружающей застройки и геологических элементов в их основаниях. На рис.2 показаны схемы размещения аппаратуры в здании Института океанологии РАН.

Рис. 2. Схема расположения измерительных модулей станций СГМ-03В и СВД-60У

На рис.3 показана схема размещения грависейсмометрических модулей станции СГМ-03В на фундаменте здания ИОРАН. На рис.4 и 5 приведены типовые спектры колебаний фундамента, на которых отчетливо видны проявления геодинамических и конструкционных резонансов зданий окружающей застройки.

Рис. 3. Размещение станции на фундаменте здания

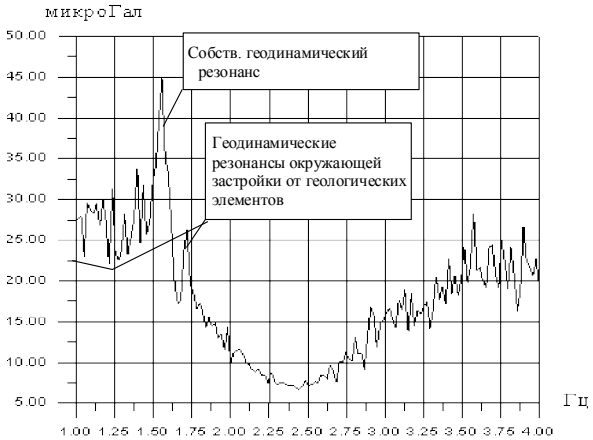

Рис. 4. Спектр ускорений по оси X

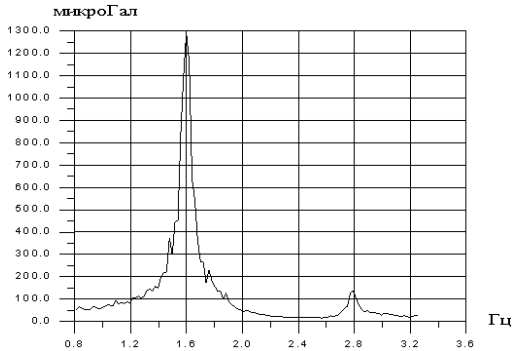

Рис. 5. Спектр ускорений по оси Y

Для визуализации нелинейной эволюции годографа в исследованиях использовался алгоритмический комплекс «АТТРАКТОР» виброускорений элементов конструкций зданий и сооружений.

Результаты исследования нелинейной эволюции годографа на базе алгоритмического комплекса «АТТРАКТОР» приведены на рис.6 и 7.

Принципиальными моментами процесса обработки данных вибрационного процесса являются учет фазовых искажений в телеметрических каналах передачи информации и построение модальных и спектральных аттракторов, что важно при последующем анализе нелинейной эволюции динамических характеристик исследуемого объекта и влияния на них геодинамических резонансов зданий окружающей застройки. В результате удалось выявить ранние геодеформационные (микрооползневые) проявления многоциклового воздействия техногенных и природных микросейсм на геодинамические резонансы здания, геологических элементов основания и объектов окружающей застройки (рис.8).

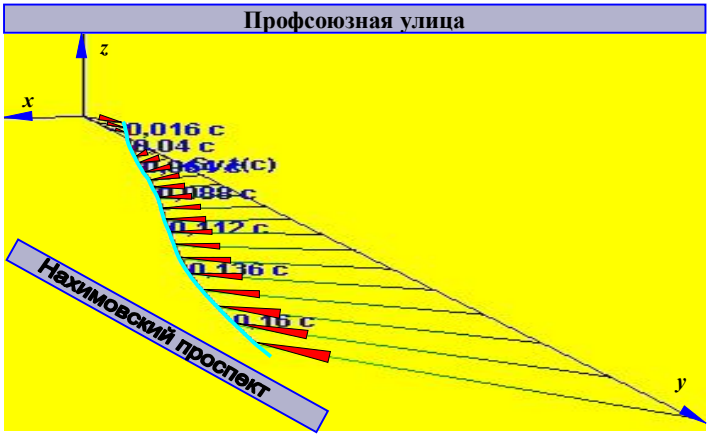

Рис.6. Фрагмент модального аттрактора колебаний здания ИОРАН

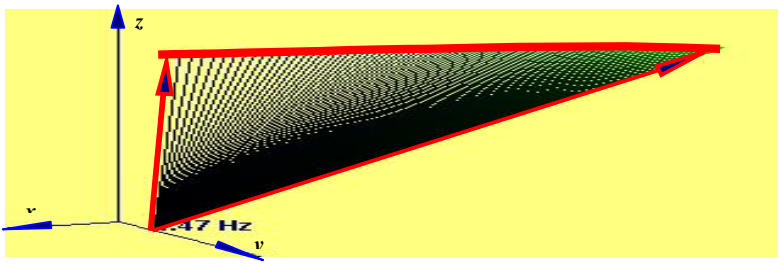

Рис. 7. Фрагмент спектрального аттрактора колебаний здания ИОРАН на частоте 1,47 Гц

Натурные исследования геодинамических характеристик здания ИОРАН позволили установить основные резонансные частоты и моды геодинамических резонансов системы «объект-основание».

Полученные данные также позволят вычислить декременты затухания и реакцию системы «объект-основание» на любые динамические воздействия, поступающие на здания, включая сейсмические, взрывные и прочие импульсные ударные нагрузки.

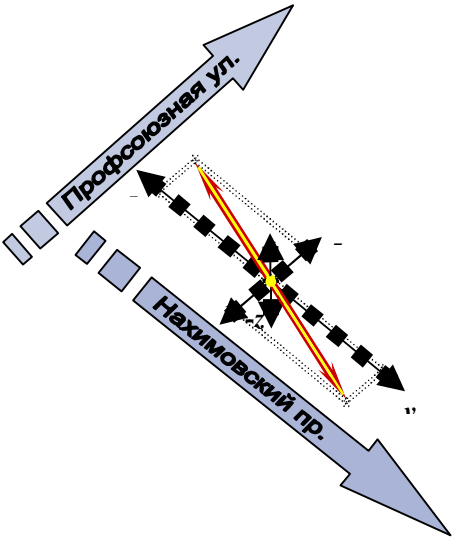

Рис.8. Геодеформационные (микрооползневые) проявления техногенных и природных микросейсм в системе «объект-основание» здания ИОРАН

В полосе частот ниже частот геодинамических резонансов обнаружена многочастотная резонансная реакция тонкой геологической структуры основания на микросейсмические нагрузки. Однако отсутствие детального геологического разреза не позволило провести полную геосейсмическую интерпретацию полученных данных.

Вместе с тем, на основании вышеизложенного можно сделать следующие важные выводы.

1. Установка геофизической станции на высотных и большепролетных зданиях позволит выполнить требования МГСН 4.19-2005 по контролю частот резонансов и декрементов затухания высотных зданий и сооружений в части мониторинга состояния низкочастотных форм колебаний, ответственных за геодинамическую (геофизическую) устойчивость несущей конструкции объектов и устойчивость тонкой структуры

оснований, в том числе, как их расчетного объема, так и на глубины вплоть до кристаллического фундамента.

2. В свою очередь, контроль эволюции этих частот с момента геоизысканий и далее, в процессе строительства и эксплуатации зданий, позволит не только контролировать текущую устойчивость системы типа «объект-основание», но и прогнозировать скорость снижения этой устойчивости, опираясь на достоверные данные инструментальных наблюдений.

3. Эксплуатация геофизической грависейсмометрической станции СГМ-03В в непрерывном режиме в течение всего жизненного цикла зданий и сооружений позволит по данным эволюции частот геодинамических резонансов и их декрементов затухания своевременно корректировать значения коэффициентов динамичности системы «объект-основание» и локальной сейсмической устойчивости грунтов оснований.

4. Совместная эксплуатация геофизической грависейсмометрической станции СГМ-03В и вибродозиметрической станции СВД-60МВ, разработанной в МГСУ для контроля ударной устойчивости несущих конструкций высотных и большепролетных зданий, позволит одновременно контролировать все основные геодинамические и конструкционные формы колебаний (резонансы), так как полосы их рабочих частот, дополняя друг друга, перекрывают весь частотный диапазон вероятных сейсмических и ударных нагрузок (полоса рабочих частот СГМ-03В: от ~ 0 до 5 Гц; СВД-60МВ: от 0,5 до 80 Гц).

5. Согласно сложившимся до настоящее время научным представлениям и инженерным схемам по расчету динамических нагрузок зданий и сооружений, а также в связи с обнаружением в системе «объект-основание» в период испытаний обеих станций на зданиях МГСУ и ИОРАН высокодобротных крутильных форм колебаний (торсионных геодинамических резонансов), полученные станциями спектры и частотные характеристики строительных объектов будут несомненно полезны для уточнения реальных динамических свойств объектов и их оснований в целях расчета их фактической сейсмической устойчивости в локальных геологических условиях размещения на территории города Москвы.

Наряду с этим проведение работ по верификации резонансов или по сейсмическому резонансному профилированию основания строительной площадки до начала проектных и строительных работ позволит заблаговременно получить данные о реальной сейсмической устойчивости грунтов и тонкой структуры геологического разреза оснований на данном участке территории города с учетом динамических свойств объектов и оснований окружающей исторической застройки.