

МОНИТОРИНГ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИСЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ СГМ-3В

УДК 539.4:624.01

Ректор МГСУ, заведующий кафедрой строительства тепловых и атомных электростанций, академик РААСН, доктор технических наук, профессор

Теличенко Валерий Иванович

Проректор МГСУ по научной работе, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

Король Елена Анатольевна

Директор Центра управления научной и инновационной деятельностью МГСУ, кандидат технических наук, почетный доктор наук, профессор

Хлыстунов Михаил Сергеевич

Профессор кафедры информатики и прикладной математики МГСУ, кандидат технических наук

Прокопьев Валерий Иванович

До последнего времени в мировой строительной науке существовала проблема построения теоретических моделей и программных средств проектного обеспечения безопасности зданий и сооружений с учетом деградации системной статической и динамической устойчивости несущих конструкций, вызванной тонкими геодинамическими, геолого-геофизическими и другими природными аккумулятивными процессами отложенного действия [1]. Особенно остро и противоречиво эта проблема проявилась в сейсмопассивных районах урбанизированных территорий с основаниями, которые, с одной стороны, не подвержены воздействию аварийно опасных сейсмических нагрузок и ударов, но имеющих неподдающуюся строгой проектной оценке существенно неоднородную тонкую структуру геологического разреза вплоть до глубин залегания кристаллического фундамента [2]. Обычно, в мировой строительной практике, в таких районах предпочитают не размещать экологически опасные объекты, включая атомные станции и мощные химические предприятия, а также высотные и большепролетные здания и сооружения.

Однако поступательное развитие строительной науки наряду с новыми достижениями в области информационных технологий позволяет в настоящее время успешно преодолевать целый ряд подобного рода ограничений. К их числу, в первую очередь, следует отнести принципиально новые результаты исследований и разработок последних лет в области проектного моделирования и мониторинга динамического напряженно-деформированного состояния существенно неоднородных оснований строительных объектов. Эти работы открывают новые возможности по проектному моделированию причинно-следственных связей реализации ранее малоизученных явлений и эффектов трудно контролируемого

плавного снижения устойчивости систем типа «объект-основание» и долговременной эксплуатационной надежности строительных объектов в течение всего их жизненного цикла.

Вместе с тем, несмотря на целый ряд несомненных успехов российской строительной науки и бизнеса, имеют место тревожащие тенденции в текущем состоянии фундаментального системного обеспечения долговременной комплексной безопасности и качества строительства.

Действующие сегодня системы контроля качества и безопасности в течение всего жизненного цикла зданий существенно отстают в своем развитии от высоких темпов строительства, достигнутых в Москве и в других мегаполисах России.

При благоприятной рыночной конъюнктуре откладывается на неопределенный срок комплексное решение этих проблем на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений, включая изыскания, проектирование, возведение, эксплуатацию и реконструкцию.

В значительной степени это было связано с отсутствием в предшествующие годы соответствующей теоретической и экспериментальной базы в арсенале аналитических средств современного строительного проектирования. Наряду с этим следует признать, что до настоящего времени, как в России, так и во многих развитых странах не был реализован системный подход к комплексному обеспечению безопасности строительных объектов в таких районах. Как следствие, отсутствует конвейерный механизм реализации задач безопасности и передачи ответственности за сохранение необходимого уровня надежности на всех этапах жизненного цикла строительных объектов – от геоизысканий, градостроительного планирования, проектирования и вплоть до завершения эксплуатации и сноса объекта, в том числе в условиях действия многолетних микродинамических нагрузок и, напротив, в условиях экстремальных природных и техногенных воздействий, включая теракты.

Например, наиболее широко распространенные программные комплексы, например, Лира, КОСМОС, NASTRAN, ANSYS, ABACUS, Z-SOIL, SCAD и многие другие, не позволяют решить одну из тонких задач оценки и прогноза эволюции запаса устойчивости системы типа «объект-основание». Эта задача связана с проектным моделированием не учитываемых до настоящего времени в проектах дополнительных нагрузок несущих конструкций, обусловленных аккумулятивными процессами в существенно неоднородной тонкой структуре реального геологического разреза таких оснований, существенно снижающих запас устойчивости в результате неравномерных осадок и кренов зданий и сооружений.

В действующей нормативной документации по эксплуатации, инженерной защите и мониторингу технического состояния зданий и сооружений и по предупреждению катастрофических аварий, прогрессирующего обрушения или ускоренного износа несущих конструкций не

предусматриваются требования по инженерной защите и контролю тонких аварийно-опасных аккумулятивных процессов накопления сверхпроектных моментов и напряжений в системе «объект-основание».

Таким образом, следует признать, что, несмотря на целый ряд несомненных успехов в созидательной деятельности строительного комплекса столицы и России, в целом, имеют место тревожащие тенденции в текущем состоянии системного обеспечения комплексной безопасности жизнеобеспечения граждан с учетом малоизученных ранее и новых глобальных рисков и угроз.

В связи с этим Правительство и Департамент градостроительной политики, развития и реконструкции города Москвы в течение последних десяти лет сосредоточили особое внимание на решении этих проблем.

За эти годы Правительством Москвы было реализован целый ряд мероприятий, которые нашли свое отражение в своевременно приведенных в действие распорядительных документах, в том числе:

- Постановление Правительства Москвы от 29 июня 2004 года №428-ПП «О проектировании, строительстве и эксплуатации высотных и сверхвысотных зданий и сооружений в г. Москве»;
- Постановление Правительства Москвы от 2 февраля 1999 г. №80 «О реализации городской комплексной инвестиционной программы «Новое кольцо Москвы»;
- Распоряжение Мэра Москвы от 11 апреля 2000 г. №378-РМ «О положении о едином порядке предпроектной и проектной подготовки строительства в г. Москве»;
- Распоряжение Правительства Москвы и Госстроя России от 28 ноября 2003 года №19/2195-РП «Об утверждении нормативно-методической документации для проектирования строительства и эксплуатации высотных зданий»;
- Постановление Правительства Москвы от 22 июня 2004 года №414-ПП «Об экспертизе проектно-сметной документации на строительство уникальных и высотных зданий и сооружений в городе Москве»;
- Распоряжение Правительства Москвы от 28.09.2005 г. №1902-РП «Об упорядочении взаимодействия участников формирования городских программ строительства, реконструкции предпроектной подготовки объектов».
- Постановление Правительства Москвы от 28 декабря 2005 г. №1058-ПП «Об утверждении МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве»;
- Распоряжение Правительства Москвы от 29 декабря 2005 г. №2683-РП «Об организации работы по обеспечению антитеррористической защищенности и комплексной безопасности высотных зданий и сооружений города Москвы».

Начата реализация важнейших научно-технических программ строительного комплекса по детальному сейсмическому районированию юго-западного сектора Москвы и оценки сейсмических воздействий на здания высотной застройки, по обеспечению защищенности и комплексной безопасности высотных, уникальных и экспериментальных зданий и комплексов города.

Наряду с этим, в рамках Совета ректоров Москвы и Московской области, по инициативе Департамента градостроительной политики, развития и реконструкции города Москвы профильными вузами, включая МГСУ, РГГРУ им. С.Орджоникидзе, МГГУ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, МИКХиС, РЭА им. Г.В.Плеханова, МАДИ, МГУПС (МИИТ) и Строительный колледж №46, разработана, одобрена НТС КАСРР Москвы и находится на утверждении перспективная научно-техническая программа трансфера передовых и критических технологий в интересах строительного комплекса столицы на 2008-2010 годы.

Комплексом экономической политики и развития г.Москвы разработана стратегия развития г.Москвы до 2025 года, представляющая собой первую в России современную концепцию комплексного социально-экономического развития важнейших сфер жизнедеятельности мегаполиса, включая ее строительный комплекс и ЖКХ.

Одним из важных достоинств рассматриваемой последовательности мероприятий, стратегии действий, программ и планов Правительства Москвы является выверенная с особой тщательностью широта и глубина заложения перспектив устойчивого и безопасного развития нашей столицы, фактически сопоставимая с периодом смены целого поколения москвичей.

Решения Правительства Москвы были активно поддержаны и подкреплены актуальными результатами новых исследований и разработок ведущих научных, проектных и геофизических организаций, профильных вузов, авторитетных ученых и специалистов г.Москвы.

Объединение усилий профильных вузов, проектных и научных учреждений, научной общественности и Московского Правительства на сегодняшний день является необходимым и единственно возможным условием успешного развития столицы и эффективного решения ее сложнейших градостроительных проблем, особенно в области высотного строительства.

Это утверждение не является политическим «рeverансом», а имеет под собой следующие, довольно веские основания.

Опубликованные работы ведущих московских ученых в этой области [3-8] убедительно подтверждают, что значительная часть территории Москвы, особенно ее центр, представлена сложными и неблагоприятными для подземного и высотного строительства инженерно-геологическими условиями.

Согласно данным многолетних наблюдений и исследований, приведенным в этих работах, в городе развиты негативные инженерно-геологические процессы: карст, суффозия, эрозия, подтопление, динамические воздействия, пучинистые и набухающие грунты, древние эрозионные долины.

Наличие глубинных разломов на территории Москвы приводит к возникновению слабых локальных (местных) московских землетрясений (1990, 1995, 1997, 2003, 2004 гг.).

Техногенная деятельность на территории Москвы приводит к возникновению промышленных микросейсм. В процессе исследований с 1989 по 1992 годы были зарегистрированы землетрясения местного характера интенсивностью до 2-2,5 баллов.

Опытные полевые исследования, поставленные в Москве в 2003 г. с использованием 7 станций «Дельта-Геон», одного сейсмогравиметра и 2 наклономеров, позволили зарегистрировать более 50 местных событий до 3-5 баллов и выше, обусловленных как строительством средневысотных (около 20 этажей) зданий и сооружений, так и оживлением разломов (тектонической активности) земной коры под городом Москвой. Намечена связь между местными сотрясениями Земли и изменениями наклонов ее поверхности. Начиная с середины января по 13 февраля 2004 г., на цифровом регистраторе «Дельта-Геон», установленном в 5,5 км. севернее аквапарка «Трансвааль», зафиксировано около 3000 низкочастотных записей таких событий [4].

Оживления зон разломов и особенно кругового глубинного разлома намечалось и в центре Москвы в 2003 г. (р-н Лефортово). К возможным аварийным зонам в Москве, обусловленным геологическим строением верхней части (0-10 км) земной коры, относится ряд участков в Хорошевском Районе (Алые паруса, Ходынка, р-н м.Беговая и м.Аэропорт), район Сити, район Кадашевских переулков, Лефортово, Ясенево и др.

Важным геологическим процессом, генерирующим землетрясения и геокатастрофы различного типа и масштаба, является флюидная активность Земли (ФАЗ), связанная с высвобождением газов и других летучих химических компонентов при кристаллизации жидкого земного ядра, их миграцией к границе ядро-мантия и поступлением в верхние геосферы [5]. В 1971 г. было установлено, что в основании Москвы находится мощная гелиевая аномалия (Маракушев, 1990, 1999; Пронин А.П., 1996, 2000, 2001; Башорин В.Н., 1998, 2000; Летников, 2001; Яницкий И.Н. и др.). На территории Подмосковья и Москвы выявлены многочисленные очаги разгрузки глубинных флюидных потоков и активные трансрегиональные разломы ортогональной и диагональной ориентировки. Воздействие современных флюидных потоков и активных глубинных разломов на техногенные объекты имеет комплексный характер. Кроме микросейсмичности, обусловленной низкоэнергетическими трансформациями

флюидов в земной коре, опасны резонансные явления (особенно для высотных зданий), разжижение и просадка несущих грунтов в зонах малоамплитудного растяжения и сбросо-сдвиговых деформаций активных трансрегиональных и кольцевых разломов, коррозии фундаментов под воздействием химически агрессивных газонасыщенных и нагретых подземных вод, а также бактериально-вирусное заражение грунтов и подземных вод в очагах разгрузки глубинных флюидов.

Заслуживающие особого внимания являются сложные и неустойчивые гидрогеологические процессы в Московском регионе. Комплекс пресных питьевых вод в верхних двухстах метрах представлен четырьмя горизонтами. На глубине 340–420 метров залегают сульфатные воды. Глубже 800 метров расположены хлоридные рассолы, гелиенасыщенные в которых достигает очень высоких значений. По Боевской скважине (перфорация с 1200 до 1400 м) парциальное давление гелия превышает три бара.

Есть факты проявления и локальной сейсмичности. Многолетние инструментальные исследования д.т.н. И.В. Померанцевой (ГЕОН) и др. достоверно свидетельствуют о наличии минимум трех очагов слабой (2–3 балла) собственной сейсмоактивности. Это, в первую очередь, Лефортово, Матвеевское и Чертаново.

Местные тектонические землетрясения в Москве и ближайших окрестностях за всю историю достоверно не зафиксированы.

Однако местные не тектонические сотрясения земной поверхности возможны и могут быть связаны с оползнями, обвалами во внутренних пустотах, разного рода естественными взрывами подземных газов, гидро- и морозобойными ударами. Подобные явления в последние годы фиксируются, но их природа остается нерасшифрованной. Требуются тщательно поставленные и профессионально выполняемые на новом уровне точности инструментальные наблюдения.

На протяжении длительной истории геологического развития на территории г. Москвы сформировались два типа карстовых форм:

- карстовые формы в растворимых породах;
- карстовые формы в нерастворимых породах, перекрывающих закарстованные толщи.

По мнению геоэкологов Москвы 15% территории города находится в зоне риска по карсту, и провалы на этих площадях могут произойти в любой момент [4, 6–8].

В качестве критериев оценки карстово-суффозионной опасности приняты мощность, состав и условия залегания перекрывающей толщи, режим подземных вод и наличие провалов и оседаний земной поверхности.

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.

Результаты исследований, приведенные в работе [9] показывают, что под действием внешних источников здание совершает достаточно сложные резонансные колебания, по крайней мере, двух типов – это колебания здания как единой системы типа «объект-основание» и колебание отдельных элементов или частей здания.

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

В результате выполненных МГСУ в 1999-2003 годах натуральных 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.

Согласно результатам исследований также было установлено, что, особенно в мегаполисах, неожиданные сверхпроектные геодеформации оснований инженерных сооружений и коммуникаций являются, фактически, геологическими проявлениями эффекта многолетней аккумуляции нелинейных последствий техногенного микроциклического возбуждения вибросейсм в зоне прокладки или 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.

Последнее утверждение обусловлено тем, что именно мегаполисы отличаются повышенной техногенной вибросейсмической активностью, а также неоднородностью тонкой структуры геологического разреза и неравномерной статической и динамической нагрузкой в распределенной системе «объект-основание», существенно усиливающих геоэкологическую эффективность воздействия природных и техногенных микросейсм на грунты расчетного объема оснований и на строительный объект в целом.

Полученные в МГСУ статистические и экспериментальные данные и идентификация резонансных причинно-следственных связей позволили достоверно установить микросейсмические и микрогравитационные механизмы активации таких явлений.

Согласно результатам исследований также было установлено, что они являются геоэкологическими проявлениями эффекта многолетней аккумуляции нелинейных последствий техногенного возбуждения резонансных микросейсм в основаниях этих объектов.

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.

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, геодинамических и других земных процессов.

Благодаря детальным геодезическим, сейсмологическим и гравиметрическим данным, любезно предоставленным ОИФЗ РАН, ВНИИГ Геофизикой, НАСА и ЦУП РКК «Энергия», авторами настоящей работы были получены уникальные результаты спектрального анализа суточной интенсивности сейсмической активности на Земле (рис.1) в период после взрыва кометы Шумейкера-Леви на Юпитере. На спектре отчетливо выделяются высокооборотные термы гравитационных резонансов Земли, Венеры и Луны.

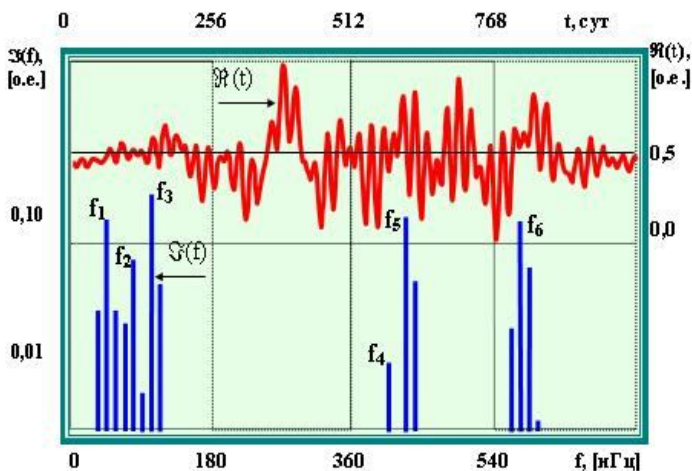


Рис. 1. Характерный нормированный спектр $\mathfrak{Z}(f)$ нормированной суточной интенсивности землетрясений $\mathfrak{R}(t)$ на планете по официальным данным ОИФЗ РАН на период с 01.01.94 по 28.02.96 после Фурье-анализа и фильтрации: где $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$ – соответственно, гравитационный резонанс Земли и его нелинейная гармоника, нелинейная гармоника гравитационного резонанса Венеры, частота обращения Луны и вращения Солнца, гравитационный резонанс Луны

Из материалов десятилетнего цикла наблюдений 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.

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

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 природного и техногенного возбуждения вибросейсмических и грависейсмических резонансов объектов и их геологических оснований.

Вибросейсмические резонансы уже несколько десятков лет являются предметом особого внимания ученых и проектировщиков, 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, в работе [9] показано, что по мере снижения частоты вибросейсмических и геодинамических резонансов резко повышается их добротность, в результате чего происходит резонансное «усиление» (в 75 раз) вибросейсмических колебаний фундаментной плиты. Основные моды (формы) самых низкочастотных вибросейсмических резонансов строительных объектов в наиболее упрощенном виде представлены эквивалентными схемами на рис.2.

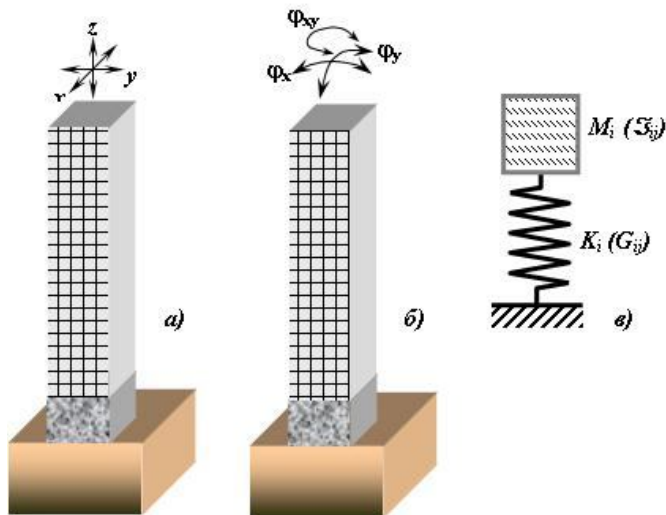


Рис.2. Продольные (а), маятниковые φ_{xz} , φ_{yz} и торсионная φ_{xy} (б) резонансные геодинамические моды колебаний здания на геологическом основании и их эквивалентная схема (в)

Учитывая, что для основных низкочастотных мод вибросейсмических колебаний системы «объект – основание» в первом приближении здание можно считать абсолютно жестким, а для малоамплитудных колебаний геологическое основание вязкоупругим, то тогда амплитудно-частотная характеристика вибросейсмического возбуждения этой системы в области основных, низкочастотных резонансных мод колебаний может быть представлена функцией:

$$W(s) = \prod_{n=1}^6 \frac{k_n}{(T_n^2 s^2 + 2\xi_n T_n s + 1)},$$

где k_n , ξ_n и T_n – соответственно, коэффициент трансформации, затухание и период резонанса n -й моды;

$s = j\omega + c$, а номерам индекса $n=1,2,3,4,5,6$ соответствуют резонансные моды x , y , z , xz , yz и $xу$.

В целях достижения безусловных гарантий достоверного инструментального обеспечения мониторинга геодинамических характеристик высотных зданий в период их эксплуатации в 2007 году в МГСУ была разработана грависейсмометрическая геофизическая станции СГМ-03В (рис.3) для стационарного мониторинга состояния и устойчивости системы «объект-основание» высотных зданий в течение всего их жизненного цикла.



Рис.3. Структурная схема станции СГМ-03В

Структура станции формируется локальной цифровой сетью на базе унифицированных трехканальных измерительных платформ ПГС-3К, содержащих по три грависейсмометрических модуля ГСМ 03У (рис.4): один для регистрации вертикальных компонент грависейсм, а два для ре-

гистрации 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.

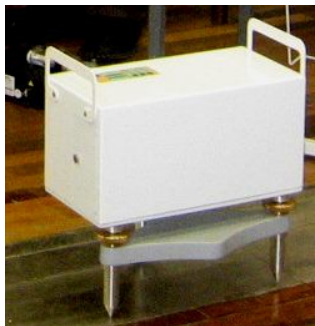


Рис.4. Грависейсмометрический модуль ГСМ 03У геофизической станции СГМ-03В

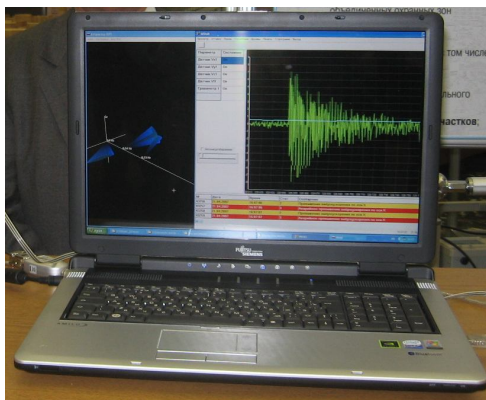


Рис.5. Интерактивный интерфейс станции в режиме визуализации сейсмограммы (на мониторе справа) ударного возбуждения здания и спектральных аттракторов (слева)

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

Станция построена на принципиально новых физических принципах, является высокопроизводительным автоматизированным телеметрическим программно-аппаратным комплексом.

Несмотря на целый ряд существующих отечественных и зарубежных разработок аппаратуры мониторинга состояния строительных конструкций, необходимости 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 разупрочнения 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 (рис.6), 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 за 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.

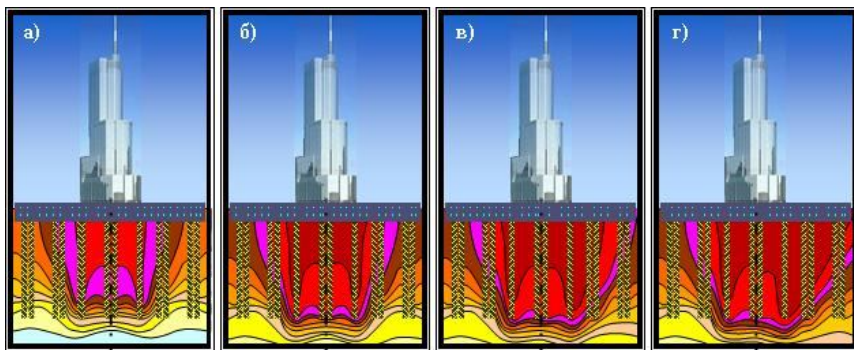


Рис.6. Сравнительные эпюры вертикальных перемещений с учетом (б, в, г) и без учета (а) геодинамических проявлений природных и техногенных микродинамических процессов:

а – симметричный эпюр, характерный для программ «Лири 9.2» и «FEMmodels»;
б, в, г – эпюры разработанной в МГСУ конверсионной программы «Композит» с учетом проявлений за 5 лет эксплуатации, соответственно, для однородного по сейсмоакустическим свойствам основания, при отклонении градиента неоднородностей на 0° , $2,5^\circ$ и на 5° от вертикали

В результате успешного достижения основной цели разработки по автоматизированной регистрации и анализу ранних предвестников и тонких параметров эволюции геодинамических характеристик систем типа «объект-основание» было достигнуто теоретическое и экспериментальное подтверждение инструментальной возможности регистрации (мониторинга) этих характеристик с использованием новейших передовых разработок отечественных предприятий. В результате было достигнуто комплексное (методическое и инструментальное) обоснование реальной возможности выполнения технических требований по параметрам грависейсмометрической геофизической станции при ее серийном выпуске на отечественных предприятиях и эксплуатации в реальных геолого-геофизических, геодинамических и климатических природных условиях Московского региона.

В том числе были решены следующие актуальные частные задачи интеллектуального мониторинга зданий, включая:

- прогнозный автоматизированный анализ эволюции геодинамических характеристик и резонансов систем типа «объект-основание»;
- оценка влияния сейсмоакустических и физико-механических неоднородностей в расчетном объеме оснований на ускоренную деградацию геодинамической устойчивости систем типа «объект-основание» высотных зданий и сооружений;

- оценка влияния геодинамических резонансов зданий и сооружений на рост рисков потери устойчивости тонкой структуры геологического разреза в расчетном объеме оснований;
- оценка долговременного влияния микроциклических грависейсмических нагрузок на риски неравномерных осадок высотных зданий и сооружений и деградацию их системной устойчивости.

На экспериментальных образцах грависейсмо-метрической 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 использования 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 перспективных геологоразведочных инструментально-методических технологий позволил разработчикам МГСУ и их смежникам в кратчайшие сроки 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.

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.

Библиографический список

1. 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.
2. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Геологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях// Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». –М.: ВНИИТПИ, №3, 2003.

3. МОСКВА. Геология и город / Под ред В.И. Осипова, О.П. Медведева. –М.: Изд. «Московские учебники и картолитография», 1997, с 399.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Федонкина 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.
8. Геодинамическое районирование территории Московской области / В.К. Алексеев, А.С. Батугин, И.М. Батугина и др. –М.: СМТ, 2003.
9. Вознесенский Е.А. Землетрясения и динамика грунтов. – М.: Соросовский Образовательный Журнал, №2, 1998. С. 101-108.