

Анализ геодеформационных проявлений вибросейсмических процессов объектов техносферы 77-30569/251611

11, ноябрь 2011

авторы: Подувальцев В. В., Хлыстунов М. С., Могилюк Ж. Г.

УДК 550.31

МГТУ им. Н.Э. Баумана

vpodual@mail.ru

mcxmgsu@mail.ru

В связи с глобальным ростом интенсивности стихийных бедствий и природных катастроф долгосрочное обеспечение геотехнической надежности и безопасности ответственных промышленных объектов, нефтегазопроводов, экологически опасных предприятий и районов массовой застройки, включая техносферу мегаполисов, стало наиболее острой проблемой безопасности жизненно важных регионов планеты.

Это связано с тем, что даже в сейсмопассивных районах планеты наблюдается усиление интенсивности микросейсмического и микрогравитационного возбуждения геодинамических резонансов промышленных объектов и инженерных сооружений, ускоряющих деградацию их геотехнической надежности. По данным Российского Национального общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению не менее 26% аварий промышленных и гражданских объектов связано, в том числе с неизученными процессами геотехнического характера.

Российскими и зарубежными надзорными организациями в области промышленной безопасности особое внимание уделяется контролю геодинамической устойчивости зданий и сооружений, в том числе и в сейсмопассивных районах застройки. Однако традиционные вибросейсмические и геодинамические инструментальные методы имеют существенный недостаток – необходимая достоверность при их использовании достигается не ранее момента срабатывания спускового механизма аварийного объекта.

В связи с прогрессирующим износом электроэнергетического оборудования и недостаточным уровнем метрологического обеспечения его эксплуатации в России увеличивается вероятность внезапного, а по существу – аварийного выхода из Единой Энергетической Системы (ЕЭС) страны мощных электроблоков. При определённой величине такого локального сброса мощности возможно лавинообразное распространение нарушения синхронизма работы генераторов и распад ЕЭС.

Защита от возможности аварий (приближение которой ещё нужно зарегистрировать техническими средствами) путём снижения уровня вырабатываемой мощности или её полного отключения неизбежно влечёт за собой последствия экономического, социального и, конечно, экологического характера. С организационно-технической точки зрения проблема заключается в достижении метрологического обеспечения перехода от традиционного сложившейся планово-предупредительной системы ремонтов к системе, основанной на объективной инструментальной оценке технического состояния энергетического оборудования [1].

В связи с этим в рамках доклада [2] рассматривался новый прецизионный инструментальный метод контроля и инструментальной верификации ряда критических параметров геодинамической безопасности зданий и сооружений, в том числе и атомных электростанций. Приведены результаты анализа возможностей метода по выявлению ранних предвестников деградации геодинамической устойчивости и по оценке скорости нарастания рисков аварийных проявлений плавных отказов в основаниях строительных объектов. Преимущества метода заключаются в том, что, в отличие от известного вибродинамического, производится верификация не АЧХ геодинамического возбуждения здания или сооружения, а спектр его вибродинамического поглощения. Наряду с этим, параллельно регистрируется геоэкологическая эффективность каждого из резонансных термов этого спектра, например, по скорости микроциклической усталости грунтов оснований. Росту темпов просадок и кренов объекта.

Используя гравидинамическую теорию стихийных бедствий космогенного происхождения [3], авторам доклада [4] удалось установить основные причинно-следственные связи и закономерности запуска глобальных синхронных эндогенных и экзогенных геотектонических процессов, которые, в свою очередь, являются причиной сверхпроектного изменения геоэкологических свойств и параметров грунтов оснований промышленных объектов, включая уровень капиллярной каймы и грунтовых вод, коэффициенты фильтрации, скорости суффозии, карстовых и оползневых процессов. В результате происходит дополнительное повышение интенсивности геотектонических процессов, вплоть до неожиданной сегментации, сдвига и разрушения пластов тонкой структуры геологического разреза оснований.

Исследования геоэкологической эффективности нелинейных вибросейсмических процессов позволили сформулировать дополнительные требования к нормативно-технической документации, к методикам инженерно-геологических изысканий и проектного моделирования в плане обеспечения корректного учета мало изученных ранее глобальных природных и локальных техногенных геотектонических и геоэкологических рисков [4] нарушения геодинамической устойчивости строительных объектов и инженерных сооружений в реальных геологических условиях современных промзон и мегаполисов.

В результате исследования закономерностей распределения географических зон ускоренной эволюции напряженно-деформированного состояния и грависейсмического уплотнения грунтов оснований удалось создать эффективный метод инструментального контроля скорости деградации геотехнической надежности оснований строительных объектов в реальных геологических условиях [5].

В качестве объекта обобщенного анализа геотектонических рисков в данной статье взята виртуальная атомная электростанция (АЭС) с некоторым типовым набором энергоблоков.

К сожалению, информация о мелких нештатных ситуациях на исследуемой АЭС и на других АЭС, как в России, так и за рубежом, фактически не публикуется, что связано с отсутствием регламентов МАГАТЭ и национальных надзорных организаций требований по докладам о незначительных происшествиях, не угрожающих ядерной аварией или радиационной экологической катастрофой, и которые устраняются в порядке выполнения текущих профилактических и ремонтных работ и планов регламентных эксплуатационных мероприятий на АЭС.

Вместе с тем экстренная проверка и инструментальная верификация со стороны МАГАТЭ микросейсмических проявлений в районе расположения и на промплощадке одной из АЭС (Ленинградская АЭС), расположенной на территории РФ, убедительно показывает, 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 геодеформационным процессам в основании станции.

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

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

В связи с этим в процессе исследования много неопределенностей возникло при анализе отечественной и зарубежной информации о «безопасных» происшествиях на АЭС. 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 перекос 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 АЭС, 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 настоящей статьи является рассмотрение геодеформационной эффективности воздействия малоамплитудных, но многоцикловых вибросейсмических нагрузок на основания виброактивных объектов на примере турбинного корпуса исследуемой АЭС.

Геодезические наблюдения за осадками и кренами зданий и сооружений второй очереди рассматриваемой АЭС начались в 1972 году. Периодичность выполнения наблюдений была регламентирована МУ РД 34.21.322.94, согласно которого 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 1976г.).

Наблюдаемыми объектами блока 4 АЭС 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.

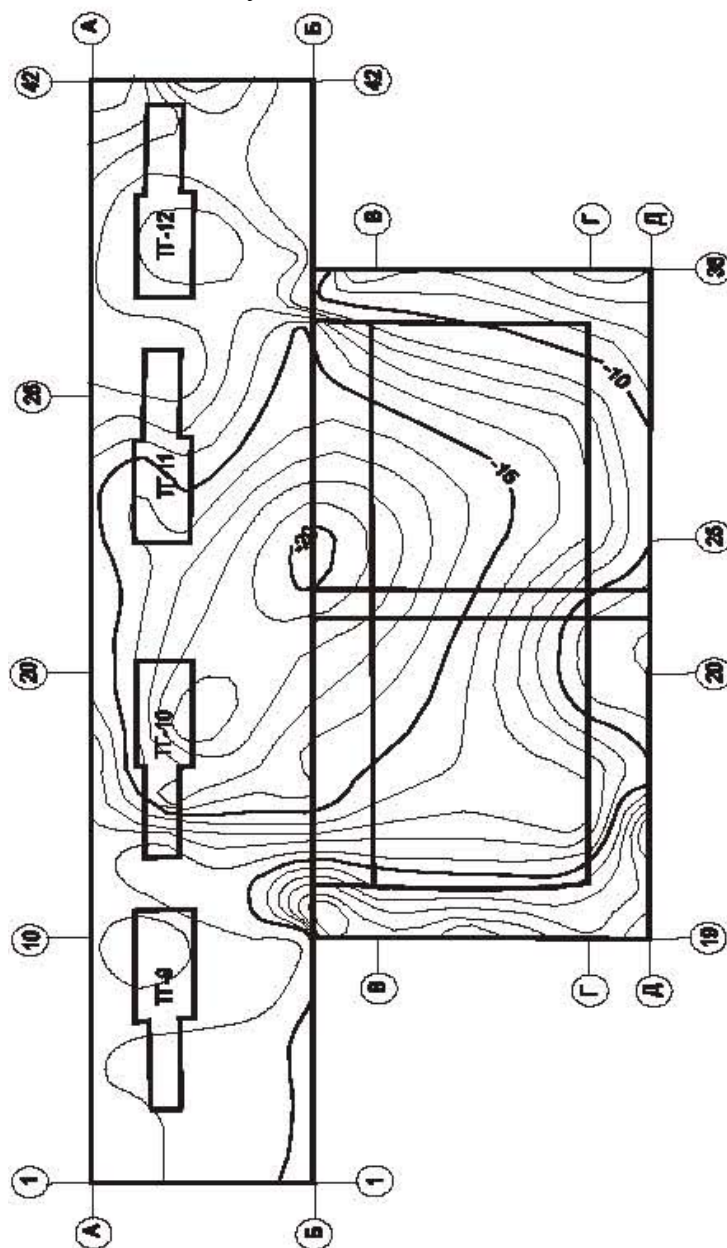


Рис.1. Изолинии вертикальных смещений осадочных марок главного корпуса блока 4 (суммарные, относительно марта 1976 г.)

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 2-2,5 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.

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 градирен № 1, 2, 3, 7 – в декабре 1972 г., № 4, 6 – в декабре 1973 г., № 5 – июль 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» (Гр.№1 – м.7/139, -30,6 мм, Гр.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.

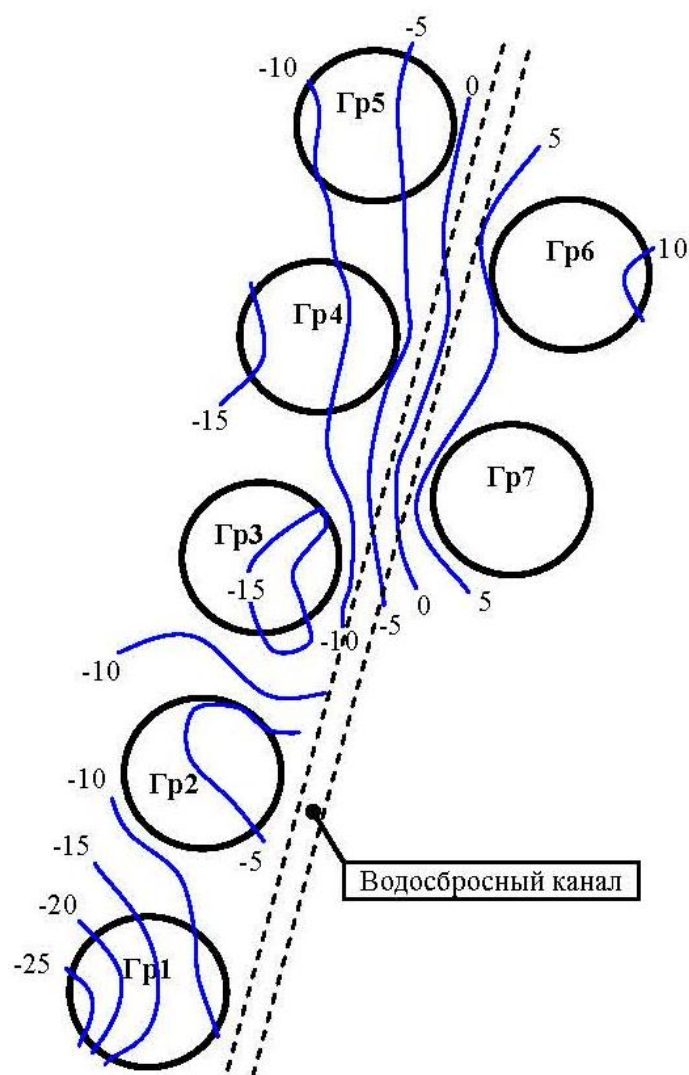


Рис.2. Изолинии вертикальных смещений осадочных марок

Наблюдения за кренами и осадками объектов блока 4 АЭС 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.

На современном этапе развития прикладных исследований в числе нагрузочных факторов, определяющих долговременную безопасную работу сооружений, наименее исследованными являются низкочастотные вибросейсмические 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 натурных и теоретических исследований гравидинамических и вибросейсмических воздействий целью данной статьи 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 вибросейсмических 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 АЭС расположена на берегу реки, захватывая пойму, I и II надпойменные террасы, коренной склон.

Площадка размещения главного корпуса АЭС 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 разнородными 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 м до 6,8 м.

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 АЭС, 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 АЭС показал, что на рассматриваемой территории отсутствуют условия для развития экзогенных геологических процессов, могущих создать опасность для сооружений АЭС.

Данные инженерно-геологических изысканий по динамическим характеристикам грунтов на площадке АЭС представлены в таблице 1.

Таблица 1

Динамические характеристики грунтов площадки 4 блока АЭС							
Наименование грунта	Интервала глубин, м	Плотность грунта ρ , г/см ³	Скорость продольных волн V_p , м/с	Скорость поперечных волн V_s , м/с	Динамический модуль упругости E_d , МПа	Динамический модуль сдвига G , МПа	Коэффициент Пуассона ν
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	$\geq 17,5$	2,53	2400	1250	10500	4048	0,31

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 фундамента ограждения и турбоагрегатов турбинного цеха исследуемой АЭС приведена на рис. 3.

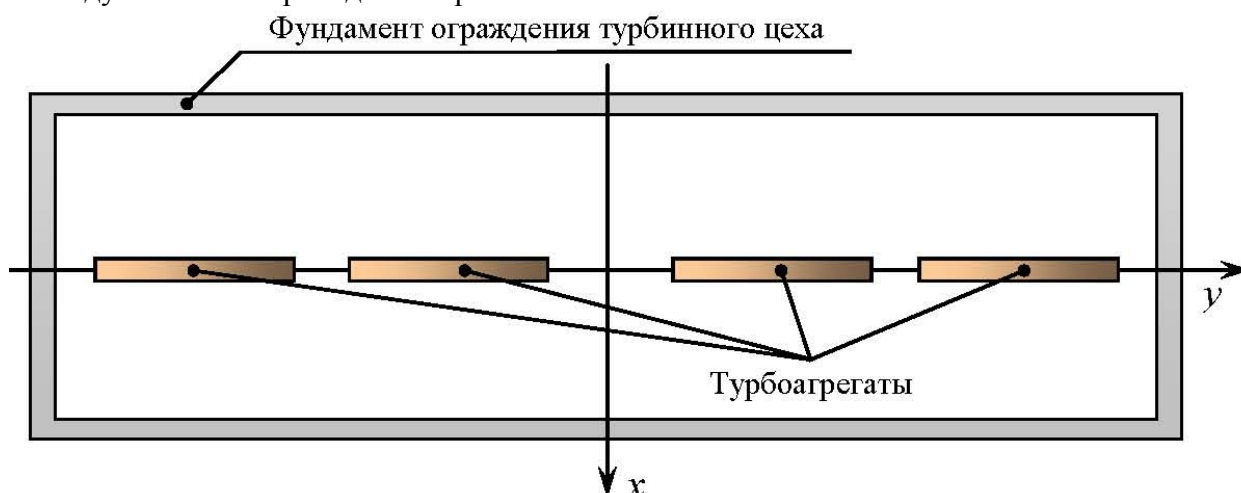


Рис. 3. Схема размещения фундаментов ограждения и турбоагрегатов

Анализ спектральной плотности микросейсм и форм колебаний строительных конструкций исследуемой АЭС 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 фундамента 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.

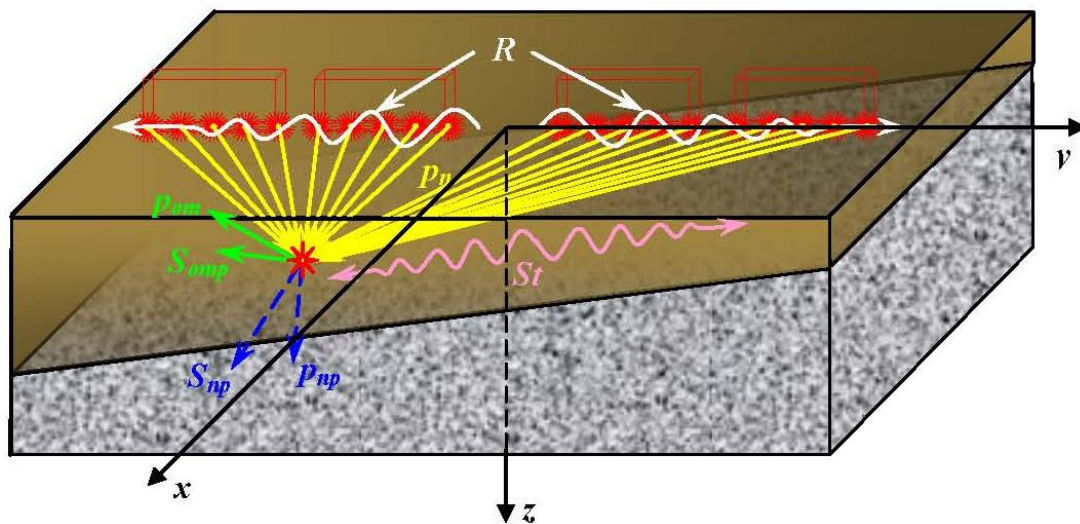


Рис.4. Эквивалентная схема моделирования вибросейсмического взаимодействия фундаментов турбоагрегатов и основания исследуемой АС

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.

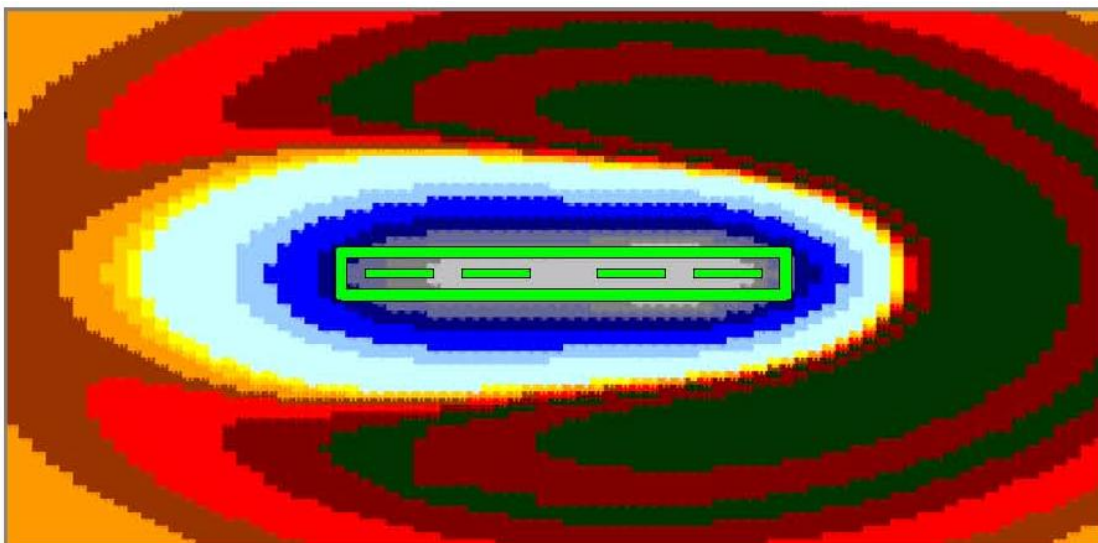


Рис.5. Эпюр распределения интенсивности рисков гедеформационных проявлений динамических напряжений падающих продольных волн на первой границе пластов основания

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

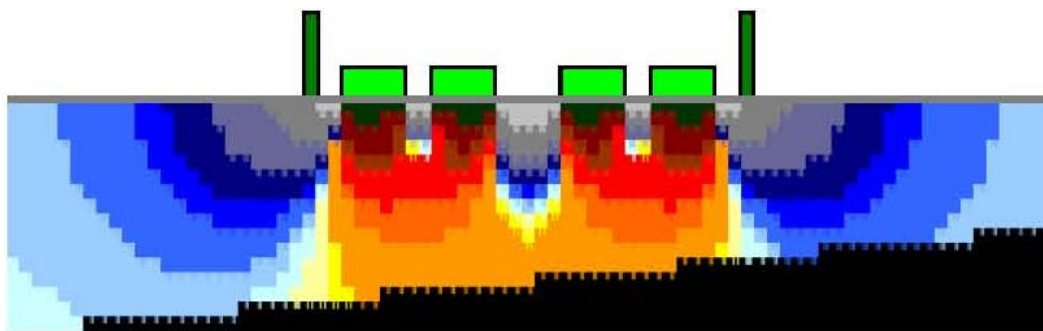


Рис.6. Эпюр распределения интенсивности геодеформационных рисков действия компоненты нормальных динамических напряжений падающих продольных волн в плоскости Oyz

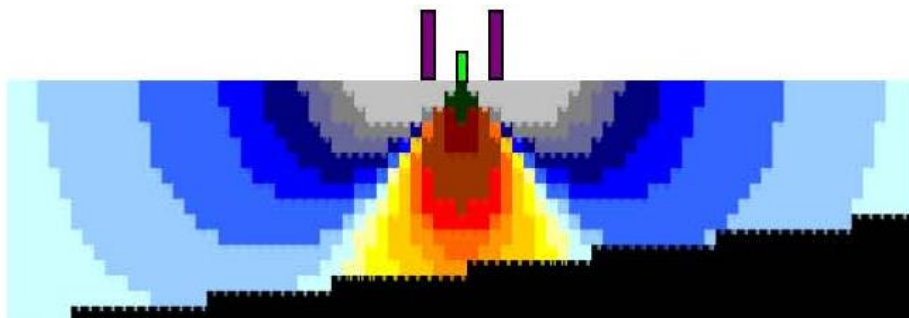


Рис.7. Эпюр распределения интенсивности геодеформационных рисков действия компоненты нормальных динамических напряжений падающих продольных волн в плоскости Oxz

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 напряженно-деформированного состояния (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 АЭС 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.

Выявленные зоны повышенных геодеформационных рисков и интерпретация потенциальной возможности их реализации с достаточной степенью точности подтверждается характером и топологией реальных внешних проявлений (трещин и нарушение стабилизации осадок) ускоренного сверхпроектного износа строительной конструкции турбинного корпуса.

Использование вибродозиметрической теории рисков геодеформационных проявлений в результате многоциклового воздействия вибросейсмических процессов

позволяет построить наглядные и удобные для интерпретации рисков эпюры распределения интенсивности вибросейсмических напряжений в расчетном объеме основания.

Применением метода перенормировки шкал можно существенно сократить объем вычислений и затрат машинного времени как на расчеты распределения интенсивности вибросейсмических процессов, так и тривиального отображения результатов в виде энергетических и эквивалентных сейсмических оценок уровня опасности долговременного действия этих процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселёв М.И., Подувальцев В.В., Пронякин В.И. Прогнозирующий фазохронометрический мониторинг турбоагрегатов в интересах экологии. IV Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». Сб. трудов. –М.: ИПМ РАН –МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. – С. 198-199.
2. Завалишин С.И., Хлыстунов М.С., Подувальцев В.В. Инструментальная верификация параметров геодинамической безопасности АС в натурных условиях эксплуатации. III Научно-техническая конференция «Научно-инновационное сотрудничество». Сб. научных трудов. В 2 частях. Ч.1. –М.: МИФИ, 2004. – С. 20-21.
3. Хлыстунов М.С. Геодинамическая устойчивость геологических оснований. –М.: «Сейсмостойкое строительство», №4, 2001
4. Джанибеков В.А., Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С. Влияние геоэкологической эффективности природных и техногенных процессов на безопасность промышленных объектов и инженерных коммуникаций. IV Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». Сб. трудов. –М.: ИПМ РАН –МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. - С. 105-106.
5. Завалишин С.И., Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С. Космогенные процессы деградации геотехнической надежности промышленных объектов и техносферы мегаполисов. IV Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». Сб. трудов. –М.: ИПМ РАН –МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. - С. 107-108.
6. Могилюк Ж.Г. и др. Геоэкологическая эффективность микросейсмических процессов в неоднородных основаниях. –М.: «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», №3, 2003.
7. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Теория геоэкологической эффективности геодинамических резонансов АС. II-ая Научно-техническая конференция «Научно-инновационное сотрудничество». Сб. научных трудов. В 3 частях. Ч.1. –М.: МИФИ, 2003.
8. Хлыстунов М.С., Гафурова М.Ф. и др. Компьютерное эмулирование геоэкологических рисков в неоднородных основаниях АС. III Научно-техническая конференция «Научно-инновационное сотрудничество». Сб. научных трудов. В 2 частях. Ч.1. –М.: МИФИ, 2004. – С. 27-28.
9. Ковалевич О.М., Гафурова М.Ф. и др. Исследования локальных геотехнических рисков при неравномерном вибросейсмическом возбуждении оснований АС. . III Научно-техническая конференция «Научно-инновационное сотрудничество». Сб. научных трудов. В 2 частях. Ч.1. –М.: МИФИ, 2004. – С. 29-30.

Geodeformational display analysis of vibro-seismic processes in technosphere's objects

77-30569/251611

11, November 2011

authors: Poduvalcev V.V., Hlistunov M.S., Mogilyuk J.G.

Bauman Moscow State Technical University

vvpoduval@mail.ru

mcxmgsu@mail.ru

The results of gravity-seismic monitoring, microseisms computer simulation, causes of large-span buildings' differential settlement identification, lack of construction project's geodynamic stability in real geologic conditions of modern industrial parks and metropolises. Computation of additional extra construction stresses of turbine wheel housing could be carried out as a result of geodeformational displays of vibro-seismic processes. Potential threat to the implementation of risks can be expressed in terms of the residual energy of the nonlinear damping of vibro-seismic wave processes and adequate intensity equivalent of seismic hazard on a scale of Mercalli or Richter.

Publications with keywords: [reliability](#), [nuclear station](#), [buildings](#), [constructions](#), [bases](#), [electropower equipment](#), [geodeformations](#), [ground](#), [mechanical pressure](#), [deformations](#), [cyclic weariness](#), [reliability residual resource](#), [estimation method](#), [estimation algorithms](#), [the forecast](#)

Publications with words: [reliability](#), [nuclear station](#), [buildings](#), [constructions](#), [bases](#), [electropower equipment](#), [geodeformations](#), [ground](#), [mechanical pressure](#), [deformations](#), [cyclic weariness](#), [reliability residual resource](#), [estimation method](#), [estimation algorithms](#), [the forecast](#)

Reference

1. Kiselev M.I., Poduval'tsev V.V., Proniakin V.I., in: Proc. of the IV All-Russian Scientific Conference on Physical Problems of the Environment (Environmental Physics), Moscow, IPM RAS - Moscow State University, 2004, pp. 198-199.
2. Zavalishin S.I., Khlystunov M.S., Poduval'tsev V.V., in: Proc. of the III Scientific and Technical Conference on Research and innovation cooperation, Moscow, MEPhI, Part 1, 2004, pp. 20-21.
3. Khlystunov M.S., Seismostoi koe stroitel'stvo 4 (2001).
4. Dzhaniybekov V.A., Poduval'tsev V.V., Khlystunov M.S., in: Proc. of the IV All-Russian Scientific Conference "Physical Problems of the Environment (Environmental Physics)", Moscow, IPM RAS - Moscow State University, 2004, pp. 105-106.
5. Zavalishin S.I., Poduval'tsev V.V., Khlystunov M.S., in: Proc. of the IV All-Russian Scientific Conference "Physical Problems of the Environment (Environmental Physics)", Moscow, IPM RAS - Moscow State University, 2004, pp. 107-108.
6. Mogilyuk Zh.G., et al., Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii 3 (2003).
7. Khlystunov M.S., Mogilyuk Zh.G., in: Proc. of the III Scientific and Technical Conference on Research and innovation cooperation, Moscow, MEPhI, Part 1, 2003.

8. Khlystunov M.S., Gafurova M.F., et al., in: Proc. of the III Scientific and Technical Conference on Research and innovation cooperation, Moscow, MEPhI, Part 1, 2004, pp. 22-28.
9. Kovalevich O.M., Gafurova M.F., et al., in: Proc. of the III Scientific and Technical Conference on Research and innovation cooperation, Moscow, MEPhI, Part 1, 2004, pp. 2-30.