

## АНАЛИЗ РИСКОВ ГЕОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОСНОВАНИЯХ ОТВЕТСТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Национальный исследовательский университет  
строительства и архитектуры МГСУ*

*Могилюк Ж.Г.  
Завалишин С.И.  
Хлыстунов М.С.*

В качестве объекта обобщенного анализа геотектонических рисков ответственных строительных объектов в данной работе рассмотрены виртуальная атомная станция (далее АС) с некоторым типовым набором энергоблоков и большепролетные строительные конструкции торговых и спортивных сооружений массового посещения типа «Кисловодск». К сожалению, информация о мелких нештатных ситуациях на исследуемой и других АС как в России, так и за рубежом, фактически не публикуется, что связано с отсутствием в регламентах МАГАТЭ и национальных надзорных организаций требований по докладам о незначительных происшествиях, не угрожающих ядерной аварией или радиационной экологической катастрофой и устраняющихся в порядке выполнения текущих профилактических и ремонтных работ и планов регламентных эксплуатационных мероприятий на АС.

Вместе с тем экстренная проверка и инструментальная верификация со стороны МАГАТЭ микросейсмических проявлений в районе расположения и на промплощадке одной из АС (Ленинградская АС), расположенной на территории РФ, убедительно показывают, что авторитетные международные организации и специалисты имеют веские теоретические или практические основания для проведения инспекционного контроля состояния микросейсмического фона в плане возможных рисков аварийной реализации последствий его многолетнего воздействия на строительную конструкцию и оборудование станции.

Официально такое внимание объясняется особой ненадежностью реакторов типа РБМК, механическая устойчивость активной зоны которых обладает повышенной чувствительностью к геотектоническим процессам в основании станции.

Однако из результатов проведенных в МГСУ исследований следует, что возможные риски многолетнего микросейсмического воздействия и дестабилизации геоэкологических связей и процессов могут существенно ускорить геотектонические процессы под основаниями любых тяжелых сооружений и АС с реакторами любого типа, включая зарубежные.

Эта проблема не менее важна и для других объектов промышленного и гражданского строительства, особенно, в мегаполисах и промпзонах с высоким уровнем техногенной вибросейсмической нагрузки грунтов оснований.

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

---

В связи с этим в процессе исследования много неопределенностей возникло при анализе отечественной и зарубежной информации о «безопасных» происшествиях на АС. В частности было достаточно убедительно установлено, что многие мелкие нештатные ситуации имели, как правило, механическую природу реализации. Например, на одном из реакторов при загрузке топливом произошел незначительный перекося крышки активной зоны (котла), на другом были выявлены системные волосные трещины на панелях ограждения турбинного корпуса, на третьем ранее регламентного срока разрушились подшипники турбины и т.д.

Характерной особенностью этих незначительных происшествий было то, что они не постулировались при проектном обосновании безопасности станций и, как правило, происходили в пределах локальных зон промплощадок, отличающихся повышенной виброактивностью.

Подобные незначительные «неприятности» имели место как на исследуемой АС, так и на целом ряде других зарубежных станций с реакторами и оборудованием, спроектированными и изготовленными в других странах и на других предприятиях.

В связи с этим несомненно имеет право на существование и на дополнительное расследование гипотеза о существовании некоторых скрытых малоамплитудных процессов, например вибросейсмических, обладающих аккумулятивным эффектом, приводящим к плавным отказам строительных конструкций или оснований станций.

В пользу такой версии указывают статистические материалы обследований причин микроциклической усталости грунтов оснований в мегаполисах, особенно в районах с повышенным уровнем микросейсм, с перегруженными транспортными развязками или с мощной виброактивной составляющей техногенных перегрузок геологической среды оснований объектов городской или промышленной техносферы.

По этой причине основной целью настоящего доклада является рассмотрение геодеформационной эффективности воздействия малоамплитудных, но многоцикловых вибросейсмических нагрузок на основания виброактивных объектов на примере турбинного корпуса исследуемой АС.

Геодезические наблюдения за осадками и кренами зданий и сооружений второй очереди рассматриваемой АС начались в 1972 году. Периодичность выполнения наблюдений была регламентирована МУ РД 34.21.322.94, согласно которому последние наблюдения выполнялись с периодичностью 3 года.

На рис.1 показаны изолинии вертикальных смещений осадочных марок главного корпуса 4 блока по состоянию на 2000 год (относительно марта 1976 г.).

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

Наблюдаемыми объектами блока 4 АС являются: внешние стороны главного корпуса; внутренние ограждения турбинного цеха; турбоагрегаты; градирни; вентиляционная труба блока 4.

Как показывает анализ наблюдений, на рис.1 в центре реакторно-турбинного цеха (РТЦ) 4 имеются осадки, достигающие ~20-30 мм. Скорость осадки в среднем достигает 2 мм/год. Предположительно, причиной осадок являются вибрационные воздействия на грунты оснований динамически активного технологического оборудования и ряд других причин, сопровождающих его эксплуатацию.

В целом здание главного корпуса испытывает вертикальные смещения, котлообразно активизирующиеся к центру реакторно-турбинного цеха. По краям РТЦ 4 скорости вертикальных смещений минимальны и составляют величины порядка  $\pm 0,2$  мм/год. В центре РТЦ III-IV – до 2,0-2,5 мм/год. На текущий год суммарные вертикальные смещения в центре РТЦ 4 составили величины порядка 20 мм. На общем фоне вертикальных смещений отмечаются локальные осадки, связанные с индивидуальными техническими характеристиками оборудования главного корпуса.

Вертикальные смещения верхних фундаментных плит турбоагрегатов в основном связаны с общей картиной осадок. По всем без исключения верхним фундаментным плитам турбоагрегатов отслеживаются максимальные осадки в районе наибольших нагрузок от динамически активного оборудования (по цилиндрам высокого и низкого давления). Прирост скоростей вертикальных смещений в этих точках составляет от 0,5 до 1,5 мм/год от общего проседания.

Суммарные вертикальные смещения оболочки аппаратного отделения блока 4 относительно декабря 1994 года неравномерны и находятся в пределах от 1,0 мм (м.103) до 9,1 мм (м.97). Значительны текущие вертикальные смещения, которые в среднем составляют 7 мм.

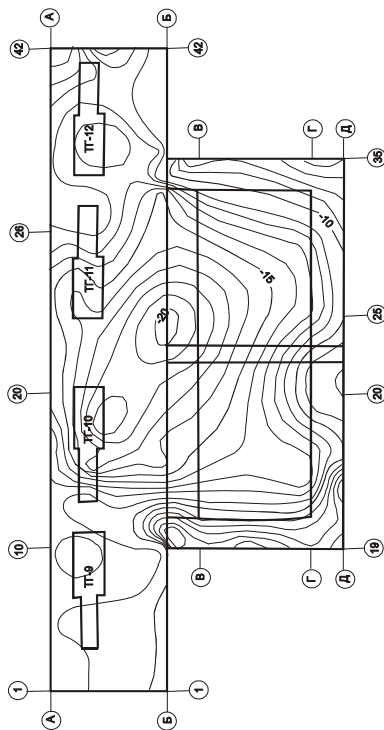


Рис.1. Изолинии вертикальных смещений осадочных марок главного корпуса блока 4 (суммарные, относительно марта 1976 г.)

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

На рис.2 приведены суммарные вертикальные смещения осадочных марок градирен по состоянию на 2000 год (относительно 1974 года).

Начальный цикл измерений был выполнен по градирям в разные сроки, так для градирен №1-3, 7 – в декабре 1972 г., №4, 6 – в декабре 1973 г., №5 – в июле 1974 г. Для приведения к единой эпохе наблюдений и получения общей картины вертикальных смещений опор градирен суммарные смещения дополнительно вычислены относительно июля 1974 года.

Вертикальные деформации градирен можно разделить на две части по признаку размещения относительно сбросного водоканала. Если градири 1-5 имеют отрицательные вертикальные смещения (осадку), то градири №6 и 7 имеют положительные вертикальные смещения, т.е. фундаменты этих градирен испытывают поднятия. Отрицательные вертикальные смещения

фундаментов градирен 1-5 примерно равномерны, если исключить отдельные случайные «выбросы» (градири №1 – м.7/139, -30,6 мм, градири №3 – м.2/157, -20,2 мм и др.), средние осадки составляют – 8-12 мм с креном в направлении р.Дон. Поднятия фундаментов градирен №6 и 7 составляют в среднем от минус 5 до плюс 9 мм с прежним направлением крена.

Как видно, максимальные осадки реакторно-турбинного цеха блока 4 за двадцатичетырехлетний период (с 1976 по 2000 г.) не превышают 20 мм. За двадцатилетний период (с 1974 по 2000 г.) максимальные осадки градири не превышают 15 мм.

Наблюдения за кренами и осадками объектов блока 4 АС свидетельствуют о том, что их величины находятся в допустимых пределах, а, следовательно, исходные физико-механические параметры грунтов, принятые в проекте, достаточно адекватно отражают их реальные величины.

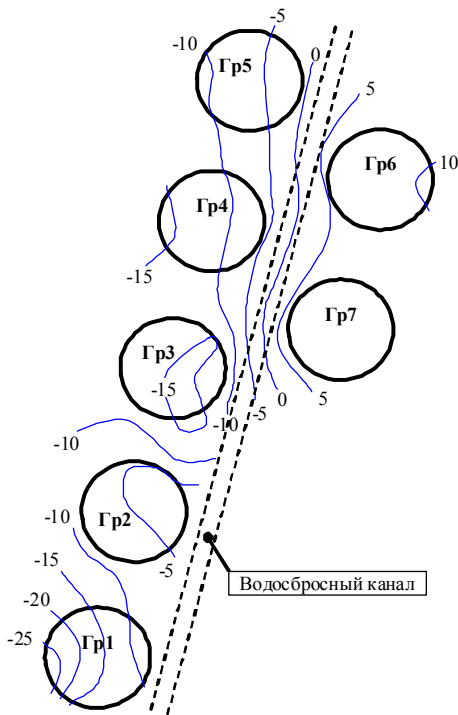


Рис.2. Изолинии вертикальных смещений осадочных марок градирен (суммарные, относительно июля 1974 года)

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

---

На современном этапе развития прикладных исследований в числе нагрузочных факторов, определяющих долговременную безопасную работу сооружений, наименее исследованными являются низкочастотные вибротсейсмические воздействия.

Особенностью этих воздействий является их многоцикловый характер, что дает основание для предположений о возможном наследовании и накоплении энергии нелинейных эффектов, сопутствующих этим воздействиям, что, в свою очередь, может привести к нарушению устойчивости грунтовых оснований, их эрозии, неравномерным осадкам сооружений и т.д.

В комплексе натуральных и теоретических исследований гравидинамических и вибротсейсмических воздействий целью данного доклада является обоснование возможности применения для их анализа расчётных моделей, включая вибродозиметрический метод оценки и мониторинга остаточного ресурса надёжности строительных конструкций и метод возмущений для линейного моделирования нелинейных аккумулятивных процессов и гистерезисных вибротсейсмических явлений в грунтах оснований.

Учитывая новизну данной работы и отсутствие соответствующей нормативно-технической документации было также необходимо представить результаты в доступной для инженерного анализа форме, например, посредством отображения результатов в единицах сейсмической опасности, в баллах по шкале Рихтера.

Для комплексного и корректного решения поставленной общей проблемы расчеты и инженерные исследования были спланированы в виде взаимосвязанной последовательности этапов и частных задач.

Исследуемая АС расположена на берегу реки, захватывая пойму, I и II надпойменные террасы, коренной склон.

Площадка размещения главного корпуса АС расположена на первой надпойменной террасе эрозионно-аккумулятивного генезиса. В естественных условиях поверхность террасы ровная, пологонаклоненная в сторону реки. В процессе строительства поверхность была спланирована.

В гидрогеологическом разрезе описываемой площадки выделяются подземные воды в четвертичных, плиоценовых и девонских отложениях чехла и в кристаллических породах фундамента.

В пределах промплощадки развиты два водоносных горизонта, а также локально встречающаяся верховодка.

Первый от поверхности водоносный горизонт приурочен к песчаным отложениям первой надпойменной террасы. Водовмещающие отложения представлены разнотернистыми песками. Мощность водоносного горизонта составляет от 4,0 до 7,3 м, в среднем – 6,0 м. Подземные воды безнапорные. В естественных условиях поверхность водоносного горизонта находилась на глубинах от 1,0 до 6,8 м.

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

Средняя годовая амплитуда колебаний уровня воды в пределах первой надпойменной террасы составляет 0,7 м. Максимальные значения уровня отмечались в паводковый период. По химическому составу подземные воды горизонта гидрокарбонатные, кальциевые с минерализацией от 0,1 до 0,3 г/л.

Второй водоносный горизонт развит повсеместно. Водовмещающими породами являются трещиноватые известняки. Мощность водоносного горизонта составляет от 5 до 18 м.

Горизонт напорный, величина напора достигает от 9,0 до 10,5 м. Верхним водоупором служит толща глин. Коэффициент фильтрации – от 0,5 до 30,5 м/сут. По химическому составу подземные воды второго горизонта гидрокарбонатные, кальциевые.

Площадка, на которой размещаются сооружения главного корпуса АС, представляет собой спланированную территорию с системой регулирования поверхности стока, поэтому здесь практически отсутствуют условия для естественной активизации экзогенных процессов.

В процессе изысканий поверхностных карстовых и суффозионных форм в пределах промплощадки выявлено не было. Крупных карстовых пустот в известняках не обнаружено.

Известняк на большей части территории перекрыт достаточно мощным (от 2,5 до 6,0 м) слоем водоупорных пород – глинами и глинистым элювием.

Таким образом, анализ геологического строения и гидрогеологических условий площадки размещения главного корпуса исследуемой АС показал, что на рассматриваемой территории отсутствуют условия для развития экзогенных геологических процессов, могущих создать опасность для сооружений АС.

Данные инженерно-геологических изысканий по динамическим характеристикам грунтов на площадке АС представлены в табл. 1.

Таблица 1

Динамические характеристики грунтов площадки 4 блока АС							
Наименование грунта	Интервала глубин, м	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Скорость продольных волн $V_p$ , м/с	Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с	Динамический модуль упругости $E_{db}$ , МПа	Динамический модуль сдвига $G$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$
Маловлажные пески	≤ 8	1,65	400	180	115	53	0,37
Водонасыщенные пески	8-14	1,82	1500	600	1404	671	0,39
Глины	14-17,5	2,07	1200	450	1160	414	0,41
Известняки	≥ 17,5	2,53	2400	1250	10500	4048	0,31

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

Стабильность грунтов площадки при динамических нагрузках не определялась.

По результатам инженерно-геологических изысканий за период с 1966 по 1996 год не отмечено изменений физико-механических параметров грунтов основания, способных повлиять на устойчивость сооружений.

Схема размещения фундаментов ограждения и турбоагрегатов турбинного цеха исследуемой АС приведена на рис.3.

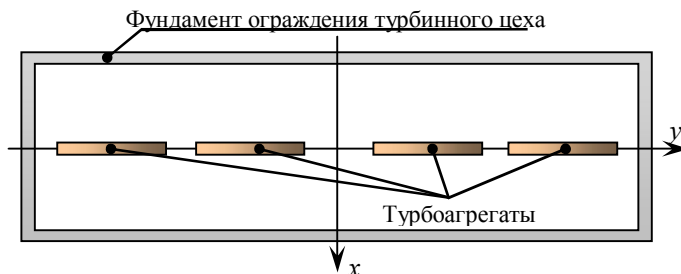


Рис. 3. Схема размещения фундаментов ограждения и турбоагрегатов

Анализ спектральной плотности микросейсм и форм колебаний строительных конструкций исследуемой АС показал, что в спектре микросейсм отчетливо выделяется более 10 резонансных компонент, а максимум плотности достигается на доминирующей частоте около 12 Гц. Основной вибросейсмической модой возбуждения основания площадки является продольная.

Эквивалентная схема для моделирования вибросейсмического взаимодействия фундаментов и основания, приведенная на рис.4, составлена путем комплексирования элементарных источников продольных сейсмических волн на подошве фундаментных блоков каждого турбоагрегата, изолированных от фундаментов ограждения турбинного корпуса и реакторного здания АС.

При моделировании и при построении эпюр в главной вертикальной плоскости турбинного корпуса и в плоскости первой сейсмически контрастной границы пластов использовались трехмерные расчетные сетки. Результаты расчетного моделирования получены в виде эпюр распределения интенсивности рисков.

Эпюр, полученный для плоскости первой сейсмически контрастной границы пластов, приведен на рис.5.

На рис.6 и 7 представлены эпюры распределения интенсивности рисков нормальных напряжений в проекциях на оси координат в двух вертикальных взаимно перпендикулярных плоскостях.

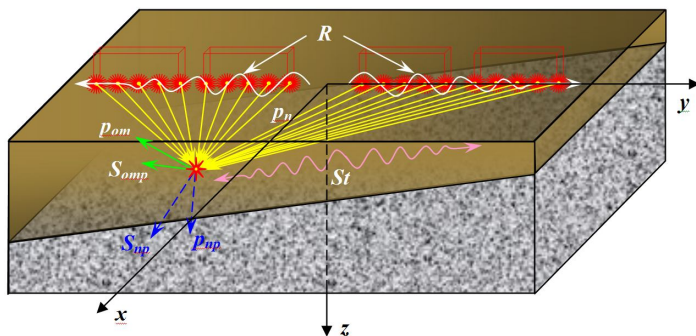


Рис.4. Эквивалентная схема моделирования вибросейсмического взаимодействия фундаментов турбоагрегатов и основания АС

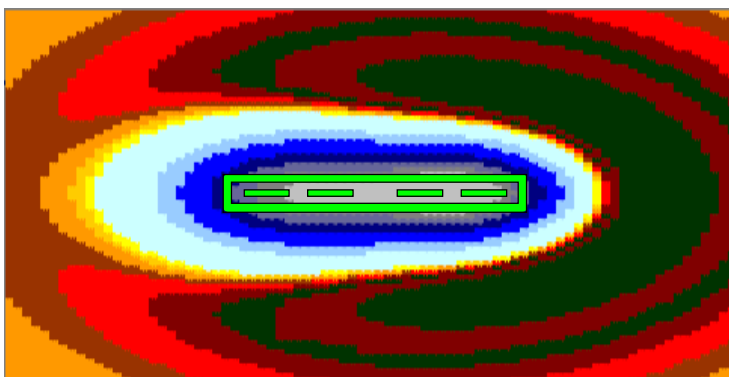


Рис.5. Эпюр распределения интенсивности рисков геодеформационных проявлений динамических напряжений падающих продольных волн на первой границе пластов основания

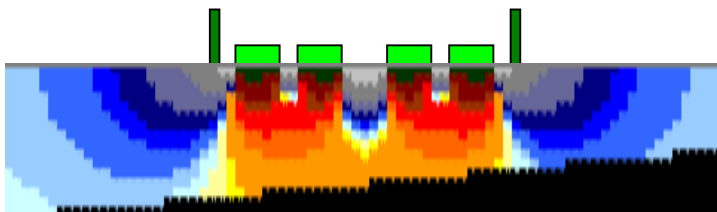


Рис.6. Эпюр распределения интенсивности геодеформационных рисков действия компоненты нормальных динамических напряжений падающих продольных волн в плоскости  $Oyz$



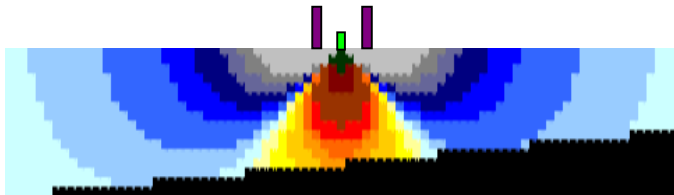


Рис. 7. Эпюр распределения интенсивности геодеформационных рисков действия компоненты нормальных динамических напряжений падающих продольных волн в плоскости  $Oxz$

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что, помимо неравномерной осадки, следует ожидать общего крена конструкции корпуса влево с одновременной реализацией оползневых процессов скольжения корпуса вдоль направления падения границы пластов.

Однако указанные деформационные процессы в основании и конструкции могут быть усилены не только геодинамическими (механическими) резонансами, но и за счет нарушения естественных геоэкологических процессов.

В зонах максимального уплотнения грунтов (зоны эпюры темнозеленой и серой заливки) существенно уменьшится коэффициент фильтрации грунтов, в связи с чем реальны риски внутрипластовой водной эрозии и сноса мелких фракций грунтов на периферию расчетного объема основания, что автоматически нарушит проектный режим стабилизации его НДС.

Кроме того, в зонах вибросейсмического уплотнения повысится уровень капиллярной каймы с последующим нарушением естественного режима увлажнения грунтов и неравномерным вспучиванием глинистых включений.

На основании полученных результатов можно выполнить расчет дополнительных сверхпроектных напряжений в строительной конструкции турбинного корпуса АС в результате геодеформационных проявлений вибросейсмических процессов или выразить потенциальную угрозу реализации рисков через остаточную энергию нелинейного затухания (потерь) вибросейсмических волновых процессов и адекватную ей балльность в эквиваленте сейсмической опасности по шкале Меркалли или Рихтера.

Для оценки геодеформационных рисков неравномерных осадок большепролетных строительных конструкций рассмотрим результаты исследования технического состояния каркасного здания торгового центра с покрытием типа «Кисловодск» и антресольным этажом во втором свете.

Несущими элементами здания являются четыре металлические колонны, металлические конструкции покрытия и железобетонные отдельно стоящие фундаменты колонн объекта.

Основанием для проведения исследовательских работ послужил факт неравномерной осадки колонн, а также визуально наблюдаемой осадки пола здания.

Выявленная в 2007 году в процессе эксплуатации существующая неравномерность осадки несущих колонн и образование зон скопления атмосферных вод на кровле здания были скомпенсированы увеличением длины двух колонн, подвергшихся наибольшей осадке.

В результате проведенного последующего геодезического мониторинга было установлено, что неравномерные осадки колонн здания продолжают и превысили за год 3 см.

На основании обследования инженерно-геологических условий было детализировано геолого-литологическое строение участка, которое представляется в следующем виде.

С поверхности на глубину от 0,8 до 3,5 м участок покрыт насыпью (культурным слоем) песчано-глинистого грунта с примесью щебня, кирпича, битого стекла, обломков древесины и угольного шлака.

Под насыпным (культурным) слоем залегают пески древнего аллювия коричневого и желтые с различными оттенками, мелкие, средней крупности, крупные и гравелистые, неоднородные, слабослюдястые, глинистые, с включением щебня, гальки и гравия, с прослоями гравийно-галечного грунта, средней плотности и плотные, влажные, до водоносных. Мощность отложений древнего аллювия составляет 6,5-10,2 м.

Ниже залегают подморенные флювиогляциальные супеси и суглинки. Супесь светло-коричневая и темно-серая, пылеватая и мелкопесчаная, с прослоями песка, карбонатная, с редким включением гравия, пластичная, сильно влажная до водонасыщенной. Суглинок светло-коричневый, пылеватый, карбонатный, мягко-пластичный и текучепластичный, водонасыщенный. Полная мощность флювиогляциальных отложений составляет 4,5-10,2 м.

Под флювиогляциальными образованиями залегают известняки, мергели и глины верхнего карбона. Известняк белый и серовато-белый, мелкозернистый, трещиноватый, средней крепости, водоносный. Мергель голубого цвета, средней крепости, с редкими прослоями красно-коричневой глины, слабовлажный. Глина красно-коричневая с прослоями голубой, мергелистая, плотная, тугопластичная, слабовлажная. Вскрытая мощность отложений составляет 8,6 м.



Рис. 8. Схема расположения исследуемых колонн большепролетного здания

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

Грунтовые воды в период бурения залегали на глубине от 8,5 до 13,4 м и относились к смешанному водоносному горизонту, водовмещающими породами которого являются четвертичные отложения, водупором служат глины карбона.

Участок расположен в зоне нарушенного режима и приурочен к зоне древнего размыва.

Максимальный подъем грунтовых вод приурочен к периоду с наибольшим количеством осадков – весне и осени.

Однако полученные сведения по особенностям строения тонкой структуры геологического разреза основания не давали оснований для выявления причин неравномерных осадок колонн.

В связи с этим в рамках представляемых авторами результатов дополнительных работ были проведены георадарные исследования геологической структуры подстилающих слоев грунта на предмет выявления подземных объектов, расположенных на территории пятна застройки участка.

Измерения проводились в режиме регистрации волновых форм. На полученных радарограммах с выделенными зонами просадок, полученными при анализе радарограмм с проведенной процедурой выйвлет преобразования и выделения минимумов/максимумов отраженных сигналов, были выделены зоны просадки грунтов.

На основании георадарного исследования было установлено, что зоны разуплотнения грунта наиболее ярко выражены в непосредственной близости от колонн 1 и 3 (рис.9), где и визуальнo отмечается просадка грунта.

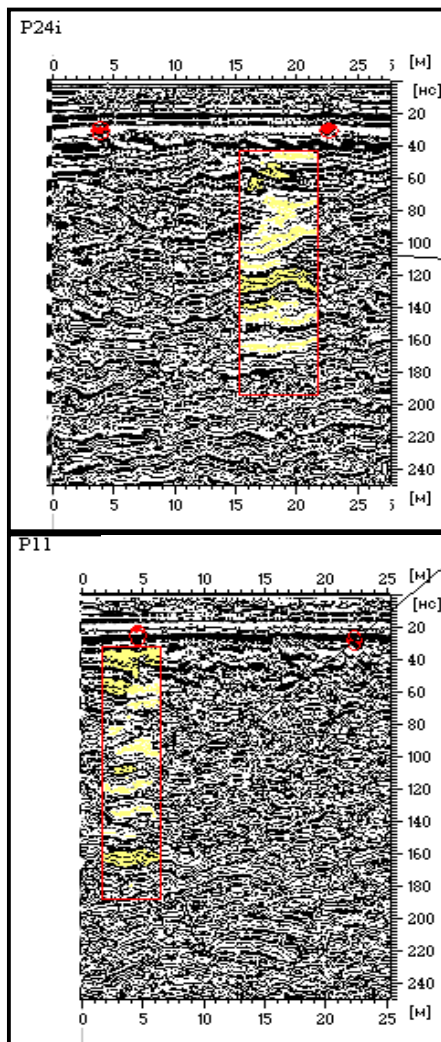


Рис. 9. Радарограммы зон разуплотнения грунта

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

С целью выявления характера и параметров возможных колебаний несущих колонн здания были также проведены работы по измерению амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) указанных конструкций и спектральному анализу полученных результатов.

Измерение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) колонн исследуемого объекта выполнялось не имеющими аналогов в мире:

- геофизической станцией СГМ-03В грависейсмометрического нанометрического мониторинга и контроля устойчивости систем «объект-основание»;
- вибродозиметрической станцией СВД-60МВ, предназначенная для нанометрического мониторинга скорости износа и снижения остаточного ресурса безопасной эксплуатации строительных конструкций и циклической усталости грунтов оснований строительных объектов.

Ввиду высокой чувствительности аппаратуры для исключения влияния на результаты измерений эксплуатационных воздействий (перемещений людей, работы оборудования и т.д.) измерения проводились в вечернее (после закрытия торгового центра) и ночное время.

На рис.10 и 11 в качестве примера приведены характерные спектры линейных и угловых вибраций колонн.

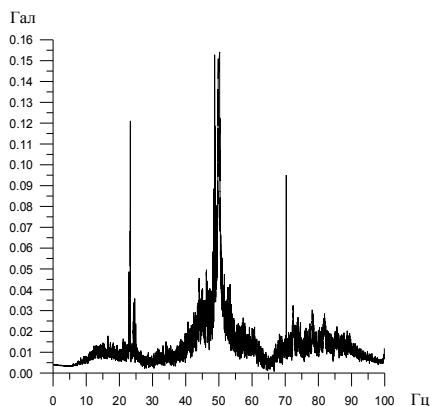


Рис. 10. Линейные ускорения колонны №3 вдоль оси Z (29.01.2009 г.)

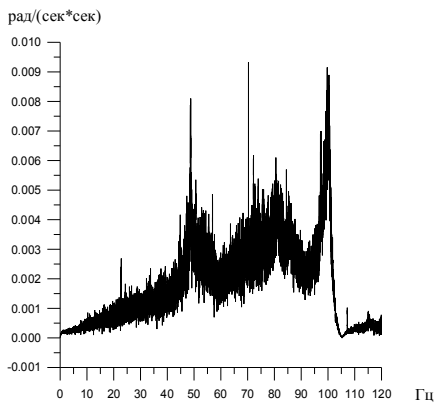


Рис. 11. Угловые ускорения колонны №1 вокруг оси X (29.01.2009 г.)

Полученные результаты показали, что максимальная величина амплитуд колебаний относится к колонне 1, имеющей наибольшую осадку среди остальных колонн (более чем в 2 раза).

По данным вибродинамического мониторинга, режекторной фильтрации сетевых помех и спектрального анализа процесса возбуждения несущих колонн здания было выполнено компьютерное моделирова-

ние зон развития потенциально опасных процессов разуплотнения или уплотнения (циклической «усталости») подстилающего грунта несущих колонн с использованием пакета программ «Композит-7».

В рамках проведения компьютерного моделирования зон развития аварийно опасных процессов разуплотнения подстилающего грунта от действия на него разных по амплитуде колебаний несущих колонн здания была разработана компьютерная модель динамического взаимодействия фундаментов несущих колонн здания и подстилающих слоев грунта на расчетную глубину.

Результатом проведенного расчетного компьютерного моделирования являются эпюры распределения напряжений, деформаций и перемещений по плоскости границы слоев песков древнего аллювия и подморенных флювиогляциальных супесей и суглинков грунтов основания.

На основании анализа результатов компьютерного моделирования зон развития потенциально опасных процессов разуплотнения подстилающего грунта от действия на него разных по амплитуде колебаний несущих колонн здания установлено, что наибольшие по величине значения напряжений, деформаций и перемещений выявлены в области колонн 1 и 3, а максимальные – в области колонны 1.

В результате компьютерного моделирования рисков неравномерных осадок колонн вследствие неравномерной циклической усталости грунтов и поднятия уровня капиллярной каймы выявлено следующее.

1. Эпюры неравномерного распределения вибродинамических напряжений, деформаций и перемещений в грунтах основания и результаты мониторинга неравномерных осадок колонн подтверждают факт реализации риска сверхпроектной вибродинамической усталости грунтов в расчетном объеме основания, которая достигает максимальных значений под фундаментами колонн здания.

2. Эффект виброциклической усталости грунтов усиливается существенным отклонением размеров (площади подошвы) фундаментов под колоннами от проектных и, как следствие, статической перегрузкой грунтов основания.

3. Компьютерное моделирование зон развития потенциально опасных процессов разуплотнения подстилающего грунта и полученные эпюры неравномерного распределения динамических напряжений и деформаций подтверждают причину реализации неравномерных осадоч-

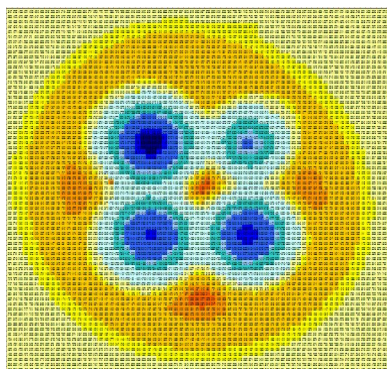


Рис. 12. Эпюра распределения интенсивности нормальных деформаций на плоскости границы пластов

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

---

ных перемещений до плоскости границы слоев песков древнего аллювия и подморенных флювиогляциальных супесей и суглинков грунтов основания в результате многоциклового воздействия колебаний колонн здания разной интенсивности.

На основании анализа полученных эпюр распределения напряжений, деформаций и перемещений по плоскости границы слоев грунтов основания установлено, что наибольшие по величине значения напряжений, деформаций и перемещений выявлены в области колонн 1 и 3, а максимальные – в области колонны 1, что соответствует результатам натурного мониторинга осадок.

Таким образом, по результатам исследования установлено, что неравномерные осадки несущих колонн здания будут продолжаться вплоть до запуска спускового механизма прогрессирующего обрушения здания.

В связи с этим возможны два варианта выхода из сложившейся ситуации:

1) разработка детального проекта демпфирования виброрезонансов покрытия и колонн здания для снижения скорости осадок до проектной, а также усиления несущей конструкции с последующим постоянным мониторингом осадок несущих колонн и технического состояния прочих несущих конструкций здания вплоть до стабилизации состояния грунтов;

2) демонтаж существующего здания, срезка культурного (насыпного) слоя вплоть до коренного грунта (песков древнего аллювия), устройство песчаной насыпи и повторное возведение здания.

Рассматривая в заключении результаты и эффективность применения пакета программ «Композит-7», можно утверждать, что он является достаточно надежным и тонким инструментом выявления зон повышенных геодформационных рисков и идентификации причин их реализации.

Практический опыт применения пакета программ с необходимой точностью подтверждает его результативность независимо от характера и топологии внешних проявлений (трещины и нарушение стабилизации осадок) ускоренного сверхпроектного износа строительных конструкций.

Наряду с этим применение вибродозиметрической теории рисков геодформационных проявлений в результате многоциклового воздействия вибросейсмических процессов позволяет построить наглядные и удобные для инженерно-технической интерпретации рисков эпюры распределения интенсивности вибросейсмических напряжений в расчетном объеме основания.

### Библиографический список

1. Хлыстунов М.С. Геодинамическая устойчивость геологических оснований // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2001, №4.

2. Могилюк Ж.Г. и др. Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2003, №3.
3. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Теория геоэкологической эффективности геодинамических резонансов АС. II-я Научно-техническая конференция «Научно-инновационное сотрудничество». Сб. научных трудов. В 3 частях. Ч.1. – М.: МИФИ, 2003.
4. Могилюк Ж.Г. и др. Теория геоэкологической эффективности геодинамических резонансов АС. Межотраслевая научная конференция. – М.: МИФИ, 2003.
5. Могилюк Ж.Г. Исследование и расчёт интенсивности микросейсмических проявлений в неоднородных основаниях зданий и сооружений. Научно-техническая конференция по итогам НИРС МГСУ, март 2003.
6. Компьютерное моделирование зон повышенных геоэкологических рисков в основании турбинного корпуса / Ж.Г. Могилюк, О.В. Карева, А.А. Тыщенко, Р.З. Исаев. Студенческая конференция МГСУ, март 2004.
7. Могилюк Ж.Г., Денисов А.В. и др. Компьютерное эмулирование геоэкологических рисков в неоднородных основаниях АС. Межотраслевая научная конференция. – М.: МИФИ, 2004.
8. Ковалевич О.М., Могилюк Ж.Г. и др. Исследования локальных геотехнических рисков при неравномерном виброрейсмическом возбуждении оснований АС. Межотраслевая научная конференция. – М.: МИФИ, 2004.