

Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
Московский государственный строительный университет
Ассоциация московских вузов

Утверждаю
Проректор по УМР и МД

_____ Гагин В.И.
« ___ » _____ 2009 г.

ОТЧЕТ

о выполнении подраздела мероприятий по социальному обслуживанию населения в части предоставления образовательных услуг жителям города Москвы

Подраздел №11.5.2.7. *«Основные мировые тенденции и научно-инновационные направления совершенствования и внедрения в производство новейшего строительного оборудования и инструментов»*

(Научно-информационный материал)

Научный руководитель подразделения	Нач. сектора ОНИЛ КГК			Прокопьев В.И.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО
Заместитель научного руководителя подразделения	Аспирант			Харькин Ю.А.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО

Москва, 2009 г.

Под научным руководством и при непосредственном участии начальника сектора ОНИЛ КГК, профессора Прокопьева В.И. (отв. исп. аспирант Харькин Ю.А.) в рамках подраздела 11.5.2.7. были разработаны, коллегиально рассмотрены и протестированы, а также вручены для практического использования заинтересованным специалистам строительного комплекса Москвы научно-информационные и научно-образовательные материалы в области мировых тенденций и научно-инновационных направлений совершенствования и внедрения в производство новейшего строительного оборудования и инструментов в части геодинамических исследований строительных объектов и зданий окружающей застройки.

Введение

Воздействие на сложные строительные сооружения нестационарных волновых нагрузок той или иной природы является причиной снижения их эксплуатационного ресурса, а иногда и разрушения. Как в нашей стране, так и за рубежом имеется ряд примеров катастрофических разрушений достаточно сложных, пространственно развитых сооружений. Яркими примерами являются разрушения зданий аквапарка Трансвааль и Басманного рынка. Причиной явилось не резонансные явления и даже не ошибки при проектировании и строительстве – просто здание проектировалось исходя из классических принципов строительной механики, в результате чего система оказалась на границе критической устойчивости. С позиций теории нелинейных фильтров такие сооружения обязаны подчиняться теории неаддитивных реакций. При малом случайном воздействии в нелинейной сложной системе может разыгаться каскад бифуркаций, что приведет к катастрофическому разрушению. В результате многоконтурной положительной обратной связи в системе реализуется лавинная реакция.

Расчетное проектирование с использованием известных программных комплексов Лира, КОСМОС, NASTRAN, ANSYS, ABACUS, Z-SOIL, SCAD Office и другие не позволяет получить прямую оценку вклада тонких нелинейных многоцикловых процессов в деградацию запаса динамической и геодинамической устойчивости модели системы «сооружение-основание (фундамент + грунт)» в целом.

Согласно рекомендациям МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы» и СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» при расчете сейсмической устойчивости строительных объектов применяются конструктивные и нормирующие коэффициенты динамичности, верифицируемые экспериментальным путем.

Однако, анализ массовых разрушений в результате землетрясения в японском городе Кобэ в 1995 году показал, что в случае многомодовых сейс-

мических (динамических) нагрузок такой подход не гарантирует получения достоверной оценки запаса динамической и геодинамической устойчивости объектов.

При расчетной оценке сейсмостойкости зданий рассматривается только сейсмический способ воздействия динамических нагрузок на строительную конструкцию, то есть через сейсмоперемещение сверхбольших масс геологической среды основания на фундамент. Здесь не учитываются скрытые аккумулятивные нелинейные динамические процессы сверхпроектной скорости деградации расчетного запаса динамической и геодинамической устойчивости зданий в результате микроциклической усталости грунтов основания и строительных материалов, не учитывается резонансное усиление динамических перегрузок в результате корреляции спектров ударного воздействия и частотных характеристик строительной конструкции и системы «объект-основание».

Повреждения и дефекты в конструкциях зданий, как показывает практика, на 50% и более возникают на стадии строительства, на 20% – на стадии эксплуатации и на 30% – из-за ошибок в геологических исследованиях и проектировании. Избежать этих проблем поможет проведение мониторинга состояния грунтов, фундаментов, конструкций в процессе строительства и эксплуатации, а также применение систем безопасности.

Что касается высотных зданий, то здесь проблемы безопасности играют решающее значение. Каждое такое здание представляет собой сложную конструктивную систему с большим количеством инженерных коммуникаций. Повышенная этажность зданий и, как следствие, наличие в них значительного количества людей при ограниченных возможностях их эвакуации требуют от проектировщиков решения дополнительных задач. В частности, включения в проект мер по предупреждению, обнаружению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, эвакуации и спасению людей.

Проведенные ранее исследования показывают, что под действием внешних источников здание совершает достаточно сложные колебания, по

крайней мере, двух порядков — это колебания здания как единого целого по отношению к его основанию и колебание отдельных элементов или частей здания. Чтобы уверенно выделять колебания отдельных элементов здания (колонн, ригелей, перекрытий и т.п.), необходимо проводить более детальные измерения. Следует отметить, что даже при измерениях с шагом 10 м наложение карты амплитуд колебаний здания на схему каркаса здания дает объяснение многим наблюдаемым эффектам.

Практически, по изменениям характеристик колебания здания можно оценить безопасность дальнейшей эксплуатации, целесообразность реконструкции и характер поведения при сильных сейсмических воздействиях.

При часто повторяющихся сейсмических воздействиях возможно повреждение зданий и сооружений при интенсивностях ниже установленных расчетом. Эти воздействия возникают от проходящих поездов, регулярных взрывов в карьерах, строительных работах и т.п.

Транспортная вибрация способствует разрушению зданий и сооружений, памятников истории и культуры. Приведем неполный список примеров [14]:

- здания ансамбля деревянного зодчества XIX–XX вв. в Петрозаводске;
- памятники истории и культуры в Ингушетии, Краснодарском крае, Ленинградской, Калининградской, Ивановской областях, Смоленске, Нижегородской области, Омске, Томске, городах Хабаровского края;
- исторический Каменный мост в центре Калуги;
- историческая застройка улиц Рождественская, Большая Печерская, Варварская и Ильинская в Нижнем Новгороде;
- Нарышкинская читальня и городская усадьба Чичериных в Тамбове;
- Ленинградская область и Санкт-Петербург: Староладожский историко-архитектурный и археологический музей-заповедник, литературно-мемориальный музей - усадьба П.Е. Щербова и Государственный художественно-архитектурный музей заповедник «Ораниенбаум»;

- Татарстан: Елабужский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник;
- Удмуртия: Государственный музей-усадьба П.И. Чайковского;
- Краснодарский край: Краснодарский государственный историко-археологический музей-заповедник им. Е. Филицына и его филиалы;
- Новороссийский государственный исторический музей-заповедник;
- Москва и Московская область: Государственный историко-культурный музей-заповедник «Московский Кремль», музей-усадьба Л.Н. Толстого «Хамовники», музей-усадьба «Останкино», Государственный историко-художественный музей-заповедник «Абрамцево», музей-заповедник «Дмитровский кремль»;
- Рязанская область: Рязанский историко-архитектурный музей-заповедник; мемориальный музей-усадьба академика И.П. Павлова;
- Саратовская область: музей-усадьба Н.Г. Чернышевского;
- Тамбовская область: музей-усадьба А.М. Герасимова;
- Тобольская область: Тобольский государственный историко-архитектурный музей-заповедник;
- Ярославская область: Ярославский историко-архитектурный музей-заповедник.

Большие претензии предъявляются к трафикам также с точки зрения обеспечения сохранности жилых и общественных зданий, нормального функционирования структур социально-бытового характера.

Если в новых районах Санкт-Петербурга для трамваев почти везде оборудованы обособленные трассы и здания стоят на достаточном удалении от трамвайных рельсов, то в центральных районах города узкие улицы, старинные дома, в основном представляющие архитектурную ценность, подвержены сильной вибрации. Несмотря на то что по СНиП 2.05.9–90 «Трамвайные и троллейбусные линии» трамвайные пути должны быть расположены не ближе 50 м от зданий, фактически это расстояние не превышает 10 м.

В Самарской филармонии, расположенной вблизи трамвайных путей, по требованию музыкантов концертный орган для защиты от вибраций и обеспечения нормального звучания был поставлен на отдельный фундамент.

Челябинская областная филармония, расположенная в здании, которое построено в конце XIX в. и обладает лучшей на Урале акустикой, разрушается из-за близости трамвайных путей и постоянной вибрации.

Единственный в Самаре особняк (имеющий статус памятника истории и культуры федерального значения) в стиле «ранний модерн», сохранивший свои интерьеры, находится в аварийном состоянии из-за вибрации от трамвайной линии, которая проходит в 2–3 м, вследствие чего появились многочисленные трещины.

В Калининграде сильная вибрация, создаваемая трамваями, которые проходят в непосредственной близости от знаменитого памятника – крепостного сооружения «Королевские ворота», построенного в 1852 г., стала главной причиной его разрушения.

По оценке специалистов, подтопление здания и постоянная вибрация от трамвайного движения по оживленной транспортной магистрали стали причинами обрушения семи железобетонных плит второго этажа в подвальное помещение одного из подъездов жилого дома в Ростове-на-Дону.

В Барнауле произошло повторное обрушение перекрытия между этажами в третьем подъезде жилого дома, построенного в 1957 г. Прежде на этом месте были пруды, вследствие чего грунтовые воды просачивались в подвал. Комиссия, которая обследовала обрушившиеся подъезды, пришла к выводу, что при строительстве дома использовались строительные материалы низкого качества, были допущены грубые строительные ошибки и отклонения от проекта. Движение по проходящей неподалеку трамвайной линии, вызывавшее вибрацию дома, также сыграло в этом определенную роль.

22 мая 2005 г. в 2 ночи после прохода грузового состава произошел прорыв дамбы золоотвала Партизанской ГРЭС (пос. Лозовый Приморского

края), в результате чего на железнодорожные пути вышло 86 000 м³ зольной пульпы, часть которой ушла в ручей Лозовый.

В апреле 2001 г. компания Silicon Integrated Systems решила не размещать заводы на территории технопарка Taiwan Science-Based Industrial Park ввиду вибраций от строящейся вблизи железнодорожной линии.

В Барнауле обрушилась крыша склада площадью 300 м² из-за вибрации от проходящего железнодорожного состава.

Расположенный в районе моста «Три семерки» главный канализационный коллектор Красноярска, нормативный срок эксплуатации которого истек 15 лет назад, разрушается из-за вибраций от движения автотранспорта и железнодорожных составов.

Во избежание загрязнения Выборга – одного из самых древних городов на территории Ленинградской области – автомобильной вибрацией, от которой в течение многих лет страдают не только люди, но и памятники архитектуры, в том числе и знаменитый Выборгский замок, было принято решение строить окружную дорогу. В результате будет разгружен исторический центр города, через который ежедневно проходит до 10 000 автомобилей, в основном большегрузных трейлеров, транзитом из Москвы и Петербурга в Скандинавию и обратно.

В старых частях русских городов строительство жилых домов ведется на расстоянии не более 30–50 м от транспортного потока. От каждой проезжающей машины колебания грунта передаются зданиям. В результате возникают постоянные вибрации близкорасположенных зданий, особенно вытянутых вдоль улиц, на частотах, многие из которых совпадают с полосой биологически активных частот человека.

В Архангельске сошел со свай деревянный 12-квартирный жилой дом. При строительстве здания в 1957 г. свайное основание было выполнено с нарушением технологий. Сказалась и постоянная вибрация от движения большегрузного автотранспорта по проходящей рядом оживленной транспортной магистрали.

В Санкт-Петербурге в результате вибрации от поездов метро покрылся сквозными трещинами Петропавловский собор, а Исаакиевский собор накренился на 25 см от вертикали.

Приведенные примеры иллюстрируют геологические проявления эффекта многолетней аккумуляции нелинейных последствий техногенного микроциклического возбуждения вибросейсм в зоне размещения этих объектов. Другими словами, происходит техногенное нарушение или ускорение естественной эволюции геологических и гидрогеологических процессов в грунтах оснований, то есть, согласно уже установившейся терминологии, имеет место техногенное нарушение естественных геоэкологических условий в зоне размещения строительных объектов, и, особенно, на территориях мегаполисов и районов массовой застройки.

Исследования, проведенные в МГСУ, позволили достоверно установить микросейсмические и микрогравитационные механизмы активации таких явлений.

Неожиданные данные были получены в результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований и открытия российскими учеными гравидинамических резонансов Земли и Луны, а также космогенных факторов роста интенсивности природных геолого-геофизических процессов. В частности, после взрыва в июле 1994 года кометы Шумейкера-Леви на Юпитере (по данным разных источников мощностью от нескольких миллионов до 100 миллиардов хиросимских атомных бомб) было достоверно установлен резкий рост мощности и числа землетрясений в сейсмоактивных зонах и существенное повышение интенсивности геолого-геофизических процессов в сеймопассивных.

В 1989-93 годах учеными МГСУ, ВНИИГеофизики, МИФИ и других смежных научных организаций была сформулирована гипотеза и успешно проведены теоретические исследования продольного гравитационного резонанса искусственных и природных космических объектов, которые были завершены в 1994 году экспериментальным обнаружением резонансного эф-

фекта и открытием закона «3/2» для расчета частоты его возбуждения. В трудах Международного аэрокосмического конгресса IAC'94 в 1994 году была впервые опубликована формула этого открытия и представлены результаты теоретических и эмпирических исследований авторов, подтверждающих влияние гравитационных резонансов Солнца и планет солнечной системы на возбуждение опасных глобальных природных процессов и стихийных бедствий в сферах Земли, включая землетрясения.

Несмотря на существенное различие масштабов, и характера эволюции космических и земных катастрофических процессов, их объединяет общая физическая природа гравидинамических причинно-следственных связей запуска опасных глобальных метеорологических, климатических, геофизических, экологических, сейсмических, геодеформационных и других земных процессов.

Согласно формуле открытия при орбитальном движении в гравитационном поле естественных и искусственных космических объектов могут быть возбуждены радиальные резонансные колебания этих объектов вдоль радиуса орбиты на частоте F_{gr} , приближенно равной 3/2 частоты их обращения по орбите F_{orb} . То есть $F_{gr} \approx 3 F_{orb}/2$.

Глобальный прогноз эволюции стихийных бедствий и природных рисков на Земле в соответствии с разработанной гравитационной моделью катастроф позволяет с точностью от 1 до 3 дней предсказывать даты максимальной интенсивности землетрясений, наводнений, извержений вулканов, а также всплески солнечной активности и опасные бифуркации климатических и метеорологических процессов.

Специалистами МГСУ был разработан диагностический метод научного прогнозирования, основанный на регистрации ранних первичных космических предвестниках возбуждения природных процессов, которыми являются первичные гравидинамические возмущения в околоземном космическом пространстве.

Самым ответственным моментом в последовательности операций диагностического прогнозирования является тонкая выделенная гравидинамических предвестников из десятков разнородных массивов орбитальной и наземной полиметрической сигнальной информации, а также редукция (привязка) глобального прогноза на локальные географические районы или объекты техносферы, которая сегодня осуществляется, главным образом, за счет применения полиметрических методов и данных НКЭБ РФ по мониторингу локальных природных процессов.

Из материалов цикла наблюдений в течение семи лет и статистического анализа последствий гравидинамических возмущений литосферы Земли, выполненного специалистами НИИЭМ МГСУ, МНТЦ ПНКО, ВНИИГеофизики, ИФЗ РАН и НКЭБ РФ, можно сделать следующие принципиальные выводы.

1. В периоды действия экстремальных амплитуд гравидинамических возмущений литосферы в сейсмоактивных районах планеты, в зонах разломов земной коры резко возрастает частота и интенсивность землетрясений.

2. Одновременно в сеймопассивных зонах планеты, к числу которых, например, можно отнести центральные и северные районы европейской части России, Северной Европы и Прибалтики, повышается интенсивность сверхнизкочастотных геодеформационных, оползневых и гидрогеологических процессов.

Таким образом, можно прийти к заключению, что если в сейсмоактивных зонах геодинамическая устойчивость геологических оснований строительных объектов нарушается землетрясениями, то в сеймопассивных зонах – сверхнизкочастотными геодеформационными процессами, ответственными за скрытое многолетнее накопление гидрогеологических и физико-механических неоднородностей в грунтах геологического разреза.

Однако, геодеформационные процессы под фундаментами строительных объектов и инженерных сооружений в сеймопассивных районах могут быть существенно усилены или «ускорены» в результате возбуждения виб-

росейсмических и грависейсмических резонансов объектов и их геологических оснований.

Вибросейсмические резонансы уже несколько десятков лет являются предметом особого внимания ученых и изобретателей, например в Японии, которыми предложены сотни оригинальных технических решений по демпфированию или «компенсации» резонансных колебаний зданий и сооружений с целью существенного повышения их сейсмостойкости. В последнее время и в России появились работы по исследованию этих резонансов, которые прямым или косвенным образом связаны с изучением их «аномального» влияния на скорость изменения геодинамической устойчивости геологических оснований строительных объектов. Например, показано, что по мере снижения частоты вибросейсмических резонансов резко повышается их добротность, в результате чего происходит резонансное «усиление» (в 75 раз) вибросейсмических колебаний фундаментной плиты.

В настоящее время, даже без учета влияния грависейсмических процессов и резонансов, нарушение и изменение равномерности распределения опорных напряжений, а также эволюция напряженно-деформированного состояния в расчетном объеме грунтов геологического основания является известной и актуальнейшей задачей современного промышленного и гражданского строительства, связанной с нарушением гидрогеологического режима, с сезонными и другими циклами перераспределения внутрипластового давления в слоях геологического разреза строительных площадок сооружений.

В результате неравномерного и нестационарного распределения опорной нагрузки $q(x,y)$ на поверхности контакта фундамент грунт, по указанным выше геодинамическим, гидрогеологическим, карстовым и сезонно-климатическим причинам, а также в связи с неравномерным изменением опорной жесткости грунта-основания, соответственно, будет иметь место неравномерное распределение механических напряжений и деформаций (прогибов) фундаментной плиты $z(x,y)$. Как следствие, появятся не только изгибающие моменты в теле плиты, но и произойдет некоторое отклонение век-

тора интегральной силы опорной реакции грунта. В этом случае вдоль контактной поверхности станет отличной от нуля соответствующая компонента P_{xy} вектора силы тяжести (веса) фундаментной плиты P_g , ответственная за ее сползание вдоль опорной поверхности грунта в направлении минимума продольной жесткости геологического основания строительной площадки.

В общем случае скорость этого сползания будет зависеть от однородности упругих характеристик геологического основания, параметров ползучести грунта и его сцепления с фундаментом, а также от конструкции фундамента и характеристик сцепления между собой разнородных приповерхностных слоев геологического разреза.

Однако эта скорость будет также зависеть как от спектра и мощности природных и промышленных микросейсм в районе размещения объекта, так и от скорости изменения геодинамических деформаций, многоциклового уплотнения грунтов и нарушения однородности физико-механических свойств геологического основания строительной площадки в целом, а также от добротности грависейсмических резонансов в районе застройки, включая и собственные грависейсмические резонансы фундамента и строительной конструкции самого объекта.

Следует учитывать, что среднестатистический максимум амплитуд вибросейсмических возмущений, например, в городах Центральной России, в частности в Москве, колеблется от 1 до 10 мкм в полосе частот от 0,1 до 15 Гц, что для частоты возбуждения порядка 10 Гц адекватно $10^{-3} g$. Амплитуда гравидинамических возмущений литосферы Земли, зарегистрированная, с использованием данных отечественных и зарубежных космических и полиметрических систем, например, в конце июля 1994 году достигала в течение трех месяцев наблюдения значений порядка $5 \cdot 10^{-2} g$. В случае синхронного возбуждения этими возмущениями грависейсмических резонансов наземных строительных объектов и их геологических оснований, например с добротностью более 30, реальны риски достижения амплитуд их возбуждения до 0,5g.

В связи с этим в течение расчетного срока эксплуатации строительных объектов (как правило, превышающих 40 лет) происходит реально неблагоприятное изменение эпюр смещений и механических напряжений на опорной поверхности фундамента.

Учитывая, что параметры надежности строительных объектов в значительной степени зависят от геодинамической стабильности системы «объект-основание» решение проблемы безопасности начинается с предпроектного геотехнического обоснования устойчивости тонкой структуры геологического разреза оснований с последующим учетом геодинамических, геодинамических и геологических рисков на этапе проектирования и завершается регулярным мониторингом эволюции кренов и осадок зданий и сооружений в период эксплуатации.

Приведенные данные позволяют обосновать параметры грависейсмометрического модуля геофизической станции мониторинга грависейсмических процессов и нагрузок в системе «объект-основание» высотных зданий и большепролетных пространственных сооружений.

Обоснование параметров грависейсмометрического модуля сейсмогеофизической станции мониторинга микросейсмического контроля систем типа «объект-основание» строительного сооружения

При ускорениях, превышающих $0,003g$ (где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения) строительные конструкции зданий и сооружений считаются эксплуатируемыми в условиях повышенных вибрационных нагрузок. К таким объектам относятся здания и сооружения, возведенные на грунтах, чувствительных к неравномерным осадкам (пески мелкие и пылеватые, водонасыщенные и слабые глинистые грунты с расчетным сопротивлением менее $R < 0,15 \text{ МПа}$ при амплитудах ускорений колебаний на поверхности свыше 4 Гал ($1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2$) при действии периодических и случайных нагрузок, и 24 Гала при действии импульсных динамических нагрузок. При этом

- среднее давление под подошвой $p \geq 0,7R$ для фундаментов на естественном основании;
- расчетная нагрузка на висячие сваи составляет свыше 0,7 их несущей способности.

Условия безопасной эксплуатации зданий, сооружений и их конструктивных элементов, а также грунтовых оснований допустимый уровень колебаний определяется следующими требованиями:

- прочности и выносливости конструктивных элементов;
- прочности и деформативности грунтовых оснований.

Вибрационное загрязнение, т.е. воздействие поля вибрации непосредственно на грунтовые массивы, может приводить к изменению рельефа поверхности, снижению механической прочности грунта или, наоборот, к их уплотнению и улучшению прочностных характеристик. Длительное вибрационное воздействие способно вызывать или активизировать экзогенные геологические процессы, такие, например, как оползни и обвалы на крутых склонах, карст, проседание поверхности, образование полостей в насыпях на железнодорожных магистралях и т.п. При воздействии через грунтовые массивы на фундаменты зданий вибрация может причинять им серьезный урон. Так, при вибрациях со скоростью перемещения частиц грунта $0,4 \cdot 10^{-3}$ - $1,2 \cdot 10^{-3}$ м/с могут происходить сверхнормативные осадки фундаментов, возникать повреждения в старых зданиях, а при скорости $5 \cdot 10^{-3}$ - $8 \cdot 10^{-3}$ м/с возможны серьезные повреждения зданий с бетонными перекрытиями.

В результате выполненных МГСУ в 1999-2003 годах натурных инструментальных исследований геодинамической безопасности ответственных строительных объектов выяснилось, что первопричиной запуска локальных геодеформационных механизмов являются неизвестные ранее и поэтому слабо изученные процессы циклической «усталости» грунтов оснований, монтажных стыков и строительных материалов. В свою очередь, полученные в университете экспериментальные данные и аналитическая идентификация

причинно-следственных связей позволили достоверно установить микросейсмические и микрогравитационные механизмы активации таких явлений.

Важное место в программах исследований занимали геодинамические исследования амплитудно-частотных характеристик строительных конструкций и систем объект-основание в реальных геологических условиях и на крупномасштабных моделях ответственных объектов промышленного и гражданского строительства.

Статистический анализ данных микросейсмических наблюдений показывает, что только за десятилетний период эксплуатации зданий, например в Московском регионе, грунты оснований за 10 лет претерпевают более 10 млрд. циклов микронагрузений, превышая, например, в 10^6 раз порог требований в машиностроении по обязательной аттестации циклической усталости конструкционных материалов.

До настоящего времени пока применяется единственный общепризнанный метод оценки деградации остаточного ресурса, в том числе в результате циклической усталости, по параметрам аккумуляции энергии плавного (скрытого) процесса разрушения или износа.

Сущность метода заключается в регулярном контроле (начиная с момента геодезической подготовки строительной площадки и, далее, в период сооружения фундамента и монтажа строительной конструкции вплоть до момента вывода объекта из проектного срока эксплуатации) параметров насыщения аварийно эффективных спектров вибропоглощения как строительной конструкции и ее элементов, так и системы «объект-основание», в целом. Затем по характеру эволюции параметров спектров поглощения определяют степень и скорость уменьшения запаса устойчивости объекта и разупрочнения строительных материалов. В связи с этим адекватным названием предлагаемого метода является «вибродозиметрический» метод.

При малых амплитудах виброрейсмического возбуждения процесс динамических деформаций среды можно считать фактически изотермическим и с большой точностью линейным, а коэффициенты затухания b и поглощения

$\beta \ll b$ настолько малы, что только после 10^6 циклов колебательных волновых деформаций остаточные деформации достигают требующих учета значений. По этим же причинам можно сделать вывод, что при изотермическом процессе поглощаемая энергия затрачивается только на остаточное изменение объема среды, например, на ее уплотнение, и формоизменение.

Энергетический подход впервые позволил получить физически обоснованную оценку рисков независимо от природы и степени изученности каждой из этих связей. Поэтому вибродозиметрический метод обладает определенной универсальностью и впервые открывает перспективы реализации метрологически обоснованного неразрушающего контроля, компьютерного моделирования и количественного расчета степени износа строительных конструкций и материалов, неоднородных и многосвязных систем типа «объект-основание».

Анализ параметров воздействий под основанием фундамента приводит к следующим результатам:

- среднестатистический максимум амплитуд вибросейсмических возмущений в Москве составляет от 1 до 10 мкм в полосе частот от 0,1 до 15 Гц, что для частоты возбуждения порядка 10 Гц адекватно $10^{-3}g$;
- амплитуда гравидинамических возмущений литосферы Земли $5 \cdot 10^{-2}g$;
- при синхронном возбуждении этими возмущениями грависейсмических резонансов наземных строительных объектов и их геологических оснований, например с добротностью более 30, реальны риски достижения амплитуд их возбуждения до 0,5 g.

В соответствии со Строительными нормами и правилами СНиП 2.02.01-83, СНиП 2.02.03-85, ГОСТ 12.1.012-90, СН 2.2.4/2.1.8.566-96, МГСН 2.04-97 предусмотрены:

- измерение вибраций и оценка вибраций в жилых и общественных зданиях;
- мониторинг технического состояния несущих конструкций особых зданий и сооружений с целью обеспечения их безопасного функционирования, что является основой эксплуатационных работ на этих объектах.

При мониторинге осуществляется контроль процессов, протекающих в конструкциях объектов и грунте для своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и оснований, которое может повлечь переход объекта в ограниченно работоспособное или в аварийное состояние и получение необходимых данных для разработки задания на проектирование мероприятий по устранению возникших негативных процессов.

Для осуществления контроля и ранней диагностики технического состояния несущих конструкций особого здания или сооружения предусматривается обязательная установка стационарной станции мониторинга технического состояния, которая должна обеспечивать в автоматизированном режиме (при проведении периодических измерений) выявление изменения напряженно-деформированного состояния конструкций с локализацией их опасных участков и определение уровня наклонов здания или сооружения.

Периодичность измерений на стационарной станции мониторинга технического состояния определяется службой эксплуатации в зависимости от состояния конкретного объекта: срока эксплуатации, отступлений от первоначального проекта, реальной ситуации на объекте, состояния и уровня внешних воздействий и т.д., но не должна быть реже раза в год.

Целями мониторинга являются определение

- периодов собственных колебаний вдоль большой оси, вдоль малой оси, вдоль вертикальной оси;
- логарифмических декрементов основного тона собственных колебаний вдоль большой оси, вдоль малой оси, вдоль вертикальной оси;
- крена здания вдоль большой оси, вдоль малой оси.

Заключение технического состояния здания выполняется на основе сравнения текущих значений определяемых параметров объекта с их предыдущими определенными значениями.

Риск ниже фонового уровня, равного $5 \cdot 10^{-6}$, является приемлемым (не требует мероприятий по его снижению); выше $5 \cdot 10^{-5}$ – является недопусти-

мым (требует срочной системы мер для его снижения); в интервале от $5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ для снижения уровня риска требуется система мер, полнота и сроки реализации которой устанавливаются с учетом экономических и социальных аспектов.

При обследовании зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмических районах, рекомендуется проводить микродинамические испытания по определению периода собственных колебаний, соответствующих ведущим формам, а также относительных перемещений рассматриваемых точек.

При проведении микродинамических испытаний используют:

- вибродинамический метод с применением сейсмовибратора с заданными параметрами нагружения, устанавливаемого или непосредственно на конструкции здания или на грунт;
- импульсный метод с помощью удара по несущим конструкциям пластичным грузом массой 30-50 кг.

В соответствии с МГСН 4.19-05 в высотных зданиях необходимо предусматривать служебное помещение для стационарной станции мониторинга основных несущих конструкций площадью не менее 20 м^2 и места установки измерительных пунктов станции.

В составе проектной документации (начиная с предпроектной стадии) следует разрабатывать специальный раздел, посвященный обследованию технического состояния зданий окружающей застройки и системе геотехнического мониторинга, руководствуясь требованиями, содержащимися в МГСН 2.07-01 и Пособии к МГСН 2.07-01 «Основания, фундаменты и подземные сооружения, обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений», 2004 г.

Предельные горизонтальные перемещения верха высотных зданий f_{ult} с учетом крена фундаментов при расчете по недеформированной схеме в зависимости от высоты здания h не должны превышать:

- до 150 м (включительно) - 1/500;
- при $h = 400 \text{ м}$ - 1/1000,

при промежуточных высотах значения f_{ult} определять по интерполяции.

В соответствии со Строительными нормами и правилами предельные погрешности измерения крена здания или сооружения в зависимости от его высоты h не должны превышать величин в мм:

- | | |
|---|------------|
| – для гражданских зданий и сооружений | 0,0001 h; |
| – для промышленных зданий и сооружений | 0,0005 h; |
| – для фундаментов под машины и агрегаты | 0,00001 h. |

Правительством Москвы утверждены «Рекомендации по эксплуатации многофункциональных высотных зданий и комплексов (рм-2957)».

В соответствии с этим документом регламентируется работа стационарной станции мониторинга деформационного состояний конструкций высотных зданий.

Нормы разработаны для Москвы и распространяются, в частности,

– по общему мониторингу технического состояния зданий и сооружений города для выявления объектов изменивших свое напряженно-деформированное состояние и требующих обследования технического состояния;

– по мониторингу технического состояния зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строек и природно-техногенных воздействий, для обеспечения безопасной эксплуатации этих объектов;

– по мониторингу технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии, для оценки их текущего технического состояния и проведения мероприятий по устранению аварийного состояния;

– по мониторингу технического состояния особых, в том числе высотных, зданий и сооружений для контроля состояния несущих конструкций и предотвращения катастроф, связанных с их обрушением.

На основании вышеизложенного, а также в результате моделирования геодинамических процессов, включая резонансные, и сопутствующих им нелинейных процессов деградации устойчивости систем «объект-основание» высотных зданий были обоснованы следующие требования к параметрам грависейсмометрической геофизической станции.

Эксплуатационные характеристики:

- рабочий диапазон температур, °С от –50 до 50;
- рабочий диапазон влажности, % до 90;
- удароустойчивость при транспортировке, в том числе:
- амплитуда однократных ударов, о.е. до 6
- амплитуда вибрации на частоте 50 Гц, о.е. до 0,01

Метрологические характеристики:

- диапазон измерения, о.е. от 10^3 до 10^4
- порг чувствительности, $мс^{-2}$ не более 10^{-8}
- нижняя граница рабочей полосы
- частот в диапазоне измерения, Гц не более 0,01;
- погрешность измерения по частоте, Гц 0,005
- погрешность измерения амплитуды, % 1,0.

Показатели надежности:

- ресурс эксплуатации с возможностью
- замены отдельных блоков и деталей, лет не менее 40
- время безотказной работы, час не менее 10000.

В соответствии с этими параметрами был изготовлен экспериментальный образец унифицированного грависейсмометрического модуля геофизической станции мониторинга. Грависейсмометрический модуль, являющийся относительным лазерным гравиметром и не уступающий по своим характеристикам американско-канадскому гравиметру Simplex, был изготовлен правообладателем подобной аппаратуры, выбранным в результате проведенного МГСУ всероссийского тендера. По цене разработанный Российский грави-

сейсмометрический модуль в несколько раз дешевле американско-канадского гравиметра Simplex.

Грависейсмометрический модуль ГСМ 03У

Три грависейсмометрических модуля предназначены для измерения ускорения по трём осям: по вертикали, OZ , и по горизонтали, OX , OY , а также статического наклона вокруг осей OX и OY с высоким разрешением и точностью (прецизионные инклинометры).



Рис.1. Грависейсмометрический модуль ГСМ 03У геофизической станции СГМ-03В

Модуль разработан на базе статического гравиметра ГНШ-МАК (гравиметр наземный широкодиапазонный с металлической упругой системой, компьютеризированный, класса точности «А»). Конструктивно модули ГСМ 03У представляют собой акселерометры в термостатированном корпусе, имеют блок электроники и компьютер, который может быть расположен на значительном удалении от блоков в кондиционных условиях. Все блоки могут быть защищены от механических воздействий прочными кожухами.

Измерительный блок включает следующие основные подсистемы:

- измерительную часть, содержащую грависенсор и двухканальный лазерный гетеродинный интерферометр. Измерительная часть включается/выключается вручную с внешней панели блока и работает автономно во время измерений;

- термостат с ПИД-регулятором температуры, содержащий пять каналов АЦП высокого разрешения для измерений температуры в трех точках и наклон по двум осям измерительной части, электронные ключи ШИМ-регулирования нагрева и управляющий микропроцессор (термостат включается/выключается вручную с внешней панели блока и работает автономно, непрерывно);
- узел связи СОМ-ВТ, содержащий аппаратный модуль беспроводной связи “Bluetooth” и управляющий микропроцессор (модуль связи СОМ-ВТ включается/выключается одновременно с ПИД-регулятором; он обеспечивает по командам от компьютера ввод и вывод параметров ПИД-регулятора, а также формирует и поддерживает поток исходных данных от каналов лазерного интерферометра и каналов АЦП к компьютеру во время измерений).

Управление основными подсистемами измерительного блока и обработка потока исходных данных осуществляется программой ГЛОСТАР.

Программа ГЛОСТАР

Программа ГЛОСТАР предназначена для управления системой относительного лазерного гравиметра и регистрации и обработки потока результатов измерений.

Программа обеспечивает:

- открытие и контроль режима работы канала связи СОМ-ВТ между прибором и компьютером (при нестабильной работе беспроводной части программа обеспечивает работу проводной связи между измерительным блоком и компьютером);
- задание параметров и контроль режима работы всего комплекса прибора во время измерений;
- задание параметров ПИД и контроль режима работы ПИД-регулятора термостата;
- прием, преобразование и обработку непрерывного потока данных от измерительного блока прибора.

Регистрация и обработка потока результатов измерений

Поток исходных данных от измерительного блока передается в компьютер с использованием программно-аппаратного модуля беспроводной связи “Bluetooth”. Запись результатов измерений в файл на жестком диске компьютера производится в двоичном коде. Обработка потока результатов измерений заключается в цифровой фильтрации, интегрировании, коррекции результатов от искажений, вносимых измерительной частью. Обработанные результаты измерений записываются в две папки DATA и STREAM в десятичном коде. В папке STREAM формируются так называемые “тревожные файлы”. В папке STREAM записываются время регистрации сигнала в секундах от начала записи (временной шаг равен 0,008 сек., длина записи – 300 сек.), значения виброускорений в микрогаллах, среднее квадратичное отклонение по амплитудам. “Тревожные файлы” в последующем обрабатываются программами, разработанными в МГСУ. Файлы папки DATA используются для предварительной обработки программой, разработанной для комплекса MathCAD. Результатом предварительной обработки является амплитудно-частотная характеристика виброускорений.

Программа ГЛОСТАР устанавливается с установочного компакт-диска (CD) в заданный раздел жесткого диска компьютера.

Грависейсмометрическая геофизическая станция мониторинга СГМ-03В

В целях достижения безусловных гарантий достоверного инструментального обеспечения мониторинга геодинамических характеристик высотных зданий в период их эксплуатации в 2007 году в МГСУ был разработан проект грависейсмометрической геофизической станции стационарного мониторинга СГМ-03В состояния и устойчивости системы «объект-основание» высотных зданий в течение всего их жизненного цикла методом грависейсмического мониторинга квазистатических геодеформационных процессов и эволюции геодинамических резонансов в системе «объект-основание».

Структура станции формируется локальной цифровой сетью на базе

унифицированных трехканальных измерительных платформ ПГС-3К, содержащих по три грависейсмометрических модуля ГСМ 03У (Рис.2): один для регистрации вертикальных компонент грависейсм, а два для регистрации горизонтальных, включая маятниковые колебания и квазистатические крены зданий.

Станция впервые обеспечивает контроль эволюции геодинамических резонансов систем типа «объект-основание», неравномерных осадок и кренов зданий и сооружений, линейных и нелинейных грависейсмических процессов, включая приливные нагрузки, а также контроль и прогноз интенсивности геодеформационных процессов, эволюции циклической усталости грунтов и пород в основании зданий на глубину до 2 км в течение всего жизненного цикла зданий. Станция построена на принципиально новых физических принципах, является высокопроизводительным автоматизированным телеметрическим программно-аппаратным комплексом.



Рис.2. Структурная схема станции СГМ-03В

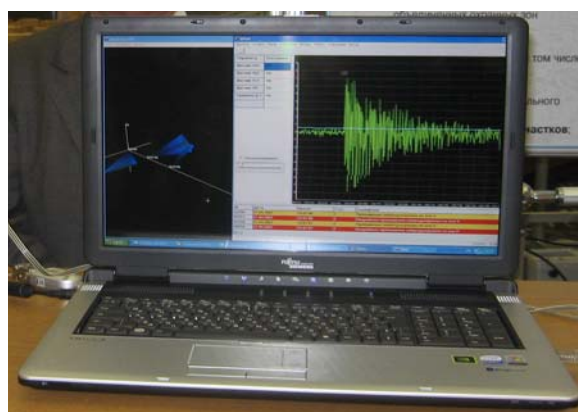


Рис.3. Интерактивный интерфейс станции в режиме визуализации сейсмограммы ударного возбуждения здания (на мониторе справа) и спектральных аттракторов (слева)

Несмотря на целый ряд существующих отечественных и зарубежных разработок аппаратуры мониторинга состояния строительных конструкций, необходимость создания принципиально нового технического и программно-аппаратного решения станции грависейсмометрического мониторинга, а также применения тонких информационных технологий интерпретации данных на новых физических принципах были обусловлены следующими причинами.

1. Существующие технические решения и принципы мониторинга состояния строительных конструкций предназначены, главным образом, для контроля линейных характеристик, вибросейсмических нагрузок и передаточных функций зданий и сооружений. Вместе с тем процессы разрушения и отражающие их динамические характеристики являются по своей физической сущности принципиально нелинейными.

2. «Линейный» подход к решению задачи контроля эволюции остаточного ресурса устойчивости и надежности зданий и сооружений позволяет моделировать линейные динамические свойства строительных конструкций, что, несомненно, является полезным при его использовании, например, в образовательном процессе или при расчетном моделировании без учета нелинейных проявлений износа и деградации ресурса надежности.

3. Широко распространенные расчетные программные комплексы интерпретации данных мониторинга, базирующиеся на различных модификациях метода «конечных элементов», корректно применимы для проектного моделирования только квазистатической устойчивости, но не обладают необходимой математической достаточностью для расчетного и прогнозного

моделирования принципиально нелинейных процессов, представляющих физическую сущность процессов износа и деградации запаса прочности строительных материалов, непрерывно распределенных жесткостей и масс сложно построенных механических колебательных систем.

4. Результаты целого ряда теоретических и натурных исследований отечественных и зарубежных ученых, включая специалистов в области инженерной геофизики, убедительно подтверждают наличие инфранизкочастотных и высокочастотных геодинамических резонансов высотных зданий и сооружений. Достоверный контроль нелинейной эволюцией параметров, которых требует существенного расширения и ужесточения требований к инструментально-методическим средствам мониторинга, в том числе по полосе частот и динамической погрешности в инфранизкочастотном диапазоне динамических нагрузок.

Станция мониторинга СГМ-03В позволяет реализовать новые возможности: непрерывный эксплуатационный контроль эволюции геодинамических резонансов и декрементов затухания систем типа «объект-основание» в соответствии с требованиями МГСН 4.19-2005, а также неравномерных осадок и кренов зданий и сооружений, линейных и нелинейных грависейсмических процессов, включая приливные нагрузки, контроль и прогноз интенсивности геодеформационных процессов, эволюции циклической усталости грунтов и пород в основании на глубину до 2 км. в течение всего жизненного цикла зданий.

Экспериментальный образец такой станции, укомплектованный на базе унифицированного грависейсмометрического модуля и лицензионных алгоритмических комплексов был представлен 21 ноября 2007 г. участникам ежегодной городской научно-практической конференции «Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства. Стройбезопасность-2007» и награжден специальным дипломом выставки.

Основные технические характеристики станции:	
Количество каналов, ед.	не менее 48
Порог чувствительности, мкгал	не менее 1
Верхняя граница полосы частот, Гц	1; 2; 3; 4; 5
Нижняя граница полосы частот, Гц	не более 0,0003
Диапазон рабочих температур, °С	от – 20 до +40

Вибродозиметрическая станция мониторинга СВД-60МВ

Вибродозиметрическая станция СВД-60МВ предназначена для контроля эволюции остаточного ресурса циклической усталости материалов строительных конструкций зданий и сооружений. Осуществляется контроль накопления повреждений в конструктивных элементах и остаточного ресурса надежности несущих конструкций зданий и сооружений, включая высотные и большепролетные, в течение всего их жизненного цикла, методом вибродозиметрического мониторинга аккумулятивных процессов разупрочнения, эволюции нелинейных характеристик колебаний, резонансов и декрементов затухания строительной конструкции здания.

Конструкция станции и программное обеспечение позволяют использовать её на всех этапах жизненного цикла сооружения, позволяют определять динамический портрет здания, осуществлять мониторинг и прогнозировать ресурс эксплуатации здания.

Общий вид вибродозиметрической станции мониторинга СВД-60МВ приведен на рис. 4.

Структура станции формируется локальной цифровой сетью на базе унифицированных шестиканальных измерительных платформ ПВД-6С, содержащих три линейных (СПМ-54_х, СПМ-54_у, СПМ-54_z) и три угловых (ИУУ-М-2_х, ИУУ-М-2_у, ИУУ-М-2_z) акселерометра для регистрации горизон-

тальных, вертикальных и ротационных компонент локальных колебаний здания (рис. 5).

Механические колебания элемента конструкции сооружения преобразуются двумя блоками однокомпонентных линейных (платформа ПВС-ЗК-ЛА) и угловых (платформа ПВС-ЗК-УА) молекулярноэлектронных электрокинетических акселерометров в аналоговый электрический сигнал. В каждом блоке измерительные оси угловых (X_T, Y_T, Z_T) и линейных (X_L, Y_L, Z_L) акселерометров расположены перпендикулярно друг другу.



Рис. 4. Общий вид вибродозиметрической станции мониторинга СВД-60МВ

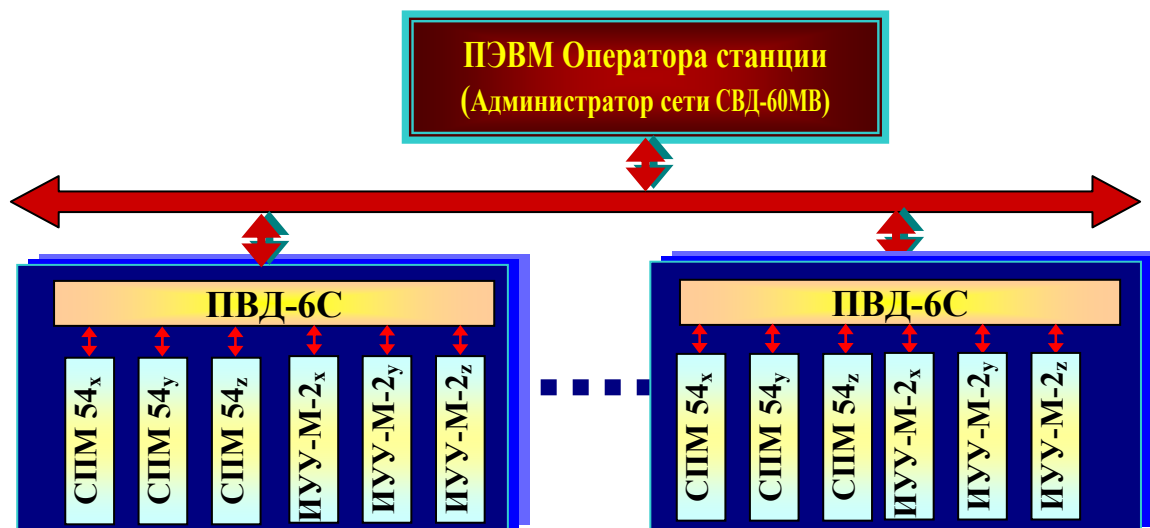


Рис.5. Структурная схема станции СВД-60МВ

Аналоговые сигналы с блоков акселерометров преобразуются многоканальным АЦП в цифровые коды, которые через вход USB поступают на системный блок компьютера (ПК). Запоминание и обработка сигналов (перевод из кодовых значений в натуральные числа, оценка статистических характеристик, преобразование Фурье, корреляционно-регрессионный анализ и др.) проводятся по специальным встроенным программам.

Монитор и принтер обеспечивают визуальный контроль и распечатку результатов измерений.

Блок питания предназначен для работы блоков акселерометров. Электропитание блока питания, ПК, монитора и принтера осуществляется от сети переменного тока 220 В.

Блок питания, корпус АЦП, выходные соединительные элементы (разъёмы) акселерометров и входные от АЦП смонтированы в общем корпусе, из которого выходят два кабеля (допускается длина до 25 м) для соединения с блоками акселерометров, кабель сетевого питания блока питания и кабель связи АЦП с системным блоком.

Угловые ИУУ-М-2-3 и линейные СПМ-54 акселерометры были разработаны и изготовлены отечественным предприятием и по своим характеристикам превосходят зарубежные аналоги.

Угловые акселерометры ИУУ-М-2-3

Угловые акселерометры типа ИУУ-М-2-3 состоят из первичного электрокинетического преобразователя угловых ускорений (ПЭУУ) и встроенного электронного согласующего устройства (ЭСУ). ПЭУУ представляет собой замкнутый жидкостной контур, являющийся инерциальным чувствительным элементом и создающим при наличии углового ускорения перепад

давления на специальной диафрагме, преобразующей этот перепад (т.е. угловое ускорение) в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается в ЭСУ. Выходной электрический сигнал – аналоговый.

Ориентация измерительной оси: 1) относительно корпуса – перпендикулярно торцевым поверхностям (вдоль оси цилиндра); 2) в пространстве – произвольно.

Жидкостная природа ПЭУУ обеспечивает уникальные метрологические характеристики ИУУ-М-2-3: высокую пороговую чувствительность (вследствие отсутствия трения покоя инерциального элемента); принципиальная нечувствительность к линейным ускорениям (что позволяет разделить измерения по линейным и угловым ускорениям); малое значение поперечной чувствительности (не более 1%); высокая линейность преобразования (не хуже 1%) в широком динамическом диапазоне (более 60 dB).

Конструкция ИУУ-М-2-3 относительно проста в изготовлении, не требует применения прецизионного механического оборудования, обладает большим потенциалом к адаптации к конкретным областям применения. Условия эксплуатации удовлетворяют самым высоким требованиям по стойкости к воздействию механических, климатических и электромагнитных факторов.

Имеются конструктивные возможности расширения частотного диапазона в сторону низких частот (до десятых и сотых долей герца).

Таблица 1. Технические характеристики углового акселерометра ИУУ-М-2-3.

Наименование параметра	Размерность	Значение
Динамический диапазон	рад/с ²	-5 ... + 5
Собственный шум, с.к.з., не более	рад/с ²	$2,5 \times 10^{-3}$
Выходной сигнал (аналоговый)	В	- 10 -- + 10

Коэффициент преобразования	$V \cdot c^2 / рад$	$2 \pm 0,3$
Диапазон частот	Гц	0,5 – 70
Поперечная чувствительность (не более)	%	1
Рабочий диапазон температур	°С	- 50 ... +50
Электропитание (биполярное)	В	- 10 , 0 , +10
Потребление тока (по обеим полярностям, не более)	mA	10
Габариты	мм	76 × 76 × 40
Масса, не более	г	200
Гарантийный срок	лет	10

Линейные акселерометры СПМ-54

Линейные акселерометры типа СПМ-54 состоят из первичного электрокинетического преобразователя линейных ускорений (ПЭЛУ) и встроенного электронного согласующего устройства (ЭСУ). ПЭЛУ представляет собой систему, включающую инерционную массу на упругом подвесе, размещённую в рабочей жидкости; и специальную диафрагму. Инерционная масса при наличии линейного ускорения создаёт перепад давления на диафрагме, преобразующей этот перепад в электрический сигнал, пропорциональный линейному ускорению. Этот сигнал усиливается в ЭСУ. Выходной электрический сигнал – аналоговый.

Ориентация измерительной оси: 1) относительно корпуса – перпендикулярно торцевым поверхностям (вдоль оси цилиндра); 2) в пространстве – произвольно.

Таблица 2. Технические характеристики линейного акселерометра СПМ-54.

Наименование параметра	Размерность	Значение
Динамический диапазон	$м/с^2$	-5 ... +5
Собственный шум, с.к.з., не более	$м/с^2$	$0,5 \times 10^{-5}$
Выходной сигнал (аналоговый)	В	- 5 ... +5
Коэффициент преобразования	$V \cdot c^2 / м$	0,4 ... 0,6

Диапазон частот	Гц	5 ÷ 200
Рабочий диапазон температур	°С	- 80 ... +80
Электропитание (биполярное)	В	- 6,3 , 0 , +6,3
Потребляемая мощность, не более	мВт	3
Габариты	мм	Ø52×52
Масса, не более	г	350
Гарантийный срок	лет	10

Аналого-цифровой преобразователь E14-140 (АЦП)

В состав АЦП E14-140 входят собственно модуль E14-140, кабельная часть разъема для подключения сигналов к входам АЦП, кабель связи с системным блоком по USB.

Базовая функция модуля E14-140 - многоканальное АЦП с мультиплексированием каналов. E14-140 подсоединяется к ПК через USB-интерфейс. Многоканальный 14-ти разрядный АЦП позволяет работать с 16-ю дифференциальными каналами. Каждый из входных аналоговых каналов подключается к АЦП через программно управляемый аттенюатор, позволяющий задавать один из четырех диапазонов измерения напряжения. Модуль E14-140 обеспечивает непрерывный сбор аналоговых данных на частотах дискретизации АЦП от 0.122 до 100.0 кГц.

Источник питания

В качестве первичного источника питания применены два стабилизированных AC-DC преобразователя фирмы Weidmuller, преобразующих $\sim 220 \pm 20V$ 50Hz в постоянное напряжение, и скоммутированных относительно «корпуса» в $\pm 12,5V$. Для преобразования в $\pm 6,3V$ применена схема из линейных стабилизаторов напряжения, выполненных на микросхемах LM78M06A и LM79M06A, с соответствующей фильтрацией от помех. Питание АЦП +5V осуществляется непосредственно по интерфейсу USB.

Блок питания и АЦП выполнен в корпусе G-771 размером 200 x 280 x 80 мм.

Внутри блока размещены:

- первичные источники питания (2 шт.);
- блок со вторичными источниками питания и соединителями типа CP-50 для подключения акселерометров;
- многоканальный АЦП с кросс-платой для преобразования сигналов в интерфейс USB.

Технические характеристики измерительных каналов

Измерительный канал состоит из измерителя угловых (или линейных) ускорений, канала АЦП, программы «LGraph2» фирмы «Л-Кард», обеспечивающей режим измерения (запуск, установку интервала сбора данных (T , с), число каналов измерения, диапазон измерения для каждого канала (D , В), частоту измерений на канал (f , Гц) и др.).

Значения выходного напряжения канала $U(t_n)$, В рассчитываются по формулам:

$$U_{X_T}(t_n) = M_{X_T}(t_n) \times D_{X_T} / 8000, \text{ В};$$

$$U_{Y_T}(t_n) = M_{Y_T}(t_n) \times D_{Y_T} / 8000, \text{ В};$$

$$U_{Z_T}(t_n) = M_{Z_T}(t_n) \times D_{Z_T} / 8000, \text{ В};$$

$$U_{X_L}(t_n) = M_{X_L}(t_n) \times D_{X_L} / 8000, \text{ В};$$

$$U_{Y_L}(t_n) = M_{Y_L}(t_n) \times D_{Y_L} / 8000, \text{ В};$$

$$U_{Z_L}(t_n) = M_{Z_L}(t_n) \times D_{Z_L} / 8000, \text{ В};$$

где: U_{X_T} , U_{Y_T} , U_{Z_T} - выходные напряжения угловых акселерометров в вольтах по осям X , Y , Z , соответственно; U_{X_L} , U_{Y_L} , U_{Z_L} - выходные напряжения линейных акселерометров в вольтах по осям X , Y , Z , соответственно; n - порядковый номер измерения, $n = 1, 2, 3, \dots, N = 1 + T \times f$;

f - частота измерений, Гц; $t_n = (n-1)/f$ - n -ый момент измерения в секундах от начала регистрации; T - интервал сбора, с; M_{X_T} , M_{Y_T} , M_{Z_T} - вы-

ходные напряжения угловых акселерометров в кодах АЦП по осям X , Y , Z , соответственно; $M_{Xл}, M_{Yл}, M_{Zл}$ - выходные напряжения линейных акселерометров в кодах АЦП по осям X , Y , Z , соответственно; $D_{Xт}, D_{Yт}, D_{Zт}$ - диапазоны измерений каналов АЦП по осям X , Y , Z угловых ускорений, соответственно; $D_{Xл}, D_{Yл}, D_{Zл}$ - диапазоны измерений каналов АЦП по осям X , Y , Z линейных ускорений, соответственно; 8000 - делитель для каналов АЦП, откорректированных в соответствии с рекомендациями изготовителя.

Значения входного (измеряемого) воздействия - углового ускорения $\varphi''(t_n)$, рад/с² или линейного ускорения - $j(t_n)$, м/с², рассчитываются по формулам:

$$\varphi''_X(t_n) = U_{Xт}(t_n) / K_{Xт}, \text{ рад/с}^2;$$

$$\varphi''_Y(t_n) = U_{Yт}(t_n) / K_{Yт}, \text{ рад/с}^2;$$

$$\varphi''_Z(t_n) = U_{Zт}(t_n) / K_{Zт}, \text{ рад/с}^2;$$

$$j_X(t_n) = U_{Xл}(t_n) / K_{Xл}, \text{ м/с}^2;$$

$$j_Y(t_n) = U_{Yл}(t_n) / K_{Yл}, \text{ м/с}^2;$$

$$j_Z(t_n) = U_{Zл}(t_n) / K_{Zл}, \text{ м/с}^2;$$

где: $\varphi''_X, \varphi''_Y, \varphi''_Z$ - угловые ускорения в рад/с² по осям X , Y , Z , соответственно; j_X, j_Y, j_Z - линейные ускорения в м/с² по осям X , Y , Z , соответственно; $K_{Xт}, K_{Yт}, K_{Zт}$ - фактические коэффициенты преобразования угловых акселерометров в В•с²/рад по осям X , Y , Z , соответственно (из паспорта каждого акселерометра); $K_{Xл}, K_{Yл}, K_{Zл}$ - фактические коэффициенты преобразования линейных акселерометров в В•с²/м по осям X , Y , Z , соответственно (из паспорта каждого акселерометра).

Погрешность измерительного канала определяется суммарной погрешностью составляющих его приборов: акселерометра и соответствующего канала

АЦП, и практически равна погрешности акселерометра, поскольку погрешность канала АЦП типа E14-140 на порядок меньше погрешности акселерометра.

Методика измерений линейных и угловых вибраций зданий и сооружений

Станция СВД-60МВ измеряет линейные и угловые ускорения элемента конструкции, на котором установлены платформы ПВС-3К-ЛА и ПВС-3К-УА. Поэтому элемент, выбранный для установки платформ, должен иметь надлежащую механическую связь с исследуемым сооружением, чтобы по его движениям можно было судить о реальных движениях всего сооружения или его части.

Методика измерений:

- установить платформы конусными опорами на поверхности исследуемого объекта. Ориентация измерительных осей платформ выбирается исходя из потребностей исследования и фиксируется в документе, описывающем условия проведения измерений;
- собрать схему измерений, зафиксировав в документе, описывающем условия проведения измерений, соответствие акселерометров и каналов АЦП. Подсоединение выходных сигналов измерителей к входам АЦП производится согласно руководству пользователя E14-140;
- включить питание системного блока ПК и монитора, вызвать программу «LGraph2» фирмы «Л-Кард». Согласно требованиям функционирования программы «LGraph2» следует установить параметры регистрации, соответствующие задаче измерения: включить каналы АЦП, установить диапазон измерения каждого канала, длительность интервала регистрации, частоту на канал, величину межканальной задержки, задать директорию размещения и имя файлов данных, задать способ включения регистрации и др.;
- установить параметры визуализации регистрируемых сигналов.

Включить режим просмотра программы «LGraph2». Включить питание акселерометров. По окончании переходных процессов в электронных платах система готова к рабочему режиму регистрации;

- Запустить регистрацию сигналов кнопкой «ЗАПИСЬ» в главном окне программы;
- Остановка регистрации происходит либо автоматически при исчерпании интервала регистрации, либо в произвольный момент кнопкой «СТОП».

Примечание: в процессе регистрации формируются два файла: файл параметров – с расширением «.par», тип файла «PAR», и файл данных типа «DAT». Для дальнейшей обработки данных могут потребоваться оба файла пары. В частности это необходимо при использовании программы Conv2 для конвертации бинарных кодов АЦП в текстовый или числовой файлы.

Программное обеспечение

Основные требования:

- компьютер PC-архитектуры, процессор Intel Pentium II и выше;
- операционная система Microsoft® Windows® XP;
- наличие интерфейсного разъема USB.

Для регистрации, визуализации и анализа процессов мониторинга установлено следующее программное обеспечение:

- программа LGraph2;
- программа Conv2.

Программа LGraph2 предназначена для регистрации (просмотр и сохранение в цифровом виде) аналоговых сигналов, поданных на вход E14-140.

Основные возможности программы:

- режим просмотра входных сигналов без сохранения с возможностью включения записи в любой момент с ранее установленными параметрами сбора;
- тарировка шкалы и отображаемых данных независимо для любого используемого канала с учетом измеряемой физической величины;
- детальный просмотр графиков в режиме увеличения;

- построение спектра и амплитудной гистограммы ранее сделанной записи;
- поиск события в потоке записанных данных по критериям.

Программа LGraph2 для каждого цикла измерений (интервала сбора данных, задаваемого перед началом регистрации) формирует пару файлов с одинаковым именем (назначенным пользователем), но различного типа: один с расширением .par, типа «PAR», другой – типа «DAT», помещаемых в назначенную пользователем папку. Первый из них содержит параметры функционирования АЦП в период измерения, второй численные данные выходных сигналов акселерометров в кодах АЦП. По окончании сбора данных, для исключения стирания собранных данных следующим циклом измерений, их следует переименовать, переместить в другую папку или предусмотреть автоматическое изменение имени файла для следующих измерений, что довольно легко осуществляется в программе LGraph2, например, путём автоматического добавления к имени файла даты и времени начала регистрации.

Таблица 3. Соответствие откорректированного кода АЦП входному напряжению

Диапазон измерения напряжения, В	Код АЦП	Входное напряжение, В
±10.0; ±2.5; ±0.625; ±0.15625	+8000	+10.0; +2.5; +0.625; +0.1562
	0	0
	-8000	-10.0; -2.5; -0.625; -0.1562

Программа Conv2 предназначена для преобразования записанных файлов из бинарного вида (кодов АЦП, табл. 3) в текстовый формат и формат Excel *.xls.

Обработка результатов измерений

На экспериментальных образцах грависейсеймометрической аппаратуры впервые по соглашению с правообладателями будут использоваться лицензионные

конверсионные отечественные алгоритмические комплексы, в частности, «Аттрактор», «Квазар», «Фрейм» и ряд других, предназначавшихся ранее для использования на ОК «МИР», МКА «Буря» и МКС с целью прецизионного мониторинга остаточного ресурса надежности силовых конструкций крупногабаритных многоблочных космических комплексов, орбитальных станций и ответственных наземных сооружений пусковых комплексов.

Использование космических и перспективных геологоразведочных инструментально-методических технологий позволило реализовать не только задачи, поставленные техническим заданием на экспериментальную разработку, но и продемонстрировать на базе экспериментальных образцов грависейсмометрической аппаратуры реальные функциональные возможности предлагаемого проекта технического решения сейсмогеофизической станции для мониторинга геофизической устойчивости высотных зданий и виброметрической станции для контроля эволюции остаточного ресурса циклической усталости материалов строительных конструкций зданий и сооружений.

Обработка результатов цифровых измерений включает построение спектров на основе быстрого преобразования Фурье, а также определяются добротности и логарифмические декременты затуханий. Используется теорема Котельникова – Найквиста – Шеннона для фильтрации шума измеренного сигнала.

В качестве примера на рис. 6 показана акселерограмма угловых ускорений вокруг оси z на 7-м этаже здания ИОРАН им. П.П. Ширшова. Соответствующая спектрограмма виброускорений по оси X на 7 этаже здания ИОРАН с 15 час. 46 мин. до 16 час. 16 мин. 5 сентября 2008 года (файл test_7эт_080905) приведена на рис. 6.

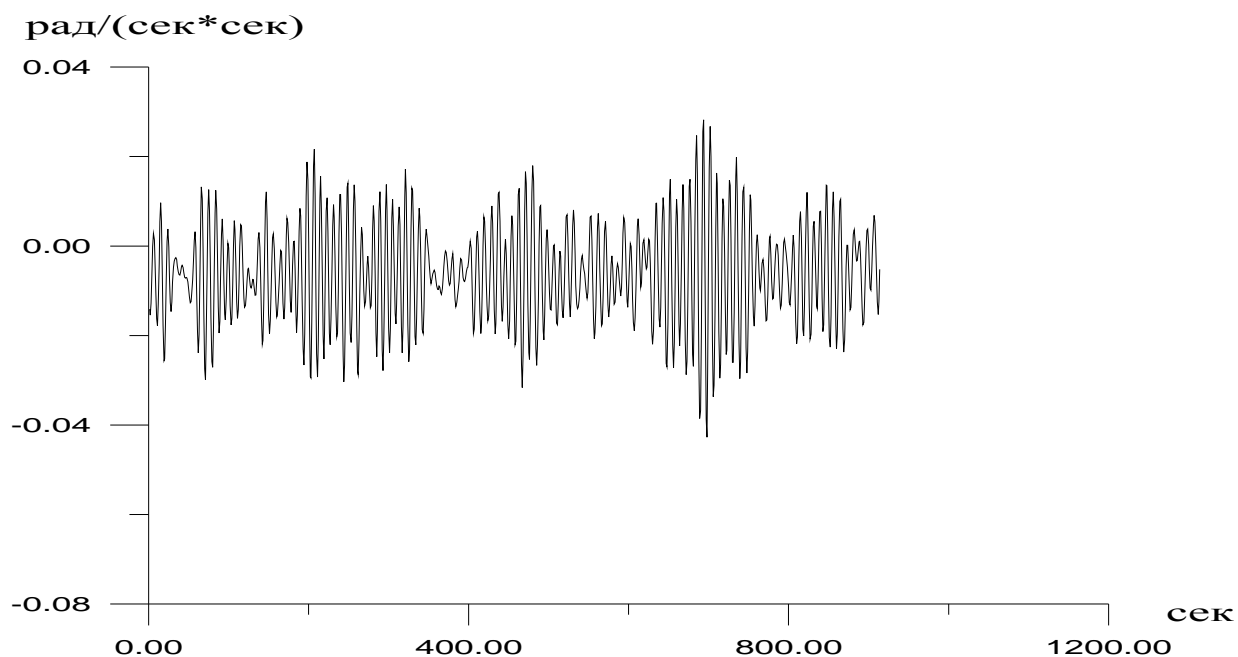


Рис. 6. Акселерограмма угловых ускорений вокруг оси z в здании ИОРАН на 7-м этаже

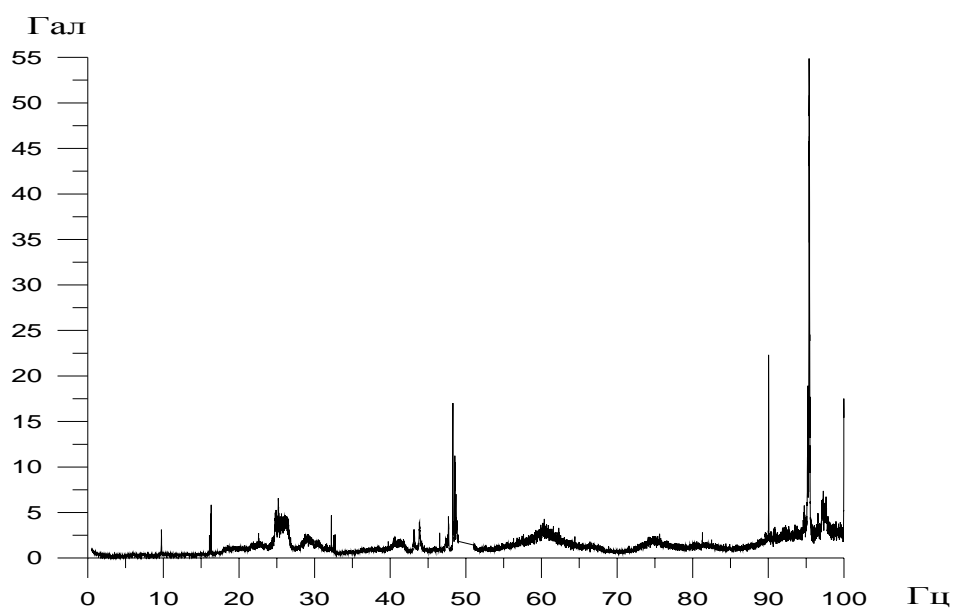


Рис. 7. Спектрограмма виброускорений по оси X на 7 этаже здания ИОРАН с 15 час. 46 мин. до 16 час. 16 мин. 5 сентября 2008 года (файл test_7эт_080905)

Высокая чувствительность аппаратуры станций позволяет регистрировать не только собственные геодинамические резонансы системы «объект-основание» строящегося или контролируемого здания, но также влияние на

эволюцию ее динамических характеристик геодинамических резонансов окружающей застройки и геологических элементов в их основаниях. Соответствующие примеры показаны на рис. 8 и 9.



Рис. 8. Спектр ускорений по оси X

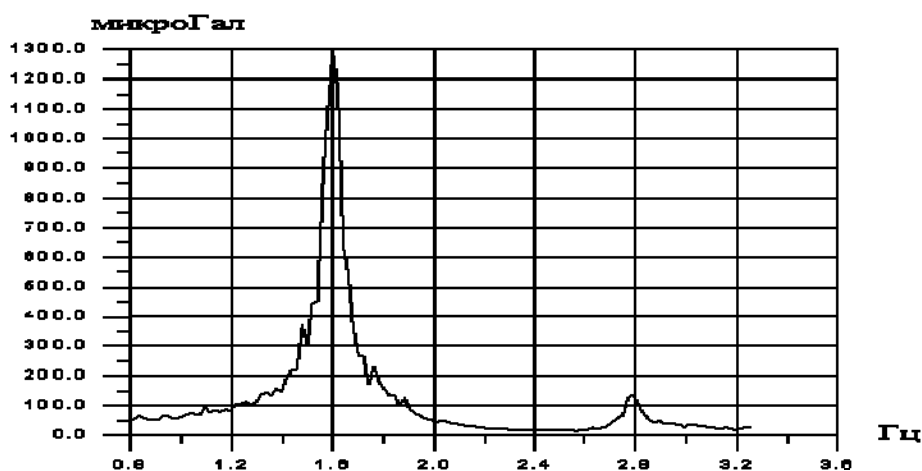


Рис. 9. Спектр ускорений по оси Y

Наглядное представление динамических характеристик может быть получено с использованием графических образов амплитуд колебаний для каждого спектрального термина.

Соответствующие графические представления, разработанные на кафедрах прикладной математики и прикладной механики МГСУ с участием специалистов НИЭМ и ОНИЛ КГК, получили названия модальных и спектральных аттракторов.

Алгоритмический комплекс “АТТРАКТОР” используется для визуализации годографа виброускорений элементов конструкций зданий и сооружений, что важно при последующем анализе динамических характеристик исследуемого объекта.

Принципиальным моментом процесса обработки измеренных характеристик вибрационного процесса является учет фазовых искажений в телеметрических каналах передачи информации, что важно при последующем анализе динамических характеристик исследуемого объекта.

Программа **Модальный аттрактор** предназначена для графического отображения изменения вектора микроускорений элементов строительной конструкции по времени в режиме реального времени. Ось времени совпадает с осью u .

Пример модального аттрактора по результатам измерений на 7-м этаже здания Института океанологии им. Ширшова П.П. для частоты 24,5 Гц приведен на рис. 10. На рис. 11 приведен пример спектрального аттрактора.

Программа **Спектральный аттрактор** предназначена для графического отображения изменения векторов колебаний различных термов в режиме реального времени. Ось частот совпадает с осью u .

Графические образы в этих программах могут быть представлены с регулируемой задержкой по времени. Система координат может изменяться в масштабе и может поворачиваться на любой угол вокруг любой оси, что позволяет выбрать наиболее оптимальный ракурс представления графического образа. Графический образ формируется с помощью программного модуля API OpenGL.

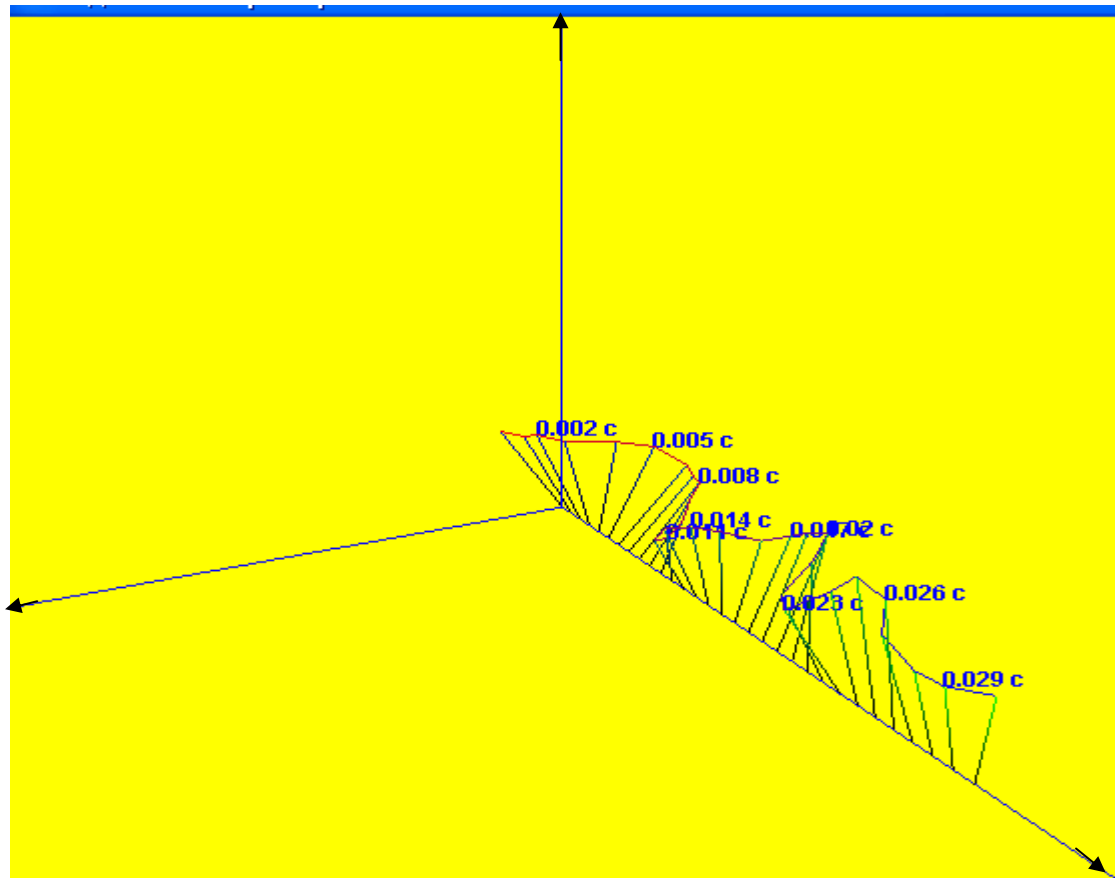


Рис. 10. Фрагмент модального аттрактора микроускорений здания ИОРАН

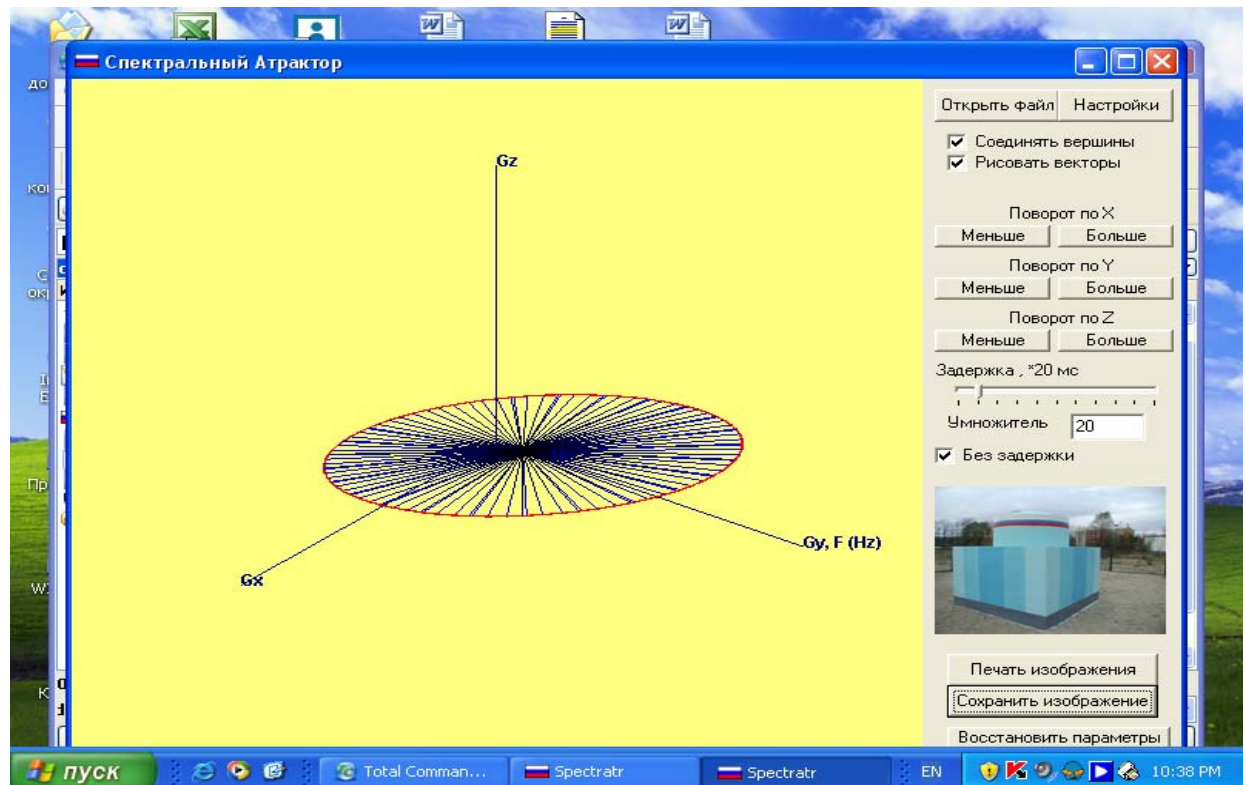


Рис. 11. Спектральный аттрактор микроускорений здания ИОРАН (для частоты $f=24,5$ Гц)

Проблема восстановления реальных векторных компонент и годографа вектора имеет прямое отношение как к решению задачи контроля и демпфирования модальной виброактивности, так и к эффективности использования виброметрической информации для анализа результатов дорогостоящих физических и технологических экспериментов. Восстановление вектора вибраций является принципиально необходимым для корректной идентификации источников и причин нарушения технологических и других экспериментальных процессов. Эта проблема является важной и для исследования прочности строительных сооружений.

Выводы

1. Приведено описание станции, технических и эксплуатационных характеристик, методик измерения и результаты апробации вибродиагностической станции СВД-60 МВ.

2. Приведенные предварительные экспериментальные и расчетные исследования вибрационных колебаний здания с применением измерителей угловых ускорения типа ИУУ-М показали возможность регистрации крутильных смещений здания.

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

4. Приведенные оценки характеристик угловой вибрации здания показали перспективность применения вибродиагностической станции СВД-60 МВ в системе постоянного и разового мониторинга высотных зданий, в том числе: вычислить декременты затухания и реакцию системы «объект-основание» на любые динамические воздействия поступающие на здания, включая сейсмические, взрывные и прочие импульсные ударные нагрузки, получить интегральные энергетические и спектральные характеристик виброколебаний здания.

Объем обработки натуральных измерений вибраций здания потребует создания специализированной компьютерной программы.

5. Аппаратурное и программное обеспечение регистрации и обработки данных вибродозиметрической станции СВД-60МВ обладает гибкостью к модернизации и может быть адаптировано к специфическим техническим и эксплуатационным требованиям различных объектов.

Анализ новизны созданных научных и технологических решений

Созданные научные и технологические решения содержат элементы “ноу-хау”. Экспериментальные образцы созданной аппаратуры соответствуют или превосходят известные зарубежные аналоги. В качестве иллюстрации в таблице 3 приведены сопоставления параметров некоторых датчиков угловых ускорений.

ТАБЛИЦА 3. ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ УСКОРЕНИЙ

Наименование параметра	ИУУ-М-2-3	ГИРОДУУ	SR-107RFR	SR-107VFR	ИУУ-6	ИУУ-7
Диапазон измерений, рад / с ²	±5	±70	±10 ... ±500	±1 ... ±100	±1; ±2; ±4; ±8; ±16	±1/8; ±1/4; ±1/2; ±1
Собственная частота, Гц	*1)	—	10 ... 100 *2)	20 (Min)	—	—
Коэффициент затухания	*4)	—	0,7 ± 0,2	1,0 ± 0,3	—	—
Частотный диапазон, Гц	0,5 ÷ 70	0,05 ÷ 70	—	—	2; 3,3; 4,5; 6,5	0,6; 1; 1,4; 2
Нелинейность амплитудной характеристики, %	±5	—	±0,05%	±0,01%	—	—
Ток потребления, мА	10	350	< 20	< 30	~600 =500	~500
Напряжение питания, В	-12/ 0 / +12	36, 1000 Гц	-15/ 0 / +15	-15/ 0 / +15	~36, 400 Гц, =27	~40, 400 Гц, =60
Выходное напряжение, В	10	6	—	—	6	6
Смещение нуля	< ±10 мВ	—	0,1%	< ±20	—	—

Наименование параметра	ИУУ-М-2-3	ГИРОДУУ	SR-107RFR	SR-107VFR	ИУУ-6	ИУУ-7
			шкалы	мрад / с ²		
Порог измерений, рад / с ² , не более	0,0025	—	—	—	—	—
Фон выходного сигнала, рад / с ²	—	—			$2,0 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$
Основная погрешность, %	±1	±6	±1	±1	±6 30% динамич.	* ³⁾
ДП -- от линейного ускорения, мрад / с ² RMS	нет	—	10 ... 50	< 25	—	
Погрешность от гистерезиса и воспроизводимости, % шкалы	нет	—	±0,1	±0,2	—	—
Интервал рабочих температур, °С	±50	- 60 ÷ +90	-40 ... +85	-40 ... +80	- 30 ÷ +70	- 40 ÷ +80
Вибрация на частоте 10 – 2000 Гц с ускорением, g	1 ÷ 30	1 ÷ 15	10	10	4 ÷ 40	0,4 ÷ 5
Многokратные удары с перегрузкой, g	250		1000	500	* ³⁾	* ³⁾
Линейные перегрузки, g	100	42	100	100	25	4
Масса, кг, не более,	0,33	0,25	0.283	0.283	1,2	1,7
Габариты, мм	76×76×40		Ø 38 × 76	Ø 36 × 63	110×51,5×51,5 155×91×65	Ø73× 134 154×96×80
Назначенный ресурс в условиях эксплуатации, не менее, час	8000	70	—	—	150	1000

*¹⁾ - Безрезонансный

*²⁾ - в зависимости от шкалы

*³⁾ - Не оговорено

*⁴⁾ - Отсутствует

— - данные не найдены

Объекты интеллектуальной и промышленной собственности, созданные на отечественном этапе и представляющие собой объекты типа «инжиниринг»

Объектами интеллектуальной и промышленной собственности типа «инжиниринг» являются:

- алгоритмы процессинга грависейсмометрическая геофизическая станция СГМ-03В;
- алгоритмы процессинга вибродозиметрическая станция СВД – 60МВ;
- алгоритмы прикладного программного обеспечения.

Анализ направлений и масштабов использования полученных результатов

Работа выполнена на основании анализа нормативных и технических документов для высотного строительства. Такие сооружения имеют повышенный уровень ответственности по назначению, их обрушение может привести к тяжелым экономическим и социальным последствиям.

- Результаты настоящей работы могут быть использованы
- для обеспечения инструментального обеспечения мониторинга геодинамических характеристик высотных зданий в течение всего их жизненного цикла методом грависейсмического мониторинга квазистатических геодеформационных процессов и эволюции геодинамических резонансов в системе «объект-основание»;
 - для контроля эволюции остаточного ресурса циклической усталости материалов строительных конструкций зданий и сооружений;
 - для контроля вибрационных нагрузок ГЭС;
 - для обеспечения дополнительной обратной связи по второй производной (от сигнала угловых акселерометров) автоматической системы регулирования работы турбины ГЭС.

Заключение

В результате выполнения настоящей НИР на экспериментальных образцах грависейсмометрической аппаратуры впервые по соглашению с правообладателями были использованы лицензионные конверсионные отечественные алгоритмические комплексы Антарес, Композит, Циклон, Вектор, Аттрактор, Квазар, Фрейм и ряд других, предназначавшихся ранее для ис-

пользования на ОК «МИР», МКА «Буран» и МКС с целью прецизионного мониторинга остаточного ресурса надежности силовых конструкций крупногабаритных многоблочных космических комплексов, орбитальных станций и ответственных наземных сооружений пусковых комплексов.

Трансфер космических и геологоразведочных инструментально-методических технологий позволил разработчикам МГСУ в кратчайшие сроки реализовать не только задачи, поставленные техническим заданием на настоящую НИР, но и продемонстрировать на базе экспериментальных образцов грависейсмометрической аппаратуры реальные функциональные возможности предлагаемого проекта технического решения сейсмогеофизической станции для мониторинга геофизической устойчивости высотных зданий.

Разработанные алгоритмы в рамках указанных проектов, а также анализ их возможностей и ограничений в рамках настоящей НИР позволяет утверждать о необходимости и перспективности развития разработок в этом направлении на стадии ОКР, в части создания на их базе специальных пакетов программ «АТТРАКТОР», «МИКРОЦИКЛ» и «СИСТЕМИСК» для математического моделирования динамической и геодинамической устойчивости высотных зданий и подземных сооружений.

Опыт ученых МГСУ по разработке тонких алгоритмов и программ, а также аналогичный по сложности опыт российских и зарубежных специалистов позволяет утверждать о необходимости экспериментального тестирования или сертификации новых алгоритмов расчета динамических характеристик особо сложных и многокомпонентных строительных конструкций на стендовых и полигонных физических моделях объектов.

Учитывая результаты следствия по аварии в аквапарке Москвы, а также отсутствие необходимого современного программно-методического и инструментального обеспечения надзорной и экспертной деятельности ИГАСН, Мосэкспертизы и Мосархстройнадзора, в интересах этих организаций может быть использован имеющийся в МГСУ задел по отработке технологий стен-

дового и полигонного моделирования резонансных динамических и геодинамических процессов в строительных конструкциях и в системах типа «объект-основание», а также по экспериментальной верификации (сертификации) динамической и геодинамической устойчивости проектных решений конструкций строительных объектов.

Проведение работ по верификации резонансов или по сейсмическому резонансному профилированию основания строительной площадки с использованием грависейсмометрической геофизической станции СГМ-03В 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.

Установка вибродозиметрической станции СВД-60МВ на высотных и большепролетных зданиях позволит выполнить требования МГСН 4.19-2005 (Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве) по контролю частот резонансов и декрементов затухания высотных зданий и сооружений в части мониторинга состояния форм колебаний, ответственных за геодинамическую устойчивость и прочность несущей конструкции.

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

Совместная эксплуатация геофизической грависейсмометрической станции СГМ-03В и вибродиагностической 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 полосы их рабочих частот, дополняя друг друга, перекры-

вают весь частотный диапазон вероятных сейсмических и ударных нагрузок (полоса рабочих частот СГМ-03В: от ~ 0 до 5 Гц; СВД – 60МВ: от 0,5 до 100 Гц и более, но не выше 800 Гц)

4. Рекомендуемая литература

1. *Алексеев В.К., Батугин А.С., Батугина И.М. и др.* Геодинамическое районирование территории Московской области. –М.: СМТ, 2003
2. *Вознесенский Е.А.* Землетрясения и динамика грунтов. – М.: Соросовский Образовательный Журнал, №2, 1998, стр. 101-108
3. *Завалишин С.И., Шаблинский Г.Э.* Динамический мониторинг зданий и сооружений для контроля их сейсмостойкости. Сборник научных трудов **"ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ - 2009"**
//Под общей редакцией д.т.н., профессора Еремина К.И.
4. Москва. Геология и город. Под ред В.И. Осипова и О.П. Медведева. –М.: Изд. «Московские учебники и картолитография», 1997, с 399.
5. *Померанцева И.В., Солодилов Л.Н., Момзиков В.Я., Рудаков В.П.* Геолого-геофизические, геодинамические и человечески факторы, влияющие на безопасность крупных городов и мегаполисов (еще раз о причинах разрушения аквапарка «Трансвааль» 14 февраля 2004 г.). В книге геофизика XXI столетия. 2003-2004. Сб. трудов пятых и шестых геофизических чтений им. К.В. Федынского. М, 2005, изд МПР РФ, ЦЕНТРГЕОН, ЕАГО, РАЕН.
6. *Пронин А.П., Башорин В.Н.* Современная флюидная активность глубинных разломов: их воздействие на объекты техносферы и здоровье населения Москвы и Московской области. Сборник докладов Тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан». Часть 1. В рамках Научно-технического конгресса по безопасности "Безопасность - основа устойчивого развития регионов и мегаполисов". –М.:МГСУ, 2005
7. *Теличенко В.И., Завалишин С.И., Хлыстунов М.С.* Глобальные риски и новые угрозы безопасности ответственных строительных объектов мегаполиса. Сб. докладов тематической научно-практической конференции «Городской

строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан»—М.: МГСУ, 2005

8. Теличенко В.И., Король Е.А., Хлыстунов М.С., Прокопьев В.И. Мониторинг геофизической устойчивости зданий и сооружений с использованием грависейсмометрической станции СГМ-3В. Сборник научных трудов **"ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ - 2009"** //Под общей редакцией д.т.н., профессора Еремина К.И.

9. Федонькина И.Н. Влияние структурно-тектонических особенностей территории Москвы на верхнюю часть осадочной толщи и рельеф земной поверхности. Сборник докладов Тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан». Часть 1. В рамках Научно-технического конгресса по безопасности "Безопасность - основа устойчивого развития регионов и мегаполисов". – М.:МГСУ, 2005

10. Хлыстунов М.С. Геодинамическая устойчивость геологических оснований. -М.: «Сейсмостойкое строительство», №4, 2001

11. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Геологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». –М.: ВНИИТПИ, №3, 2003

12. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Вибродозиметрический метод мониторинга и прогноза эволюции остаточного ресурса циклической усталости материалов строительных конструкций и грунтов оснований на базе вибродозиметрической станции СВД-60У. Сборник научных трудов **"ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ - 2009"** //Под общей редакцией д.т.н., профессора Еремина К.И.

13. Хлыстунов М.С., Прокопьев В.И., Могилюк Ж.Г. Методы и программно-аппаратные комплексы резонансного геодинамического профилирования строительных площадок в зонах плотной исторической застройки. Сборник научных трудов **"ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ - 2009"** //Под общей редакцией д.т.н., профессора Еремина К.И.

14. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации: Монография / Е.К. Борисов, С.Г. Алимов, А.Г. Усов и др. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007. – 128 с.

15. *Яницкий И.Н.* Уникальные геотектонические особенности размещения города Москвы. Сборник докладов Тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан». Часть 1. В рамках Научно-технического конгресса по безопасности "Безопасность - основа устойчивого развития регионов и мегаполисов". – М.:МГСУ, 2005