

Научно-технический и производственный сборник

БЭС

Безопасность
энергетических
сооружений

Научно-исследовательский институт

НИИЭС

энергетических сооружений

Выпуск 8
2001

**Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«Единая энергетическая система России»
(РАО «ЕЭС России»)**

**Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»
(АО НИИЭС)**

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Выпуск 8

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

(Исследования, разработки, внедрение)

**Москва
2001**

Председатель редакционного совета
к.т.н. С.О. Бритвин

Безопасность энергетических сооружений. // Научно-технический и производственный сборник. Вып.8. АО НИИЭС. М.:2001. 72 с. (цв.вкл. — 8 с.)

В настоящем сборнике публикуется расширенное резюме работы, касающейся разработок и исследований в области обеспечения сейсмической безопасности сооружений и оборудования электроэнергетических объектов, выполненных за последние полтора десятилетия. Работа представлена на соискание премии Правительства РФ в области науки и техники за 2001г.

Работа выполнена коллективом авторов в составе: *Дьяков А.Ф.*, профессор, член-корр. РАН, РАО «ЕЭС России»; *Лашенов С.Я.*, кандидат техн. наук, РАО «ЕЭС России»; *Кузнецов В.А.*, РАО «ЕЭС России»; *Савич А.И.*, доктор физ.-мат. наук, академик Российской Академии Естественных Наук, ЦСГНЭО — филиал АО «Институт Гидропроект»; *Бронштейн В.И.*, доктор техн. наук, академик Российской Академии Проблем Качества (РАПК), ЦСГНЭО — филиал АО «Институт Гидропроект»; *Шильдин В.В.*, доктор техн. наук, академик РАПК, Управление Госстандарта России; *Покровский В.Н.*, академик РАПК, Госстандарт России; *Храпков А.А.*, доктор техн. наук, профессор, ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»; *Семенов И.В.*, кандидат техн. наук, АО НИИЭС; *Дружинин А.И.*, Госстандарт России; *Оржаховский М.Л.*, академик РАПК, Госстандарт России; *Соболев Г.А.*, член-корр. РАН, ОИФЗ РАН; *Айзенберг Я. М.*, доктор техн. наук, профессор, «ГУП ЦНИИСК им. Кучеренко», Госстрой России; *Бородай И.А.*, кандидат техн. наук, академик РАПК, Институт трансформаторостроения (Украина); *Мелешко И.Ю.*, кандидат техн. наук, академик РАПК, Институт трансформаторостроения (Украина).

В подготовке настоящего сборника кроме коллектива авторов принял участие доктор техн. наук Э. Г. Газиев.

В сборник помещены также протокол заседания секции 3 НТС РАО «ЕЭС России» об итогах реализации «Комплексной программы по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли», выписка из протокола заседания этой секции по выдвижению публикуемой работы на соискание премии Правительства РФ, Решение Межведомственной Комиссии по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству (МВК).

АО НИИЭС, 123362, Москва, а/я 393,
Телефон: 493 51 32.
E-mail: niiesoao@mtu-net.ru

Строительный проезд, д. 7а
Факс: (095) 493 64 29

Содержание

Введение	5
1. Анализ проблемы сейсмической безопасности энергообъектов и надёжной работы энергосистем при землетрясениях	8
2. Создание научно-технической базы, госстандартов и нормативов	9
3. Комплекс работ по уточнению сейсмических условий, определению расчетных сейсмических воздействий и инструментальному обследованию объектов	16
4. Совершенствование методов анализа, оценки и повышения сейсмостойкости электроэнергетического оборудования и электросетевых объектов	26
5. Совершенствование методов анализа, оценки и повышения сейсмостойкости энергетических сооружений	33
6. Разработка комплексной системы кадрового, информационного и организационного обеспечения проблемы сейсмической безопасности энергетических объектов	48
7. Основные результаты работы	50
8. Протокол заседания секции 3 «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и экология в гидроэнергетике» по рассмотрению темы: «Основные итоги реализации «Комплеклексной программы по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли»	52
9. Выписка из протокола заседания НТС РАО «ЕЭС России», секция «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и экология в гидроэнергетике»	60
10. Решение Межведомственной Комиссии по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству (МВК)	63

Введение

Проблема надёжности и безопасности электроэнергетической отрасли в любой стране обусловлена её базовым характером по отношению к промышленности в целом и значительным ущербом, который наносят нарушения электроснабжения и аварии на электростанциях. Сбои энергоснабжения являются источником потенциальной опасности для особых типов потребителей и создания аварийных, а также негативных психологических ситуаций для населения и окружающей среды. Поэтому проблеме надёжной эксплуатации энергообъектов и энергетической безопасности уделяется серьёзное внимание. При этом «под энергетической безопасностью» следует понимать уровень гарантированного обеспечения энергетических потребностей общества как в краткосрочный, так и в долгосрочный периоды. Она зависит от многих факторов, одним из которых является устойчивость эксплуатируемых энергосистем по отношению к происходящим и прогнозируемым сейсмическим воздействиям.

Землетрясения, имевшие место только за последнее время (в Турции, Греции, на Тайване, Сахалине, Индии и др.), еще раз продемонстрировали, сколь велики могут быть человеческие потери и социально-хозяйственный ущерб при сейсмических воздействиях и сколь актуальна и значима проблема обеспечения сейсмической безопасности энергетических объектов.

В настоящей работе представлены результаты научных исследований, проектно-изыскательских и опытно-конструкторских разработок, выполненных и реализованных за период с 1986 г. по 2001 г. и направленных на обеспечение безопасности энергетических объектов, расположенных в сейсмически активных регионах России, стран СНГ и некоторых других стран мира.

В рамках работы созданы научные основы проблемы повышения надёжности, живучести и безопасности электроэнергетического комплекса, разработан и реализован на практике системный подход к решению этой проблемы, предусматривающий осуществление комплекса мероприятий по повышению сейсмостойкости энергетических объектов и сохранению работоспособности при землетрясениях линий электропередач и энергетического оборудования, организацию специализированного контроля за сейсмическими процессами на участках крупных электростанций, а также обучение персонала энергопредприятий рациональному поведению при землетрясениях и ликвидации их последствий.

За истекший период создана нормативно-методическая база решения проблемы, включающая пакет государственных и межгосударственных стандартов, в том числе группу стандартов по методам испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам, группу стандартов по сейсмостойкости технических изделий, группу стандартов по безопасности энергообъектов, новую редакцию государственного стандарта России «Строительство в сейсмических районах», «Сборник инструктивных материалов по действиям персонала энергетических предприятий, расположенных в сейсмоактивных регионах», «Руководство по геодинимическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса», новую редакцию Правил технической эксплуатации электростанций и сетей и др.

Разработаны, изготовлены и внедрены в производство комплексы современной цифровой компьютерной аппаратуры для проведения сейсмологических, сейсмометрических, сейсморазведочных исследований (автономный регистратор сейсмических событий АЦРСС, многоканальная переносная сейсмостанция СП-001, многоканальная сейсмометрическая станция КИСН) и технические средства (вибростенды, вибромашины и др.) для выполнения экспериментальных и натуральных испытаний сооружений и оборудования.

Выполнены научные исследования, разработаны методы и проведён обширный комплекс работ по уточнению сейсмических условий, определению расчетных сейсмических воздействий и ин-

струментальному обследованию объектов энергетической отрасли, охватывающих около 40 крупных энергообъектов России, стран СНГ и некоторых других стран мира.

Выявлены основные типы и причины повреждений при землетрясениях электросетевых объектов, энергетического и электротехнического оборудования, выполнены исследования и разработки новых сейсмостойких конструкций и оборудования, в том числе более 40 типов сейсмостойких трансформаторов, многие из которых поставлены в другие страны.

Проведен сбор и многофакторный анализ фактических данных о повреждениях энергообъектов при землетрясениях, выполнены исследования и проектно-конструкторские разработки мероприятий по повышению сейсмостойкости сооружений и оборудования энергообъектов. Ряд этих мероприятий: воздушные завесы подпорных гидротехнических сооружений, адаптивные системы сейсмоизоляции с выключающимися связями, сейсмозащитные опоры электротехнического оборудования и другие — не имеют мировых аналогов.

Усовершенствованы известные и разработаны новые методы расчета, экспериментальных и натурных исследований сейсмостойкости оборудования, сооружений и линий электропередач; выполнен комплекс поверочных расчетов и оценок сейсмостойкости, включающий около 30 наиболее крупных и ответственных российских и зарубежных ГЭС, ТЭС и ПС.

Проведен комплекс работ по организационно-образовательному обеспечению рассматриваемой проблемы, в том числе по созданию отраслевой системы подготовки и повышения квалификации эксплуатационного персонала. При этом готовность персонала к преодолению и ликвидации аварийных ситуаций, являющаяся важнейшим элементом сейсмической безопасности энергообъектов, вырабатывается занятиями на тренажерах различного вида и назначения.

Результаты работы представлены на многочисленных совещаниях, конференциях и семинарах, опубликованы в нескольких монографиях, более чем 100 статьях и других публикациях, внедрены в практику проектно-изыскательских, конструкторских и строительных работ, связанных с обеспечением сейсмической безопасности энергетических объектов.

В заключении работы изложены задачи дальнейших исследований, а также приведен перечень наиболее значимых публикаций членов авторского коллектива.

1. Анализ проблемы сейсмической безопасности энергетических объектов и надежной работы энергосистем при землетрясениях

В нашей стране особое внимание уделяется обеспечению сейсмостойкости АЭС и высоких плотин, входящих в состав крупных гидроэлектростанций, которые в 1960-1980 гг. строились в высокогорных районах Средней Азии и Кавказа. Но последствия сильных землетрясений последних лет (Кайрокумского 1985 г., Румынского 1986 г., Спитакского 1988 г. и др.) показали, что проблема сейсмостойкости энергообъектов и обеспечения надёжной работы энергосистем с экономической точки зрения не может быть сведена к обеспечению сейсмостойкости лишь АЭС и крупных ГЭС, представляющих наибольшую потенциальную опасность, а является комплексной и включает в себя вопросы, связанные с безаварийной работой при землетрясениях и других источников электроэнергии, а также электротехнического и технологического оборудования, подстанций и линий электропередач. Это особенно отчётливо проявилось во время Спитакского землетрясения, когда значительный ущерб экономике Армении был обусловлен прекращением подачи в район стихийного бедствия электроэнергии из-за повреждений на подстанциях, ОРУ и линиях электропередач. При этом коммунально-энергетическое хозяйство гг. Спитака и Ленинакана, где интенсивность сейсмических воздействий достигала 8 и 9 баллов, было практически полностью выведено из строя. Было разрушено 40 трансформаторных подстанций г. Ленинакана, 115 подстанций из 319 получили повреждения различной степени. Разрушено полностью 1300 км и частично 930 км воздушных и кабельных линий электропередач. Вышла из строя система энергоснабжения аэропорта. В г. Степанокерт были разрушены все электростанции.

Аналогичные явления отмечались и в других странах, в частности в Румынии, США, Японии, Турции, Китае, на Тайване.

Сейсмические события, произошедшие за последние 15 – 20 лет, выявили очень важную для обеспечения сейсмической безопасности энергообъектов нашей страны проблему, а именно *проблему недостаточной надежности карт сейсмического районирования территории РФ и стран СНГ — карт СР-64 и СР-78*, в соответствии с которыми проектировались и строились многие эксплуатируемые энергообъекты. Так Газлийское 9-балльное землетрясение произошло в 5-балльной сейсмической зоне, Спитакское, Рачинское и Борисахские 9-балльные землетрясения — в 7-балльных зонах. В настоящее время специалистами различных организаций

во главе с ОФИЗ РАН разработана и утверждена в качестве нормативной новая карта сейсмического районирования России СР-97.

О характере произошедших с введением карты СР-97 изменений в уровне фоновой сейсмичности можно судить по приведенной на рис. 1 на цветной вкладке карте приращения балльности на территории Кавказа, построенной на основании карт СР-78 и СР-97. Судя по этим данным, практически для всех энергообъектов Кавказа уровень их сейсмической активности увеличился по сравнению с проектным на 2 – 3 балла. Аналогичная ситуация наблюдается и в ряде других областей.

Опыт эксплуатации энергосистем, расположенных в сейсмоактивных зонах, свидетельствует, что при землетрясениях многие из них получают серьёзные повреждения, которые обуславливаются:

- повреждением или выходом из строя технологического и электротехнического оборудования;

- повреждением или разрушением ОРУ и подстанций;

- повреждением линий электропередач;

- разрушением или повреждением зданий и строительных конструкций электростанций (гидравлических, тепловых и др.);

- разрушением или серьёзным повреждением напорных гидротехнических сооружений.

Установлено, что недостаточная сейсмостойкость, которая может привести к разрушениям и повреждениям энергообъектов, определяется следующими причинами:

- ненадёжными прогнозами параметров ожидаемых (расчётных) сейсмических событий (землетрясений);

- недоучётом особенностей грунтовых условий в основании сооружений и ошибками в оценке реальных свойств объектов;

- несовершенством используемых методов расчёта сейсмостойкости различных сооружений и опор линий электропередач;

- использованием несейсмостойкого электротехнического и технологического оборудования;

- строительными дефектами и «старением сооружений».

Учитывая сложность и взаимосвязь определяющих эти задачи факторов, их решение требует системного подхода как к проблеме в целом, так и к решению отдельных частных задач.

2. Создание научно-технической базы и нормативов

Научно-техническую основу обеспечения сейсмической безопасности сооружений и оборудования электроэнергетических объектов образуют:

- методы и инструментальная база установления сейсмической опасности, определения расчётных сейсмических воздействий;

методы и технические средства анализа поведения объектов электроэнергетического комплекса (сооружений, энергетического и технологического оборудования, линий электропередач) при сейсмических воздействиях, установления соответствия уровня сейсмостойкости этих объектов нормативным требованиям, повышения их сейсмостойкости, в случае необходимости, до требуемого уровня;

методы и технические средства подготовки и тренировки эксплуатационного персонала к действиям в экстремальных ситуациях, вызванных землетрясениями.

За полтора десятилетия, определяющие временной диапазон настоящей работы, под руководством и при непосредственном участии её авторов существенное развитие на основе системного подхода получили все указанные выше составные части научно-технической базы рассматриваемой проблемы:

проведены отбор и усовершенствование методов оценки сейсмических и геодинамических условий, в том числе методов палеосейсмогеологических исследований и методов анализа данных инструментальных сейсмологических наблюдений;

разработан, опробован и внедрён рациональный комплекс методов инструментального обследования энергетических объектов и их оснований, использующий современные методы неразрушающего контроля (геофизические и геотехнические), а также данные натурных наблюдений;

ведётся разработка методики комплексной оценки сейсмического и геодинамического риска для энергообъектов с учётом региональных и локальных техноприродных факторов;

проведены исследования эффекта концентрации сейсмической энергии вокруг протяжённой подземной выработки при взаимодействии её с сейсмическими волнами и распространении последних вдоль выработки по своеобразному волноводу, образующемуся в окрестностях полости после её проходки. Разработаны обобщённые модели скоростного строения вмещающей среды, выявлены общие закономерности формирования поля упругих волн в окрестности горной выработки, получено оригинальное математическое решение задачи с использованием скалярных потенциалов. Показано, что интерференционные поверхностные волны распространяются вдоль выработки по спиральным линиям. При возбуждении колебаний достаточно короткими волнами, длина которых сопоставима с диаметром полости, увеличение динамических напряжений по сравнению с традиционным квазистатическим нагружением достигает 5 – 8 раз;

разработан, изготовлен и испытан современный компьютеризированный аппаратный комплекс для детальныи сейсмологических и сейсмометрических наблюдений, а также инструментального обследования объектов и их оснований, включающий:

автономный цифровой регистратор сейсмических событий АЦРСС; комплекс инженерно-сейсмометрических наблюдений КИСН; многоканальную цифровую переносную сейсморазведочную станцию СП-001;

компьютеризированную ультразвуковую аппаратуру УТА-96 и УТА-98, а также другие типы приборов (табл. 3).

Технические характеристики разработанной аппаратуры соответствуют лучшим мировым образцам. Разработанная аппаратура прошла испытания в производственных условиях и широко используется при проведении работ на объектах электроэнергетической отрасли в нашей стране (Саяно-Шушенская, Чиркейская, Иркутская и др. ГЭС, Сахалинская, Охинская, Южно-Сахалинская, Краснодарская и др. ТЭС, Центральная, Прохладная, Армавирская и др. ПС) и за рубежом (Индия, Ангола, Перу, Турция и др.);

разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее упростить и ускорить процессы измерений и обработки получаемой информации;

разработаны критерии сейсмостойкости подстанций и линий электропередач, предусматривающие оценку сохраняемости их функциональной работоспособности при расчётных сейсмических воздействиях; предложены антисейсмические мероприятия, повышающие сейсмостойкость подстанций и линий электропередач напряжением 110 – 500 кВ;

выработаны требования к сейсмостойкости оборудования и технологических систем электростанций, включая требования к определению расчетного землетрясения, расчетных сейсмических нагрузок на оборудование и назначению расчетных сочетаний нагрузок и воздействий;

проведены широкомасштабные стендовые испытания на больших виброплатформах электротехнического оборудования ОРУ и ПС напряжением 110 кВ и выше: воздушных выключателей, элегазовых комплектных распределительных устройств, разъединителей, ограничителей перенапряжений, шинных опор и др.;

усовершенствован расчётный аппарат для определения напряжённно-деформированного состояния бетонных и железобетонных сооружений как в рамках нормативного линейно-спектрального расчёта, так и с использованием соотношений волновой теории сейсмостойкости;

разработаны алгоритмы и пользовательские инструкции по моделированию нарушений сплошности, разрушения бетона и этапности возведения сооружений; выполнены нелинейные расчёты бетонной плотины на статические нагрузки и сейсмические воздействия с учётом возможности раскрытия контактного шва; разработаны предложения по критериям сейсмостойкости; даны рекомендации по выполнению расчётов при проектировании и проведении мониторинга действующих энергообъектов;

сформулированы требования к построению численных математических моделей для определения напряжённо-деформированного состояния грунтовых плотин при волновых сейсмических воздействиях; разработана трехмерная модель состояния многофазных грунтовых сред, базирующаяся на теории упругопластического течения с упрочнением; проведено развитие расчётного аппарата применительно к решению задачи определения напряжённо-деформированного состояния грунтовых плотин при сейсмических воздействиях с учётом взаимодействия плотины с основанием и водой водохранилища; даны рекомендации по назначению критериев сейсмостойкости; выполнены пространственные расчёты грунтовой плотины на статические нагрузки и волновые сейсмические воздействия;

впервые в мире выполнены модельные исследования сейсмостойкости плотин из армированного грунта, получивших в последние десятилетия широкое распространение во многих странах; в работе впервые сформулированы критерии подобия, разработаны методика и техника экспериментальных исследований на физических моделях плотин из армированного грунта при динамических воздействиях с доведением моделей до разрушения. Выполненные испытания позволили определить основные кинематические параметры (собственные частоты и формы, декременты колебаний, распределение ускорений) и характер разрушения сооружений из армированного грунта. Исходя из характера трещинообразования при сейсме, рекомендовано устройство эластичного экрана на верховой грани. Для повышения сейсмостойкости эксплуатируемых грунтовых плотин, имеющих дефицит устойчивости откосов при сейсмических воздействиях, предложено армировать неустойчивую упорную призму сваями, связанными по откосу ростверком из перекрёстных железобетонных балок;

разработана волновая расчётная методика для определения сейсмонапряжённого состояния и оценки сейсмостойкости основных строительных конструкций ТЭС: главных корпусов, эстакад топливоподач, фундаментов турбоагрегатов, башен градирен, дымовых труб и резервуаров для нефтепродуктов;

определены цели, задачи и основные положения геодинамического мониторинга на участках крупных энергетических объектов, а также состав нормативной и проектной документации;

разработан проект измерительной системы геодинамического мониторинга, включающий измерительные сети подсистем сейсмологического, сейсмометрического, геодезического и комплексного геофизического мониторинга, а также тестовые динамические испытания и обследования после прохождения сильных землетрясений;

разработан метод диагностического обследования гидротехнических сооружений путём измерения собственных малоамплитудных колебаний и тонкой математической обработки полученных результатов. Это оригинальная разработка, не имеющая аналогов в диагностике сооружений и позволяющая заменить дорогостоящие обследования с применением вибраторов. Для данного метода разработана структура измерительного блока регистрации собственных малоамплитудных колебаний плотины в широком диапазоне частот от 1 до 25 + 30 Гц, создан аналитический блок для анализа зарегистрированных колебаний, расчёта спектров, амплитудно-частотных характеристик, функций когерентности и др.;

проведены натурные динамические испытания плотины Чиркейской ГЭС методом собственных малоамплитудных колебаний с использованием специального программного обеспечения для обработки данных временных рядов, включая как предварительную обработку исходных данных, так и детальный анализ зарегистрированных колебаний. По результатам тестирования получена тонкая структура спектра собственных колебаний плотины и выделены области возможных дефектов в теле плотины.

За последние годы под руководством и при участии авторов разработано, подготовлено к изданию и во многом внедрено в производство значительное количество нормативно-методической литературы, относящейся к различным вопросам рассматриваемой проблемы.

Здесь можно перечислить лишь некоторые из них:

Рекомендации по составу и методике оценки сейсмических и геодинамических условий действующих энергетических объектов с использованием геоинформационных технологий. Эти рекомендации разграничивают по видам и объёмам сейсмогеологические исследования для различных типов и классов энергетических объектов, что позволяет с большей эффективностью проводить детальное сейсмическое районирование и оценку сейсмических условий для различных видов энергетических объектов (ГЭС, ТЭС, ПС, линий электропередач и др.).

Рекомендации по составу работ и методике комплексного обследования состояния оснований и сооружений действующих энергетических объектов.

Методические рекомендации по оперативному обследованию состояния элементов энергообъектов аппаратурой ультразвуковой томографии.

Методические указания по определению статических и динамических характеристик многофазных грунтов.

Методические рекомендации по обеспечению оперативного контроля сеймонапряжённого состояния бетонных плотин по записям кинематических параметров их колебаний при динамических воздействиях. Эти рекомендации содержат описание методики оперативно-го определения (без проведения трудоёмких и длительных расчётов) напряжённо-деформированного состояния бетонной плотины по инструментально зафиксированной на сооружении хронограмме сейсмособытия, характеристику соответствующего программного комплекса, инструкцию для пользователя и методический пример, распечатанный применительно к бетонной плотине контрфорсного типа Зейской ГЭС. Методика не имеет мировых аналогов.

Методические рекомендации по повышению сейсмостойкости земляных плотин методом армирования грунта.

Методические рекомендации по учёту эффекта распространения сейсмических волн вдоль протяжённых гидротехнических сооружений.

Методические рекомендации по учёту особенностей поведения гидросооружений при землетрясениях, построению динамических расчётных моделей и проведению антисейсмических мероприятий. В работе на основании аналитического обзора отечественных и зарубежных данных о поведении гидротехнических сооружений при землетрясениях, инцидентах, авариях и катастрофах, о характерных видах повреждений плотин, связанных с сейсмическими проявлениями, представлены возможные сценарии возникновения аварийных ситуаций на плотинах при сейсмических воздействиях; даны рекомендации по построению достоверных аналитических моделей «плотина-основание-водохранилище» для бетонных и грунтовых сооружений; приведены рекомендации по осуществлению конструктивных и иных мероприятий, направленных на повышение сейсмостойкости эксплуатируемых подпорных сооружений.

Рекомендации по оценке устойчивости гидротехнических сооружений с учётом изменения состояния грунтов при сейсмических воздействиях.

Руководство «Расчётная оценка сейсмостойкости строительных конструкций ТЭС». Положения данного Руководства устанавливают специальные требования к расчётному обоснованию сейсмостойкости строительных конструкций ТЭС, размещаемых в сейсмических районах с интенсивностью землетрясений 6 баллов и более. Даются определения основным терминам, используемым в расчётах по оценке сейсмостойкости строительных конструкций; излагаются требования к определению расчётной сейсмичности площадки и к выполнению расчётов с использованием линейно-спектральной и динамической теорий сейсмостойкости, а также некоторые конструктивные рекомендации как общего, так и частного характера (применительно к проектированию некоторых конкретных сооружений), разработанные на основании результатов расчётов строительных конструкций сооружений Партизанской, Артёмовской, Охинской, Сахалинской, Южно-Сахалинской и ряда других ТЭС, расположенных в сейсмически активных районах России.

Методическое пособие по аттестации сооружений и типового оборудования энергетических объектов на сейсмостойкость, ориентированное на обеспечение живучести энергообъектов при геодинамических воздействиях, бесперебойности энергоснабжения потребителей при землетрясениях, локализации и минимизации повреждений оборудования, сооружений и электросетей, предупреждения катастрофических последствий и гибели населения как при разрушении сооружений, так и вследствие нарушений энергоснабжения. Методическое пособие впервые решает задачу установления единого подхода при оценке сейсмостойкости действующих объектов энергетической отрасли. Документ регламентирует методы и аппаратуру, применяемые при обследованиях и аттестации на сейсмостойкость строительных конструкций и сооружений, их оснований и фундаментов, а также оборудования энергетических объектов и линий электропередачи;

Рекомендации по определению нагрузок на оборудование при сейсмическом воздействии. В рекомендациях определены состав нагрузок, принимаемых во внимание при расчётах сейсмостойкости оборудования, приведены зависимости для вычисления сейсмических нагрузок, даны рекомендации по определению статических нагрузок и воздействий, подлежащих учёту в сочетании с сейсмическими нагрузками для оборудования различных видов;

Сборник технических решений для проектирования сейсмостойких электросетевых объектов. Представлены технические решения и рабочие чертежи по установке электротехнического оборудова-

ния, выполнению строительных конструкций, зданий и сооружений электросетевых объектов, проектируемых для регионов с повышенной сейсмичностью. Работа свидетельствует, что во многих случаях зависимость электроэнергетической отрасли от наличия сейсмостойкого оборудования для ОРУ и подстанций может быть снижена путём установки обычного серийного оборудования с применением специальных технических решений по повышению его сейсмостойкости;

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Правила регламентируют порядок эксплуатации гидротехнических сооружений, гидротурбинных установок, тепломеханического и электрического оборудования электростанций и сетей, в том числе расположенных в районах повышенной сейсмической опасности;

3. Комплекс работ по уточнению сейсмических условий, определению расчетных сейсмических воздействий и инструментальному обследованию объектов

Необходимость выполнения работ по уточнению сейсмических условий действующих энергообъектов вызвана зачастую невысокой надежностью оценок сейсмичности районов строительства, связанной с несовершенством методик оценки долговременной сейсмической опасности, принятых при проектировании ряда энергообъектов, а так же с тем, что на многих объектах не были проведены специальные детальные исследования. Так, например, катастрофическое Нефтегорское землетрясение 1995 г. на Сахалине с магнитудой 7,3 и интенсивностью до 9 баллов, практически полностью разрушившее поселок Нефтегорск, произошло в районе, отнесенном к 7-балльной зоне. Детальные исследования сейсмотектоники этого района, в том числе выполненные Центром службы геодинимических наблюдений в электроэнергетической отрасли, свидетельствуют, что сильные землетрясения, аналогичные Нефтегорскому, неоднократно происходили в этом районе с периодом повторяемости от 400 до 2500 лет (для разных сейсмогенерирующих структур), причём последнее произошло около 1000 лет тому назад. И если бы такие исследования были проведены здесь ранее, то очевидно, что при выборе места для поселка и его строительстве можно было бы реально оценить сейсмические условия и принять соответствующие меры.

Аналогичными примерами недооценки степени сейсмической опасности являются районы Спитакского (1988 г.), Рачинского (1991 г.), Барисахского (1992 г.) 9-балльных землетрясений на Кавказе, произошедших в 7-балльных зонах, а также Хаилинского (1991)

землетрясения в Карякии, катастрофических землетрясений 1995 г. в Кобе (Япония) и 1999 г. на Тайване. Во всех этих случаях фактическая интенсивность сотрясений на 1 – 3 балла превосходила нормативную.

В табл. 1 приведен перечень объектов, на которых такие исследования были проведены организациями РАО «ЕЭС России» за последние 15 лет.

При решении задач по оценке сейсмических условий участков строительства конкретных гидроузлов, расположенных в высокосейсмичных районах, специалистами Института Гидропроект разработана методика работ, позволяющая оптимизировать состав и методы исследований и сосредотачивать усилия на ключевых направлениях. При этом использованы результаты работ Института физики Земли РАН по совершенствованию карт общего и детального сейсмического районирования, выявлению и прогнозу развития потенциальных очагов землетрясений с учётом динамики сейсмического и деформационного процесса. Это дало возможность получать необходимую информацию при минимуме затрат и в достаточно короткие сроки, что оказалось весьма актуальным при сокращении сроков проектирования новых объектов и при проведении работ по уточнению сейсмических условий эксплуатируемых сооружений.

Основными элементами этой методики являются:

максимально полный учет данных о сильных землетрясениях, происходивших на исследуемой территории за возможно более длительный период времени, сопоставимый с периодом повторяемости сильных землетрясений. Для этого наряду с анализом инструментальных и исторических сведений большое внимание уделяется палеосейсмологическим исследованиям;

тщательный анализ инструментальных сейсмологических данных и очистка каталогов землетрясений от взрывов;

выделение сейсмогенерирующих зон на основе комплексного анализа всех имеющихся сейсмологических и геолого-геофизических данных с использованием как вероятностного, так и детерминистского подходов;

использование комплекса исходных данных (положение основных сейсмогенерирующих зон, их сейсмический потенциал (M_{max}), распределение очагов по глубине для каждой из зон, наиболее вероятные типы подвижек в очагах, характеристики затухания сейсмических колебаний) для определения расчётных сейсмических воздействий;

создание и постоянное обновление баз данных по различным параметрам опасных геодинамических процессов — каталогов зем-

Таблица 1

Перечень основных энергетических объектов, на которых в 1986 – 1999 гг. организациями РАО «ЕЭС России» проводились исследования по обеспечению их сейсмической безопасности

Наименование объектов	Уточненная сейсмичность в баллах шкалы MSK-64 (в скобках - ее приращение к проектной)	Виды работ, выполненных ЦСГНЭО и другими организациями РАО "ЕЭС России"			
		Уточнение сейсмических условий	Инструментальное обследование	Повторные расчеты сейсмостойкости	
1	2	3	4	5	
Российская Федерация					
Чиркейская ГЭС	***	9 (1)	+	+	+
Миатлинская ГЭС	***	9-9.5 (1-1.5)	+	+	+
Чир-Юртская ГЭС	***	9-9.5 (2-2.5)	+	+	
Гергемильская ГЭС	***	8 (2)	+	+	+
Краснодарская ТЭЦ	***	7 (1)	+	+	
Краснополянская ГЭС	***	9 (2)	+	+	
Верхнекрасногорская	***				+
Майкопская ГЭС	***	7.5 (1.5)	+	+	
Белореченская ГЭС	***	7 (1)	+	+	
Саяно-Шушенская ГЭС	***	8 (1)	+	+	+
Иркутская ГЭС	***	8-9	+	+	+
Красноярская ГЭС	***	7 (2)	+	+	+
Зейская ГЭС	***	9 (2)	+	+	+
Колымская ГЭС	***	7 (1)	+	+	+
Охинская ТЭЦ	***	9 (3)	+	+	+
Сахалинская ГРЭС	***	9 (2)	+	+	+
Южно-Сахалинская ТЭЦ-1	***	9 (2)	+	+	+
Артемовская ГРЭС	***	7-8 (1-2)	+		+
Партизанская ГРЭС	***	7-8 (1)	+		+
Широковская ГЭС	***	6 (1)	+		
Камская ГЭС	***	6.5 (1.5)	+		+
Пермская ГРЭС	***	6.5 (1.5)	+		
Ирганайская ГЭС	**	8 (1)	+		+

Продолжение таблицы 1.

1		2	3	4	5
Богучанская ГЭС	**	6-7 (1-2)	+		
Зарамгская ГЭС	**	9 (2)	+		
Усть-Средниканская ГЭС	*	8 ((1)	+		+
Тельмамская ГЭС	*	7	+		+
Тихорецкая ПС-500 в	***	7	+	+	+
Центральная ПС-500 в	***	7	+	+	+
Армавирская ПС-330 в	***	6	+	+	+
Страны СНГ					
Нурекская ГЭС	***	8	+		+
Токтогульская ГЭС	***	9			+
Ингульская ГЭС	***	9	+	+	+
Рогунская ГЭС	**	9	+		+
Камбаратинские ГЭС	**	9 (1)	+		
Майнакская ГЭС	**	9-10 (1)	+		
Зарубежные объекты					
ГЭСТери (Индия)	**	9	+		+
ГЭС отешвар (Индия)	*	9	+		+
ГЭСМерове (Судан)	*	7 (2)	+		+
Г/У Тилездит (Алжир)	**	9 (2)	+		
ГЭСЯли (Вьетнам)	**	7	+		+

Примечание: *** — эксплуатируемые; ** — строящиеся; * — проектируемые объекты

летрясений, баз данных по параметрам сейсмических воздействий, сейсмогенных разрывов и т.д;

учёт особенностей волнового поля на участке расположения объекта и влияния на него локальных геологических условий и рельефа.

При поиске палеосейсмодислокаций и выделении потенциально активных разрывных нарушений в Центре службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли (ЦСГНЭО) широко используются аэрофотоснимки и космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения, благодаря чему обеспечивается высокая и равномерная изученность исследуемых территорий, в том числе расположенных в удаленных и труднодоступных районах, например Сибири и Дальнего Востока. Применение дистан-

ционных методов позволяет без пропусков выявлять «подозрительные» геологические структуры и формы рельефа, оптимальным образом планировать полевые сейсмогеологические работы. Важнейшим элементом полевых палеосейсмогеологических исследований является вскрытие выявленных молодых разрывов траншеями (или зачистка существующих обнажений) и детальное изучение их строения с отбором образцов для определения абсолютного возраста палеоземлетрясений. Такие работы начаты в Гидропроекте в конце 80-х годов.

При оценке магнитуд сейсмических событий используются различные методические приемы, в том числе разработанные в ЦСГНЭО и основанные на анализе наиболее полной на сегодня базы данных по разрывам современных землетрясений, содержащей сведения о сейсмогенных разрывах более чем 300 землетрясений всего мира.

При анализе данных инструментальных сейсмологических наблюдений в обязательном порядке проводится очистка каталогов землетрясений от сейсмических событий искусственного происхождения (взрывов), что существенно повышает надежность и достоверность инструментальной сейсмологической информации. Разработанные в ЦСГНЭО методы и технические приемы подобной «очистки» исходных сейсмологических данных (от сводных каталогов до бюллетеней отдельных станций и сейсмограмм конкретных событий) позволили резко повысить достоверность интерпретации сейсмологических материалов и улучшить надежность оценок параметров сейсмического режима.

В ЦСГНЭО разработан комплекс сейсмологической аппаратуры АЦРСС, предназначенный для наблюдений за сейсмичностью в районах расположения энергообъектов при уточнении сейсмических условий, сейсмическом микрорайонировании, а также режимных сейсмологических и сейсмометрических наблюдений на геодинамических полигонах.

Разработаны методы изучения влияния рельефа (так называемого «каньонного эффекта») на интенсивность сейсмического воздействия и его учёта при проектировании сооружений в условиях горного рельефа. Результаты этих исследований позволяют существенно уточнить параметры расчетных сейсмических воздействий в основаниях высоких плотин и тем самым повысить надежность проектируемых сооружений.

Для определения расчетных сейсмических воздействий на уникальные объекты в ЦСГНЭО разработана методика, основанная на

сочетании генетического (детерминистского) и вероятностного подходов, причем на различных этапах исследований применяется сочетание результатов экспериментальных (полевых) и расчетных методов, математическое моделирование на ЭВМ и экспертные оценки.

По характеристикам зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ) в районе строительства, а именно магнитуды наиболее сильного из землетрясений $M_{max} \pm \delta M$, его глубины $h \pm \delta h$, вероятного типа подвижки в очаге и его локализации относительно строящегося сооружения, устанавливаются основные типы расчетных воздействий, определяются так называемые «фоновые» (исходные) параметры колебаний на участке строительства.

На следующем этапе рассчитываются параметры сейсмических движений грунта на заданном участке для основных характерных типов возможных воздействий из окружающих зон ВОЗ с учётом локальных поверхностных инженерно-геологических условий, рельефа местности, а также глубинных геолого-геофизических условий и углов подхода волн. Для этого строятся геолого-геофизические модели среды.

Основными параметрами, характеризующими движения грунта, являются:

максимальная (пиковая) амплитуда ускорений A_{max} ;

преобладающий период максимальных ускорений T_{max} ;

продолжительность колебаний τ общая и относительная на заданных уровнях от максимальной интенсивности, обычно $\tau_{0,5}$ или $\tau_{0,3}$.

Эти параметры отвечают записям ускорений движения поверхности грунта — акселерограммам, то есть временной форме представления процесса колебаний. В некоторых случаях используются также записи скорости движения или смещения грунта: параметры велосигаммы (соответственно V_{max} , T_{Vmax} , τ_v) или сейсмограммы (d_{max} , T_{dmax} , τ_d). Моделью расчётного сейсмического воздействия считается набор расчетных акселерограмм, задающих основные характерные типы сейсмических движений грунта при сильнейших землетрясениях в окружающих площадку зонах ВОЗ.

В зависимости от региональных и локальных условий, количества и качества исходных данных и типа объекта применяются различные методики расчётов конкретных параметров или их модификации.

По расчётным параметрам сейсмических воздействий с учетом коэффициентов спектрального усиления на каждой частоте моделируются акселерограммы и рассчитываются соответствующие им спектры действия в основаниях сооружений при воздействиях

из ближних и удаленных зон землетрясений, строится обобщённый спектр действия для конкретного участка строительства или основания конкретного объекта.

Расчётные сейсмические воздействия, позволяющие учесть как региональные, так и локальные сеймотектонические и инженерно-геологические особенности оснований гидротехнических, энергетических и других сооружений, определены ЦСГНЭО АО «Институт Гидропроект» для многих объектов России и за её пределами, что позволило обеспечить расчеты их сейсмостойкости необходимыми исходными данными. По этой методике рассчитывались также сейсмические воздействия для площадок размещения оборудования ГЭС и ТЭЦ (ОРУ-500 Кв, подстанции, подъемные краны, трансформаторы и др.).

Основные положения и рекомендации данной методики учтены при составлении ведомственных и государственных нормативов и стандартов на изыскания, проектирование сейсмостойких гидротехнических сооружений и электротехнического оборудования.

Разработан и внедрен комплекс методов для оценки реального состояния и свойств эксплуатируемых энергообъектов, что обусловлено существенным влиянием этих факторов на сейсмостойкость объектов и значительным их изменением в процессе эксплуатации сооружений. Для проведения этих работ используется комплекс аппаратуры, специальных методик и соответствующих программных средств, часть из которых разработана в рамках отраслевых научно-технических программ и защищена авторскими свидетельствами. Перечень основных задач обследований и применяемых методов приведен в табл. 2.

Базовыми методами при инструментальных обследованиях объектов являются:

метод многоточечного сейсмического просвечивания (сейсмической томографии) различных участков основания, тела плотины и отдельных конструктивных элементов сооружений на проходящих продольных (P) и поперечных (S) волнах. Данные этого вида исследований, отображая пространственную изменчивость в сооружении скоростей упругих волн (величин V_p и V_s), являются основой для получения количественных показателей свойств и состояния различных частей обследуемого объекта и выделения в нём различных «дефектных» зон;

площадные электрометрические исследования методами ЭП, ЕП и ВЭЗ (КВЭЗ) и режимные термометрические наблюдения в пьезометрических и специально оборудованных скважинах. По материалам этих исследований выявляются и трассируются зоны

Таблица 2

Типовые задачи обследований и геофизические методы их решения

№№ п/п	Задачи	Геофизические методы и методики, используемые при решении задач	Применяемая аппаратура
1	2	3	4
1	<p>Контроль качества строительных работ</p> <p>1.1. Контроль за качеством уплотнения грунтов, укладываемых в напорные сооружения.</p> <p>1.2. Контроль за качеством инъекционных работ.</p> <p>1.3. Контроль качества строительных материалов.</p> <p>1.4. Контроль за взрывным воздействием на сооружение и его основание.</p>	<p>Детальный сейсмический мониторинг грунтовых плотин в процессе отсыпки.</p> <p>Сейсмоакустическое просвечивание между скважинами на участке цементационной завесы, комплексный каротаж.</p> <p>Ультразвуковые обследования бетонных и железобетонных конструкций.</p> <p>Контроль скоростей смещений при взрывных воздействиях.</p> <p>Контроль параметров ближней зоны взрывного воздействия.</p>	<p>СП-001</p> <p>П-001 Серийная каротажная аппаратура УКА-98</p> <p>АЦРСС</p> <p>СП-001</p>
2	<p>Оценка состояния сооружений и строительных конструкций</p> <p>2.1. Диагностическое обследование объектов.</p> <p>Оценка упругих, деформационных и прочностных свойств материала сооружений.</p> <p>Определение плотностных свойств грунтовых сооружений.</p> <p>Выделение мест протечек и сосредоточенной фильтрации.</p>	<p>Разночастотные сейсмоакустические измерения по методике профилирования и просвечивания.</p> <p>Электрометрические измерения с применением методов ЭП, ВЭЗ, ЕП и др.</p> <p>Различные виды каротажа.</p>	<p>СП - 001, УКА - 98</p> <p>Серийная аппаратура</p>

1	2	3	4
	<p>Определение собственных частот колебаний сооружений и декрементов затухания.</p> <p>2.2. Обследование контакта сооружений с вмещающим грунтовым массивом.</p> <p>Выявление заоблицовочных пустот и дефектов в обделке туннелей и др. подземных сооружений.</p> <p>Контроль качества контакта основания с породой.</p> <p>2.3. Контроль качества и оценка свойств фундаментов сооружений.</p> <p>Оценка глубины заложения и сплошности свай.</p> <p>Оценка глубины заложения и физико-механических свойств фундаментов.</p>	<p>Динамическое тестирование методом собственных малоамплитудных колебаний (МСМ).</p> <p>Сейсмоакустические исследования.</p> <p>Метод динамического отклика (МДО).</p> <p>Метод дифракционной сейсмической томографии.</p> <p>Сейсмические и ультразвуковые исследования с использованием прямых, отраженных и проходящих волн.</p>	<p>СП - 001 АЦРСС</p> <p>СП - 001 УКА - 98 СП - 001</p> <p>СП - 001</p> <p>СП - 001 УКА - 98</p>

фильтрации и инфильтрации, участки различной плотности и разного напряжённо-деформированного состояния сооружений;
ультразвуковые исследования оснований и строительных конструкций;

метод динамического отклика (МДО), используемый для выявления дефектов и пустот в заоблицовочном пространстве в подземных сооружениях и контроля качества контакта сооружений с вмещающими массивами горных пород .

Некоторые примеры использования перечисленных методов при проведении инструментальных обследований действующих энергообъектов представлены на рис. 2 – 4 на цветной вкладке.

При проведении обследований указанными методами используется как стандартная, выпускаемая отечественной промышленностью, так и специальная, разработанная и изготовленная в ЦСГНЭО, геофизическая аппаратура. Перечень этой аппаратуры и её основные технические характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3

Общие характеристики аппаратуры, разработанной в ЦСГНЭО для инженерных изысканий и обследования энергообъектов

Наименование аппаратуры	Основные технические характеристики				
	Количество каналов	Динамический диапазон, дБ	Частотный диапазон, Гц	Частота оцифровки, Гц	Длина записи
1	2	3	4	5	6
Переносная цифровая станция для сейсморазведки СП 001	24	100	5+2500	0,1 ms	4096 отс.
Ультразвуковая аппаратура УК-98	7	> 60	5000 + 100000	0,1 mks	4096 отс.
Автономный цифровой регистратор сейсмических событий	3	120	0,5 +40	12,5 ms	45 мин.
Регистратор акустической эмиссии	1	100	10 +25	1 с +2 часа	144 отс.
Комплекс инженерно-сейсмических наблюдений - КИСН *	32	90	0,5+25	0,2	4096 отс.
Аппаратура регистрации собственных малоамплитудных колебаний	24	< 80	0,5+100	250	60 + 90 мин.

*) КИСН разработан в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» при участии специалистов ЦСГНЭО

При обследовании подземных энергетических сооружений, и в частности гидротехнических тоннелей, одним из принципиальных вопросов является изучение контакта облицовки с породой, выявление и характеристика заоблицовочных пустот, которые могли образоваться в процессе эксплуатации объекта. Для этих целей разработан и внедрён на ряде объектов метод динамического отклика, использующий особенности реакции облицовки на импульсное динамическое воздействие. В основе метода лежит представление о существенном различии механизмов колебаний дефектных и нормальных участков конструкции, что сказывается на форме и ряде параметров зарегистрированного сигнала.

Эффективным методом диагностики энергетических объектов является и метод собственных малоамплитудных колебаний (МСМК). Метод основан на изучении реакции сооружений на вибрационные

воздействия, вызываемые различными природными и техногенными факторами, такими как микросейсмы, ветровые нагрузки, вибрации гидроагрегатов и др. Он использует математический аппарат из теории обработки стационарных сигналов, позволяющий получать картину пространственного распределения амплитуд и фаз колебаний сооружения на основе последовательной регистрации колебаний в различных его частях. В результате обследования сооружений этим методом определяются реальные значения различных форм и декрементов затухания колебаний объекта. Сопоставляя их с расчётными величинами тех же параметров, можно оценить текущее состояние объекта и выявить участки, где его свойства или напряжённо-деформированное состояние отличаются от проектного.

За период с 1986 г. перечисленный комплекс методов применён при обследовании целого ряда энергетических объектов как в РФ, так и в странах СНГ (перечень наиболее крупных из них приведён в табл. 1). Полученные при этом результаты подтвердили обоснованность и достаточность используемого комплекса исследований, а также высокую эффективность предложенной технологии получения исходной информации, необходимой для проведения поверочных расчётов сейсмостойкости сооружений.

4. Совершенствование методов анализа, оценки и повышения сейсмостойкости электроэнергетического оборудования

Описания многочисленных аварий в энергосистемах различных стран при землетрясениях свидетельствуют о том, что наиболее часто эти аварии происходили из-за отказов электротехнического оборудования подстанций (ПС) и открытых распределительных устройств. При этом экономический ущерб от прерывания нагрузки в сетях зачастую превышает прямой ущерб от повреждения оборудования. Характерны последствия землетрясения 1990 г в Молдавии: при сейсмическом воздействии менее 7 баллов значительных механических повреждений на ПС не было, однако низкая функциональная сейсмическая устойчивость оборудования привела к существенным потерям в электроснабжении (отключились 47 ЛЭП, 44 ПС, обесточились 157 населенных пунктов и т.д.). Подстанции и сети - энергетические артерии, охватывающие значительные территории, поэтому практически любое землетрясение в данном регионе приводит к повреждениям в энергосистеме и перебоям в снабжении потребителей, в то время как генерирующие станции могут остаться невредимыми.

Сравнение последствий землетрясения в Армении (1988 г.), где на объектах Раздана, Ленинакана, Кировакана и Спитака фактически не были приняты соответствующие антисейсмические меры

(табл. 4), с последствиями землетрясения в Калифорнии (США, 1989 г.), где сейсмостойкости энергетических объектов уделялось много внимания, показало, что в обоих случаях имели место значительные разрушения электротехнического оборудования (ЭТО). Таким образом, решение проблемы сейсмостойкости ЭТО оказалось значительно сложнее, чем представлялось ранее.

Анализ последствий сейсмического воздействия на электросетевые энергообъекты показал, что наибольшие разрушения приходятся на высоковольтное оборудование подстанций, электроцеха ТЭС и ГЭС, включая их здания и сооружения.

Наиболее характерными повреждениями электротехнического оборудования на электроподстанциях при землетрясениях являются:

повреждение ВВ вводов, поломка кареток и катков, повреждение днища баков вследствие смещения трансформаторов с мест их установки (рис. 5);

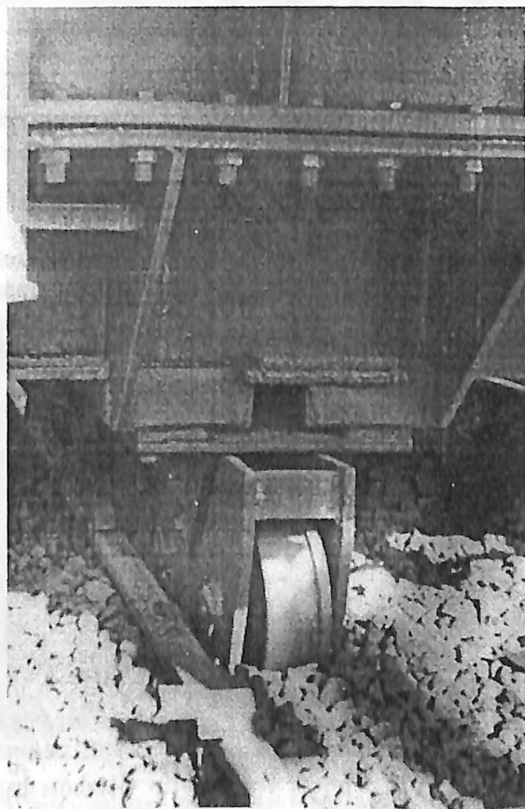


Рис. 5. Смещение и сход трансформатора с рельс (Спитак, Армения)

Таблица 4

Сводная таблица повреждений оборудования на обследованных подстанциях Армении после землетрясения 1988 г.

Наименование и тип оборудования	Тип подстанций						Характер повреждения
	220 кВ		110 кВ		35 кВ		
	уст.*	пов.*	уст.*	пов.*	уст.*	пов.*	
1	2	3	4	5	6	7	8
Трансформаторы	8	2	10	7	4		Сброс с рельсов повреждение вводов и баков
Выключатели							
ВВН	23	6	28	-	2	-	Трещины в изоляторе Падение со стоек
ВВБ	6	1	-	-	-	-	
ВВД	2	-	-	-	-	-	
МВЛ	-	-	20	-	-	-	
О	-	-	-	-	13	-	
Разъединители							
РДЗ	17	-	-	-	-	-	Излом колодок изоляторов 6 ХОТ 35 Излом колодок изоляторов 4Х ИНД 35
РДШ	-	-	91	-	35	-	
РТОНЗ-У	2	-	-	-	-	-	
РНЦЛ-У	58	48	-	-	-	-	
РОНЗ	28	26	72	-	2	-	
Отделители ОД	-	-	11	-	-	-	
Трансформаторы тока							
ТФЗМ	5	2	-	-	-	-	Падение с опор
ТФНД	42	-	57	-	5	-	
Трансформаторы напряжения							
НКФ	10	-	1	1	-	-	Излом фарфора в нижней части Излом фарфора в нижней части
НОМ	-	-	-	-	5	-	
Разрядники:							
РТО	4	1	24	5	8	-	
РВНГ	10	5	-	-	-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8
Конденсаторы связи							
ОМР	19	-	25	2	2	-	Излом фарфора в нижней части
В т.ч.заградители							
ВЗ	19	-	25	-	2	-	
Реакторы конденсаторной батареи							
БЗ	-	-	3	3	-	-	Излом опорного изолятора

* уст. — установлено; пов. — повреждено.

повреждения трансформаторов, связанные со смещением активных частей внутри баков;
повреждение воздушных и масляных выключателей с поломкой фарфоровых колонок (рис. 6.);
повреждение разъединителей с разрушением опорных колонок;
разрушение разрядников 110 и 220 кВ;
разрушение нижних опор;
разрушение аккумуляторных батарей.

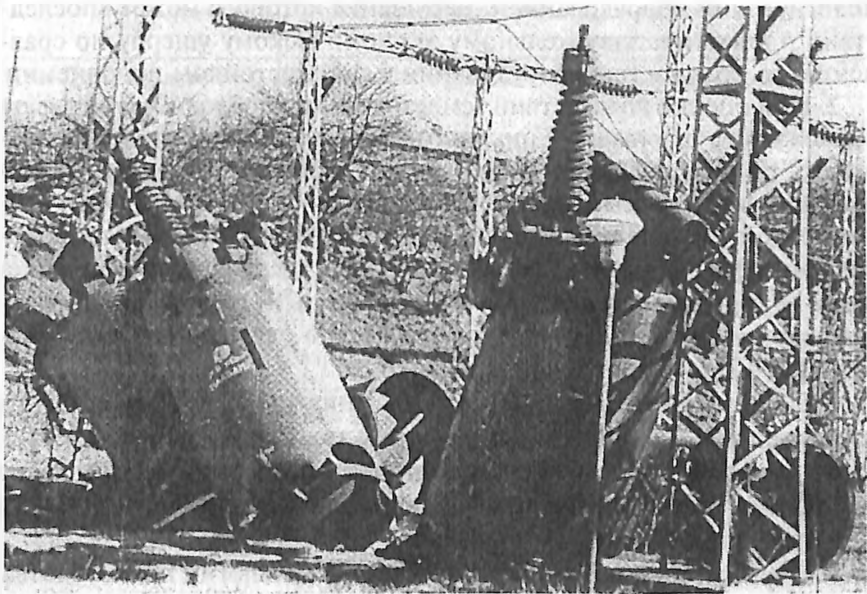


Рис.6. Разрушенные масляные выключатели на 110 кВ
(Спитак, Армения)

Что касается опор линий электропередачи (ЛЭП), то основными причинами их повреждений являются оползни и камнепады.

Все повреждения электротехнического оборудования в зависимости от причин их вызывающих могут быть сведены к трем типам: повреждение силовых трансформаторов и аккумуляторных батарей, вызываемое действием инерционных сил;

повреждение фарфора изоляторов вследствие увеличения нагрузок, вызванных резонансными свойствами как самого аппарата, так и опорной конструкции (разрядники, разъединители, выключатели);

повреждения из-за увеличения сил растяжения жесткой (полужесткой) ошиновки, вызванных смещением оборудования (вводов трансформаторов, шинных опор, выключателей).

Общее представление о характере повреждений типового электротехнического оборудования, установленного на электроподстанциях, можно получить на основании анализа таблиц 4 и 5, где представлены данные обследования повреждений оборудования на ряде объектов. При прогнозе возможных повреждений при землетрясениях энергообъектов и оборудования, а также при оценке их последствий целесообразно учитывать следующие обстоятельства:

1. Аварийные ситуации на энергообъектах, инициированные землетрясениями, часто вызываются сейсмически малостойким технологическим оборудованием, нарушение которого может впоследствии привести к значительному экономическому ущербу по сравнению со стоимостью оборудования в сейсмостойком исполнении.

2. При оценке последствий землетрясений необходимо учитывать возможность проявлений пикового ускорения, которое может превысить расчетное (проектное) значение. Это обстоятельство может иметь весьма тяжелые последствия вне зависимости от уровня сейсмической защиты оборудования (например, разрушение высоковольтных фарфоровых изоляторов силовых трансформаторов может повлечь короткое замыкание и отключение ЛЭП, разрушение трубопроводов может вызвать аварийный разлив опасных веществ с образованием пожароопасной среды и т.п.).

3. По своим последствиям землетрясения вызывают повреждения и разрушения, во многом аналогичные последствиям воздействий иной природы (например, взрывов), что может быть использовано для оценки степени разрушений при землетрясениях и выработки мер противодействия.

4. Энергоустановки (в силу специфики технологии производства, преобразования и распределения затрат) сами являются потенциальными источниками более обширных зон разрушений вследствие

Таблица 5

**Характерные примеры повреждения электротехнического оборудования
ОРУ и ПС при землетрясениях**

Землетрясение	Оборудование	Характеристика повреждения
1	2	3
Джамбульское землетрясение в мае 1971 г., интенсивность 7 баллов	Разрядники РВС-110, 35, 10 кВ Маслонаполненный ввод ВМГ/15 110/600 Выключатели МГ-110 Изоляторы на РЛНД-220	Изломы у нижних фланцев Разрушения от усилий натяжения
Газлийское землетрясение в апреле 1976 г., интенсивность до 8 баллов	Разрядники РВС-110 Шкафы КРУН-10 Стойки УСО	Изломы у нижних фланцев Смещения с фундаментов Отклонения от вертикали
Газлийское землетрясение в мае 1976 г.	Разрядники РВС-110 Разъединители РНДЗ-35, РНДЗ-110 Силовые трансформаторы Проходные изоляторы 110 кВ	Изломы у нижних фланцев Смещения со сходом с рельс Трещинообразование с разрушением
Кум-Дагское землетрясение в мае 1983 г., интенсивность 7-8 баллов	Выключатели ВН-35 Аккумуляторные батареи	Отказ из-за перекоса ножей Расплескивание электролита, разрушение
Газлийское землетрясение в марте 1982 г., интенсивность более 8 баллов	Разрядники РВС-110 Вводы ПНТ-10/1000, 35/400 Масляный выключатель МКП-110	Разрушение от усилий натяжения
Кайраккумское землетрясение в октябре 1985 г., интенсивность 7-8 баллов	Разрядники РВМГ-220, РВС-220, РВС-110, РВС-35 Разъединители РДНЗ-220, РЛН-110 Трансформаторы напряжений НКФ-220 Трансформатор ТДТН-1600/110 Вводы 110 кВ	Изломы у нижних фланцев Разрушены из-за излома нижних фланцев Повреждения вводов из-за смещения Разрушение от усилий натяжения

1	2	3
Молдавское землетрясение в сентябре 1986 г., интенсивность 7 - 8 баллов	Разъединители РНД-1-500-2000 Вводы 110 кВ МКП-110 Опорные изоляторы ИОС-110/400 Проходные изоляторы ИП-10/2000 Банки аккумуляторных батарей Трансформатор 110 кВ Изоляторы ИОС-110 Аккумуляторные батареи Разъединители 330 кВ	Разрушение опорной изоляции Разрушение крепления банок Сход с рельс Разрушение опорной изоляции Разрушение крепления банок Разрушение опорной изоляции
Молдавское землетрясение в мае 1990г. Интенсивность 6-7 баллов	Силовые трансформаторы 35-110 кВ	Массовые отключения из-за ложного срабатывания газовой защиты
Суусамырское землетрясение 08.92 г. Интенсивность на площадках ОРУ и ПС — 6 - 7 баллов	Разъединители РЛНД - 500-2000 Ограничители ОПН-500 Силовые трансформаторы 111 кВ 25000 кВА	Расхождение ламелей Разрушения в изоляции, приведшие к взрыву при включении Смещение вместе с фундаментными плитами
Калифорнийское землетрясение 10.87	Элегазовые выключатели 220 кВ Разрядники	Утечка элегаза Падение

возможных пожаров, взрывов, затоплений и т.п., что также накладывает особые требования на обеспечение сейсмической безопасности этих объектов.

В течение ряда лет на экспериментальной базе ВНИИГ проводились работы по проверке фактической и обеспечению заданной сейсмостойкости электротехнического оборудования ОРУ и ПС классов 110 кВ и выше методом стендовых испытаний действующих и вновь разрабатываемых образцов на большегрузных виброплатформах. Были проведены испытания для оборудования, выпускаемого ведущими предприятиями России: воздушные выключатели 110, 220 кВ и 500 кВ, элегазовые комплектные распределительные устрой-

ства КРУЭ 220, 500 кВ, шинные опоры, разъединители 220, 330 кВ, ограничители перенапряжений 110 и 220 кВ. Иллюстрацией таких испытаний является фотография, приведенная на рис. 7.

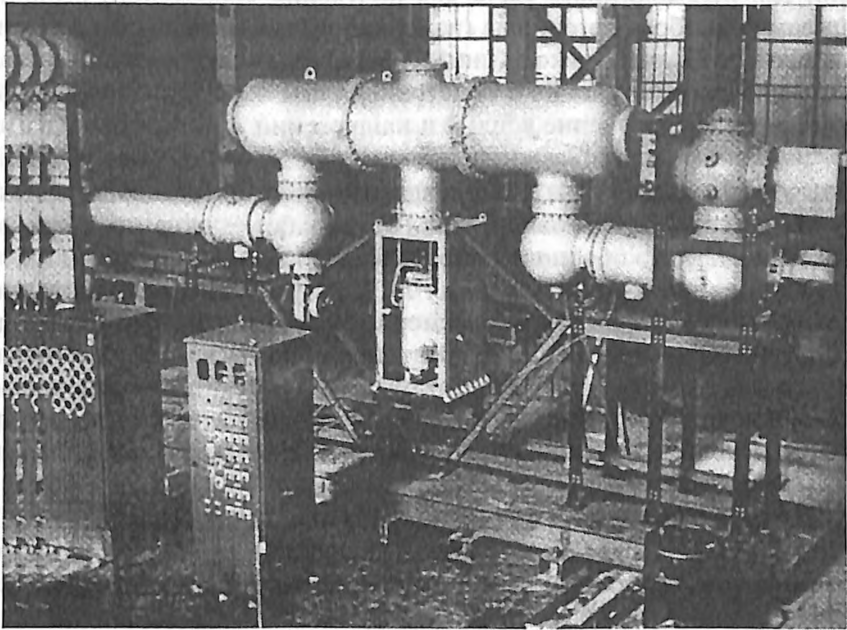


Рис. 7. Стендовые испытания на сейсмостойкость полюса элегазовой ячейки ЯЭУС-220Л.

На основе обобщения опыта стендовых испытаний ведущих организаций Минэнерго РФ, разработан отраслевой Руководящий документ РАО ЕЭС России «Общие требования и методы испытаний на сейсмостойкость оборудования тепловых электростанций, открытых распределительных устройств, подстанций и линий электропередач». В этом документе динамические нагрузки, создаваемые виброплатформой, регламентируются спектрами ответа и максимальными ускорениями, нормированными по интенсивности землетрясения.

5. Совершенствование методов анализа, оценки и повышения сейсмостойкости энергетических сооружений

Существующие методы расчёта на сейсмическое воздействие, базирующиеся на соотношениях линейно-спектральной теории сейсмостойкости (ЛСТ), имеют целый ряд ограничений и недостатков. Среди них: приближённое представление сейсмического воздействия посредством коэффициентов ускорения и динамичности; зависи-

мость результатов расчёта от размеров принимаемого во внимание блока основания; плохая сходимость решения при учёте инерционности основания и существенная погрешность расчёта при пренебрежении ею; необходимость учёта для получения корректного решения чрезвычайно большого числа (измеряемого десятками и даже сотнями) форм собственных колебаний; приближённость способа учёта взаимодействия сооружения с водохранилищем через присоединённые массы воды; осреднение усилий и напряжений и потеря их знака.

Эти, а также не отмеченные здесь недостатки нормативной ЛСТ послужили основанием для проведения научно-исследовательских работ по совершенствованию ЛСТ и разработке динамических методов расчётного обоснования сейсмостойкости.

В рамках совершенствования ЛСТ разработаны методы и программы для учёта в двух- и трёхмерной постановке взаимодействия сооружения с инерционным податливым основанием, обоснованы минимальные размеры расчётного блока основания, обеспечивающие однозначность решения задачи, получены корректные формулы суммирования усилий и напряжений, соответствующих отдельным формам колебаний.

В рамках динамической (волновой) теории сейсмостойкости (ДТ) разработаны методы и программы, реализующие определение реакции двух- и трёхмерных систем «сооружение — основание — водохранилище» на сейсмическое воздействие путём численного решения системы уравнений, включающей:

уравнения динамического равновесия (движения) системы «сооружение — основание»:

$$K_u + C_v + M_w = R(t),$$

где K , C , M — соответственно матрицы жёсткости, демпфирования и масс; u , v , w — перемещения, скорости и ускорения в узлах численной аппроксимации; $R(t)$ — вектор сейсмической нагрузки;

уравнения состояния, определяющие связь между деформациями и напряжениями в материалах сооружения и основания;

геометрические уравнения, связывающие перемещения и деформации.

Сейсмическое воздействие в ДТ задается расчетными (синтезированными или аналоговыми) записями землетрясений (акселерограммами, велосигramмами, сейсмограммами), подвергаемыми специальной обработке, обеспечивающей возможность их интегрирования (дифференцирования) в процессе счёта.

В результате проведённых работ создан современный динамический метод расчёта, адекватно отражающий особенности поведе-

ния комбинированной системы «сооружение — основание — водохранилище» при землетрясении путём учёта всех значимых факторов формирования её напряжённо-деформированного состояния.

Отличительными особенностями и преимуществами этого метода являются:

задание сейсмического воздействия в виде скачка кинематического параметра на контакте сооружения с основанием либо путём редукции исходной акселерограммы, заданной для выровненной дневной поверхности, на нижнюю границу расчётного блока основания;

выполнение расчётов напряжённо-деформированного состояния на единой конечно-элементной сетке для всех нагрузок и воздействий основного и особого сочетаний прямым интегрированием общих исходных уравнений;

учёт начального (квазистатического) напряжённо-деформированного состояния рассматриваемой системы, сформировавшегося в ней в ходе реальной последовательности возведения и нагружения сооружения к моменту землетрясения и являющегося фоном, на который накладывается динамическая реакция сооружения;

использование достоверных моделей состояния материалов, базирующихся на соотношениях упругого либо упругопластического деформирования для бетона и упругопластического течения с упрочнением для грунтовых взаимопроникающих сред;

учёт взаимодействия сооружения с основанием путем включения в расчётную область представительного (превышающего характерные размеры сооружения не менее, чем в 2 — 3 раза) инерционного фрагмента основания, задания условий неотражающей границы, учёта пригрузки основания достаточно массивным и жестким, как правило, сооружением;

учет взаимодействия сооружения с водохранилищем путем решения, параллельно с решением уравнения движения системы «плотина — основание», уравнения, описывающего колебания воды в водохранилище:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = 0$$

где c — скорость звука в жидкости; ∇^2 — оператор Лапласа; p — давление;

моделирование работы швов и макротрещин путём использования специальных контактных элементов, или путём редукции задачи на контактные пары узлов, или введением анизотропии свойств материала со снижением жесткости в направлении, перпендикулярном шву.

В области экспериментальных исследований сейсмостойкости в ходе работ по решению рассматриваемой проблемы были отработаны методика и техника модельных испытаний с использованием сейсмоплатформ, позволяющих возбуждать в моделях колебания в диапазоне частот от 0 до 500 Гц. Разработаны уникальные экспериментальные установки для исследований в области сейсмостойкости сооружений: крупные сейсмоплатформы, вибрационные машины с возможностью плавного и независимого изменения частот и амплитуд. При испытаниях упругих моделей для каждого тона собственных колебаний при заданном максимальном ускорении основания определяются в резонансном режиме максимальные по времени значения перемещений и напряжений, затем вычисляются суммарные перемещения и напряжения от сейсмического воздействия как среднеквадратичные значения соответствующих параметров, установленных для каждого тона собственных колебаний. Исследования хрупких моделей имеют своей целью установление уровня сейсмического воздействия, отвечающего началу трещинообразования, а также распространения и топографии трещин, и производятся при одновременном приложении нагрузок основного сочетания и сейсмических, инерционных и гидродинамических, воздействий. Испытания проводятся в режиме нарастающего ускорения колебаний сейсмоплатформы и продолжаются до разрушения модели. Появление трещин фиксируется с помощью токопроводящих полосок из хрупкого низкомодульного клея и специальной системы релейной сигнализации.

Для получения амплитудно-частотных характеристик сооружений, а также значений ускорений и напряжений при сейсмическом воздействии, заданном акселерограммой, во ВНИИГе разработана и доведена до практической реализации методика испытаний крупномасштабных моделей на виброплатформе, работающей в импульсном режиме, с последующим пересчётом модельных реакций на натуре с использованием соотношений теории линейного моделирования. Модификацией этого метода, не имеющей мировых аналогов, является импульсное испытание модели сооружения на неподвижном основании. Импульс возбуждается ударом в заданном направлении по основанию модели через набор упругих прокладок.

Натурные методы оценки сейсмостойкости ориентированы, как правило, на ответственные сооружения крупных энергообъектов и имеют своей целью обеспечение их безопасной эксплуатации, а также предотвращение или снижение ущерба, который может быть нанесён природными или возбуждёнными землетрясения-

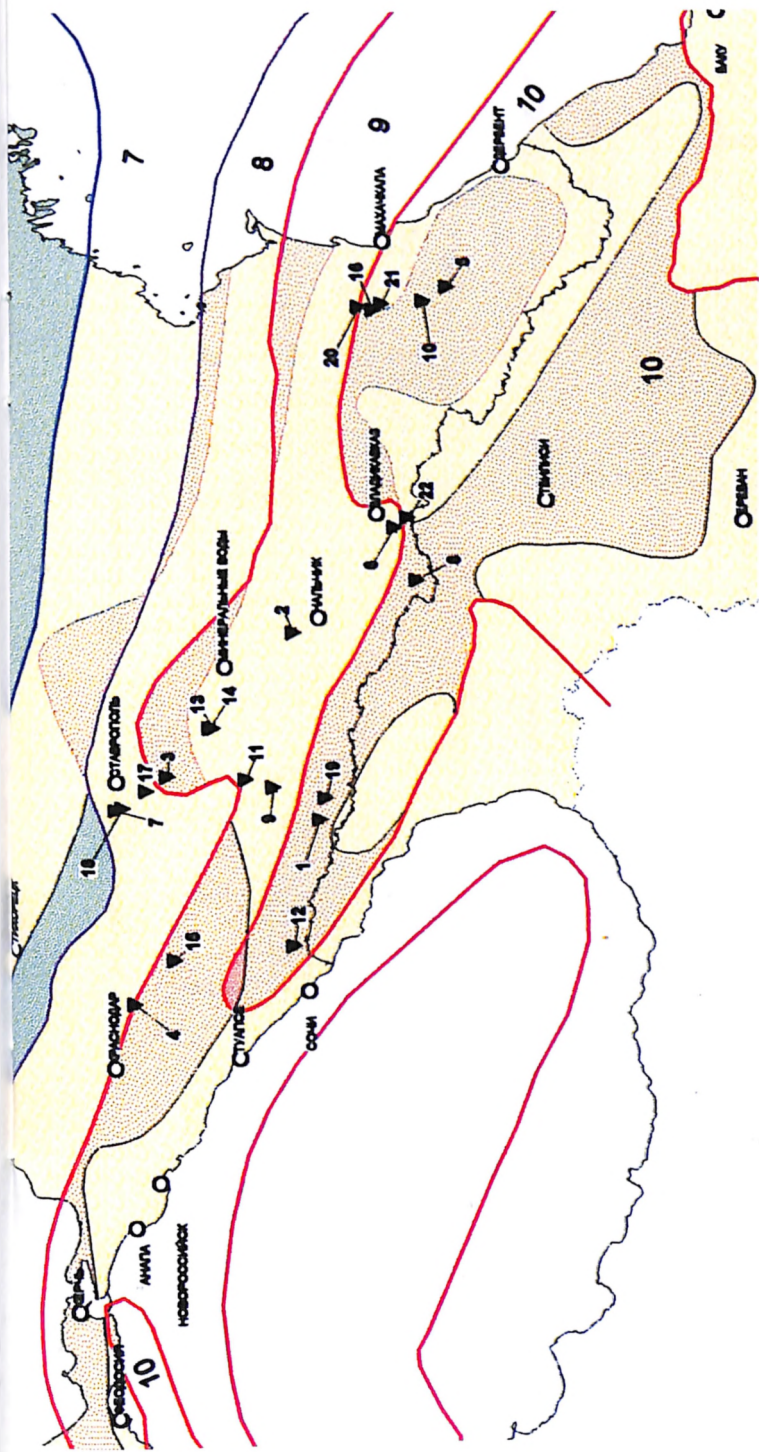


Рис. 1. Карта изменения уровня сейсмической опасности Кавказа с годовой вероятностью $0,5 \times 10^{-4}$

6 / 7 / 8 / 9 / 10

1	2	3	4
---	---	---	---

- ▲ — Гидроэлектростанции ОЭС Северного Кавказа: 1 — Аксютская; 2 — Баксанйская; 3 — Баручковские; 4 — Белореченская; 5 — Гергебильская; 6 — Гизельдонская; 7 — Егорлыкская; 8 — Зарамагская; 9 — Зеленчукская; 10 — Ирганайская;
- ▲ — Красногорские: 12 — Краснополянская; 13 — Куршавская-1; 14 — Куршавская-2; 15 — Майкопская; 16 — Миатлинская;
- ▲ — Свистухинская; 18 — Сентилеевская; 19 — Тебердинская; 20 — Чир-Юртская; 21 — Чиркейская; 22 — Эмминская

Границы зон интенсивности сотрясений на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64 *(ОИФ РАН, 1999)

Значения превышения балльности по сравнению с картой ОСР-78

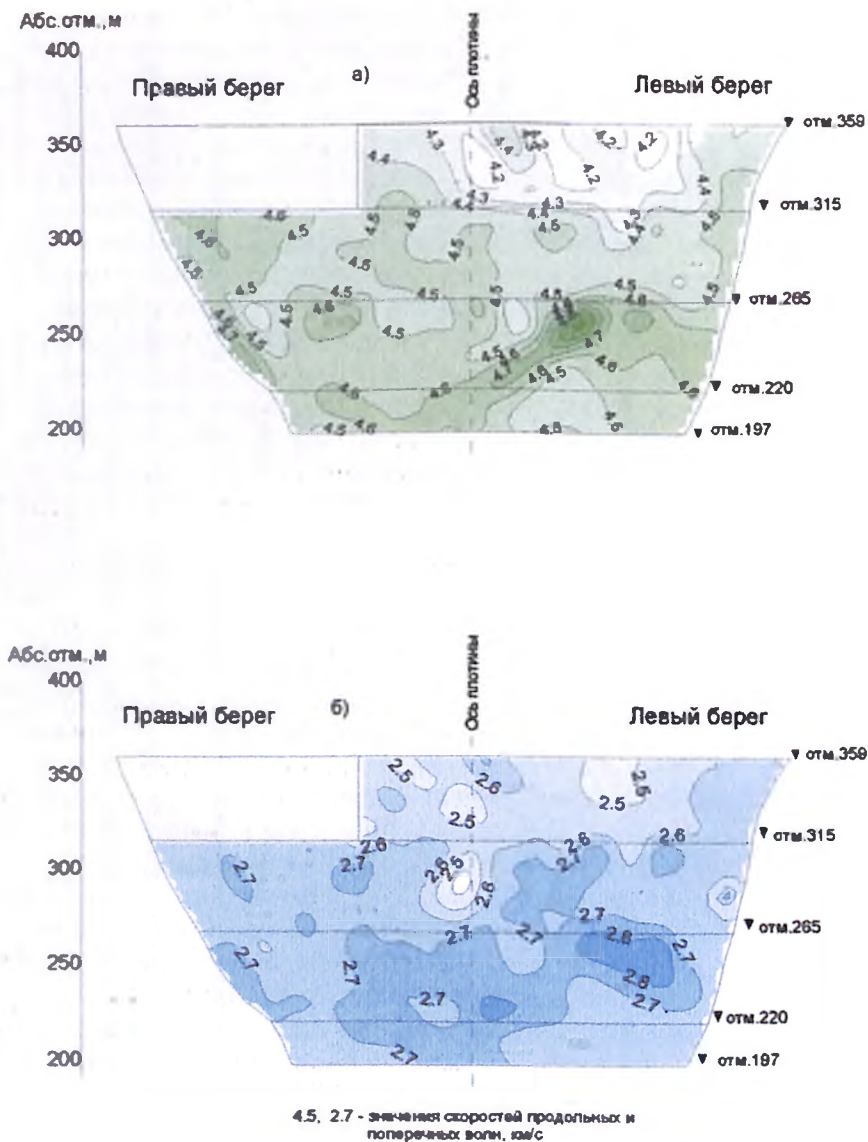


Рис. 2. Чиркейская ГЭС. Результаты сейсмического просвечивания тела плотины в вертикальной плоскости: а) — по продольным V_p волнам б) — по поперечным V_s волнам

Графики электропрофилей и геологические разрезы по плотине
 Масштаб гор. 1:1000
 верт. 1:500

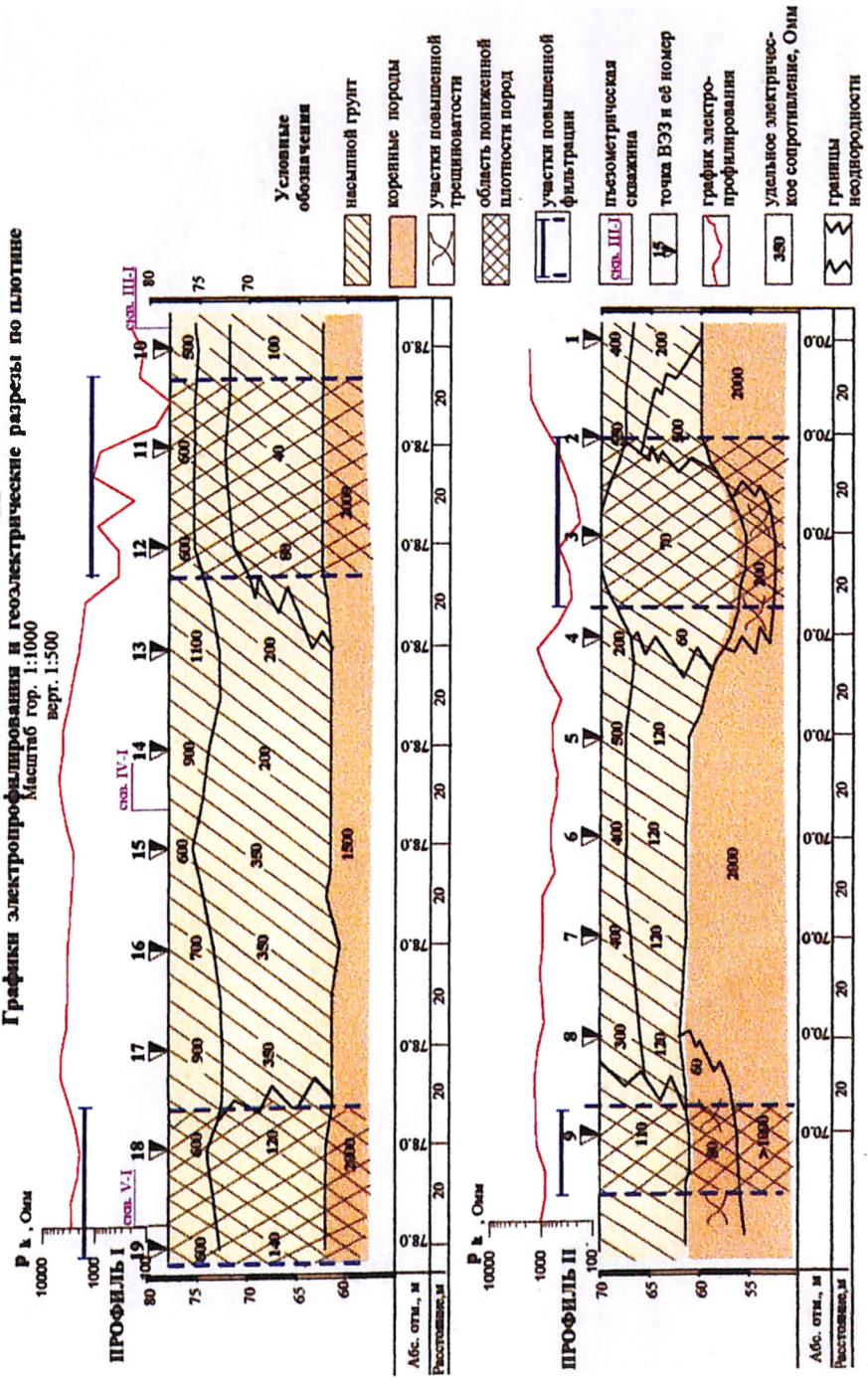


Рис.3. Чир-Юртская ГЭС. Результаты геохимических исследований тела плотины по выявлению зон сосредоточенной фильтрации

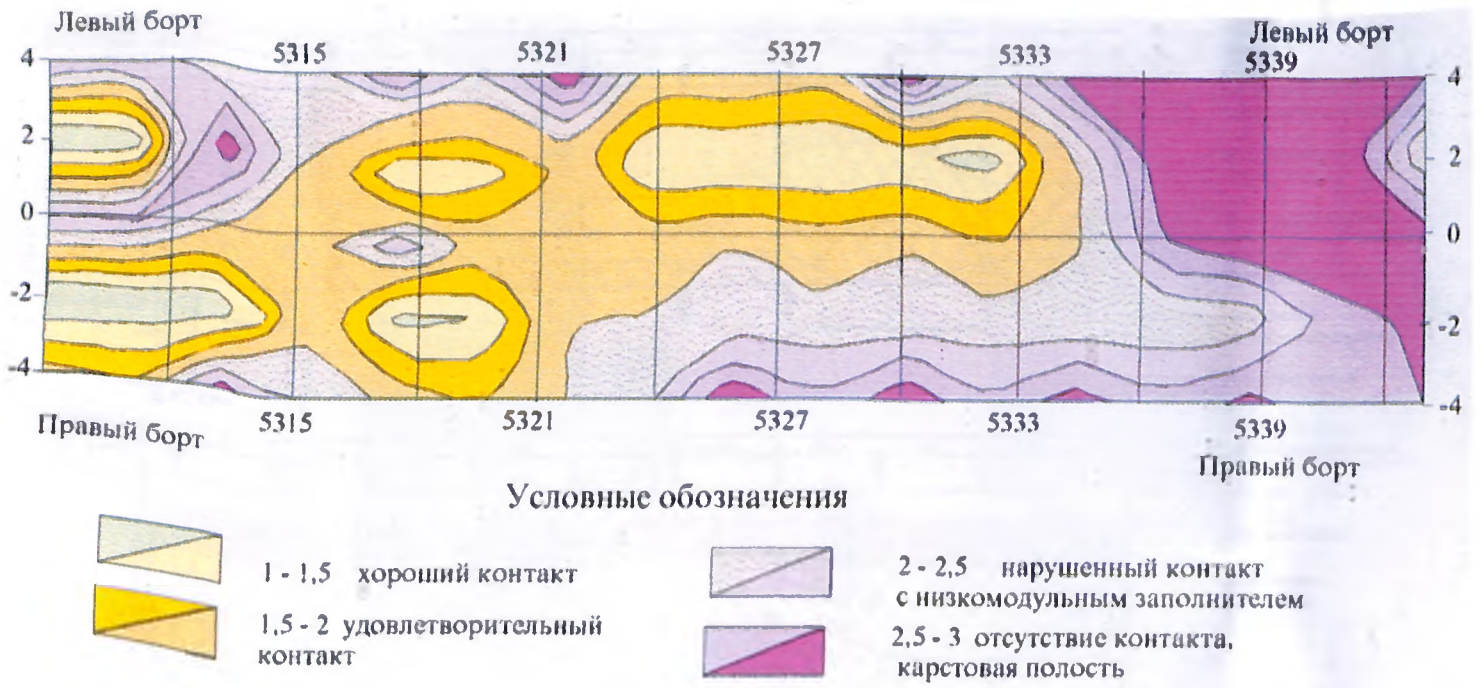


Рис. 4. Ингури ГЭС. Результаты обследования качества контакта бетон-скала методом динамического отклика в сводовой части туннеля на ПК 59+09 — ПК 53 + 43 (развертка по периметру выработки)

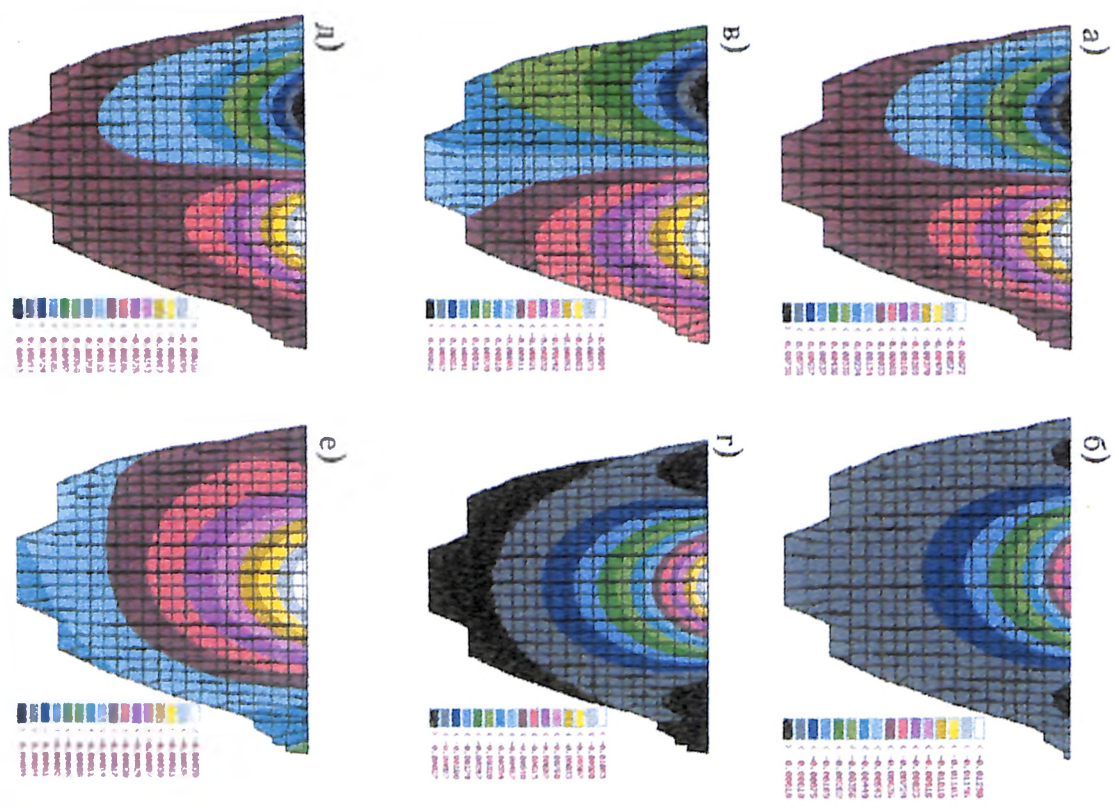


Рис. 8. Низшие кососимметричные (а, в, д) и симметричные (б, г, е) формы колебаний Чиркейской арочной плотины:
 а, б — в жестком каньоне;
 в, г — без учета инерционности основания;
 д, е — с учетом инерционности основания

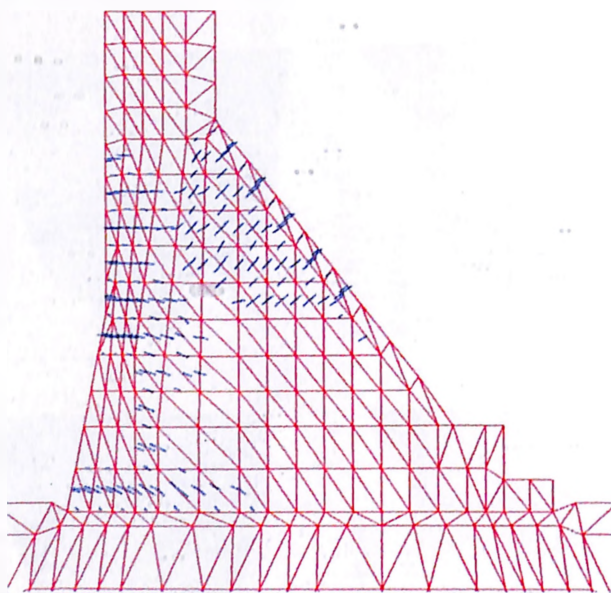


Рис. 9. Положение трещин в плотине Зейской ГЭС после окончания максимального расчетного землетрясения

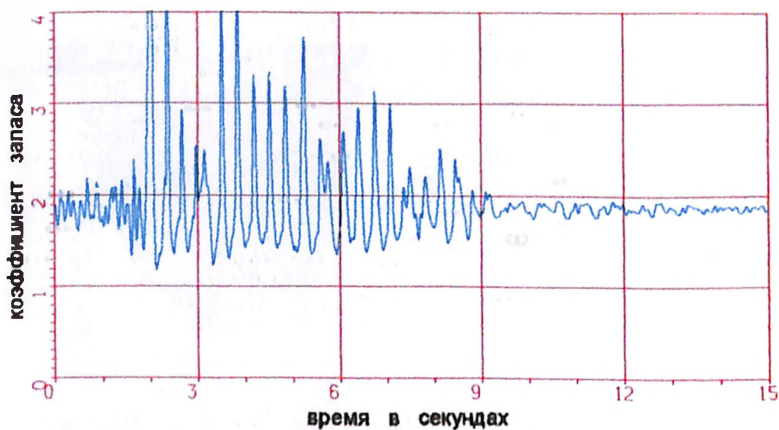


Рис. 10. Изменение коэффициента запаса на сдвиг по контакту плотины Зейской ГЭС с основанием при учете образования трещин

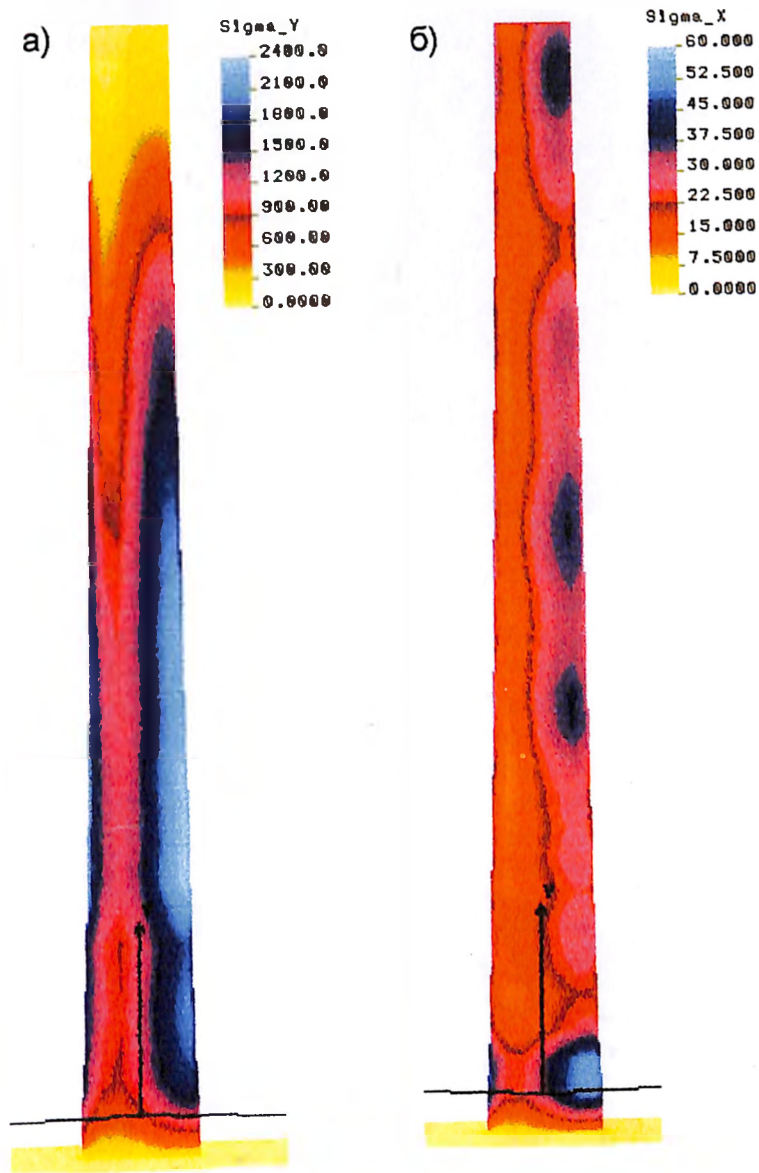


Рис. 11. Вертикальные (а) и кольцевые (б) сейсмические напряжения (0,01 МПа) в стволе трубы Сахалинской ГРЭС

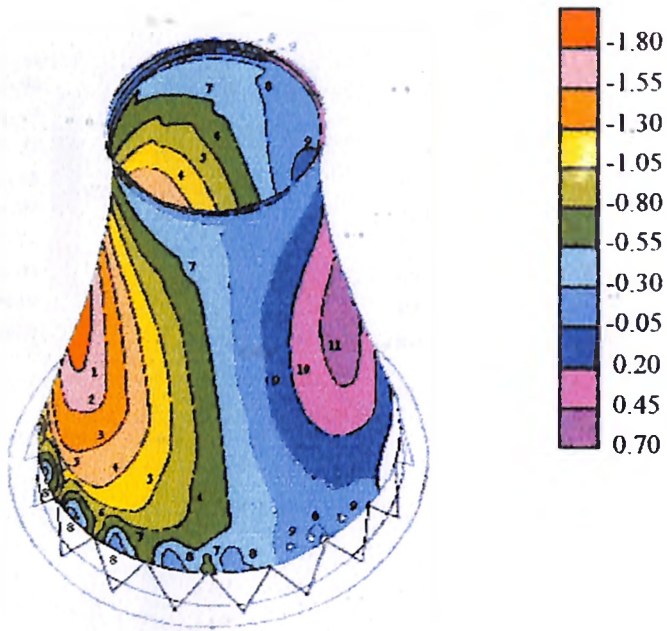


Рис. 12. Артемовская ТЭЦ. Изолинии меридиональных напряжений на внешней поверхности оболочки вытяжной башни градирни в особом сочетании нагрузок.

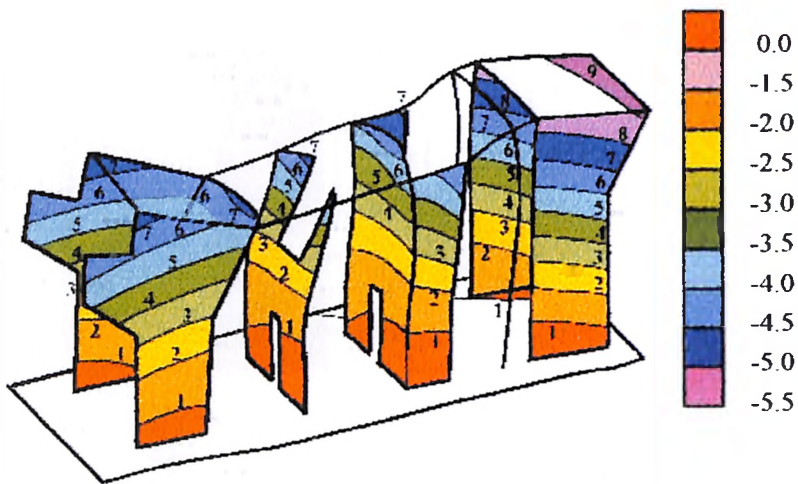


Рис. 13. Партизанская ГРЭС. Деформированная схема фундамента турбоагрегата при сейсмическом воздействии

ми и сопутствующими им явлениями, такими как оползни, обвалы, дифференцированные подвижки по разломам и т.п.

К натурным методам исследований и оценки сейсмостойкости следует отнести режимные сейсмологические, инженерно-сейсмометрические и геофизические наблюдения, осмотры сооружений после прохождения сильных землетрясений и динамическое тестирование сооружений.

Сейсмологические наблюдения обеспечивают получение информации о характере и параметрах сейсмических проявлений для всех возможных очагов землетрясений, о трансформации параметров землетрясения на пути к сооружению и влиянии на параметры землетрясений возведённого сооружения и созданного водохранилища, о характере и количественных параметрах наведённых землетрясений в зоне водохранилища.

Под руководством авторов работы уточнены задачи и составлены рекомендации по проведению сейсмологических наблюдений на участках крупных энергообъектов. При этом акцент сделан на изучение местной сейсмичности, отображающей перестройку напряжённо-деформированного состояния приповерхностных частей земной коры в районе сооружения. Геометрия наблюдательной сети сейсмостанций назначается с учётом конфигурации водохранилища и положения сейсмогенерирующих зон. Число станций в сети должно быть не менее четырёх (по условию определения не только эпицентра, но и глубины очага землетрясения).

Оборудование сейсмологических станций должно обеспечивать регистрацию смещений (либо скоростей, либо ускорений) грунта во время землетрясения. Колебания должны регистрироваться трёхкомпонентными приборами в широком диапазоне частот для оперативного определения гипоцентра и природы источника, а также выявления резонансных эффектов на трассе «очаговая зона-объект». Одна из сейсмостанций должна быть опорной и помимо сейсмологической аппаратуры иметь комплект сейсмометрической аппаратуры. Опорная станция должна располагаться на одном из бортов каньона или под русловой частью сооружения, являясь продолжением профильной схемы размещения сейсмометрических пунктов в теле плотины.

Инженерно-сейсмометрические наблюдения призваны обеспечить получение достоверной количественной информации о динамической реакции сооружения на сейсмические и другие колебания, об изменениях сейсмостойкости сооружения в процессе его эксплуатации вследствие старения материалов и/или накопления

остаточных деформаций, о состоянии сооружения после прохождения землетрясения для оперативной оценки возможности возникновения аварийной ситуации и принятия управляющих решений, адекватных степени выявленной опасности.

Наблюдения проводятся в специально выбранных точках сооружения, в которых создаются сейсмометрические пункты наблюдений, оснащённые автоматизированными приборными комплексами, позволяющими регистрировать смещения, скорости и ускорения сооружения и береговых примыканий при сейсме.

Схема размещения сейсмометрических пунктов наблюдений разрабатывается на основе результатов динамических расчётов сооружения, а также опыта натуральных и модельных исследований. В зависимости от конструкции и габаритов водоподпорного сооружения в его теле должно быть развёрнуто от 3 — 5 до 10 — 15 и более пунктов, в опорном контуре сооружения — до 6 — 8 пунктов наблюдения. Один комплект аппаратуры с трёхкомпонентной регистрацией должен быть размещён на опорной сейсмологической станции.

Режимные геофизические наблюдения (геофизический мониторинг) проводятся для контроля за изменением во времени физико-механических свойств и напряжённо-деформированного состояния сооружения и основания на различных масштабных уровнях.

Для режимных геофизических исследований на участке расположения основных сооружений энергообъекта и в зоне водохранилища с учётом инженерно-геологических и сейсмотектонических условий района оборудуется сеть закреплённых пунктов наблюдений, на которой выполняются регулярные, с установленной проектом периодичностью, повторные сейсмические, ультразвуковые и другие геофизические измерения.

Все основные сооружения энергообъекта независимо от их назначения, класса и конструкции должны осматриваться после каждого сейсмического воздействия интенсивностью 5 баллов и выше. При этом должны быть оперативно зарегистрированы показания всех видов КИА, установленной в сооружении, а также проведён осмотр сооружения с целью оперативного решения вопроса о возможности (или невозможности) его дальнейшей эксплуатации.

Последующий анализ данных инструментальных наблюдений имеет своей целью установление необходимости ремонта и выработки прогноза поведения сооружения после землетрясения. При проведении анализа используются разработанные авторами и не имеющие аналогов программные комплексы идентификации сейс-

мического воздействия и оперативной оценки сейсмостойкости бетонных и грунтовых сооружений по зарегистрированной записи землетрясения.

Динамическое тестирование сооружения — натурное определение его динамических характеристик с помощью импульсных испытаний или измерения собственных малоамплитудных колебаний, выполняемое силами специализированных организаций и направленное на осуществление контроля за стабильностью динамических (амплитудно-частотных) характеристик сооружения и диагностирование состояния объекта.

Колебания сооружения могут быть вызваны естественными или искусственными источниками: фоновыми колебаниями сооружения, связанными с режимной работой агрегатов; специальными приуроченными к динамическим исследованиям пусками и остановками агрегатов; работой водобросных устройств; тестовыми взрывами небольших зарядов ВВ; воздействием специальной вибромашины дебалансного типа; микросейсами и др.

Оценка сейсмостойкости ответственных подземных сооружений большого сечения — машинных залов, транспортных помещений, камер затворов — выполняется на основе волновых методов решения динамической задачи для расчетной области массива горных пород с участком свободной поверхности, вмещающего подземное сооружение, с учетом структуры скального массива, а также реальных прочностных и деформационных свойств массива. Расчетная область, включающая подземное сооружение, определяется путём построения геоструктурной модели массива горных пород на базе результатов геологических, геофизических и геотехнических изысканий.

В 1991 — 95 гг. с использованием усовершенствованных методов расчета ЛТС и ДТ выполнены поверочные расчеты и оценки сейсмостойкости 12 высоких плотин действующих российских гидроузлов (табл. 6).

Таблица 6

Перечень высоких плотин действующих российских гидроузлов,
для которых проведены поверочные расчёты сейсмостойкости
в 1991 – 1995 гг.

№ п/п	Наименование гидроузла	Тип плотины	Высота, м	Методика расчёта	Оценка сейсмостойкости
1	2	3	4	5	6
1	Саяно-Шушенский	Бетонная арочно-гравитационная	242	ЛСТ (J=86) ДТ ($\alpha_{\max}=0,25g$)	Обеспечена. Обеспечена. При НПУ возможно горизонтальное трещинообразование в центральной части ВГ и НГ между отм. 410-464 м. При УМО возможно раскрытие контактного и межсекционных швов на верхних отметках приконтактных областей ВГ и НГ.
2	Зейский	Бетонная массивно-контрфорсная	115	ЛСТ (J=86)	Обеспечена.
3	Чиркейский	Бетонная арочная	232,5	ЛСТ (J=86) ДТ ($\alpha_{\max}=0,31g$)	Обеспечена. Обеспечена. При НПУ вероятно раскрытие швов и образование трещин: горизонтальной ориентации в нижней части ВГ, вертикальной ориентации - в центральной верхней части ВГ. При УМО вероятно раскрытие межсекционных швов и образование вертикальных трещин в пригребневых зонах ВГ и НГ.
4	Красноярский	Бетонная гравитационная	124	ЛСТ (J=76) ДТ ($\alpha_{\max}=0,20g$)	Обеспечена. Обеспечена.
5	Миатлинский	Бетонная арочная	86,5	ЛСТ (J=86) ДТ ($\alpha_{\max}=0,26g$)	Обеспечена. Обеспечена.

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
6	Верхне-Красногорский	Бетонная гравитационная	38,5	ЛСТ (J=76) ДТ ($\alpha_{\max}=0,20g$)	Обеспечена. Обеспечена. Возможно трещинообразование в верховом зубе плотины.
7	Иркутский	Земляная (островная) Земляная (пойменная)	45 20	ЛСТ (J=86) ДТ ($\alpha_{\max}=0,15g$) ДТ ($\alpha_{\max}=0,28g$)	Обеспечена. Обеспечена. Обеспечена.
8	Камский	Земляная	35	ЛСТ (J=76) ДТ ($\alpha_{\max}=0,10g$)	Обеспечена. Обеспечена.
9	Колымский	Каменно-земляная	126	ЛСТ (J=76) ДТ ($\alpha_{\max}=0,21g$)	Обеспечена. Обеспечена.
10	Ирганайский	Каменно-земляная	101	ЛСТ (J=86)	Обеспечена.
11	Тельма-мский	Земляная с асфальто-бетонной диафрагмой	204	ЛСТ (J=86)	Обеспечена. В средней части низового откоса возможно переформирование грунтов на глубину до 15–30 м. В средней части верхового откоса возможны явления разжижения, во избежание которого даны рекомендации об изменении гран-состава грунта.
12	Усть-Среднеканский	Земляная	61	ЛСТ (J=76) ДТ ($\alpha_{\max}=0,22g$)	Обеспечена. Обеспечена.

Расчёты, выполняемые в последние годы, базируются, помимо использования современного вычислительного аппарата волновой теории сейсмостойкости, на уточнённых оценках сейсмической опасности, представлении сейсмических воздействий в виде трехкомпонентных акселерограмм, приуроченных к реальным сейсмогене-

рирующим зонам, учёте фактической истории возведения объекта и реальных деформационных, прочностных, динамических и других свойств материалов сооружения и его основания, установленных при проведении натурного обследования. Перечень эксплуатируемых энергообъектов, проверочные расчеты и оценки сейсмостойкости которых проводились после выполнения их инструментального обследования, приведен в табл. 7.

Комплексная оценка уровня сейсмостойкости эксплуатируемых сооружений электроэнергетической отрасли (аттестация) производится по совокупности выводов, полученных в результате натурального обследования сооружения и его основания, в т.ч. визуального осмотра и анализа данных натуральных наблюдений, а также выполнения поверочных расчётов НДС системы «сооружение — основание — водохранилище» с учётом уточнённых оценок сейсмической опасности площадки расположения объекта, реальных свойств конструкционных материалов и грунтов основания и т.д.

В качестве иллюстрации результатов, получаемых при аттестации эксплуатируемых энергетических сооружений на сейсмостойкость, на рис. 9, 10 на цветной вкладке представлена картина трещинообразования в теле плотины Зейской ГЭС после прохождения максимального расчетного землетрясения и хронограмма ее коэффициента запаса на сдвиг по контакту с основанием. Соответственно на рис. 11 — 13 на цветной вкладке приведены некоторые результаты поверочных расчетов, выполненных при оценках сейсмической безопасности Артемовской ТЭЦ, Сахалинской и Партизанской ГРЭС.

В случае явления дефицита сейсмостойкости энергетического сооружения необходимо выполнить инженерные мероприятия по ее повышению до нормативного уровня.

При проектировании и новом строительстве для повышения сейсмостойкости сооружений энергообъектов, помимо таких традиционных мероприятий, как выбор типа и конструкции сооружения, оптимальных для заданных сейсмических условий, выбор формы и геометрии сооружения, подбор и зонирование конструкционного материала и т.д., рекомендованы к использованию приведенные ниже мероприятия.

Облегчение конструкции в верхней части сооружения. Мероприятие направлено на уменьшение инерционной сейсмической нагрузки в области действия максимальных сейсмических ускорений за счет применения облегченных оголовков, устройства контрфорсной конструкции в верхней ($1/4 - 1/3$ h) части массивной плоти-

Таблица 7

Сводные результаты оценок сейсмостойкости российских энергообъектов, полученные в ходе реализации "Комплексной программы по повышению сейсмостойкости объектов электроэнергетической отрасли"

№ п/п	Наименование энергообъекта	Состав обследованных сооружений	Методика расчёта и уровень сейсмического воздействия	Оценка сейсмостойкости
1	2	3	4	5
1	Зейская ГЭС	Бетонная массивно-контрфорсная плотина $h=115$ м Панельные ж/б дома жилпосёлка "Светлый"	ДТ ПЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,30$ МРЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,45$ ЛСТ $I=8_1$	Обеспечена при условии выполнения рекомендаций по реконструкции дренажной системы Не обеспечена
2	Саяно-Шушенская ГЭС	Бетонная арочно-гравитационная плотина $h=242$ м	ДТ МРЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,25$ g	Проблематична. Требуется дополнительный расчёт с использованием динамической 3-мерной нелинейной модели
3	Чиркейская ГЭС	Бетонная арочная плотина $h=232$ м	ДТ МРЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,18$ g	То же
4	Миатлинская ГЭС	Бетонная арочная плотина $h=86,5$ м	ДТ МРЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,25$ g	То же
5	Чир-Юртская ГЭС	Земляная плотина $h=38$ м из гравийно-галечниковой смеси с сульфидным ядром	ДТ МРЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,60$ g $\alpha_{В}^{max} = 0,39$ g	Обеспечена. Возможны значительные осадки и образование локальных зон разуплотнения грунта
6	Гергебильская ГЭС	Бетонная арочная плотина $h=69,5$ м	ДТ МРЗ: $\alpha_{Г1}^{max} = 0,20$ g	Обеспечена
7	Охинская ТЭЦ	Главные корпуса Дымовые трубы	ЛСТ $I=9_2$	Не обеспечена
8	Южно-Сахалинская ГРЭС	Главный корпус Дымовая труба Фундаменты турбоагрегатов	ЛСТ $I=9_2$	Не обеспечена

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
9	Сахалинская ТЭЦ	То же	ЛСТ I=9 ₂	Не обеспечена
10	Партизанская ГРЭС	Главный корпус Дымовая труба Фундаменты трубоагрегатов Эстакада топливоподачи Градирия	ЛСТ I=8 ₂	Не обеспечена Условно обеспечена (после расчётного землетрясения требуется ремонт) Обеспечена
11	Артёмовская ТЭЦ	То же	ЛСТ I=8 ₂	То же
12	Центральная ПС-500 Кв	Здание ПС Оборудование ПС	ЛСТ I=7 ₁	Обеспечена Обеспечена частично
13	Тихорецкая ПС-500 Кв	То же	ЛСТ I=7 ₁	То же
14	Армавирская ПС-330 Кв	То же	ЛСТ I=7 ₁	То же

ны, выполнения полостей в пригребневой зоне плотин и использования рамной конструкции для устройства дороги по гребню.

Армирование сооружений. Производится в целях предотвращения образования магистральных трещин и сохранения целостности сооружения при землетрясениях. Антисейсмическое армирование выполнено на бетонных арочных плотинах Чиркейской (Россия) и Ингурской (Грузия) ГЭС. Выполнены научные исследования и проектные проработки возведения в районах повышенного сейсмического риска массивных грунтовых сооружений с использованием технологии «армированного грунта», показавшие ее высокую эффективность.

Устройство антисейсмических поясов. Призвано обеспечить совместность работы элементов сооружения при сейсмических колебаниях и предотвратить раскрытие межсекционных швов в бетонных плотинах либо образование поперечных трещин в грунтовых с последующим обрушением оголовков бетонных секций или оползанием грунтовых откосов. Пригребневой антисейсмический пояс выполнен на Ингурской арочной плотине (Грузия) и Нурекской каменно-земляной плотине (Таджикистан).

Разрезка сооружения конструктивными швами, в т.ч. швами с сейсмоизолирующим заполнителем, позволяет демпфировать колеба-

ния сооружения при землетрясении и предотвратить возможное трещинообразование за счет раскрытия швов. Применительно к арочным плотинам разработана, научно обоснована, испытана на виброплатформе и реализована при строительстве Ингурской плотины конструкция периметрального шва, позволяющая снять растягивающие напряжения, возникающие в приконтактных областях плотины и основания и могущих привести к образованию трещин и разрыву противофильтрационного контура плотины. Для конструирования шва разработана оригинальная методика, базирующаяся на учете усилий взаимодействия плотины и фундаментного седла.

Устройство сейсмогасящих слоев в теле сооружения, дающее существенный эффект, если акустическая жесткость материала сейсмогасящего слоя в 2 — 3 раза отличается от акустической жесткости основного материала сооружения. Эффективность устройства грунтовых слоев в бетонных плотинах примерно эквивалентна снижению интенсивности сейсмического воздействия на 1 балл.

Устройство различных систем сейсмоизоляции сооружения. Для подпорных гидротехнических сооружений впервые в мире предложены и разработаны системы их изоляции от колебаний воды в водохранилище и от сотрясений основания. Изоляция колеблющейся при землетрясении плотины от водохранилища достигается путем устройства воздушных или воздушно-пузырьковых завес. В основе мероприятия лежит свойство аэрированной воды уменьшать значение своего модуля объемной деформации в 10 раз на каждый процент количества воздуха, содержащегося в воде. Натурный эксперимент по апробации мероприятия осуществлен на Кривопорожской ГЭС (рис.14.), практическая реализация начата на Миатлинской ГЭС (рис.15.). Второе разрабатываемое направление сейсмоизоляции основывается на явлении дифракции поверхностных волн (волн Рэлея) при наличии преграды на пути их распространения. Конструктивно такая преграда представляет собою траншею-стенку, заполненную материалом, существенно отличным по своим динамическим свойствам от грунтов основания. Как показали модельные исследования, наличие тектонического разлома в основании Ингурской плотины снижает энергию колебаний падающей сейсмической волны в 3 — 4 раза.

Пионерными в мировой науке являются разработки школы проф. Я.М. Айзенберга в области систем адаптивной сейсмоизоляции с выключающимися связями. В России построено более ста сооружений с такими системами сейсмоизоляции, в т.ч. в Сибири, Севастополе, Бурятии, на Камчатке.

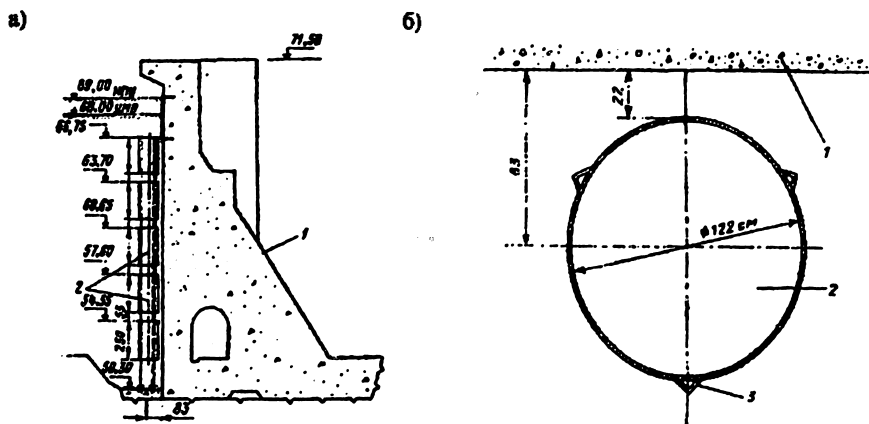


Рис. 14. Экспериментальная воздушная завеса на плотине Кривопорожской ГЭС:

а — разрез по плотине, на напорной грани размещена гирлянда воздухоудерживающих емкостей; б — воздухоудерживающая емкость (поперечный разрез).

1 — плотина; 2 — воздухоудерживающая емкость; 3 — уголок для соединения воздухоудерживающих емкостей в гирлянду.

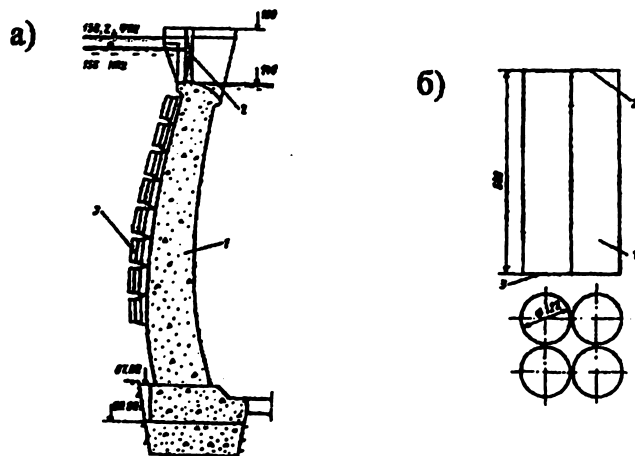


Рис. 15. Плотина Миатлинской ГЭС:

а — схема воздушной завесы на напорной грани плотины:

1 — плотина; 2 — водосброс; 3 — воздухоудерживающие емкости;

б — конструкция воздухоудерживающей емкости:

1 — отрезок трубы диаметром 122 см; 2 — крышка; 3 — низ открыт для контакта воздух — вода.

Лечение оснований, несущая способность которых недостаточна для восприятия расчетных сейсмических воздействий. Лечение может осуществляться путем замены ослабленных зон основания бетоном или другим качественным материалом, с поверхности земли или горным способом в глубине грунтового массива, или путем укрепления оснований с помощью подземных опорных конструкций в виде свай, стенок, каркасов, контрфорсов. Примерами реализации такого рода мероприятий могут служить: заделка горным способом правобережного разлома и четырех крупных трещин в основании Ингурской плотины; создание несущих железобетонных каркасов в основании плотины Кырджали (Болгария); замена высокопластичных слабопрочных глин в основании склона напорных трубопроводов Загорской ГАЭС, провоцировавших его оползневые смещения, качественной мореной.

Рациональная компоновка с использованием топографии створа и опиранием несейсмостойких элементов конструкции на элементы, имеющие избыточный запас несущей способности. Мероприятие реализовано при проектировании и строительстве бетонной плотины Токтогульской ГЭС (Кыргызстан).

Для повышения сейсмостойкости уже находящихся в эксплуатации сооружений электроэнергетических объектов предложены, научно обоснованы и конструктивно проработаны применительно к реальным объектам приведенные ниже мероприятия.

Развитие поперечного профиля плотины до размеров, позволяющих воспринять расчетные сейсмические воздействия без нарушения прочности ее тела или с повреждениями, не превышающими допускаемые современными нормативными документами. Преимуществами этого метода являются его физическая наглядность и возможность его осуществления без сработки водохранилища путем укладки дополнительного объема бетона с низовой стороны бетонной плотины или отсыпки дополнительной низовой упорной призмы, а недостатками — большие объем и длительность работ, а также необходимость принятия специальных мер по обеспечению совместной работы старого и нового материалов сооружения.

Сейсмоизоляция тела плотины от колебаний воды в водохранилище с использованием «наплавного варианта» воздушной завесы. В этом случае завеса выполняется из воздухоудерживающих емкостей, объединенных в гирлянды, подвешенные на плавающих понтонах. Проект наплавной завесы разработан применительно к арочной плотине Чиркейской ГЭС, однако в связи со свертыванием гидротехнического строительства в конце 80-х годов он остался нереализованным.

Обжатие бетона с помощью напрягаемых анкеров. Это мероприятие позволяет снизить (или снять полностью) суммарные растягивающие напряжения в бетоне сооружения и в скальном основании, а также увеличить устойчивость сооружения против сдвига по подошве за счет появления дополнительной силы обжатия. Для бетонной гравитационной плотины высотой 100 м с уклоном низовой грани, равным 0,7, и при интенсивности сейсмического воздействия 8 баллов полное исключение растягивающих напряжений в бетоне у напорной грани плотины можно получить при натяжении анкеров, расположенных на расстоянии 2 м от верховой грани, силой 5000 кН на 1 п.м. Конструктивная разработка мероприятия выполнена специалистами ЦСГНЭО применительно к контрфорсной плотине Зейской ГЭС.

Армирование материала упорных призм грунтовых плотин, неустойчивых при сейсме, железобетонными сваями или арматурными стержнями. Конструктивная разработка мероприятия выполнена специалистами ЦСГНЭО применительно к земляной плотине Иркутского гидроузла.

В целом разработанные мероприятия по повышению сейсмостойкости сооружений энергообъектов образуют единый комплекс, который широко используется для предварительного выбора мероприятий по антисейсмическому усилению объектов с выявленным дефицитом сейсмостойкости.

6. Разработка комплексной системы кадрового, информационного и организационного обеспечения проблемы сейсмической безопасности энергетических объектов

При разработке проблемы обеспечения безопасности энергетических объектов, расположенных в сейсмически активных районах, использованы развитые А.Ф. Дьяковым и его школой представления об энергетических объектах как комплексных системах «человек — машина (сооружение) — среда», надежность и безопасность которых может быть обеспечена при соответствующем обеспечении функционирования каждого из перечисленных элементов системы. Повышение надежности функционирования элемента «человек» при обеспечении сейсмостойкости энергетического объекта связано, прежде всего, с целенаправленной подготовкой персонала электропредприятий к действиям при возникновении сейсмических событий и ликвидации их последствий.

На основе обследований и анализа состояния энергетических объектов, перенесших сильные землетрясения, сформулированы

основные положения действий персонала при сейсмическом событии с учетом следующих его особенностей:

время действия землетрясения, измеряемое в интервале от десятых долей секунды до десятков секунд, не позволяет предпринять каких-либо организационных действий, за исключением отключения источников энергообеспечения;

после первого сейсмического толчка, как правило, происходят последующие землетрясения (афтершоки). Интервалы между первым и последующим толчками могут измеряться сутками и месяцами, что позволяет развернуть комплекс мероприятий по минимизации ущербов от афтершоков;

как показывает опыт, наибольший ущерб при сейсмическом воздействии связан не с самими сейсмическими толчками, а со вторичными проявлениями (разрывы инженерных коммуникаций, пожары, нарушение энергообеспечения), что позволяет провести предварительную подготовку по снижению последствий землетрясения.

Основными задачами персонала электростанции при сейсмическом событии являются:

сохранение жизни как самого персонала, так и населения, находящегося в зоне действия энергетического объекта;

сохранение энергообъекта как источника электроэнергии либо переключение потребителей на резервные источники;

минимизация ущерба от землетрясения;

развертывание аварийно-спасательных и восстановительных работ в пределах своей компетенции.

Классификация действий участников противоаварийной тренировки производится по следующей шкале:

правильно и своевременно выполненные действия;

действия, выполненные с опозданием;

действия, выполненные ранее необходимого;

излишние действия;

неоптимальные действия;

невыполненные действия;

неправильные действия.

Предложенная классификация действий позволяет получить следующий набор профессиональных и психологических характеристик эксплуатационного персонала: профессионализм, надежность, уровень подготовки, устойчивость, оперативность.

7. Основные результаты работы

В результате работ авторского коллектива за период с 1986 г. по 2001 г. на основе всестороннего анализа повреждений и разрушения при землетрясениях различных элементов энергетических систем, а также обусловленного этим экономического и социального ущерба, разработана общая концепция решения проблемы на базе системного подхода, направленная на обеспечение энергоснабжением потребителей, минимизацию ущерба и исключение человеческих жертв на энергообъектах при землетрясениях.

Указанная концепция предусматривает:

надёжное определение сейсмических условий и расчётных сейсмических воздействий;

совершенствование методов расчёта, экспериментальных и натурных исследований сейсмостойкости энергетических объектов и установленного на них оборудования;

разработку и внедрение сейсмостойких конструкций и оборудования, а также средств сейсмозащиты;

разработку комплекса нормативных документов;

создание системы обучения и тренировки персонала энергопредприятий;

организацию геомониторинга на участках энергообъектов и контроль за состоянием и поведением сооружений при землетрясениях.

По каждому из перечисленных направлений выполнены значительные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и полученные результаты внедрены в практику.

На основе исследований сейсмического риска применительно к энергетическим объектам разработаны методы уточнения сейсмических условий и определения расчётных сейсмических воздействий.

Усовершенствованы методы стендовых и натурных испытаний и расчёта сейсмостойкости энергообъектов (гидравлических и тепловых электростанций, подстанций, линий электропередач, а также технологического и энергетического оборудования), созданы для этих целей программные комплексы, часть из которых превосходит известные зарубежные аналоги и вносит существенный вклад в отечественную и мировую энергетическую науку.

Проведены исследования эффективных сейсмоизолирующих устройств для энергетических объектов, существенно снижающих сейсмические нагрузки.

Разработаны системы геомониторинга для энергообъектов, расположенных в сейсмоопасных зонах.

Выполнены работы по практическому определению сейсмостойкости и степени сейсмической безопасности большого ряда эксплуатируемых и строящихся энергообъектов. Осуществлён анализ сейсмостойкости более 40 крупных энергетических объектов России, а также ближнего и дальнего зарубежья, среди которых Ингурская, Чиркейская, Миатлинская, Саяно-Шушенская, Зейская, Рогунская ГЭС, Охинская ТЭЦ, Сахалинская ГРЭС, ПС и другие энергетические объекты; разработаны рекомендации по повышению их сейсмостойкости.

Разработаны и частично реализованы мероприятия по повышению сейсмической безопасности для объектов, имеющих дефицит сейсмостойкости основных сооружений и оборудования.



РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
«ЕЭС РОССИИ»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Президент НТС РАО «ЕЭС России».
Председатель Научного совета РАН по
проблемам надежности и безопасности
больших систем энергетики
член-корр. РАН, профессор


.....
26.12.2000

А.Ф. Дьяков

ПРОТОКОЛ

заседания секции 3 «Гидроэлектростанции, гидротехниче-
ские сооружения и экология в гидроэнергетике» по рассмот-
рению темы: «Основные итоги реализации «Комплексной про-
граммы по повышению сейсмостойкости объектов энергетиче-
ской отрасли»

14 декабря 2000 г № 34 Москва
АО «Институт Гидропроект»

Повестка дня

1. Доклад зам. научного руководителя работ по программе, ди-
ректора ЦСГНЭО, доктора физ.-мат. наук А.И.Савича
2. Выступления рецензентов:
заместителя директора ВИИИЭ, доктора техн. наук Л.Н. Дудченко;
директора Сейсмологического центра Института геоэкологии
РАН, чл.-корр. РАН А.В. Николаева;
начальника Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычай-
ных ситуаций МЧС России, кандидата техн. наук Г.М. Нигметова

3. Обсуждение

4. Принятие решения

1. С докладом об основных итогах работ по «Комплексной программе по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли» за 1996-2000 гг. выступил директор ЦСГНЭО, доктор физ.-мат.наук *А.И. Савич*.

Комплексная программа по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли разработана в соответствии с решением отраслевого совещания «Сейсмостойкость энергетических объектов» (Красноярск, 1995 г.), согласована с руководством Минтопэнерго и утверждена Президентом РАО «ЕЭС России» в 1996 г. Она направлена на выполнение практических мероприятий по повышению сейсмостойкости энергетических объектов РФ, расположенных в районах, для которых резко изменились существовавшие ранее представления о степени их сейсмической опасности.

В качестве основных задач первого этапа работ по повышению реальной сейсмостойкости объектов предусматривается:

уточнение сейсмических условий участков расположения энергообъектов;

определение современного состояния объектов с применением инструментальных методов контроля и диагностики;

проведение поверочных расчётов сейсмостойкости объектов с учётом уточнённых оценок сейсмических условий и их современного состояния.

К выполнению указанных работ были привлечены ведущие научно-исследовательские и проектно-изыскательские организации РАО «ЕЭС России», а также специализированные институты РАН. Головной организацией по рассматриваемой программе в целом был назначен специализированный филиал АО «Институт Гидропроект» — Центр службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли (ЦСГНЭО). Финансирование работ по программе производилось в основном из фонда НИОКР Корпорации ЕЭЭК и частично за счёт средств АО-энерго.

За период с 1996 по 2000 гг. в рамках «Комплексной программы»:

проведено уточнение сейсмических условий для 19 эксплуатируемых объектов; установленные при этом расчётные сейсмические воздействия, хотя и ниже новых нормативных фоновых оценок, тем не менее на 1 — 2 балла превышают оценки, принятые при проектировании этих объектов;

выполнено комплексное обследование 15 объектов с применением инструментальных методов, для части из них выявлены значительные изменения свойств как самих сооружений, так и их оснований;

на основе новых данных проведены поверочные расчёты сейсмостойкости 14 энергообъектов; показано, что при современных оценках сейсмических условий некоторые энергообъекты и главным образом обследованные объекты теплоэнергетики являются несейсмостойкими: для их безопасной эксплуатации необходима разработка и реализация соответствующих инженерных мероприятий;

проведён ряд научно-технических совещаний по проблеме, и разработаны инструктивные документы, регламентирующие поведение персонала энергопредприятий до, во время и после сильных землетрясений.

В процессе выполнения указанных работ по «Комплексной программе» широко использовались результаты исследований по другим отраслевым и федеральным научно-техническим программам и, прежде всего, научно-методические разработки, полученные в рамках ОНТП 0.11 «Сейсмостойкость энергообъектов».

2. Выступления рецензентов

Заместитель директора ВНИИЭ, доктор техн. наук *Л.Н. Дудченко* в своем докладе отметил практическую направленность программы, важное народнохозяйственное значение задачи обеспечения сейсмостойкости и надежности работы энергообъектов РАО «ЕЭС России» и необходимость продолжения работ по комплексной программе.

Была отмечена необходимость выполнения нелинейных расчетов с учетом раскрытия швов и образования трещин для арочных плотин Чиркейской, Миатлинской и Саяно-Шушенской ГЭС, а также ускоренного издания разработанной ЦСГНЭО инструкции по поведению при землетрясениях эксплуатационного персонала электростанций.

Рецензию директора Сейсмологического центра Института геоэкологии РАН, чл.-корр. РАН *Николаева А.В.* зачитал старший научный сотрудник ИГЭ РАН, кандидат геол.-мин. наук *Жигалин А.Д.* В рецензии «Комплексная программа повышения сейсмостойкости объектов энергетической отрасли» названа работой сегодняшнего и завтрашнего дня, так как Программа содержит конкретные рекомендации, которые можно и нужно использовать сегодня, и в то же время ставит задачи на будущее.

Начатые исследования необходимо продолжить, охватив ими как можно большее число ранее не обследованных объектов; кроме того, следует ввести в Программу объекты, страдающие от наведенной сейсмичности.

Нигметов Г.М., кандидат техн. наук, доцент, начальник Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций МЧС России в своем выступлении отметил, что данная работа может быть очень полезной в рамках общей федеральной программы обеспечения сейсмической безопасности России.

Помимо заключений экспертов на рассматриваемую работу получен отзыв от директора СШГЭС, доктора техн. наук Брызгалова В.И. в котором отмечается важность выполняемой работы для энергетики и необходимость ее продолжения.

3. Обсуждение

В обсуждении рассматриваемой Программы приняли участие: Айзенберг Я.М., Ломов И.Е., Марчук А.Н., Покровский В.Н., Юркевич Б.Н., Парабучев И.А., Красильников М.Ф., Переселенков Г.С.

Все специалисты, принявшие участие в обсуждении, отметили важность и актуальность проделанной работы, необходимость ее дальнейшего продолжения и внесли свои предложения для включения их в решение НТС.

Ломов И.Е. (зам. ген. директора фирмы «Энергопроект»). Решение проблемы повышения сейсмостойкости энергетических объектов в настоящее время отстает лет на 10. В программе полностью разработан только первый этап - выполнена оценка сейсмической опасности и сейсмостойкости ограниченного числа энергообъектов; следует активизировать разработку второго этапа, т.е. разработать и реализовать конкретные мероприятия по обеспечению сейсмостойкости этих объектов. Необходимо также как можно скорее провести обследование остальных объектов, находящихся в высокосейсмических зонах.

Марчук А.Н. (доктор техн. наук, главный научный сотрудник Института физики земли РАН). Необходимо больше внимания уделять прогнозу сопутствующих геодинамических опасностей для оборудования и вспомогательных сооружений и пересмотреть в связи с этим концепцию натуральных наблюдений с учетом возможных геодинамических воздействий.

Переселенков Г.С. (доктор геол.-мин. наук, ЦНИИС). Программа повышения сейсмостойкости энергетических объектов должна включать обеспечение безопасности водохранилища и прилегающих территорий. Нужно обратить также внимание на информационную надежность.

Покровский В.Н. (академик РАПК, председатель подкомитета «Сейсмические воздействия» Технического комитета 341 Госстандарта России). Данная работа чрезвычайно актуальна и заслуживает особого поощрения. Особенно важно, что в программе есть глава «Работа с персоналом». Однако в ПТЭ, ПУЭ и ПТБ отсутствуют разделы, связанные с обеспечением сейсмической безопасности энергообъектов. Следует записать в решении НТС, что персонал на электростанциях должен знать и соблюдать правила эксплуатации энергетического оборудования с точки зрения его сейсмостойкости.

Парабучев И.А. (доктор геол.-мин. наук, зам. главного инженера АО «Институт Гидропроект»). Следует отметить еще одну чрезвычайно важную сторону полученных в процессе реализации «Программы» данных о масштабах и направленности фактически развивающихся техноприродных процессов в зоне взаимодействия сооружения с основанием, позволивших объективно оценить правильность сделанных на стадии проектирования и строительства прогнозов.

Юркевич Б.Н. (кандидат техн. наук, главный инженер ОАО «Ленгидропроект»). Рассматриваемая Программа имеет большое практическое значение. Наиболее полный комплекс работ был проведен для Зейской ГЭС: начиная с исследований по уточнению степени сейсмоопасности до определения стоимости мероприятий по повышению сейсмостойкости сооружений ГЭС и поселка. Необходимо такие же работы выполнить для всех энергообъектов, расположенных в высокосейсмичных районах, и в первую очередь для строящихся гидроузлов (Бурейская ГЭС и др.)

Красильников М.Ф. (зам. главного инженера АО «Институт Гидропроект») предложил включить в проект решения пункт об определении сейсмостойкости не только для энергетического, но и для всего технологического оборудования.

Айзенберг Я.М. (доктор техн. наук, профессор, руководитель Центра изучения сейсмостойкости ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя России.) Необходимо поддержать и одобрить проведенную работу и добавить в проект решения рекомендовать РАО «ЕЭС России» финансировать продолжение работ.

4. Обсудив результаты работ по «Комплексной программе» за период с 1996 по 2000 гг., секция 3 «Гидростанции и гидротехнические сооружения» НТС РАО «ЕЭС России» **РЕШИЛА:**

1. Отметить чрезвычайную актуальность и высокую практическую значимость работ, предусмотренных «Комплексной программой по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли».

2. Одобрить результаты работ, полученные в ходе реализации «Комплексной программы» в 1996-2000 гг., отметив их высокий профессиональный и технический уровень.

3. Обратить внимание руководства РАО «ЕЭС России» на выявленные факты несоответствия сейсмостойкости ряда обследованных энергообъектов современным нормативным требованиям.

Головной организации по проблеме «Сейсмостойкость энергообъектов» - ЦСГНЭО — с привлечением ведущих институтов отрасли составить перечень неотложных работ по повышению надежности несейсмостойких объектов, включая вспомогательные сооружения и оборудование.

Для объектов, имеющих ненормативную сейсмостойкость, необходимо разработать и реализовать комплекс инженерных мероприятий, обеспечивающих их работоспособность и безопасность при расчётных землетрясениях.

4. Обратить внимание АО «Сахалинэнерго», представительства РАО «ЕЭС России» по Востоку «Востокэнерго», администрации Сахалинской области на то, что в результате оценок сейсмостойкости, выполненных в соответствии с «Комплексной программой», не обеспечена сейсмостойкость практически всех основных электростанций Сахалинэнерго: Охинской ТЭЦ, Сахалинской ГРЭС, Южно-Сахалинской ТЭЦ. Рекомендовать АО «Сахалинэнерго» разработать в 2001 году программу мероприятий по повышению сейсмостойкости вышеуказанных энергообъектов и организовать их выполнение в 2001-2005 гг.

5. Рекомендовать генеральным директорам Саяно-Шушенской, Чиркейской и Миатлинской ГЭС, сейсмостойкость плотин которых не может быть обоснована в рамках линейно-упругого расчёта, выполнить в 2001 г. с привлечением ЦСГНЭО расчёты их поведения при рекомендованных уровнях сейсмических воздействий с учётом раскрытия швов и возможности образования трещин, после чего установить необходимость антисейсмического усиления сооружений.

6. Учитывая, что исследованиями 1996-2000 гг. охвачена лишь часть энергообъектов РФ, расположенных в районах с изменившимися оценками нормативной сейсмичности, работы по «Комплексной программе» необходимо продолжить. При этом следует уделить первоочередное внимание строящимся в высокосейсмичных районах энергообъектам, большее внимание оценке сейсмостойкости подстанций и технологического оборудования, кото-

рое на значительной части энергообъектов установлено в несейсмостойком исполнении, а также безопасности сопутствующих объектов различного назначения.

7. Считать необходимым:

осуществить в РАО «ЕЭС России» мероприятия по разъяснению и пропаганде проблем, обусловленных сейсмической опасностью, среди персонала энергопредприятий. В связи с этим рекомендовать РАО «ЕЭС России» издать и распространить в АО-энерго и АО-электростанций подготовленные в рамках ОНТП 0.11 и «Комплексной программы» информационные и инструктивные материалы, относящиеся к сейсмической опасности и сейсмостойкости энергообъектов и поведению персонала электростанций при землетрясениях; разработать и включить в ПТЭ, ПУЭ и ПТБ разделы, связанные с сейсмической безопасностью энергообъектов;

рекомендовать руководителям АО-энерго и АО-электростанций, а также потребителям электрической энергии обратить особое внимание на необходимость соблюдения и контроля выполнения утвержденных государственных стандартов в части учета внешних воздействий и требований по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

в полной мере отображать результаты оценки современной сейсмостойкости энергообъектов при составлении деклараций их безопасности.

8. Рекомендовать отраслевым научно-исследовательским и производственным организациям РАО «ЕЭС России» при оценке сейсмостойкости энергообъектов и их обследовании широко использовать положительный опыт, накопленный Институтом Гидропроект (ЦСГНЭО), НИИЭС, ВНИИГ и АО «Институт Теплоэлектропроект» при реализации «Комплексной программы» в 1996-2000 гг.

9. Включить в «Комплексную программу» раздел по оценке возможных для населения последствий необеспеченности сейсмостойкости энергообъектов и провести необходимые согласования по дополнениям к программе.

10. Для повышения уровня безопасности эксплуатации наиболее крупных энергообъектов:

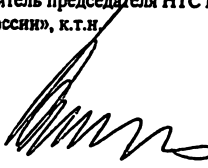
просить руководство РАО «ЕЭС России» и руководство АО-энерго активизировать работу по созданию на этих объектах специализированных геодинамических полигонов. предусмотренных общей концепцией обеспечения сейсмической безопасности России и структурой Федеральной Службы сейсмологических наблюдений (ФССН) РФ;

при геодинимическом мониторинге использовать современные GPS-технологии;

ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева и АО НИИЭС пересмотреть концепцию натуральных наблюдений на гидротехнических сооружениях с учетом возможных геодинимических воздействий;

ЦСГНЭО в своей текущей оперативной работе больше внимания уделять прогнозу опасных геодинимических явлений на участках эксплуатируемых и строящихся энергообъектов.

Заместитель председателя НТС РАО
«ЕЭС России», к.т.н.




В.В. Нечаев

Ученый секретарь НТС РАО «ЕЭС России»




Л.В. Ефимов

Председатель секции «Гидроэлектростанций, гидротехнических сооружений и экологии в гидроэнергетике» - начальник Департамента управления капитальным строительством и реконструкцией РАО «ЕЭС России», к.т.н.



С.Я. Лашев

Ученый секретарь секции



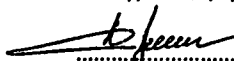
Т.П. Осипова



РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
«ЕЭС РОССИИ»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель НТС РАО «ЕЭС России»,
Председатель Научного совета РАН по
проблемам надежности и безопасности
больших систем энергетики
член-корр. РАН, профессор


.....
26.12.2000
А.Ф. Дьяков

**Выписка из ПРОТОКОЛА заседания НТС РАО «ЕЭС России»,
секция «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и
экология в гидроэнергетике»**

15 февраля 2001 года

№1

Москва

О выдвижении работы «*Обеспечение сейсмической безопасности энергетических объектов (исследования, разработки, внедрение)*» и авторского коллектива на соискание премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 2001 год

Присутствовали: члены НТС РАО «ЕЭС России» члены секции «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и экология в гидроэнергетике» в количестве 51 человека и приглашенные специалисты в количестве 21 человека.

Слушали: президента Ассоциации «Гидропроект» д.т.н. В.Я. Шайтанова о выдвижении работы «*Обеспечение сейсмической безопасности энергетических объектов (исследования, разработки, внедрение)*» на премию Правительства РФ в области науки и техники за 2001 год.

Авторский коллектив:

От РАО «ЕЭС России»

Дьяков Анатолий Федорович, руководитель работы, председатель НТС РАО «ЕЭС России», председатель научного совета РАН по проблемам безопасности больших систем энергетики, член-корр. РАН, профессор;

Лащенко Семен Яковлевич, начальник Департамента строительства и реконструкции РАО «ЕЭС России», кандидат техн. наук;

Кузнецов Владимир Александрович, первый зам. начальника Департамента электрических станций РАО «ЕЭС России»;

Савич Анатолий Игоревич, директор Центра службы геодинимических наблюдений в электроэнергетической отрасли — филиала АО «Институт Гидропроект», доктор физ.-мат. наук, академик РАЕН;

Бронштейн Вадим Израйлович, зам. директора по безопасности сооружений Центра службы геодинимических наблюдений в электроэнергетической отрасли — филиала АО «Институт Гидропроект», доктор техн. наук, академик РАПК;

Храпков Анатолий Александрович, главный научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», доктор техн. наук, профессор;

Семенов Игорь Владимирович, зам. генерального директора АО НИИЭС по науке, кандидат техн. наук.

От Госстандарта РФ

Шильдин Вячеслав Витальевич, начальник управления Госстандарта России, доктор техн. наук, академик РАПК;

Дружинин Алексей Иванович, начальник отдела Научно-технического управления Госстандарта России;

Покровский Владимир Николаевич, председатель подкомитета «Сейсмические воздействия» ТК 341 Госстандарта России, академик РАПК;

Оржаховский Марк Леопольдович, председатель ТК 341 «Внешние воздействия» Госстандарта России, академик РАПК.

От Российской Академии Наук

Соболев Геннадий Александрович, заместитель директора ОИФЗ РАН, член-корр., профессор.

От Госстроя РФ

Айзенберг Яков Моисеевич, руководитель Центра изучения сейсмостойкости ГУП «ЦНИИСК им. Кучеренко» Госстроя РФ, доктор техн. наук, профессор.

От ОАО «ВИТ» (Украина)

Бородай Игорь Александрович, начальник лаборатории механических исследований ОАО «ВИТ» (Украина). кандидат техн. наук;

Мелешко Игорь Юрьевич, генеральный директор ОАО «ВИТ» (Украина).



РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
«ЕЭС РОССИИ»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель НТС РАО «ЕЭС России»,
Председатель Научного совета РАН по
проблемам надежности и безопасности
больших систем энергетики
член-корр. РАН, профессор

А.Ф. Дьяков

26.12.2000

**Выписка из ПРОТОКОЛА заседания НТС РАО «ЕЭС России»,
секция «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и
экология в гидроэнергетике»**

15 февраля 2001 года

№1

Москва

О выдвижении работы «*Обеспечение сейсмической безопасности энергетических объектов (исследования, разработки, внедрение)*» и авторского коллектива на соискание премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 2001 год

Присутствовали: члены НТС РАО «ЕЭС России» члены секции «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и экология в гидроэнергетике» в количестве 51 человека и приглашенные специалисты в количестве 21 человека.

Слушали: президента Ассоциации «Гидропроект» д.т.н. В.Я. Шайтанова о выдвижении работы «*Обеспечение сейсмической безопасности энергетических объектов (исследования, разработки, внедрение)*» на премию Правительства РФ в области науки и техники за 2001 год.

Авторский коллектив:

От РАО «ЕЭС России»

Дьяков Анатолий Федорович, руководитель работы, председатель НТС РАО «ЕЭС России», председатель научного совета РАН по проблемам безопасности больших систем энергетики, член-корр. РАН, профессор;

Лащенко Семен Яковлевич, начальник Департамента строительства и реконструкции РАО «ЕЭС России», кандидат техн. наук;

Кузнецов Владимир Александрович, первый зам. начальника Департамента электрических станций РАО «ЕЭС России»;

Савич Анатолий Игоревич, директор Центра службы геодинимических наблюдений в электроэнергетической отрасли — филиала АО «Институт Гидропроект», доктор физ.-мат. наук, академик РАЕН;

Бронштейн Вадим Израйлович, зам. директора по безопасности сооружений Центра службы геодинимических наблюдений в электроэнергетической отрасли — филиала АО «Институт Гидропроект», доктор техн. наук, академик РАПК;

Храпов Анатолий Александрович, главный научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», доктор техн. наук, профессор;

Семенов Игорь Владимирович, зам. генерального директора АО НИ-ИЭС по науке, кандидат техн. наук.

От Госстандарта РФ

Шильдин Вячеслав Витальевич, начальник управления Госстандарта России, доктор техн. наук, академик РАПК;

Дружинин Алексей Иванович, начальник отдела Научно-технического управления Госстандарта России;

Покровский Владимир Николаевич, председатель подкомитета «Сейсмические воздействия» ТК 341 Госстандарта России, академик РАПК;

Оржаховский Марк Леопольдович, председатель ТК 341 «Внешние воздействия» Госстандарта России, академик РАПК.

От Российской Академии Наук

Соболев Геннадий Александрович, заместитель директора ОИФЗ РАН, член-корр., профессор.

От Госстроя РФ

Айзенберг Яков Моисеевич, руководитель Центра изучения сейсмостойкости ГУП «ЦНИИСК им. Кучеренко» Госстроя РФ, доктор техн. наук, профессор.

От ОАО «ВИТ» (Украина)

Бородай Игорь Александрович, начальник лаборатории механических исследований ОАО «ВИТ» (Украина). кандидат техн. наук;

Мелешко Игорь Юрьевич, генеральный директор ОАО «ВИТ» (Украина).

На заседании НТС рассмотрены следующие кандидатуры от РАО «ЕЭС России»:

Дьяков Анатолий Федорович, Лашенов Семен Яковлевич, Кузнецов Владимир Александрович, Савич Анатолий Игоревич, Бронштейн Вадим Израйлович, Храпков Анатолий Александрович, Семенов Игорь Владимирович.

В обсуждении представленной работы и выдвинутых кандидатур приняли участие: Е.Н. Беллендир (первый заместитель генерального директора ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», доктор техн. наук), В.И. Брызгалов (директор Саяно-Шушенской ГЭС, доктор техн. наук.), А.Н. Марчук (главный научный сотрудник ИФЗ РАН, доктор техн. наук.), Я.М. Айзенберг (руководитель центра изучения сейсмостойкости ГУП «ЦНИИСК им. Кучеренко», доктор техн. наук, профессор), В.Н. Покровский (председатель подкомитета «Сейсмические воздействия» ТК 341 Госстандарта России, академик РАПК).

Все выступавшие поддержали выдвижение обсуждаемой работы на соискание премии правительства РФ по науке и технике.

Постановили:

1. Рекомендовать выдвижение работы *«Обеспечение сейсмической безопасности энергетических объектов (исследования, разработки, внедрение)»* на Премию Правительства РФ в области науки и техники в 2001 г. Отметить высокий научно-технический уровень работы, комплексный подход к решению проблемы и большую практическую значимость проведенных исследований в обеспечении реальной безопасности эксплуатации различных энергетических объектов, расположенных в сейсмоактивных областях как Российской Федерации, так и сопредельных стран.

2. Рекомендовать включить в состав авторского коллектива работы, выдвигаемой на Премию Правительства РФ в области науки и техники за 2001 год, от РАО «ЕЭС России» Дьякова Анатолия Федоровича, Лашенова Семена Яковлевича, Кузнецова Владимира Александровича, Савича Анатолия Игоревича, Бронштейна Вадима Израйловича, Храпкова Анатолия Александровича, Семенова Игоря Владимировича.

Зам. председателя НТС

В. В. Нечаев

Ученый секретарь секции «Гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения и экология в гидроэнергетике» НТС

Т.П. Осипова

**МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ КОМИССИЯ
ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ
И СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ (МВК)**

(образована Постановлением Правительства Российской
Федерации от 9 января 1994 № 10)

117987, ГСП-1, Москва
ул.Строителей, 8, корп.2,
Госстрой России

Секретариат: тел. 930-62-48

факс 930-65-03

**УТВЕРЖДАЮ
Председатель МВК**


А.Ш.Шамузафаров
"23" ЯНВАРЯ 2001 г.

**Выписка из ПРОТОКОЛА заседания Межведомственной
комиссии по сейсмическому районированию и сейсмостойкому
строительству (МВК)**

г.Москва

№4

21 декабря 2000 г.

Повестка дня

1. Рассмотрение проекта ГОСТ «Мониторинг риска обрушений зданий и сооружений» (М.А. Шадраманьян — ВНИИ ГОЧСМЧС России)
2. О создании и введении банка знаний по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству (В.Н. Страхов — ОИФЗ РАН)
3. Отраслевые программы Минэнерго России «Сейсмостойкость энергетических сооружений» и «Комплексная программа повышения сейсмостойкости объектов энергетической отрасли» (А.И. Савич — ЦСГНЭО)
4. Современные методы оценки сейсмостойкости энергообъектов. На примере Саяно-Шушенской ГЭС. (В.И. Бронштейн — ЦСГНЭО)
5. Утверждение плана работы Комиссии на 2001 год.

Председательствовал: *Барина Л.С.* — первый заместитель председателя МВК

Присутствовали:

Заместители председателя Комиссии *Анзенберг Я.М., Страхов В.Н.*

Члены Комиссии: *Баулин В.В., Баулин Ю.И., Бобров Ф.В., Вартамян Г.С., Клячко М.А., Мелентьев А.С., А.С., Переселенков Г.С., Рузайкин А.И., Савич А.И., А.М., Севостьянов В.В., Уломов В.И., Шахрамакьян М.А., Шестоперов Г.С.*

Приглашенные на заседание Комиссии:

от Госстроя России — *Фролов Н.И., Сенина В.С.*

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко — *Назаров Ю.П.*

НИИОСП — *Ставницер Р.Л.*

ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева Минэнерго России — *Белендир Е.Н., Храпков А.А.*

ЦСГНЭО филиал института «Гидропроект» им. С.Я. Жука — *Бронштейн В.И.*

ЦРГГИ «ГЕОН» МПР России — *Коновалов Ю.Ф.*

Пункты 3 и 4 повестки дня:

Об отраслевых программах Минэнерго России «Сейсмостойкость энергетических объектов», «Комплексная программа по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли». (*Савич А.И., Переселенков Г.С., Айзенберг Я.М., Шестоперов Г.С., Коновалов Ю.Ф., Клячко М.А.*)

Современные методы оценки сейсмостойкости энергообъектов (на примере Саяно-Шушенской ГЭС) (*Бронштейн В.И., Храпков А.А., Белендир Е.Н., Переселенков Г.С., Клячко М.А., Барина Л.С.*)

Основной целью отраслевой научно-технической программы ОНТП 0.11 «Сейсмостойкость энергетических объектов» является создание научно-методической и нормативной базы для обеспечения сейсмостойкости энергообъектов при их проектировании, строительстве, эксплуатации и реконструкции, а также выполнение конкретных работ по уточнению сейсмических условий и сейсмостойкости отдельных объектов».

Целью отраслевой научно-технической программы «Комплексная программа по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли» является выполнение практических мероприятий по повышению сейсмостойкости энергетических объектов и защите их от опасных геодинамических воздействий.

Необходимость выполнения программ обусловлена произошедшими в последнее десятилетие существенными изменениями в оценке уровня сейсмической и геодинамической опасности для большинства энергообъектов РФ и сопредельных стран, что связано как с выходом новой карты сейсмического районирования территории бывшего СССР — СР-97, так и с накопленным опытом эксплуатации крупных энергообъектов в сложных природных условиях.

Анализ сложившейся ситуации свидетельствует, что приблизительно для 100 крупных энергообъектов современные оценки уровня сейсмической опасности на 1 – 2, а иногда и на 3 балла превышают уровень, принятый при проектировании и строительстве этих объектов. В процессе многолетней эксплуатации сооружений произошли значительные изменения физико-механических свойств сооружений и грунтов оснований.

Для обеспечения сейсмостойкости энергообъектов предусматриваются антисейсмические мероприятия, а также выполняется уточнение сейсмических условий, оценка современного состояния объекта и его основания, проведение поверочных расчетов реакции сооружений на сейсмические воздействия с учётом их современного состояния, определение критериальных показателей и рекомендаций по безопасной эксплуатации объектов, разработка инженерных мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов.

Поверочные расчеты сейсмостойкости эксплуатируемых энергообъектов, выполняемые в последние годы, базируются, помимо использования современного вычислительного аппарата волновой теории сейсмостойкости, на уточнённых оценках сейсмической опасности, представлении сейсмических воздействия в виде 3-х компонентных акселерограмм, приуроченных к реальным сейсмогенерирующим зонам, учете фактической истории возведения объекта и реальных деформационных, прочностных, динамических и других свойств материалов сооружения и его основания, установленных при проведении натурного обследования.

Примером выполненных расчётов могут служить численные исследования напряженно-деформированного состояния плотины Са-яно-Шушенской ГЭС.

Бетонная арочно-гравитационного типа плотина высотой 242 м и длиной по гребню 1066 м была запроектирована на 7-балльное сейсмическое воздействие. Выполненными ЦСГНЭО исследованиями по уточнению сейсмической опасности участка гидроузла обосновано увеличение интенсивности расчетного сейсмического воздействия до 8 баллов при среднем периоде повторяемости 5000 лет.

Выбор расчетной трех компонентной акселерограммы произведен на основании специальных методических расчетов. Современные показатели свойств бетона тела плотины и скальных пород основания после более чем 20-летнего периода эксплуатации гидроузла установлены в результате натуральных инструментальных исследований.

Математическая модель предоставляет возможность учёта нелинейных эффектов, обусловленных наличием в плотине радиальных межсекционных швов, раскрытием контактного шва бетон-скала, строительной разрезкой плотины на столбы вертикальными цилиндрическими швами, образованием в плотине горизонтальной трещины.

Анализ результатов расчётов показал, что при максимальном расчётном землетрясении в плотине возникнут обширные зоны суммарных (статика плюс сеймика) растягивающих напряжений, максимальные значения которых существенно превышают прочность бетона на растяжение и, тем более, прочность межсекционных и межблочных швов. Ввиду невозможности обоснования сейсмостойкости сооружения в рамках линейно-упругого расчета, окончательное суждение о способности или неспособности плотины перенести землетрясение максимального расчётного уровня и необходимости проведения инженерных мероприятий по повышению её сейсмостойкости может быть сделано лишь после выполнения нелинейного динамического расчёта с учётом раскрытия швов и возможности образования трещин.

Решили:

1. Отметить актуальность и большую народно-хозяйственную значимость задач, решаемых в рамках отраслевых научно-технических программ РАО «ЕЭС России» «Сейсмостойкость энергетических объектов» и «Комплексной программы по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли», а также высокий научно-технический уровень выполненных работ и практическую ценность полученных результатов.

2. Учитывая полученные в ходе проведенных работ выводы о недостаточной сейсмостойкости целого ряда энергетических объектов, рекомендовать РАО «ЕЭС России» приступить к реализации практических мероприятий по обеспечению требуемого уровня их сейсмостойкости, предусмотренных вторым этапом «Комплексной программы по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли».

3. Считать необходимым продолжить намеченные работы по указанным программам и рекомендовать руководству РАО «ЕЭС Рос-

сии» ускорить выполнение исследований по переоценке сейсмостойкости всех эксплуатируемых энергообъектов, расположенных в районах с повышенной сейсмической опасностью.

4. В «Комплексной программе по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли» предусмотреть раздел по проведению исследований объектов энергетической отрасли как природно-технических систем в целом, т.е. всего комплекса сооружений и природных структур в зоне, подлежащей детальному сейсмическому районированию (ДСР), с оценкой возможных влияний сейсмического воздействия на эти системы и разработкой рекомендаций по превентивным мероприятиям обеспечения их устойчивости к этим воздействиям. При этом особое внимание уделить разработке мероприятий по жизнеобеспечению в этой зоне.

5. Считать целесообразным установление более тесных контактов исполнителей рассматриваемых программ РАО «ЕЭС России» с исполнителями аналогичных программ других ведомств, в первую очередь РАН, МЧС и Госстроя России.

6. Принять к сведению информацию доктора техн. наук В.И. Бронштейна (ЦСГНЭО — филиала «Института Гидропроект») о современных методах оценки сейсмостойкости энергообъектов. Отметить актуальность и практическую значимость расчетных исследований и рекомендовать разработчикам продолжить работу по совершенствованию расчетных исследований сейсмостойкости энергетических объектов.

Первый заместитель председателя МВК

Л.С. Барина

Секретарь

В.С. Сенина



ОАО «Научно-исследовательский институт
энергетических сооружений»
(АО НИИЭС)

123362, Москва, Строительный проезд, 7а
Тел.: 095 493 5132, 497 5601 Факс: 095 493 6429
E-mail: niiesoao@mtu-net.ru, <http://www.niies.ru>

Бетоны

для ремонта бетонных и железобетонных сооружений и конструкций

Разработка, испытание и внедрение различных видов бетонов, предназначенных для строительства, реконструкции, укрепления и высокоэффективного ремонта в первую очередь гидротехнических, а также строительных сооружений различного назначения.

УКАТАННЫЕ МАЛОЦЕМЕНТНЫЕ ОСОБО ЖЕСТКИЕ БЕТОНЫ

- Послойное бетонирование без нарезки на блоки
- Отсутствие температурных и усадочных швов в протяжённых бетонных конструкциях
- Практическое отсутствие усадки и ползучести
- Низкий расход цемента
- Полная механизация работ

Бесцементный бетон — разновидность укатанных бетонов — на основе шлаковых отходов.

Внедрение: на гидроузлах — Крапивинском и Капанда (Ангола), на Ташкумырской ГЭС, Загорской ГАЭС, при строительстве Бурейской, Саяно-Шушенской, Катунской и Курпсайской ГЭС.

АО НИИЭС разработаны **Технические условия** на технологию бетонирования откосов, **Методические указания** по производству бетонных работ при возведении сооружений из укатанного бетона.

МОРОЗОСТОЙКИЕ БЕТОНЫ

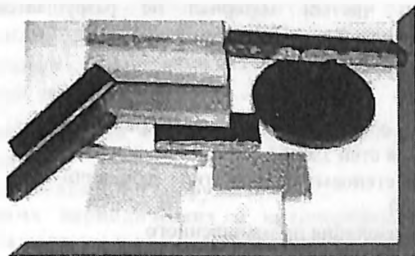
- Повышенная долговечность и прочность в условиях попеременного замораживания и оттаивания (150–1000 циклов)
- Возможность применения пластифицирующих и воздухововлекающих добавок.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

- Массивная облицовка бетонных сооружений для их защиты от истирания
- Высокая износостойкость — в 10–30 раз превосходят высокопрочные цементные бетоны
- Низкое водопоглощение
- Малая усадка
- Хорошая пластичность и сцепление с бетонной смесью при укладке

ЛИТЫЕ НЕРАССЛАИВАЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ ВЫСОКОЙ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ

- Бетонирование густоармированных зон, тонкостенных и труднодоступных элементов сооружений
- Укладываются без вибрирования
- Содержат минеральные и пластифицирующие добавки
- Радиус растекания при укладке под водой - до 6 м, подвижность под водой в течение 3–4 часов
- Высокая прочность при сжатии-растяжении
- Прочность сцепления со старым бетоном — не менее 0,5 МПа
- Водонепроницаемость — не менее 12 Атм
- Морозостойкость — не менее 300 циклов



Использованы при ремонтных работах под водой на Плявинской и Волжской ГЭС, на насосной станции Камского водозабора и других объектах (для установки агрегатов, бетонирования тонкостенных подземных конструкций и т.п.). Они могут применяться также для осушения, бетонирования обводнённых свай фундаментов и при использовании метода «стена в грунте».

НИИЭС

ОАО «Научно-исследовательский институт
энергетических сооружений»
(АО НИИЭС)

123362, Москва, Строительный проезд, 7а
Тел.: 095 493 5132, 497 5601 Факс: 095 493 6429
E-mail: niiesoao@mtu-net.ru. <http://www.niies.ru>

КОНСИЛ

— негорючая жаростойкая минеральная теплоизоляция получается самовспениванием смеси исходных компонентов из вторичного сырья и отходов производства на основе кремния.

Аналогов в России в настоящее время нет, зарубежные в 3–4 раза дороже.

В 1998 г. **РАО «ЕЭС России»** рекомендовало его для использования в негорючих кровлях энергетических и других объектов.

Имеется **патент на изобретение, экологический сертификат**; разработаны и утверждены «Технические Условия».

Свойства:

- обладает стойкостью в парах кислоты
- по конструктивным особенностям разработанная теплоизоляция относится к самонесущей и ее крепление к изолируемой поверхности осуществляется путем использования собственной адгезии
- экологически чистый материал не разрушается при длительном воздействии воды и перепадах температуры
- имеет электроизоляционные свойства

Область применения:

- монолитная и сборная теплоизоляция кровель
- теплоизоляция стен зданий
- изготовление стеновых панелей типа «сэндвич»
- стыки панелей
- жаростойкая изоляция промышленного оборудования, труб.



Производство и доставка в пределах Московской области небольших партий исходных компонентов материала. Возможен вариант нашего совместного производства данного материала в любом регионе.

Материал «Консил» с 1996 г. успешно применяется:

- в Горжилуправлении г. Набережные Челны (уложено 3095 м² плиток материала для утепления наружных стен жилых зданий и 57,5 м³ его смеси использовано при заделке проёмов на лестничных клетках зданий)
- на КамАЗе
- на Курской АЭС (в негорючей кровле сооружений).

Разработанный теплоизоляционный материал «Консил» прошел долговременные испытания (более 10 лет) на атмосферостойкость и ускоренные на морозостойкость (не менее 50 циклов). Предполагаемый срок службы материала — не менее 20 лет.



ОАО «Научно-исследовательский институт
энергетических сооружений»
(АО НИИЭС)

123362, Москва, Строительный проезд, 7а
Тел.: 095 493 5132, 497 5601 Факс: 095 493 6429
E-mail: niiesoao@mtu-net.ru, http://www.niies.ru

ИНФОРМАЦИОННО – ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

КОМПЛЕКС РАБОТ

1. Анализ действующей системы контроля за состоянием гидросооружений и проекта ее развития, составление и согласование детального технического задания на разработку и внедрение развитой компьютерной ИДС.
2. Программно-алгоритмическая реализация и информационное наполнение ИДС в среде *Windows*, интеграция действующей базы (баз) данных по наблюдениям.
3. Поставка и опытная эксплуатация ИДС на объекте, обучение пользователей, учет замечаний, документирование окончательной версии.
4. Сопровождение и развитие ИДС.

ВИДЫ СИСТЕМ

БИНГ-2 — система диагностического контроля безопасности работы электростанций — для сбора, хранения и обработки информации, получаемой с помощью контрольно-измерительных приборов, визуальных осмотров и обследований, проводимых на ГЭС.

Обеспечивает диагностику состояния всех сооружений ГЭС с целью контроля их безопасной эксплуатации.

ТЭС ИС — компьютерная система «Рабочее место инженера-смотрителя ТЭС» .

Назначение системы:

- ведение паспортов зданий и сооружений,
- внесение данных периодических и внеочередных осмотров, данных по наблюдению за уровнем и химическим составом грунтовых вод,
- автоматическое получение всех предусмотренных нормативными документами актов в формах, соответствующих требованиям РДПР,
- составление справок о состоянии и ремонте конструкций и т.д.

ОНК ТЭС — компьютерная система диагностического контроля за состоянием строительных конструкций зданий и сооружений тепловых электростанций.

Назначение системы:

- сбор, хранение, обработка информации;
- контроль динамики развития дефектов и повреждений и эффективности восстановления конструкций;
- создание электронной базы данных состояния всех обследованных сооружений и их элементов за весь период эксплуатации;
- поддержание четкого регламента и последовательности действий при комиссионных обследованиях.

**Безопасность энергетических сооружений.
Сборник**

**Научный редактор И.В. Семенов
Технический редактор Т.А. Григорьева
Оригинал-макет и компьютерная верстка А.Г. Мелихова**

**Подписано в печать 24.06. 2001
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс
Бумага офс. №1. Печать офсетная.
Объем 4,5 п.л. Тираж 1000 экз.**

ИПЦ «Глобус», г. Москва, Тверская застава, 3.