МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ **СП 358.1325800.2017**

СООРУЖЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ

Правила проектирования и строительства в сейсмических районах

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛИ — Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева») при участии «Центра службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли» (ЦСГНЭО) — филиала АО «Институт Гидропроект»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26 декабря 2017 г. № 1720/пр и введен в действие с 27 июня 2018 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2017
© Стандартинформ, оформление, 2018

Настоящий свод правил не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 2
4 Общие положения. Определение нормативной, исходной и расчетной сейсмичности 3
5 Сейсмические воздействия и определение их характеристик 6
6 Расчетные сейсмические воздействия. Требования к расчетам гидротехнических сооружений на сейсмические воздействия 7
7 Мероприятия по повышению сейсмостойкости гидротехнических сооружений 19
8 Геодинамический мониторинг гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации 20
Приложение А Обозначения величин сейсмических воздействий 22
Приложение Б Использование методов математической теории надежности для оценки сейсмостойкости сооружений 23
Приложение В Динамические характеристики грунтов 24
Приложение Г Геодинамический мониторинг на гидротехнических сооружениях 28
Приложение Д Основные требования к проведению работ по уточнению (обоснованию) исходной сейсмичности и сейсмическому микрорайонированию площадок гидротехнических сооружений и морских нефтегазопромысловых сооружений 32
Библиография 35

Введение

Настоящий свод правил составлен с учетом требований федеральных законов от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 29 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Работа выполнена авторским коллективом Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева») (д-р техн. наук *Е.Н. Беллендир*, д-р техн. наук *В.Б. Глаговский*, д-р техн. наук *А.А. Храпков,* канд. техн. наук *А.П. Пак,* канд. техн. наук *М.С. Ламкин*) при участии «Центра службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли» (ЦСГНЭО) — филиала АО «Институт Гидропроект» (д-р физ.-мат. наук *А.И. Савич*, канд. техн. наук *В.В. Речицкий*, канд. физ.-мат. наук *А.Г. Бугаевский,* канд. геол.-минерал. наук *А.Л. Стром*).

С В О Д П Р А В И Л

СООРУЖЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ

Правила проектирования и строительства в сейсмических районах

Hydraulic structures. Rules of design and construction in seismic-prone regions

Дата введения — 2018—06—27

1 Область применения

Настоящий свод правил распространяется на проектирование, строительство новых и реконструируемых напорных и безнапорных гидротехнических сооружений в сейсмических районах.

Настоящий свод правил распространяется на следующие гидротехнические сооружения: плотины, дамбы, водоприемники, поверхностные и донные водосбросы, каналы, гидротехнические туннели, напорные трубопроводы, сооружения на деривационных трактах, шлюзы, судоподъемники, направляющие и причальные сооружения, рыбопропускные сооружения, берегоукрепительные сооружения, причальные пирсы и стенки, волноломы, доки, подземные сооружения гидроэлектрических станций, гидротехнические сооружения тепловых и атомных станций, а также на сооружения, возводимые на шельфе.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

СП 14.13330.2014 «СНиП II-7—81* Строительство в сейсмических районах» (с изменением № 1)

СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02—85* Основания гидротехнических сооружений» (с изменением № 1)

СП 39.13330.2012 «СНиП 2.06.05—84* Плотины из грунтовых материалов» (с изменением № 1)

СП 40.13330.2012 «СНиП 2.06.06—85 Плотины бетонные и железобетонные»

СП 41.13330.2012 «СНиП 06.08—87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений»

СП 58.13330.2012 «СНиП 33-01—2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения» (с изменением № 1)

Примечание — При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

Издание официальное

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины по СП 14.13330, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **временно́й анализ:** Метод расчета, в котором для каждой из точек наблюдения искомые параметры (смещения, деформации, напряжения и т. д.) определяются на всем временно́м интервале, отвечающем процессу прохождения сейсмической волны.

3.1.2 **детальное сейсмическое районирование;** ДСР *(здесь)*: Комплекс сейсмологических и сейсмотектонических исследований по оценке сейсмической опасности методами, позволяющими на рассматриваемой территории обеспечить выделение зон возникновения очагов землетрясений более низких рангов по сравнению с зонами, выделяемыми при общем сейсмическом районировании. Масштаб карт ДСР — 1:500 000—1:200 000.

3.1.3 **инструментальный метод сейсмического микрорайонирования;** СМР: Метод учета влияния локальных особенностей строения и свойств верхней части грунтовой толщи основания на интенсивность сотрясения и кинематические параметры землетрясения на районируемой площадке с помощью прямых сейсмометрических наблюдений.

3.1.4 **интенсивность землетрясения:** Оценка воздействия землетрясения в баллах действующей макросейсмической шкалы, определяемая по макросейсмическим описаниям разрушений и повреждений природных объектов, грунта, зданий и сооружений, движений тел, а также по наблюдениям и ощущениям людей.

3.1.5 **исходная сейсмичность:** Сейсмичность площадки гидротехнического сооружения, определяемая для нормативных периодов повторяемости и средних грунтовых условий с помощью ДСР или уточнения исходной сейсмичности (или принятая равной нормативной сейсмичности).

3.1.6 **линейный временно́й анализ:** Временно́й анализ, при котором материалы сооружения и грунты основания принимаются линейно-упругими, а геометрическая и конструктивная нелинейности в поведении системы «сооружение — основание» отсутствуют.

3.1.7 **магнитуда:** Энергетическая оценка землетрясения, относящаяся к его очагу и не зависящая от пункта наблюдения; вычисляется по показаниям сейсмографов и выражается безразмерной величиной в целых и десятичных числах в логарифмической шкале.

3.1.8 **максимальное расчетное землетрясение;** МРЗ: Землетрясение (сейсмическое воздействие) максимальной интенсивности на площадке строительства со средней повторяемостью один раз в 5000 лет для водоподпорных сооружений классов I, II и III и морских нефтегазопромысловых сооружений и повторяемостью один раз в 1000 лет — для всех остальных гидротехнических сооружений.

3.1.9 **метод расчета по динамической теории (метод расчета по ДТ):** Метод расчета на воздействие, заданное в форме акселерограмм колебаний грунта в основании сооружения, путем численного интегрирования уравнений движения.

3.1.10 **метод расчета по линейно-спектральной теории (метод расчета по ЛСТ):** Метод расчета на сейсмостойкость, в котором значения сейсмических нагрузок определяются по коэффициентам динамичности (или по спектрам отклика) в зависимости от частот и форм собственных колебаний конструкции.

3.1.11 **метод расчета по статической теории (метод расчета по СТ):** Метод расчета на сейсмостойкость, в котором значения сейсмических нагрузок определяются произведением массы конструкции (или рассматриваемого объема грунта) на абсолютное ускорение этой конструкции (или указанного объема грунта).

3.1.12 **нелинейный временно́й анализ:** Временно́й анализ, при котором учитывается зависимость механических характеристик материалов сооружения и грунтов основания от уровня напряжений и характера динамического воздействия, а также возможны геометрическая и конструктивная нелинейности в поведении системы «сооружение — основание».

3.1.13 **нормативная сейсмичность:** Сейсмичность района нахождения гидротехнического сооружения, определяемая для нормативных периодов повторяемости расчетного землетрясения по картам ОСР-2015.

3.1.14 **общее сейсмическое районирование;** ОСР: Оценка сейсмической опасности на территории всей страны, принимаемая в качестве нормативной сейсмичности районов. Масштаб карт ОСР — 1:2 500 000—1:8 000 000.

3.1.15 **проектное землетрясение;** ПЗ: Землетрясение (сейсмическое воздействие) максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 500 лет для всех гидротехнических сооружений.

3.1.16 **расчетный метод сейсмического микрорайонирования (расчетный метод СМР):** Метод учета влияния локальных особенностей строения и свойств верхней части грунтовой толщи основания на интенсивность сотрясений и кинематические параметры землетрясения на районируемой площадке, основанный на полуэмпирических соотношениях и (или) теоретических расчетах прохождения сейсмических волн через модель слоистой среды, построенную по данным инженерно-геологических и инструментальных геофизических исследований.

3.1.17 **сейсмический район:** Район с установленными и возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке гидротехнического сооружения сейсмические воздействия интенсивностью 6 баллов и более.

3.1.18 **сейсмическое микрорайонирование;** СМР: Комплекс инженерно-геологических и сейсмометрических работ по прогнозированию влияния особенностей строения приповерхностной части разреза (строение и свойства, состояние пород, характер их обводненности, рельеф и т. п.) на сейсмический эффект и параметры колебаний грунта на площадке. Под приповерхностной частью разреза понимается верхняя толща пород, существенно влияющая на интенсивность землетрясения. Как правило, масштаб карт СМР — 1:10 000—1:2000. Масштаб СМР устанавливается заданием на проектирование.

3.1.19 **сейсмическое районирование** (*здесь*): Картирование сейсмической опасности (определение сейсмичности рассматриваемых территорий) с помощью комплекса сейсмологических, геологических и геофизических методов и основанное на выявлении зон возможных очагов землетрясений и определении сейсмического эффекта, создаваемого ими на земной поверхности.

3.1.20 **сейсмичность площадки сооружения (строительства):** Интенсивность расчетных сейсмических воздействий на площадке строительства с соответствующими категориями повторяемости за нормативный срок. Сейсмичность устанавливается в соответствии с картами сейсмического районирования и СМР площадки строительства и измеряется в баллах по действующей макросейсмической шкале.

3.1.21 **спектр отклика однокомпонентной акселерограммы:** Функция, связывающая между собой максимальное по модулю ускорение одномассового линейного осциллятора и соответствующий этому ускорению период (либо частоту) собственных колебаний того же осциллятора, основание которого движется по закону, определенному данной акселерограммой.

3.1.22 **уточнение (определение) исходной сейсмичности;** УИС (*здесь*): Комплекс сейсмологических и сейсмотектонических исследований, выполняемых в составе инженерных изысканий для определения возможных сейсмических воздействий, в том числе в инженерных терминах, на конкретные существующие и проектируемые сооружения повышенного уровня ответственности.

3.2 Сокращения

В настоящем своде правил применены следующие сокращения:
ВСНФ — водоподпорное сооружение в составе напорного фронта;
ГТС — гидротехническое сооружение;
ГЭС — гидроэлектростанция;
зона ВОЗ — зона возможных очагов землетрясений;
КИА — контрольно-измерительная аппаратура;
ЛСС — локальная сейсмологическая сеть;
МНГС — морское нефтегазопромысловое сооружение;
РА — расчетная акселерограмма;
УГВ — уровень грунтовых вод.

4 Общие положения. Определение нормативной, исходной и расчетной сейсмичности

4.1 Настоящий свод правил устанавливает требования для ГТС, размещаемых или расположенных в районах с нормативной сейсмичностью I^{nor}, равной 6 баллам и более по карте С (со средним периодом повторяемости воздействия один раз в 5000 лет) действующего комплекта карт ОСР.

4.2 Для обеспечения сейсмостойкости проектируемых, строящихся и эксплуатируемых ГТС требуется:

- выполнение комплекса расчетов по оценке прочности и устойчивости сооружений и их элементов с учетом взаимодействия ГТС с основанием и водохранилищем;

- применение конструктивных решений и материалов, повышающих сейсмостойкость ГТС;

- проведение на стадии проектирования водоподпорных сооружений классов I и II и МНГС исследований с задачей установления исходной и расчетной сейсмичности площадки строительства, наличия опасных процессов и явлений, связанных с сейсмичностью, определения расчетных сейсмических воздействий, получение при необходимости набора акселерограмм для этих воздействий;

- включение в проекты водоподпорных сооружений классов I и II отдельного раздела о проведении в процессе эксплуатации сооружения мониторинга опасных геодинамических явлений;

- обследование состояния ГТС и их оснований после каждого перенесенного землетрясения интенсивностью 5 баллов и более.

4.3 Все ГТС следует рассчитывать на два уровня сейсмических воздействий: МРЗ и ПЗ.

Гидротехнические сооружения должны воспринимать МРЗ без угрозы собственного разрушения, в том числе ВСНФ всех классов — без угрозы прорыва напорного фронта, а МНГС — без угрозы собственного разрушения и без угрозы повреждений, приводящих к выбросу в окружающую среду углеводородов.

Сейсмические воздействия уровня ПЗ должны восприниматься ГТС без угрозы для жизни и здоровья людей и с сохранением собственной ремонтопригодности (для ВСНФ — при любом предусмотренном правилами эксплуатации уровне верхнего бьефа). При этом допускаются остаточные смещения, деформации, трещины и иные повреждения.

Примечание — Морские портовые причальные сооружения классов I и II, а также оградительные сооружения класса I рассчитывают на два уровня сейсмических воздействий. Остальные портовые безнапорные сооружения допускается рассчитывать только на сейсмические воздействия уровня ПЗ.

4.4 При проектировании ГТС для определения нормативной сейсмичности района строительства необходимо использовать действующую систему нормативных карт ОСР либо список населенных пунктов Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах (СП 14.13330). При этом используют карту:

- ОСР-С — при расчете на МРЗ водоподпорных сооружений классов I, II и III;
- ОСР-В — при расчете на МРЗ водоподпорных сооружений класса IV и безнапорных ГТС;
- ОСР-А — при расчете на ПЗ ГТС всех классов и видов.

4.5 Исходную сейсмичность I^{bg} площадки ВСНФ классов I и II и МНГС для МРЗ и ПЗ следует определять по результатам ДСР или методами УИС. При этом должна быть составлена сейсмотектоническая модель сейсмического района расположения объекта, содержащая карту основных зон ВОЗ с параметрами сейсмических воздействий (максимальные магнитуды, глубины очагов и эпицентральные расстояния, повторяемость землетрясений). Следует также установить параметры расчетных сейсмических воздействий из всех выделенных зон на площадке сооружения с определением значений максимальных пиковых ускорений. Должны быть приведены также сведения о наличии или отсутствии активных разломов и возможности склоновых смещений большого объема и их параметрах (приложение Е).

Исходную сейсмичность площадок других ГТС допускается принимать равной:

- при расчете на МРЗ:
  - для ВСНФ класса III — значению величины I^{nor}_{5000} (карта ОСР-С);
  - для ВСНФ класса IV и безнапорных ГТС — значению величины I^{nor}_{1000} (карта ОСР-В);
- при расчете на ПЗ для ГТС всех классов и видов — значению величины I^{nor}_{500} (карта ОСР-А).

В случаях, когда нормативная сейсмичность района для требуемого периода повторяемости превышает 9 баллов, исходную сейсмичность площадки ГТС независимо от вида и класса ГТС следует определять на основе ДСР или УИС, при этом необходимо учитывать 4.8.

4.6 Расчетную сейсмичность I^{des} площадки ГТС следует устанавливать, исходя из исходной сейсмичности и с учетом данных СМР.

Расчетную сейсмичность принимают для уровней МРЗ и ПЗ.

Для ВСНФ классов I и II и МНГС исследования СМР следует выполнять инструментальными и расчетными методами, а для других ГТС допускается применять результаты инженерно-геологических и геофизических изысканий на площадке ГТС.

Расчетную сейсмичность площадок безнапорных ГТС всех классов, а также при соответствующем обосновании — подпорных ГТС класса IV допускается принимать по таблице 4.1 с использованием результатов инженерно-геологических изысканий на площадке ГТС.

Таблица 4.1 — Расчетная сейсмичность площадки сооружения

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Описание грунта	Расчетная сейсмичность площадки ГТС при исходной сейсмичности площадки, баллы				
		6	7	8	9	10
I	Скальные грунты всех видов (в том числе многолетнемерзлые в мерзлом и талом состоянии) невыветрелые и слабовыветрелые; крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; выветрелые и сильновыветрелые скальные и нескальные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре минус 2 °С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии); скорость распространения поперечных волн V_s > 700 м/с; соотношение скоростей продольных и поперечных волн V_p / V_s = 1,7—2,2 вне зависимости от степени водонасыщения	—	—	7	8	9
II	Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе многолетнемерзлые, кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к категории I; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L \le 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ — для глин и суглинков и $e < 0,7$ — для супесей; многолетнемерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше минус 2 °С при строительстве и эксплуатации по принципу I; V_s = 250—700 м/с; V_p / V_s = 1,7—2,2 для неводонасыщенных грунтов; V_p / V_s = 2,2—3,5 для водонасыщенных грунтов	—	7	8	9	Св. 9
III	Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,5$; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L \le 0,5$ при коэффициенте пористости $e \ge 0,9$ — для глин и суглинков и $e \ge 0,7$ — для супесей; многолетнемерзлые нескальные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допущение оттаивания грунтов основания); V_s < 250 м/с; V_p / V_s = 1,7—3,5 для неводонасыщенных грунтов; V_p / V_s > 3,5 для водонасыщенных грунтов	7	8	9	Св. 9	Св. 9

Как при СМР, так и при инженерно-геологических изысканиях глубину слоя исследования сейсмических свойств грунта следует определять, исходя из особенностей геологического строения площадки, но не менее 40 м от подошвы сооружения (для сооружений классов III и IV, не входящих в состав напорного фронта, — не менее 30 м).

Категорию грунта и его физико-механические и сейсмические характеристики следует определять с учетом возможных техногенных изменений свойств грунтов в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

В случаях, когда расчетную сейсмичность площадки определяют методами СМР, дополнительно следует устанавливать скоростные, частотные и резонансные характеристики грунта основания ГТС.

Примечания

1 В случаях, когда площадки ГТС сложены грунтами, по своему составу занимающими промежуточное положение между грунтами категорий I и II или II и III (например, основание сооружения представлено слоистыми грунтами), дополнительно к категориям грунта, указанным в таблице 4.1, допускается введение категорий I—II и II—III соответственно. При этом расчетную сейсмичность площадки I^{des} при грунтах категории I—II принимают как при грунтах категории II, а при грунтах категории II—III — как при грунтах категории III.

2 На период нахождения водохранилища в опорожненном состоянии (например, в строительный или ремонтный периоды) расчетную сейсмичность площадки водоподпорных ГТС при соответствующем обосновании допускается понижать на 1 балл.

4.7 На ранних стадиях проектирования при выборе площадки ГТС исходную сейсмичность надлежит определять согласно указаниям 4.5, а расчетную сейсмичность допускается уточнять по таблице 4.1 на основании результатов инженерно-геологических изысканий.

4.8 Строительство ГТС на площадках с расчетной сейсмичностью более 9 баллов, а также с расчетной сейсмичностью 9 баллов, но при наличии на площадке ГТС грунтов категории III по сейсмическим свойствам, следует осуществлять в соответствии с требованиями [2].

4.9 Проектировать здания ГЭС руслового, приплотинного и деривационного типов следует в соответствии с указаниями разделов 5—8. При этом здания всех типов следует рассматривать в качестве ВСНФ (6.3).

4.10 Проектировать надводные здания, крановые эстакады, опоры линий электропередачи и другие строительные конструкции, входящие в состав гидроузлов, следует в соответствии с СП 14.13330; при этом расчетную сейсмичность площадки ГТС следует принимать в соответствии с настоящим сводом правил.

В случае размещения этих объектов на ГТС или в контакте с ними сейсмическое воздействие должно задаваться движением, передаваемым со стороны основного сооружения.

5 Сейсмические воздействия и определение их характеристик

5.1 Сейсмические воздействия следует учитывать в тех случаях, когда значение величины I^{des} составляет 7 баллов и более для уровня МРЗ.

Примечание — Сейсмические воздействия входят в состав особых сочетаний нагрузок и воздействий (СП 58.13330).

5.2 Для ГТС значение среднего периода повторяемости МРЗ T_{ret}^{SEE} принимают равным:

- 5000 лет — для водоподпорных сооружений классов I, II и III;
- 1000 лет — для МНГС, водоподпорных сооружений класса IV и безнапорных ГТС.

Значение среднего периода повторяемости ПЗ T_{ret}^{OBE} для всех ГТС принимают равным 500 лет.

Примечание — Для морских портовых причальных сооружений классов I и II, а также для оградительных сооружений класса I, рассчитываемых на два уровня сейсмических воздействий, допускается принимать T_{ret}^{SEE} = 500 лет и T_{ret}^{OBE} = 100—200 лет. Для остальных портовых безнапорных сооружений, относительно которых принято решение рассчитывать только на ПЗ, допускается принимать T_{ret}^{OBE} = 100—200 лет.

5.3 Расчетные сейсмические воздействия при применении ДТ (см. 6.2) должны задаваться РА, масштабированными (при необходимости) по величинам максимальных пиковых ускорений основания a_p^{SEE} при МРЗ и a_p^{OBE} при ПЗ. Следует подбирать РА также с учетом данных о скоростных, частотных и резонансных характеристиках грунтов, залегающих в основании сооружения. Непосредственно для расчетов следует задавать две горизонтальные (Г1 и Г2) и вертикальную (В) компоненты РА.

Следует применять РА:

- из числа записей, произведенных на площадке или в районе сооружения;
- аналоговые из числа записей, сделанных в районах, сходных с районом площадки строительства по сейсмотектоническим, геологическим и другим сейсмологическим условиям;
- синтезированные, сформированные в соответствии с указанными ниже расчетными параметрами сейсмического воздействия (для МРЗ и ПЗ соответственно):
  - общая длительность сейсмических колебаний τ^{SEE} или τ^{OBE};
  - длительность фазы сейсмических колебаний основания $\tau_{0,5}^{SEE}\left(\tau_{0,3}^{SEE}\right)$ или $\tau_{0,5}^{OBE}\left(\tau_{0,3}^{OBE}\right)$;
  - период колебаний с максимальным пиковым ускорением $T_{\max}^{SEE}$ или $T_{\max}^{OBE}$;
  - преобладающий период колебаний $T_{0,5}^{SEE}\left(T_{0,3}^{SEE}\right)$ или $T_{0,5}^{OBE}\left(T_{0,3}^{OBE}\right)$.

При этом спектр отклика синтезированной акселерограммы не должен быть ниже огибающей спектров отклика отобранных аналоговых акселерограмм во всем диапазоне учитываемых частот сейсмических колебаний.

Приведенные параметры следует задавать в виде своих компонент Г1, Г2 и В.

Примечание — Объем и состав сейсмологических и сейсмотектонических исследований окончательно устанавливает проектно-изыскательская организация и согласовывает заказчик.

5.4 Для ВСНФ классов I и II и МНГС значения максимальных пиковых ускорений основания a_p^{SEE} и a_p^{OBE} следует определять при выполнении исследований по установлению для этих сооружений значения расчетной сейсмичности I^{des} (4.5, 4.6). Величины a_p^{SEE} и a_p^{OBE} в этом случае должны иметь обеспеченность не менее 50 %, а их нижнюю границу определяют согласно указаниям 6.7.

Для ВСНФ классов III и IV и безнапорных ГТС значения пиковых ускорений a_p^{SEE} и a_p^{OBE} следует принимать не менее значений, указанных в 6.7.

5.5 Расчетные сейсмические воздействия при использовании ЛСТ (см. 6.2) следует определять в соответствии с указаниями 6.10.

5.6 Расчетные сейсмические воздействия при использовании СТ (см. 6.2) следует определять в соответствии с указаниями 6.15.

5.7 В расчетах ГТС и их оснований учитывают следующие сейсмические нагрузки:

- распределенные по объему сооружения и его основания (а также боковых засыпок и наносов) инерционные силы $\vec{P}_V(x,t)$ интенсивностью

$$\vec{P}_V(x,t) = -\rho(x)\ddot{\vec{U}}(x,t),$$

где $\rho(x)$ — плотность материала в точке наблюдения x с координатами (в общем случае) x_1, x_2, x_3 по осям 1, 2, 3 соответственно;

$\ddot{\vec{U}}(x,t)$ — вектор ускорения точки x в момент времени t в абсолютном движении системы «сооружение — основание»;

- распределенное по поверхности контакта сооружения с водой гидродинамическое давление, вызванное инерционным влиянием колеблющейся с сооружением части жидкости;

- гидродинамическое давление, вызванное возникшими при землетрясении волнами на поверхности водоема.

В необходимых случаях учитывают взаимные подвижки блоков в основании сооружения, вызванные прохождением сейсмических волн через неоднородное основание.

Учитывают также возможные последствия таких связанных с землетрясениями явлений, как:

- смещения по активным тектоническим разломам;

- проседание грунта;

- обвалы и оползни в створе сооружения в зоне водохранилища, а также в нижнем и верхнем бьефах гидроузла, если в этих случаях они способны вызвать подтопление здания ГЭС и прорывные паводки большого объема;

- разжижение грунта.

Отказ от учета инерционных свойств основания допускается при специальном обосновании.

6 Расчетные сейсмические воздействия. Требования к расчетам гидротехнических сооружений на сейсмические воздействия

6.1 Для оценки сейсмостойкости ГТС следует формировать особые сочетания нагрузок и воздействий, включающие в себя нагрузки и воздействия основного сочетания и особые нагрузки от сейсмического воздействия.

При расчете сооружения на действие МРЗ в особое сочетание нагрузок и воздействий включают нагрузку от сейсмического воздействия интенсивностью, отвечающей МРЗ. При этом оценку прочности и устойчивости следует выполнять в соответствии с 4.3. В этих случаях допускается принимать для всех сооружений значение коэффициента надежности по ответственности сооружения, равное 1,10.

При расчете сооружения на действие ПЗ в особое сочетание нагрузок и воздействий включают нагрузку от сейсмического воздействия интенсивностью, отвечающей ПЗ. При этом оценку прочности и устойчивости выполняют с применением критериев, принятых в нормативных документах на проектирование ГТС отдельных видов и соответствующих требованиям, предъявляемым к сооружениям при расчете их на ПЗ (4.3).

Для оценки сейсмостойкости ГТС допускается также использовать методы математической теории надежности (приложение Б).

6.2 При расчете сейсмостойкости ГТС в зависимости от вида ГТС и его класса используют методы различных теорий сейсмостойкости (ДТ, ЛСТ и СТ).

6.3 Водоподпорные сооружения и МНГС следует рассчитывать методами ДТ. Водоподпорные ГТС классов III и IV допускается рассчитывать методами ЛСТ.

Безнапорные ГТС допускается рассчитывать методами ЛСТ.

Примечания

1 Перечень сооружений, относящихся к ВСНФ, может быть расширен по усмотрению проектной организации за счет зданий ГЭС, напорных трубопроводов большого диаметра и иных объектов, разрушение которых по своим последствиям идентично прорыву напорного фронта.

2 При выборе оптимальных проектных решений для опорных блоков МНГС оценку характера взаимодействия с грунтовыми основаниями допускается выполнять с использованием методов ЛСТ и СТ.

6.4 Расчет сейсмостойкости напорных ГТС, класс которых определен в зависимости от их социально-экономической ответственности и условий эксплуатации (СП 58.13330), допускается, при надлежащем обосновании, выполнять на уровни сейсмических воздействий методами, соответствующими классам, определенным для этих ГТС в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований.

6.5 Гидротехнические сооружения рассчитывают методами ДТ на МРЗ и ПЗ с применением нелинейного или линейного временно́го динамического анализа.

Временно́й динамический анализ (линейный и нелинейный) проводят в рамках динамической теории упругости с применением пошагового интегрирования рассматриваемых уравнений.

Линейный динамический анализ допускается выполнять также методом разложения решения в ряд по формам собственных колебаний сооружения.

В случае применения линейного динамического анализа максимальные и минимальные значения смещений (деформаций, напряжений и усилий) за весь рассматриваемый временно́й интервал следует алгебраически суммировать со значениями указанных величин от остальных факторов, образующих рассматриваемое особое сочетание нагрузок и воздействий.

6.6 В расчетах сейсмостойкости ГТС с применением ДТ сейсмическое ускорение основания задается, как правило, РА землетрясения, представляющей собой в общем случае однокомпонентную, двухкомпонентную или трехкомпонентную (j = 1, 2, 3) функцию времени $\ddot{U}_0(t)$. При этом смещения (деформации, напряжения и усилия) определяют на всем временно́м интервале сейсмического воздействия на сооружение.

Примечания

1 В качестве исходного сейсмического воздействия допускается задавать также велосиграммы либо сейсмограммы.

2 В расчетах сейсмостойкости протяженных ГТС (бетонные плотины, грунтовые плотины и дамбы) с применением линейного динамического анализа при соответствующем обосновании допускается использование методик, учитывающих неравномерное движение основания по длине сооружения при прохождении сейсмической волны.

6.7 Расчеты ГТС по ДТ следует выполнять на РА с максимальными пиковыми ускорениями a_p в основании сооружения

$$a_p = \mathrm{Max}\left|\ddot{U}_0(t)\right|. \quad (1)$$

Значения соответствующих ускорений (a_p^{SEE} при расчете сооружений на МРЗ и a_p^{OBE} при расчете сооружений на ПЗ) для сооружений со сроком службы T_{ser} более 50 лет не должны быть меньше определяемых по нижеследующим формулам:

- при расчете на МРЗ:

ВСНФ классов I и II

$$a_p^{SEE} = gA_{5000}; \quad (2)$$

ВСНФ класса III

$$a_p^{SEE} = 0{,}93gA_{5000}; \quad (3)$$

МНГС, ВСНФ класса IV и безнапорных ГТС

$$a_p^{SEE} = gA_{1000}; \quad (4)$$

- при расчете на ПЗ:
ВСНФ классов I и II и МНГС

$$a_p^{OBE} = gA_{500}; \quad (5)$$

ВСНФ класса III

$$a_p^{OBE} = 0{,}93gA_{500}; \quad (6)$$

ВСНФ класса IV и безнапорных сооружений

$$a_p^{OBE} = 0{,}80gA_{500}. \quad (7)$$

В формулах (2)—(7) A_{500}, A_{1000} и A_{5000} — значения параметров расчетных ускорений основания в долях g (g = 9,81 м/с^2), определенные для землетрясений с расчетными периодами повторяемости T_{ret}^{500}, T_{ret}^{1000} и T_{ret}^{5000} соответственно. Значения параметров расчетных ускорений A_{500}, A_{1000} и A_{5000} в зависимости от значения исходной сейсмичности площадки строительства I^{bg}, расчетной сейсмичности I^{des} и реальных грунтовых условий на данной площадке ГТС приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 — Значения параметров расчетных ускорений A

Категория грунта	I^{bg}, баллы									
	6		7		8		9		10	
	I^{des}, баллы	A	I^{des}, баллы	A	I^{des}, баллы	A	I^{des}, баллы	A	I^{des}, баллы	A
I	—	—	—	—	7	0,12	8	0,24	9	0,48
I—II	—	—	7	0,08	8	0,16	9	0,32	—	—
II	—	—	7	0,10	8	0,20	9	0,40	—	—
II—III	7	0,06	8	0,13	9	0,25	—	—	—	—
III	7	0,08	8	0,16	9	0,32	—	—	—	—

Примечания

1 I^{bg} имеет значения: I_{500}^{bg}, I_{1000}^{bg} и I_{5000}^{bg}.

2 I^{des} имеет значения: I_{500}^{des}, I_{1000}^{des} и I_{5000}^{des}.

3 A имеет значения: A_{500}, A_{1000} и A_{5000}.

Для сооружений со сроком службы T_{ser} не более 50 лет значения a_p^{SEE} и a_p^{OBE}, определенные по формулам (2)—(7), следует умножить на коэффициент 0,9.

Примечания

1 Для морских портовых причальных сооружений классов I и II, а также оградительных сооружений класса I, рассчитываемых на два уровня сейсмических воздействий, допускается принимать T_{ret}^{SEE} = 500 лет и T_{ret}^{OBE} = 100—200 лет. Для остальных портовых безнапорных сооружений, относительно которых принято решение рассчитывать только на ПЗ, допускается принимать T_{ret}^{OBE} = 100—200 лет.

2 Для морских портовых причальных сооружений классов I и II, а также оградительных сооружений класса I, рассчитываемых на два уровня сейсмических воздействий, допускается принимать $a_p^{SEE} = gA_{500}$ и определять значение a_p^{OBE} из условия T_{ret}^{OBE} = 100—200 лет. Для остальных портовых безнапорных сооружений, относительно которых принято решение рассчитывать только на ПЗ, значение a_p^{OBE} допускается определять из условия T_{ret}^{OBE} = 100—200 лет.

6.8 На предварительной стадии проектирования в качестве расчетных ускорений следует использовать ускорения, определенные в 6.7.

6.9 При выполнении динамического анализа сейсмостойкости ГТС следует применять значения параметров затухания (в долях от критического) ζ, установленные на основе динамических исследований поведения ГТС при сейсмических воздействиях.

При отсутствии экспериментальных данных о реальных значениях параметров затухания в расчетах сейсмостойкости допускается применять параметры затухания ζ, доли от критического, не превышающие:

0,01 — для стальных сооружений и элементов сооружений;

0,05 — для бетонных и железобетонных сооружений и элементов сооружений;

0,15 — для сооружений из грунтовых материалов;

0,08 — для скальных пород оснований;

0,12 — для полускальных и нескальных грунтов оснований.

Допускается также определение значений параметра затухания ζ для грунтов оснований и грунтовых материалов с использованием данных о динамических характеристиках грунтов (в том числе данных о логарифмическом декременте поглощения энергии колебания), приведенных в приложении В.

6.10 В расчетах сооружений по ЛСТ материалы сооружения и основания принимаются линейно-упругими; геометрическая, конструктивная или физическая нелинейность также отсутствует.

Сейсмическое ускорение основания задается постоянной во времени векторной величиной $\ddot{\vec{U}}_0$, модуль которой принимают равным значению максимального пикового ускорения a_p [см. формулу (1)], а конкретные значения величин a_p^{SEE} и a_p^{OBE} определяют в соответствии с указаниями 6.7.

6.11 В тех случаях, когда при расчете сейсмостойкости ГТС по ЛСТ расчетная область системы «сооружение — основание» разбита на конечные элементы, в качестве сейсмических нагрузок используют узловые инерционные силы $\vec{S}_{ik}$, действующие на элемент сооружения, отнесенный к узлу k, при i-й форме собственных колебаний.

В общем случае значения компонент узловых сил S_{ikj} по трем (j = 1, 2, 3) взаимно ортогональным направлениям определяют по формуле

$$S_{ikj} = k_f k_2 k_\psi m_k \ddot{U}_0 \beta_i \eta_{ikj}, \tag{8}$$

где k_f — коэффициент, зависящий от степени повреждений, допускаемых в сооружении при землетрясении;

k_2 — коэффициент, учитывающий влияние высоты сооружения на значение узловых инерционных сил;

k_ψ — коэффициент, учитывающий демпфирующие свойства конструкций;

m_k — масса элемента сооружения, отнесенного к узлу k (с учетом присоединенной массы воды);

$\ddot{U}_0$ — сейсмическое ускорение основания;

$\beta(T_i)$ (или β_i) — коэффициент динамичности, соответствующий периоду собственных колебаний сооружения T_i по i-й форме колебаний;

η_{ikj} — коэффициент формы собственных колебаний сооружения по i-й форме колебаний, определяемый по формуле

$$\eta_{ikj} = U_{ikj} \frac{\sum\limits_s m_s \sum\limits_{j=1}^{3} U_{isj} \cos(U_{isj}, \ddot{U}_0)}{\sum\limits_s m_s \sum\limits_{j=1}^{3} U_{isj}^2}, \tag{9}$$

здесь U_{ikj} — проекции по направлениям j смещений узла k по i-й форме собственных колебаний сооружения;

$\cos(U_{ikj}, \ddot{U}_0)$ — косинусы углов между направлениями вектора $\ddot{U}_0$ сейсмического воздействия и перемещениями U_{ikj};

m_s — масса элемента сооружения, отнесенного к узлу s (с учетом присоединенной массы воды).

Примечание — Указанные в пункте коэффициенты следует учитывать аналогичным образом в расчетах по методикам, позволяющим определять смещения, деформации, напряжения и усилия, возникающие в сооружении под влиянием сейсмического воздействия, без предварительного нахождения сейсмических нагрузок.

6.12 Значение коэффициента k_f принимают равным:

- 0,45 — для бетонных и железобетонных ГТС;

- 0,30 — для ГТС из грунтовых материалов;
- 0,25 — для портовых безнапорных ГТС.

Коэффициент k_2 для водоподпорных ГТС всех типов принимают равным:
- 0,8 — для ГТС высотой до 60 м;
- 1,0 — высотой более 100 м;
- по линейной интерполяции от 0,8 до 1,0 — при высоте сооружения более 60 до 100 м;
- 1,0 — для всех других ГТС.

Значение коэффициента k_ψ для водоподпорных ГТС следует принимать:
- 0,9 — для бетонных и железобетонных ГТС;
- 0,7 — для ГТС из грунтовых материалов.

Для ГТС других видов значения коэффициента k_ψ допускается принимать на основе опыта проектирования таких сооружений с учетом сейсмических воздействий.

6.13 Значения коэффициента динамичности $\beta(T_i)$ определяют по зависимостям (10)—(12) или графикам на рисунке 6.1:

$$\beta(T_i) = 1 + \frac{T_i}{T_1}(\beta_0 - 1),\ 0 < T_i \le T_1; \tag{10}$$

$$\beta(T_i) = \beta_0,\ T_1 < T_i \le T_2; \tag{11}$$

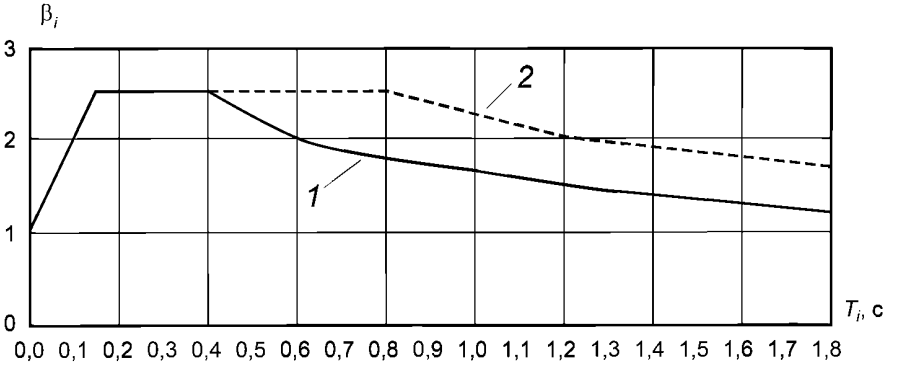
$$\beta(T_i) = \beta_0 \left(\frac{T_2}{T_i}\right)^{0,5},\ T_2 < T_i, \tag{12}$$

где β_0, T_1, T_2 — параметры, значения которых даны в таблице 6.2.

Примечания

1 Значения произведения k_ψ, β_i должны составлять не менее 0,80.

2 Расчеты сейсмостойкости ГТС методами ЛСТ допускается также выполнять с использованием спектров отклика однокомпонентных РА при регламентируемых в 6.8 значениях параметров затухания колебаний.



1 — кривая для грунтов категорий I, I—II и II; 2 — кривая для грунтов категорий II—III и III

Рисунок 6.1 — Коэффициенты динамичности $\beta(T_i)$

Таблица 6.2

Категория грунтов по сейсмическим свойствам	β_0	T_1	T_2
I, I—II и II	2,5	0,10	0,40
II—III и III	2,5	0,10	0,80

6.14 При расчете сейсмостойкости ГТС по ЛСТ расчетные значения возникающих в сооружении величин смещений, деформаций, напряжений и усилий с учетом всех учитываемых в расчете форм собственных колебаний сооружений следует определять по формуле

$$W = \sqrt{\sum_{i=1}^{q} W_i^2}, \quad (13)$$

где W — обобщенное значение расчетных величин смещений, деформаций, напряжений или усилий, возникших в рассматриваемых точках или сечениях под влиянием сейсмических воздействий;

W_i — обобщенное значение величин смещений, деформаций, напряжений или усилий, возникших в рассматриваемых точках или сечениях под влиянием сейсмических нагрузок (сил), соответствующих i-й форме собственных колебаний;

q — число учитываемых в расчетах форм собственных колебаний.

6.15 В расчетах ГТС по СТ интенсивность объемных сейсмических сил $\vec{p}_k$ в точке k области определяют по формуле

$$\vec{p}_k = k_f \rho_k \ddot{\vec{U}}_0, \quad (14)$$

где k_f — см. 6.11, формула (8);

ρ_k — плотность материала;

$\ddot{\vec{U}}_0$ — сейсмическое ускорение основания.

Сейсмическую силу $\vec{P}_k$, определяемую для элемента k конструкции, находят по формуле

$$\vec{P}_k = k_f m_k \ddot{\vec{U}}_0, \quad (15)$$

где m_k — масса элемента конструкции k.

Сейсмическое ускорение основания $\ddot{\vec{U}}_0$ в формулах (14) и (15) является постоянной во времени векторной величиной, модуль которой принимают равным значению максимального пикового ускорения a_p [см. формулу (1)]; конкретные значения величин a_p^{SEE} и a_p^{OBE} определяют в соответствии с указаниями 6.7.

6.16 Плотность материалов ГТС и грунтов оснований следует определять по СП 23.13330, СП 39.13330, СП 40.13330, СП 41.13330. При этом плотность материалов и грунтов устанавливают с учетом степени их водонасыщения.

6.17 Расчеты сейсмостойкости выполняют с учетом динамических деформационных и прочностных характеристик материалов ГТС и грунтов оснований. Значения данных характеристик при расчете сейсмостойкости ГТС классов I и II следует определять экспериментально; для ГТС классов III и IV допускаются применение справочных данных, а также использование данных о динамических характеристиках грунтов оснований и грунтовых материалов, приведенных в приложении Г.

Для ГТС всех классов допускается применять данные натурных исследований, в том числе:

- результаты геофизического мониторинга тела и основания плотины (Г.3 приложения Г), при этом известные корреляционные зависимости применяют для перехода от данных, отвечающих частотному спектру колебаний при геофизических изысканиях, к прогнозируемому частотному спектру колебаний в расчетном сейсмособытии;
- фактические собственные частоты колебаний сооружения, измеренные в ходе тестовых динамических испытаний (8.3) или в процессе стационарных инженерно-сейсмометрических наблюдений (Г.3 приложения Г);
- данные прочностных испытаний и неразрушающего контроля для тела плотины и основания.

6.18 В случае отсутствия соответствующих экспериментальных данных допускается применять корреляционные связи между значениями статического модуля общей деформации E_0 (или статического модуля упругости E_{st}) и динамического модуля упругости E_{dyn}, определяемого геофизическими методами. Допускается также применение статических прочностных характеристик материалов ГТС и грунтов основания; при этом следует вводить дополнительные коэффициенты, устанавливаемые нормами проектирования соответствующих сооружений для учета влияния на эти характеристики кратковременных динамических воздействий или принимаемые по результатам испытаний грунтов.

6.19 При наличии в основании, боковой засыпке или теле ГТС водонасыщенных несвязных или слабосвязных грунтов следует учитывать влияние возможных при сейсмических воздействиях разжижения грунтов, локальных разуплотнений и разрушений грунта (например, при наличии в указанных элементах сооружения глинистых тиксотропных грунтов следует учитывать возможность текучести этих грунтов).

6.20 Для ГТС из грунтовых материалов, а также для береговых склонов предельные значения допустимых остаточных деформаций и повреждений (осадки, смещения, трещины и т. д.), соответствующие состояниям ГТС, указанным в 4.3, следует назначать в результате специального обоснования с учетом природных условий площадки ГТС, особенностей конструкции и условий эксплуатации ГТС.

Сейсмостойкость ГТС на повторные сейсмические воздействия следует проверять по вторичным схемам.

На предварительных стадиях проектирования (при отсутствии оценок вероятности возникновения значимых повторных толчков на площадке рассматриваемого гидроузла) допускается проводить проверку сейсмостойкости при повторных землетрясениях с интенсивностью, уменьшенной по сравнению с интенсивностью расчетного землетрясения на 1 балл.

6.21 Для определения напряженно-деформированного состояния ГТС при сейсмических воздействиях следует применять расчетные схемы, соответствующие схемам для расчета сооружения на нагрузки и воздействия основного сочетания. При этом следует учитывать направление сейсмического воздействия относительно сооружения и пространственный характер колебаний сооружения при землетрясении.

Допускается для определенных сооружений применять двумерные расчетные схемы:

- расчеты по схеме плоской деформации — для гравитационных плотин, подпорных стен и других протяженных в плане сооружений;
- расчеты при схематизации указанных сооружений оболочками средней толщины, а также пластинами, работающими в срединной плоскости как изгибаемые плиты, — для арочных плотин и аналогичных им конструкций.

При обосновании допускается применять также одномерные расчетные схемы для конструкций стержневого типа.

6.22 Размеры расчетной области основания в совокупности с другими грунтовыми массивами следует назначать таким образом, чтобы при принятых размерах области основания была обеспечена необходимая точность результатов расчета. Размеры расчетной области, занятой грунтовыми массивами, должны позволить проявиться предельным состояниям, характерным как для сооружения, так и для грунтовых массивов.

Для ВСНФ расчетная область основания, как правило, по своей нижней границе (вдоль потока) должна иметь плановые размеры не менее $5H$, а по глубине от подошвы сооружения — не менее $2H$, где H — характерный размер сооружения (для водоподпорных сооружений H — высота сооружения).

Для ГТС других видов размеры расчетной области основания принимают проектные организации на основе опыта проектирования подобных сооружений.

Примечание — Если на глубине менее $2H$ находятся породы, характеризуемые скоростями распространения упругих сдвиговых волн не менее 1100 м/с, то допускается совместить подошву расчетной области основания с кровлей указанных пород.

6.23 В расчетах сейсмостойкости по ДТ для каждой из компонент вектора смещения в принятой расчетной схеме сейсмические воздействия определяют в виде акселерограмм, построенных по компонентам РА (с учетом их пространственной ориентации). Расчет проводят на совместное действие учитываемых компонент РА. При этом вычисленные значения величин смещения, деформации, напряжения, усилия, характеризующие состояние сооружения при его колебаниях по каждой компоненте вектора смещения в принятой расчетной схеме, суммируются алгебраически во все моменты времени расчетного периода τ^{SEE} или τ^{OBE}.

В расчетах сейсмостойкости ГТС по ЛСТ направление сейсмического воздействия $\ddot{\vec{U}}_0$ следует выбирать таким образом, чтобы воздействие оказалось наиболее опасным для сооружения. При этом водоподпорные ГТС следует рассчитывать на сейсмические воздействия, в которых вектор $\ddot{\vec{U}}_0$ принадлежит вертикальной плоскости, нормальной к продольной оси сооружения, а контрфорсные и арочные плотины — также и на воздействия, у которых вектор $\ddot{\vec{U}}_0$ лежит в одной плоскости с продольной осью сооружения.

При отсутствии данных о соотношении горизонтальной и вертикальной компонент сейсмического воздействия допускается рассматривать два значения угла между вектором $\ddot{U}_0$ и горизонтальной плоскостью: 0° и 30°.

При определении вертикальной составляющей сейсмического воздействия следует принимать $\beta_i \eta_{ikj} = 1$.

Отдельно стоящие ГТС, схематизируемые стержнями, следует рассчитывать на горизонтальные сейсмические воздействия в плоскостях наибольшей и наименьшей жесткости.

Протяженные туннели допускается рассчитывать на сейсмическое воздействие в плоскости, нормальной к оси туннеля.

6.24 Число форм собственных колебаний q, учитываемых в прочностных расчетах с использованием разложения решения по указанным формам, следует выбирать таким образом, чтобы выполнялись условия:

$$\omega_q \geq 3\omega_1, \tag{16}$$

$$\omega_q \geq 2\omega_c, \tag{17}$$

где ω_q — частота последней учитываемой формы собственных колебаний;

ω_1 — минимальная частота собственных колебаний;

ω_c — частота, соответствующая пиковому значению на спектре отклика РА.

При этом число используемых форм колебаний должно составлять не менее 25.

Примечание — На ранних стадиях проектирования при соответствующем обосновании допускается учитывать меньшее число форм колебаний, чем указано в настоящем пункте.

6.25 В расчетах прочности ГТС с учетом сейсмических воздействий при контакте боковых граней сооружения с грунтом (в том числе с наносами) следует учитывать влияние сейсмических воздействий на значение бокового давления грунта.

Конкретные методы определения бокового давления грунта при учете сейсмического воздействия в расчетах прочности ГТС принимают проектные организации с учетом особенностей конструкции сооружения и условий их эксплуатации. При этом допускается использование СТ расчета ГТС на сейсмические воздействия (6.15).

6.26 Устойчивость ГТС и их оснований с учетом сейсмических нагрузок следует проверять в соответствии с указаниями СП 23.13330 и СП 39.13330.

В тех случаях, когда по расчетной схеме при потере устойчивости сооружение сдвигается совместно с частью грунтового массива, в расчетах устойчивости ГТС и их оснований следует учитывать грунтовые сейсмические силы в сдвигаемой части расчетной области основания. Избрание иных схем учета грунтовых сейсмических сил требует соответствующего обоснования.

Расчеты устойчивости ГТС, в основании которых присутствуют динамически неустойчивые грунты, склонные к разжижению при сейсмических воздействиях, а также расчеты устойчивости откосов грунтовых сооружений, котлованов и береговых склонов, представленных указанными грунтами, следует выполнять по ДТ.

В расчетах устойчивости ГТС инерционные нагрузки на сдвигаемую часть нескального основания, в котором отсутствуют динамически неустойчивые грунты, допускается определять при ускорениях перемещения основания, равных

$$\left|\ddot{U}_0\right| = k_f g A, \tag{18}$$

где k_f — см. 6.11, формула (8);

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

A — см. таблицу 6.1.

Сейсмическую нагрузку на скальные массивы, образующие береговые склоны, а также на грунтовые откосы, в которых отсутствуют динамически неустойчивые грунты, допускается определять по СТ (6.15).

Во всех случаях устойчивость сдвигаемых грунтовых областей (откосы сооружений из грунтовых материалов, склоны берегов и котлованов, засыпка подпорных стен, наносы, а также грунтовые массивы, слагающие основание) определяют из условия их предельного равновесия с учетом всех нагрузок и воздействий особого сочетания, включающего сейсмические воздействия. Конкретные методы

определения предельного состояния сдвигаемых грунтовых массивов, в том числе и в случае бокового давления грунта при сдвиге, принимают проектные организации с учетом особенностей конструкций и условий эксплуатации ГТС.

Примечание — Если грунтовые массивы примыкают к боковым граням сооружения с двух сторон, то в расчетах устойчивости следует принимать, что сейсмические силы в обоих грунтовых массивах действуют в одном направлении и тем самым увеличивают общее давление грунта на одну из боковых граней сооружения и одновременно уменьшают давление на противоположную грань.

6.27 В тех случаях, когда при проектировании ГТС прогнозируется отложение у верховой грани сооружения наносов, следует учитывать влияние этих наносов в расчетах прочности и устойчивости сооружения при сейсмических воздействиях.

При этом следует принимать во внимание характерные особенности наносов как объекта расчета:

- переменная высота слоя наносов на разных временны́х этапах эксплуатации сооружения;
- возможность существенной неоднородности слагающих наносы грунтов и их физико-механических свойств по высоте слоя наносов;
- возможность изменения во времени состава и свойств грунтов, слагающих наносы.

Все основные характеристики состояния наносов у верховой грани ГТС для различных временны́х этапов эксплуатации сооружения должны быть определены при проектировании ГТС и уточнены в процессе эксплуатации объекта по данным натурных наблюдений и исследований. Особое внимание следует обращать на установление возможности разжижения грунтов наносов при сейсмических воздействиях и размеров зоны этого явления.

6.28 В створе сооружения, зоне водохранилища и нижнем бьефе подлежат проверке на устойчивость участки береговых склонов, потенциально опасные в отношении возможности обрушения при землетрясениях.

Для береговых склонов назначенный срок службы принимают равным максимальному для сооружений данного гидроузла.

6.29 В расчетах устойчивости ГТС, их оснований и береговых склонов следует учитывать возникающие под влиянием сейсмических воздействий дополнительное (динамическое) поровое давление, а также изменения деформационных, прочностных и других характеристик грунта в соответствии с 6.17 и 6.20.

6.30 Подземные ГТС класса I на сейсмические воздействия на уровнях МРЗ и ПЗ следует рассчитывать по ДТ. В этих случаях напряженно-деформированное состояние ГТС следует определять из единого динамического расчета системы, включающей подземное ГТС и вмещающую грунтовую среду.

При расчете подземных ГТС классов II—IV по СТ допускается учитывать раздельно:

а) сейсмическое давление грунта, вызванное прохождением в грунтовой среде сейсмических волн сжатия — растяжения и сдвига;

б) инерционные сейсмические нагрузки от массы конструкции подземного ГТС m_k, определяемые из выражения

$$S_k = k_f m_k g A K_h, \tag{19}$$

и инерционные сейсмические нагрузки от массы соответствующего породного свода m_{ps}, определяемые из выражения

$$S_{ps} = k_f m_{ps} g A K_h, \tag{20}$$

где k_f — см. 6.11, формула (8);

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

A — см. таблицу 6.1;

K_h — коэффициент, зависящий от глубины h заложения сооружения. При глубине заложения до 100 м значение K_h изменяется от 1 до 0,5, а при глубине заложения больше 100 м значение K_h следует принимать равным 0,5.

В расчетах подземных ГТС следует учитывать сейсмическое давление воды.

6.31 В расчетах ГТС на сейсмические воздействия при определении периодов собственных колебаний и сейсмических нагрузок следует учитывать инерционное влияние колеблющейся совместно с сооружением части жидкости.

С этой целью к массе сооружения, отнесенной к точке k на смоченной поверхности сооружения, добавляют массу колеблющейся воды. Присоединенную массу воды определяют для каждой из компонент вектора смещений в принятой расчетной схеме сооружения.

Сейсмическое давление воды на сооружение допускается не учитывать, если глубина водоема у сооружения менее 10 м.

6.32 При расчете ГТС на горизонтальную составляющую сейсмического воздействия присоединенную массу воды m_w, приходящуюся на единицу площади их поверхности, следует определять по формуле

$$m_w = \rho_w h \mu \psi, \quad (21)$$

где ρ_w — плотность воды;

h — глубина воды у сооружения;

μ — безразмерный коэффициент присоединенной массы воды, определяемый по таблице 6.3;

ψ — коэффициент, учитывающий ограниченность длины водоема и принимаемый для $l/h \geq 3$ равным 1, а для $l/h < 3$ — по таблице 6.4;

l — расстояние между сооружением и противоположным ему берегом водоема (для шлюзов и аналогичных сооружений — между противоположными стенками конструкции) на глубине $2h/3$ от свободной поверхности воды.

Примечания

1 Для предварительного выбора характера колебаний сооружения по таблице 6.3 следует учитывать для бетонных и железобетонных плотин на нескальном основании колебания вращения и сдвига сооружения как жесткого тела, а для плотин из грунтовых материалов — деформации сдвига. В качестве расчетного следует принимать характер колебаний, приводящих к получению максимального значения присоединенной массы воды.

2 Если вода находится с двух сторон сооружения, ее присоединенную массу следует принимать равной сумме присоединенных масс воды, определяемых для каждой из сторон сооружения.

6.33 Для отдельно стоящих ГТС типа водозаборных башен и свай присоединенную массу воды, приходящуюся на единицу длины конструкции, следует определять по формуле

$$m_w = \rho_w d^2 \mu, \quad (22)$$

где d — диаметр круглого или размер стороны квадратного поперечного сечения сооружения, м;

μ — коэффициент, определяемый по таблице 6.3.

6.34 В расчетах прочности и устойчивости безнапорных ГТС следует учитывать сейсмическое давление воды, значение которого допускается определять по формулам:

а) для жестких массивных оградительных и причальных портовых ГТС:

$$p = A k_f \rho_w g h D \psi,$$

$$P = A k_f \rho_w g h^2 \Omega \psi, \quad (23)$$

$$h_0 = h\chi;$$

б) для отдельно стоящих ГТС, перечисленных в 6.33:

$$p_0 = A k_f \rho_w g d^2 D,$$

$$P_0 = A k_f \rho_w g d^2 \Omega h, \quad (24)$$

$$h_0 = h\chi,$$

где p — ординаты эпюры гидродинамического давления, отнесенные к единице площади поверхности сооружения;

A — см. таблицу 6.1;

k_f — см. 6.11, формула (8);

P — суммарное гидродинамическое давление на единицу длины сооружения;

h_0 — глубина погружения точки приложения равнодействующей гидродинамического давления;

p_0 — ординаты эпюры гидродинамического давления, отнесенные к единице высоты отдельно стоящего сооружения;

P_0 — суммарное гидродинамическое давление на отдельно стоящее сооружение;

D, Ω, χ — безразмерные коэффициенты, определяемые по таблице 6.3.

Примечание — Если вода находится с двух сторон сооружения, гидродинамическое давление следует принимать равным сумме абсолютных значений гидродинамических давлений, определенных для каждой из сторон сооружения.

Таблица 6.3 — Расчет коэффициентов по характеру движения сооружения

Характер движения сооружения	Коэффициенты			
	μ	D	Ω	χ
1 Колебания вращения недеформируемого сооружения с вертикальной напорной гранью на податливом основании при $z_c \neq h$	$\frac{z_c R - \frac{2h}{\pi} G}{z_c - z}$	$\frac{z_c R - \frac{2h}{\pi} G}{z_c - h}$	$\frac{0{,}543 z_c - 0{,}325 h}{z_c - h}$	$\frac{0{,}325 z_c - 0{,}210 h}{0{,}543 z_c - 0{,}325 h}$
2 Горизонтальные поступательные перемещения недеформируемых сооружений: - с вертикальной напорной гранью - с наклонной напорной гранью	R $R\sin^3\theta$	R $R\sin^2\theta$	0,543 0,543 $R\sin\theta$	0,6 0,6
3 Горизонтальные поступательные перемещения недеформируемых сооружений с вертикальной напорной гранью в V-образном ущелье	μ_1	μ_1	—	—
4 Горизонтальные изгибные колебания сооружений консольного типа с вертикальной напорной гранью	$\frac{R + C_1(a-1)}{1 + C_3(a-1)}$	$R + C_1(a-1)$	—	—
5 Горизонтальные сдвиговые колебания сооружений консольного типа с вертикальной напорной гранью	$\frac{aR - C_2(a-1)}{a - (a-1)\frac{z^2}{h^2}}$	$aR - C_2(a-1)$	—	—
6 Горизонтальные колебания отдельно стоящих вертикальных сооружений типа водозаборных башен и свай с круглой формой поперечного сечения	$\frac{\pi}{4}\left(\frac{z}{h}\right)^{d_1/2h}$	$\frac{\pi}{4}\left(\frac{z}{h}\right)^{d_1/2h}$	$\frac{\pi}{4(1 + d_1/2h)}$	$\frac{2h + d_1}{4h + d_1}$
7 Горизонтальные колебания отдельно стоящих вертикальных сооружений типа водозаборных башен и свай с квадратной формой поперечного сечения	$\left(\frac{z}{h}\right)^{d_2/2h}$	$\left(\frac{z}{h}\right)^{d_2/2h}$	$\frac{1}{1 + d_2/2h}$	$\frac{2h + d_2}{4h + d_2}$

Примечания

1 Коэффициенты R, G, μ_1, C_1, C_2, C_3 — принимают по таблице 6.1; z — ордината точки напорной грани, для которой вычисляют значение присоединенной массы воды (начало координат принимают на уровне водной поверхности); z_c — ордината центра вращения, определяемая из расчета сооружения без учета влияния водной среды; θ — угол наклона напорной грани к горизонтали; d_1 — диаметр поперечного сечения, м; d_2 — сторона квадрата поперечного сечения, м; a — отношение ускорения гребня, определяемого из расчета плотины без учета влияния водной среды, к величине Ak_i; h — см. 6.32.

2 В случае, когда угол наклона напорной грани $\theta \geq 75°$, значения безразмерных коэффициентов принимают, как для вертикальной напорной грани.

3 Значение безразмерного коэффициента μ_1 для ключевого сечения симметричных арочных плотин принимают по таблице 6.5. Для остальных сечений арочной плотины значение этого коэффициента увеличивается линейно до $1{,}3\mu_1$ в пятах.

4 Для случаев, не предусмотренных настоящей таблицей, присоединенную массу воды определяют дополнительными расчетами.

Таблица 6.4 — Коэффициент, учитывающий ограниченность длины водоема

Отношение *l*/*h*	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Коэффициент ψ	0,26	0,41	0,53	0,63	0,72	0,78	0,83	0,88	0,90	0,93	0,96	1,00

Таблица 6.5 — Значения коэффициентов, принимаемые в зависимости от отношения *z*/*h*

Безразмерные коэффициенты			Отношение *z*/*h*									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
R			0,23	0,36	0,47	0,55	0,61	0,66	0,70	0,72	0,74	0,74
G			0,12	0,23	0,34	0,45	0,55	0,64	0,72	0,79	0,83	0,85
μ_1	$\theta = 90°$	*b*/*h* = 3	0,22	0,38	0,47	0,53	0,57	0,59	0,61	0,62	0,63	0,64
		b/*h* = 2	0,22	0,35	0,41	0,46	0,49	0,52	0,53	0,54	0,54	0,55
		b/*h* = 1	0,21	0,29	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,45	0,44
	$\theta = 30°$ при всех отношениях *b*/*h*		0,08	0,15	0,18	0,22	0,23	0,23	0,22	0,20	0,18	0,15
C_1			0,07	0,09	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
C_2			0,04	0,09	0,13	0,18	0,23	0,28	0,34	0,38	0,42	0,43
C_3			0,86	0,73	0,59	0,46	0,34	0,23	0,14	0,06	0,02	0
Примечание — Параметр *b* — ширина ущелья на уровне водной поверхности.												

6.35 В напорных водоводах гидродинамическое давление P_{max} следует определять по формуле

$$P_{max} = \frac{Ak_f}{2\pi}\rho_w g C_w T_0, \quad (25)$$

где C_w — скорость звука в воде, равная 1485 м/с;

T_0 — преобладающий период сейсмических колебаний грунта, значение которого принимают равным 0,5 с.

6.36 При расчете ГТС на вертикальную составляющую сейсмического воздействия следует учитывать дополнительное сейсмическое давление воды $p_{w,ad}$ (ординаты давления) на наклонные грани ГТС, определяемое по формуле

$$p_{w,ad} = 0{,}5\, p_w\, gzAk_f \sin\Theta, \quad (26)$$

где z — расстояние от рассматриваемого сечения до водной поверхности;

Θ — угол наклона напорной грани к вертикали.

6.37 Если в ложе водохранилища (или вблизи его) установлено наличие активных разломов, а также выявлены потенциально неустойчивые массивы на берегах водохранилища, то при назначении превышения гребня плотины над расчетным горизонтом водохранилища следует учитывать возможность возникновения на поверхности водохранилища волн сейсмического происхождения.

Определение высоты волны на поверхности водохранилища требует учета сейсмотектонических и других факторов (плановой формы водохранилища, расстояния между разломом и плотиной и т. д.).

6.38 При выполнении расчетов на сейсмические воздействия плотин высотой более 100 м рекомендуется учитывать такие факторы, как сжимаемость воды и поглощение энергии дном верхнего бьефа.

7 Мероприятия по повышению сейсмостойкости гидротехнических сооружений

7.1 При необходимости размещения сооружений на участке тектонического разлома основные сооружения гидроузла (плотины, здания ГЭС, водосбросы) следует размещать на едином структурно-тектоническом блоке, в пределах которого исключена возможность взаимных подвижек частей сооружения.

При невозможности исключения взаимных подвижек частей сооружения в проекте должны быть разработаны специальные конструктивные мероприятия, позволяющие воспринять дифференцированные подвижки без ущерба для безопасности сооружения.

7.2 Строительство ВНСФ (см. примечание к 6.3) на оползнеопасных участках допускается только при осуществлении мероприятий, исключающих образование оползневых деформаций в основании сооружения и береговых склонах в створе сооружения, а также катастрофического обрушения бортов водохранилища, способного привести к переливу воды через гребень плотины.

7.3 При возможности нарушения устойчивости сооружения, а также развития чрезмерных деформаций в теле сооружения и в основании вследствие разжижения и других деструктивных изменений состояния грунтов в основании или теле сооружения под влиянием сейсмических воздействий следует предусматривать искусственное уплотнение или укрепление этих грунтов.

7.4 Для каменно-земляных плотин в сейсмических районах с верховой стороны ядер и экранов следует предусматривать устройство фильтров (переходных слоев), при этом подбор состава первого слоя фильтра должен обеспечивать кольматацию (самозалечивание) трещин, которые могут образоваться в противофильтрационном элементе при землетрясении.

7.5 Верховые водонасыщенные призмы плотин из грунтовых материалов следует проектировать из крупнозернистых грунтов с повышенными коэффициентами неоднородности и фильтрации (каменная наброска, гравелистые, галечниковые грунты и др.), которые обладают существенно ограниченной способностью к разжижению при сейсмических воздействиях. При необходимости уменьшения объема крупнозернистого материала в теле верховой призмы допускается введение горизонтальных слоев из крупнозернистых (крупнообломочных) сильнодренирующих материалов.

Примечание — Указания настоящего пункта не распространяются на ГТС из грунтовых материалов с экраном.

7.6 В целях повышения устойчивости верховой упорной призмы плотин из грунтовых материалов с ядрами или диафрагмами при сейсмических воздействиях следует разрабатывать мероприятия, обеспечивающие снижение избыточного порового давления в грунтах, в частности максимальное уплотнение несвязных грунтов, крепление откосов каменной наброской, устройство дополнительных дренирующих слоев и т. д.

7.7 При проектировании плотин и других водоподпорных сооружений в сейсмических районах следует повышать их сейсмостойкость с помощью одного (или нескольких) мероприятий из нижеследующего перечня, осуществляя выбор на основании их технико-экономического сопоставления:

а) уширение поперечного профиля плотины в ее нижней части;

б) облегчение верхней части сооружений за счет применения оголовков минимальной массы, устройства верхней части сооружения в виде стенки, контрфорсной или рамной конструкции, выполнения полостей в пригребневой зоне сооружения и т. д.;

в) укрепление основания, сложенного нескальными грунтами, путем инъектирования этих грунтов;

г) защита напорной грани плотины из грунтовых материалов водонепроницаемым экраном;

д) применение пространственно работающих массивных гравитационных плотин;

е) устройство периметрального шва для арочных плотин;

ж) использование «армированного грунта» для возведения земляных плотин.

7.8 Для повышения сейсмостойкости эксплуатируемых плотин, имеющих дефицит сейсмостойкости, следует рассматривать перечисления а), б), д) 7.7, а также инъекцию упорных призм грунтовых плотин цементными или иными растворами.

7.9 Портовые оградительные сооружения (молы, волноломы) при расчетной сейсмичности площадки 8 и 9 баллов следует возводить из наброски камня, обыкновенных и фасонных массивов или массивов-гигантов. Углы наклона откосов этих сооружений при сейсмичности 8 и 9 баллов следует уменьшать соответственно не менее чем на 10 и 20 % относительно допускаемых в несейсмических районах.

При проектировании ограждающего сооружения следует рассматривать целесообразность принятия (на основании технико-экономического сопоставления) перечисленных ниже конструктивных решений, повышающих сейсмостойкость указанных сооружений:

а) размещение ограждающих сооружений на основаниях, сложенных более прочными грунтами;

б) возведение сооружений из массивов-гигантов;

в) уширение подошвы и придание поперечным сечениям этих сооружений симметричного (относительно вертикальной продольной плоскости) профиля;

г) разрезание протяженных сооружений антисейсмическими швами на участки, в пределах которых конструкция сооружения, грунтовые условия, глубины, нагрузки и другие подобные факторы практически не претерпевают изменений.

7.10 Причальные сооружения и набережные, как правило, следует возводить в виде конструкций, не подверженных одностороннему давлению грунта (сооружения эстакадного типа, мостового типа с гравитационными бычками и др.). При невозможности выполнения этого условия предпочтение следует отдавать заанкеренным шпунтовым стенкам при нескальных основаниях и стенкам из массивов-гигантов при скальных основаниях.

Протяженные причалы и набережные необходимо разделять на секции антисейсмическими швами. В пределах отдельной секции следует соблюдать однородные условия работы конструкции: не допускать существенных изменений характеристик основания, глубины водоема, нагрузок на сооружение, конструкции и размеров основных несущих элементов.

7.11 Для повышения сейсмостойкости причалов и набережных типа сборных гравитационных стен следует укрупнять размеры сборных элементов и обеспечивать омоноличивание этих конструкций сваркой выпусков арматуры или стальных закладных деталей.

7.12 Для причалов и набережных эстакадного типа в качестве опор следует применять сваи в виде стальных труб, коробок из шпунта, предварительно напряженных центрифугированных железобетонных оболочек. Применение призматических железобетонных свай не рекомендуется.

Сваи необходимо погружать до глубин залегания плотных, устойчивых к разжижению грунтов. Опирание нижних концов свай на рыхлые водонасыщенные грунты, глинистые грунты мягкопластичной, текучепластичной и текучей консистенции не допускается.

Верхние концы свай следует жестко заделывать в верхнее строение эстакадной конструкции. Узлы сопряжений должны быть рассчитаны на знакопеременные нагрузки.

Горизонтальную жесткость эстакад при необходимости следует обеспечивать применением наклонных свай или введением в рамы диагональных связей.

7.13 Для повышения сейсмостойкости причалов и набережных типа заанкеренных шпунтовых стен целесообразно в качестве анкерных опор использовать свайные ростверки.

Подкрановые пути за шпунтовыми стенами следует устраивать на свайных фундаментах.

7.14 Для повышения сейсмостойкости МНГС (в частности, для ослабления горизонтальных колебаний конструкций верхнего строения) целесообразно между опорным основанием и верхним строением устанавливать фрикционный маятниковый подшипник, изолирующий верхнее строение от опорного основания.

8 Геодинамический мониторинг гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации

8.1 В проектах водоподпорных сооружений классов I и II, а также МНГС при расчетной сейсмичности площадки строительства для ПЗ 7 баллов и выше, а также при возможности опасных проявлений других геодинамических процессов (современных тектонических движений, оползней, резких изменений напряженно-деформированного состояния или гидрогеологического режима верхних частей вмещающей геологической среды и др.) следует предусматривать создание комплексной системы геодинамического мониторинга, включающей:

- сейсмологический мониторинг за естественными и техногенными землетрясениями в зоне, содержащей сооружение и водохранилище (при наличии в составе гидроузла водохранилища объемом не менее 0,1 км^3 с максимальной глубиной свыше 50 м);

- инженерно-сейсмометрический мониторинг на сооружениях и береговых примыканиях;

- геофизический мониторинг физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния сооружения и основания, а также района расположения гидроузла;

- геодезический мониторинг деформационных процессов, происходящих в сооружении и основании, а также земной поверхности в районе водохранилища;
- тестовые динамические испытания сооружения;
- проведение поверочных расчетов сейсмостойкости и оценку сейсмического риска в случае изменения сейсмических условий площадки строительства, свойств основания и сооружения во время эксплуатации;
- систему регламентных мероприятий персонала действующего ГТС по предотвращению либо снижению негативного влияния опасных геодинамических процессов и явлений в период эксплуатации.

Геодинамический мониторинг проводят комплексно. Он охватывает период от начала строительства до конца эксплуатации ГТС.

Конкретные составы и методы наблюдений и исследований определяются генеральным проектировщиком совместно с проектной или исследовательской организацией. Рекомендуемые состав геодинамических наблюдений и периодичность измерений в зависимости от характеристики объекта мониторинга и активности геодинамических процессов приведены в приложении Д.

8.2 Специальной задачей сейсмологических исследований для водоподпорных сооружений является выявление взаимосвязи сейсмичности района с режимом эксплуатации водохранилища, а для МНГС — выявление влияния на сейсмичность района извлечения больших масс добываемого продукта.

8.3 На сооружениях, указанных в 8.1, при сдаче их в эксплуатацию, а затем через каждые пять лет следует проводить силами профильных организаций тестовые испытания по определению динамических характеристик этих сооружений (динамическое тестирование) с составлением динамических паспортов.

В процессе динамического тестирования должны быть определены собственные частоты и формы колебаний, затухание по формам, амплитудно-частотные характеристики динамической податливости.

Для возбуждения колебаний допускается применять следующие естественные и искусственные источники:

- фоновые колебания сооружения, связанные с режимной работой гидроагрегатов;
- специальные, приуроченные к динамическим исследованиям, пуски и остановки гидроагрегатов;
- фоновые микросейсмические колебания грунтов (микросейсмы),

а также технологические воздействия, возникающие от тестовых взрывов небольших зарядов взрывчатых веществ и работы специальной тестирующей вибромашины.

Динамические характеристики сооружения устанавливают при нормальном подпорном уровне и уровне мертвого объема воды в водохранилище.

Приложение А

Обозначения величин сейсмических воздействий

В настоящем своде правил применены следующие обозначения:

a_p — максимальное пиковое ускорение основания (максимальное значение модуля ускорения за время землетрясения), м · с$^{-2}$;

a_p^{SEE} — максимальное пиковое ускорение основания при МРЗ, м · с$^{-2}$;

a_p^{OBE} — максимальное пиковое ускорение основания при ПЗ, м · с$^{-2}$;

I — интенсивность сейсмического воздействия, баллы;

I^{nor} — нормативная сейсмичность, баллы;

I^{bg} — исходная сейсмичность, баллы;

I^{des} — расчетная сейсмичность площадки, баллы;

$T_{\max}^{SEE}$ — период колебаний, соответствующий максимальному пиковому ускорению при МРЗ, с;

$T_{\max}^{OBE}$ — период колебаний, соответствующий максимальному пиковому ускорению при ПЗ, с;

$T_{0,5}^{SEE}, T_{0,3}^{SEE}$ — преобладающий период колебаний при МРЗ для фазы сейсмических колебаний длительностью $\tau_{0,5}^{SEE}, \tau_{0,3}^{SEE}$ соответственно, с;

$T_{0,5}^{OBE}, T_{0,3}^{OBE}$ — преобладающий период колебаний при ПЗ для фазы сейсмических колебаний длительностью $\tau_{0,5}^{SLE}, \tau_{0,3}^{SLE}$ соответственно, с;

T_{ret}^{nor} — нормативные периоды повторяемости землетрясений, лет, принятые для действующего комплекта карт ОСР и равные 500 лет (T_{ret}^{500}, карта А), 1000 лет (T_{ret}^{1000}, карта В) и 5000 лет (T_{ret}^{5000}, карта С);

T_{ret}^{SEE} — принятое значение среднего периода повторяемости, лет, для МРЗ;

T_{ret}^{OBE} — принятое значение среднего периода повторяемости, лет, для ПЗ;

T_{ser} — назначенный срок службы сооружения, лет, определяемый действующими нормативными документами или техническими условиями заказчика;

ζ — параметр затухания, доли от критического;

τ^{SEE} — общая длительность сейсмических колебаний при МРЗ, с;

τ^{OBE} — общая длительность сейсмических колебаний при ПЗ, с;

$\tau_{0.5}^{SEE}, \tau_{0.3}^{SEE}$ — длительность фазы сейсмических колебаний основания, в течение которой пиковые ускорения при МРЗ достигают значений не менее 0,5 a_p^{SEE} и 0,3 a_p^{SEE} соответственно, с;

$\tau_{0,5}^{OBE}, \tau_{0,3}^{OBE}$ — длительность фазы сейсмических колебаний основания, в течение которой пиковые ускорения при ПЗ достигают значений не менее 0,5 a_p^{OBE} и 0,3 a_p^{OBE} соответственно, с.

Приложение Б

Использование методов математической теории надежности для оценки сейсмостойкости сооружений

При оценке сейсмостойкости сооружений с использованием методов математической теории надежности максимальные значения σ величин напряжений, смещений, деформаций и усилий за время сейсмического воздействия, полученные по результатам расчета на особое сочетание, считаются случайными величинами (с математическим ожиданием m_σ и среднеквадратическим отклонением δ_σ) и сопоставляются с соответствующими предельными значениями [σ], которые могут рассматриваться как случайные ($m_{[\sigma]}$ и $\delta_{[\sigma]}$) или детерминированные.

Надежность P определяют по характеристике безопасности γ:

$$\gamma = \frac{m_{[\sigma]} - m_\sigma}{\sqrt{\delta_\sigma^2 + \delta_{[\sigma]}^2}}. \qquad (Б.1)$$

Тогда при условии нормального закона распределения рассматриваемых величин вероятность безотказной работы

$$P([\sigma] \geq \sigma) = \Phi(\gamma). \qquad (Б.2)$$

Значение $\Phi(\gamma)$ находят по таблице функции нормального распределения (Лапласа). Вероятность отказа $Q = 1 - P$.

Вероятность $P(I)$ появления землетрясения интенсивностью I баллов и повторяемостью один раз в τ лет при сроке службы сооружения τ_0 лет определяют по формуле Пуассона

$$P(I) = \frac{\tau_0}{\tau} \exp\left(-\frac{\tau_0}{\tau}\right). \qquad (Б.3)$$

Годовая вероятность отказа от землетрясения заданной интенсивности $Q_\Gamma = P(I)\frac{Q}{\tau_0}$ не должна превосходить нормативной величины [для напорных ГТС — допускаемых значений уровня риска аварий (СП 58.13330)].

Приложение В

Динамические характеристики грунтов

В.1 В настоящем приложении приведены значения динамических характеристик основных видов горных пород в естественных условиях их залегания: аэрированных (выше УГВ), водонасыщенных и мерзлых (таблица В.1), рекомендуемые к использованию в расчетах сейсмостойкости систем «сооружение — основание» в сейсмических районах.

В.2 Значения скоростей продольных V_{pi} и поперечных V_{si} сейсмических волн в период сейсмического воздействия интенсивностью i баллов, а также коэффициента μ_d динамического модуля упругости грунта E_d и коэффициента затухания ζ (в долях от критического) определяют по формулам:

$$V_{pi} = \bar{V}_p K_{vi}, \tag{В.1}$$

$$V_{si} = \bar{V}_s K_{vi}, \tag{В.2}$$

$$\mu_d = (V_{pi}^2 - 2V_{si}^2) / 2(V_{pi}^2 - V_{si}^2), \tag{В.3}$$

$$E_d = 2\rho_g V_{si}^2 (1+\mu_d), \tag{В.4}$$

$$\zeta = \frac{\Delta_s}{\sqrt{(2\pi)^2 + \Delta_s^2}}, \tag{В.5}$$

где K_{vi} — коэффициент пересчета скорости волн при интенсивности землетрясения, равной i баллов.

Значения коэффициентов K_{vi} приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 — Обобщенные сведения о динамических характеристиках грунтов верхней части разреза (ВЧР) в натурных условиях, необходимые для расчетов сейсмостойкости системы «сооружение — основание»

Грунты	Состояние	$\bar{\rho}$, г/см^3	δ_ρ, г/см^3	$\bar{V}_p$, км/с	δ_{Vp}, км/с	$\bar{V}_s$, км/с	δ_{Vs}, км/с	$\bar{\mu}_d$	$\bar{E}_d$, МПа	$\bar{\Delta}_{p,s}$	K_{v7}	K_{v8}	K_{v9}	K_{v10}
Насыпные грунты (пески, гравий, галька и др.)	Аэрированное	1,40	0,05	0,25	0,07	0,15	0,03	0,22	80	1,50	0,49	0,42	0,36	0,32
	Водонасыщенное	1,65	0,06	1,50	0,10	0,15	0,03	0,49	110	0,80	0,64	0,57	0,52	0,47
	Мерзлое	1,63	0,06	2,80	—	1,20	—	0,39	6520	0,60	0,70	0,64	0,59	0,54
Глинистые грунты														
Супеси	Аэрированное	1,65	0,09	0,40	0,08	0,215	0,05	0,29	200	0,50	0,78	0,78	0,78	0,78
	Водонасыщенное	1,90	0,04	1,75	0,04	0,215	0,05	0,49	260	0,35	0,78	0,78	0,78	0,78
	Мерзлое	1,88	0,04	3,15	0,15	1,70	0,08	0,29	6560	0,25	0,85	0,81	0,77	0,74
Суглинки	Аэрированное	1,75	0,08	0,55	0,06	0,21	0,07	0,41	220	0,50	0,78	0,78	0,78	0,78
	Водонасыщенное	1,85	0,08	1,60	0,10	0,25	0,07	0,48	340	0,30	0,78	0,78	0,78	0,78
	Мерзлое	1,83	0,08	2,55	0,12	1,35	0,06	0,31	8740	0,25	0,85	0,81	0,77	0,74
Глины (четвертичного возраста)	Аэрированное	1,65	0,15	1,15	0,15	0,35	0,10	0,44	580	0,45	0,78	0,78	0,78	0,78
	Водонасыщенное	1,92	0,10	1,85	0,15	0,35	0,10	0,48	700	0,25	0,78	0,78	0,78	0,78
	Мерзлое	1,90	0,09	2,50	0,10	1,05	0,10	0,39	5820	0,25	0,85	0,81	0,77	0,74
Глины коренные (третичного возраста и старше)	Аэрированное	1,80	0,06	1,70	0,10	0,55	0,07	0,44	1570	0,10	0,78	0,78	0,78	0,78
	Водонасыщенное	2,10	0,05	2,20	0,10	0,70	0,06	0,44	2960	0,06	0,78	0,78	0,78	0,78
	Мерзлое	2,08	0,05	2,80	0,10	1,60	0,12	0,27	13 520	0,06	0,96	0,95	0,94	0,92
Лессы и лессовидные суглинки	Аэрированное	1,50	—	0,80	0,10	0,25	0,05	0,44	270	0,50	0,78	0,78	0,78	0,78
	Водонасыщенное	2,00	—	1,65	0,07	0,30	0,02	0,48	530	0,30	0,78	0,78	0,78	0,78
	Мерзлое	1,95	—	2,60	0,07	1,30	—	0,33	8770	0,25	0,85	0,81	0,77	0,74
Пески чистые	Аэрированное	1,40	0,08	0,55	0,17	0,35	0,13	0,16	400	0,70	0,67	0,60	0,55	0,50
	Водонасыщенное	2,00	0,06	1,70	0,06	0,30	0,10	0,48	530	0,50	0,74	0,68	0,63	0,59
	Мерзлое	1,98	0,06	3,70	0,12	2,00	0,08	0,29	20 430	0,25	0,85	0,81	0,77	0,74
Пески с примесью глины	Аэрированное	1,50	0,04	0,55	0,10	0,35	0,10	0,16	430	0,60	0,70	0,64	0,59	0,54
	Водонасыщенное	1,95	0,06	1,65	0,06	0,35	0,10	0,47	700	0,35	0,80	0,75	0,71	0,67
	Мерзлое	1,93	0,06	3,50	—	1,80	—	0,33	16 630	0,25	0,85	0,81	0,77	0,74

Продолжение таблицы В.1

Грунты	Состояние	$\bar{\rho}$, г/см^3	δ_{ρ}, г/см^3	$\bar{V}_p$, км/с	δ_{Vp}, км/с	$\bar{V}_s$, км/с	δ_{Vs}, км/с	$\bar{\mu}_d$	$\bar{E}_d$, МПа	$\bar{\Delta}_{p,s}$	K_{v7}	K_{v8}	K_{v9}	K_{v10}
Крупнообломочные гравийно-галечниковые грунты с песчаным заполнителем	Аэрированное	2,00	0,08	0,90	0,12	0,50	0,10	0,28	1280	0,60	0,70	0,64	0,59	0,54
	Водонасыщенное	2,15	0,08	2,15	0,25	0,50	0,12	0,47	1580	0,35	0,80	0,75	0,71	0,67
	Мерзлое	2,13	0,08	4,20	0,20	2,35	0,10	0,28	30 110	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
То же, с супесчаным заполнителем	Аэрированное	1,90	0,08	0,90	0,12	0,50	0,10	0,28	1220	0,50	0,74	0,68	0,63	0,59
	Водонасыщенное	2,10	0,07	1,70	0,20	0,50	—	0,45	1520	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
	Мерзлое	2,08	0,07	4,00	—	2,00	—	0,33	22 130	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
То же, с суглинистым заполнителем	Аэрированное	1,95	0,08	0,95	0,12	0,45	0,10	0,36	1070	0,45	0,76	0,70	0,66	0,61
	Водонасыщенное	2,15	0,07	1,60	0,20	0,45	—	0,45	1260	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
	Мерзлое	2,13	0,07	3,60	—	1,80	—	0,33	18 360	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
То же, с глинистым заполнителем	Аэрированное	2,00	0,08	1,00	0,10	0,40	0,10	0,40	900	0,45	0,76	0,70	0,66	0,61
	Водонасыщенное	2,18	0,07	1,35	0,20	0,40	—	0,45	1010	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
	Мерзлое	2,16	0,07	2,90	—	1,60	—	0,28	14 160	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
Полускальные грунты: мергели, аргиллиты и др.	Аэрированное	2,30	0,20	2,50	0,20	1,20	0,20	0,35	8940	0,40	0,78	0,73	0,68	0,64
	Водонасыщенное	2,34	0,200	3,00	0,20	1,20	0,20	0,40	9440	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
	Мерзлое	2,32	0,20	3,50	0,20	1,65	0,20	0,36	17 180	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
Скальные слаботрещиноватые грунты														
Песчаники	Аэрированное	2,35	0,20	2,65	0,40	1,50	0,30	0,27	13 430	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
	Водонасыщенное	2,42	0,15	3,15	0,50	1,50	0,30	0,35	14 700	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
	Мерзлое	2,42	0,15	4,40	0,30	2,45	0,20	0,28	37 190	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
Известняки	Аэрированное	2,65	0,15	3,15	0,50	1,75	0,40	0,28	20 780	0,30	0,83	0,78	0,74	0,70
	Водонасыщенное	2,68	0,10	3,50	0,60	1,65	0,50	0,36	19 850	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
	Мерзлое	2,68	0,10	5,00	0,40	2,50	0,20	0,33	44 560	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
Гранитоиды	Аэрированное	2,60	0,10	3,95	0,50	2,30	0,45	0,25	34 380	0,20	0,88	0,84	0,81	0,78
	Водонасыщенное	2,70	0,08	4,65	0,50	2,35	0,40	0,33	39 660	0,10	0,94	0,92	0,90	0,88
	Мерзлое	2,70	0,08	5,35	0,40	3,00	0,20	0,32	64 150	0,05	0,97	0,96	0,95	0,94

Окончание таблицы В.1

Грунты	Состояние	$\bar{\rho}$, г/см^3	δ_ρ, г/см^3	$\bar{V}_p$, км/с	δ_{Vp}, км/с	$\bar{V}_s$, км/с	δ_{Vs}, км/с	$\bar{\mu}_d$	$\bar{E}_d$, МПа	$\bar{\Delta}_{p,s}$	K_{v7}	K_{v8}	K_{v9}	K_{v10}
Долериты, диабазы	Аэрированное	2,75	0,10	5,50	—	2,80	—	0,32	56 920	0,15	0,91	0,88	0,85	0,83
	Водонасыщенное	2,75	0,10	5,70	—	2,90	—	0,33	61 520	0,10	0,94	0,92	0,90	0,88
	Мерзлое	2,75	0,10	6,30	—	3,25	—	0,32	76 680	0,05	0,97	0,96	0,95	0,94

Примечания

1 В настоящей таблице применены следующие обозначения: $\bar{\rho}$ — плотность грунта в естественном залегании, г/см^3; δ_ρ — среднеквадратическое отклонение значений ρ, г/см^3; $\bar{V}_p$, $\bar{V}_s$ — средние значения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн колебания грунта соответственно при интенсивности землетрясения менее 7 баллов, км/с; δ_{Vp}, δ_{Vs} — среднеквадратические отклонения значений V_p и V_s соответственно, км/с; $\bar{\mu}_d$ — среднее значение коэффициента Пуассона грунта; $\bar{E}_d$ — среднее значение динамического модуля упругости грунта, МПа; $\bar{\Delta}_{p,s}$ — среднее значение логарифмического декремента поглощения энергии колебания (в данном случае принято $\bar{\Delta}_p \approx \bar{\Delta}_s$).

2 Мерзлое состояние грунтов отвечает температуре ниже минус 2 °С при степени льдонасыщения $S_{ri} > 50$ %.

3 Для всех грунтов при интенсивности землетрясения ниже 7 баллов $K_i = 1$.

4 В талых скальных породах зоны поверхностного выветривания и разгрузки (ЗПВР) скорости волн приблизительно в два раза ниже, а в мерзлых — в 1,5 раза ниже, чем в породах глубже ЗПВР.

5 Засоленность грунтов не влияет на характеристики талых (немерзлых) грунтов, но обусловливает снижение значений V_p, V_s, E_d в мерзлом состоянии.

6 Под аэрированным состоянием понимается состояние пород выше УГВ.

Приложение Г

Геодинамический мониторинг на гидротехнических сооружениях

Г.1 Сейсмологический мониторинг выполняется на ГТС классов I и II, в составе которых имеются плотины высотой более 50 м или водохранилища объемом не менее 0,1 км^3, расположенных в районах с сейсмичностью 7 баллов и выше по карте С действующего комплекта карт ОСР, а также в районах с нормативной сейсмичностью уровня МРЗ менее 7 баллов, если в процессе заполнения и эксплуатации водохранилища в окрестностях гидроузла наблюдается усиление сейсмической активности.

Сейсмологический мониторинг проводят для оперативного слежения за сейсмическим режимом в районе сооружения и выявления связи сейсмичности с режимом эксплуатации водохранилища, а также совместно с сейсмометрическими наблюдениями для контроля состояния сооружений. Сейсмологический мониторинг должен начинать функционировать за один-два года до начала заполнения водохранилища.

Мониторинг осуществляется с помощью ЛСС, которая должна без пропусков обеспечивать локацию очагов землетрясений с магнитудой $M = 1$ (энергетического класса $K_э = 6$) на территории в радиусе 50 км от площадки и локацию эпицентров более сильных землетрясений на территории в радиусе 100 км.

В состав ЛСС должны входить не менее четырех сейсмостанций с короткопериодными высокочувствительными велосиметрами: полоса частот 1—40 Гц. На одной, «опорной», сейсмостанции дополнительно устанавливают: широкополосный велосиметр, акселерометр (для записи сильных движений) и комплект сейсмометрической аппаратуры.

Короткопериодный сейсмический канал должен обеспечивать запись сейсмических сигналов с динамическим диапазоном не менее 120 дБ, начиная с минимальных сигналов порядка $1 \cdot 10^{-9}$ м/с.

Уровень ночного естественного сейсмического шума в местах расположения сейсмостанций не должен быть выше $1 \cdot 10^{-7}$ м/с. Грунтовые основания сейсмостанций не должны иметь резонансных частот в полосе 1—40 Гц.

При проектировании новой ГЭС в составе каскада и расстоянии между новой и существующей ГЭС меньше 100 км создается объединенная ЛСС путем добавления двух-трех сейсмостанций (расположенных вокруг новой ГЭС) в ранее созданную сеть.

Г.2 Инженерно-сейсмометрический мониторинг должен обеспечивать оперативную информацию о реакции сооружения на сейсмические воздействия.

Наблюдения проводят в специально выбранных точках сооружения, где оборудуют сейсмометрические пункты наблюдений, оснащенные автоматизированными приборными комплексами, позволяющими регистрировать смещения, скорости и ускорения сооружения и береговых примыканий при сейсмических воздействиях.

Схему размещения сейсмометрических пунктов наблюдений разрабатывают на основе результатов динамических расчетов сооружения, а также опыта натурных и модельных исследований. В зависимости от конструкции водоподпорного сооружения в его теле должно быть развернуто от 3—5 до 10—15 пунктов наблюдений, в опорном контуре сооружения — до 6—8 пунктов наблюдений. Один комплект аппаратуры с трехкомпонентной регистрацией должен быть размещен на опорной сейсмостанции.

До начала строительных работ инженерно-сейсмометрические наблюдения выполняют по контуру будущей плотины в целях уточнения каньонного эффекта.

Г.3 Геофизический мониторинг проводят для контроля изменений во времени физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния сооружений и их оснований на различных масштабных уровнях.

Геофизический мониторинг выполняют по специальной программе, предусматривающей проведение регулярных, с установленной проектом периодичностью, повторных сейсмических, ультразвуковых и других исследований.

Сеть пунктов наблюдений для проведения геофизических исследований развертывают на участке расположения основных ГТС и в зоне водохранилища. Непосредственно места размещения пунктов наблюдений определяют специализированные проектные и научно-исследовательские организации с учетом инженерно-геологических и сейсмотектонических условий района.

Г.4 Все текущие данные геодинамического мониторинга должны поступать в специальный банк данных для совместной обработки и интерпретации. Данные об изменении геодинамической обстановки должны поступать и анализироваться в режиме, близком к реальному масштабу времени.

Г.5 Все ГТС независимо от их назначения, класса, конструкции и материала изготовления должны быть обследованы после каждого сейсмического воздействия интенсивностью 5 баллов и выше. При этом должны быть оперативно проанализированы показания КИА всех видов, установленной в сооружении, а также проведен осмотр сооружения. На основании установленных фактов проводят экспертную и расчетную оценку прочности, устойчивости и эксплуатационных качеств сооружения.

Осмотр сооружения и аналогичную оценку его состояния (прочности, устойчивости и эксплуатационных качеств) проводят и в случае отсутствия в сооружении установленной КИА.

При осмотре сооружения надлежит зафиксировать, наряду с другими возможными проявлениями перенесенного сооружением землетрясения, наличие или отсутствие в сооружении повреждений в виде трещин и раскрытия швов бетонных сооружений и остаточных деформаций грунтовых сооружений и насыпей.

При наличии видимых повреждений, способных привести к аварии, следует оперативно оценить возникшую опасность и при необходимости оповестить о ней органы местного самоуправления и органы исполнительной власти, специально уполномоченные на решение задач в области защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях.

Рекомендуемый состав геодинамического мониторинга в зависимости от вида ГТС приведен в таблице Г.1.

Таблица Г.1 — Рекомендуемый состав геодинамического мониторинга на гидротехнических объектах

Объект мониторинга	Задачи мониторинга	Вид геодинамических наблюдений	Активность геодинамических (природных и техногенных) процессов		Периодичность наблюдений в нормальном режиме
			Нормативная сейсмичность, баллы	Активность прочих геодинамических процессов*	
1 Плотины всех видов при высоте сооружения 100 м и более	Контроль сейсмостойкости плотины	Инженерно-сейсмометрический мониторинг	Высокая: 8 и более баллов. Средняя: 7—8 баллов	Высокая Средняя	Ждущий режим
	Контроль деформаций сооружения и основания	Геодезический мониторинг	Высокая Средняя Низкая	Высокая Средняя Низкая	Не менее одного раза в 3 мес
	Контроль изменения физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния плотины и основания	Геофизический мониторинг: - сейсмотомография; - ультразвуковое профилирование и каротаж; - термометрия; - акустико-эмиссионные измерения	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в полгода
	Контроль гидрогеодеформационных процессов	Пьезометрия, расходометрия	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в неделю или непрерывная регистрация
2 Водохранилища объемом не менее 0,1 км^3 при максимальной глубине свыше 50 м	Контроль сейсмического режима. Выявление вызванной сейсмичности	Сейсмологический мониторинг на ЛСС	Высокая: 9 баллов и более. Средняя: 7—8 баллов. Низкая: менее 7 баллов	Высокая Средняя Низкая	Ждущий режим
	Контроль деформаций в районе водохранилища	Геодезический мониторинг	Высокая Средняя Низкая	Высокая Средняя Низкая	Не менее одного раза в 3 мес
	Контроль за изменением физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния приповерхностных частей земной коры в районе водохранилища	Геофизический мониторинг: - сейсмопрофилирование в районе водохранилища; - электрометрия	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в 6 мес
	Контроль гидрогеодеформационного поля	Пьезометрия, расходометрия	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в месяц

Окончание таблицы Г.1

Объект мониторинга	Задачи мониторинга	Вид геодинамических наблюдений	Активность геодинамических (природных и техногенных) процессов		Периодичность наблюдений в нормальном режиме
			Нормативная сейсмичность, баллы	Активность прочих геодинамических процессов*	
3 Все водохранилища	Контроль оползневых процессов и процессов переработки берегов	Геодезический мониторинг	Высокая Средняя Низкая	Высокая Средняя Низкая	Не менее одного раза в 6 мес
		Геофизический мониторинг: - акустико-эмиссионные измерения; - электрометрия	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в 6 мес
4 Подземные ГТС — машинные залы, туннели и др.	Контроль напряженно-деформационного состояния вмещающего массива на различных масштабных уровнях сейсмичности	Ультразвуковой, акустико-эмиссионный и высокочастотный сейсмический каротаж вееров скважин	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в 3 мес
	Контроль горного давления, прогноз горных ударов	Ультразвуковой каротаж. Акустико-эмиссионное профилирование и каротаж. Гидроразрыв	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее одного раза в 3 мес
5 Плотины всех видов и классов. Гидроаккумулирующие электростанции и другие ГТС	Контроль прочности и деформативности несущих бетонных и железобетонных конструкций	Ультразвуковое и высокочастотное сейсмическое профилирование	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Один раз в 3—5 лет, после землетрясений интенсивностью 7—8 баллов
	Контроль трубопроводов	Акустико-эмиссионный мониторинг	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Непрерывно
		Ультразвуковые просвечивания несущих конструкций	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Один раз в 3—5 лет, после землетрясений интенсивностью 7—8 баллов
	Контроль фильтрационных процессов	Специальные электрометрические наблюдения	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Один раз в 3—5 лет, после землетрясений интенсивностью 7—8 баллов
		Пьезометрия, расходометрия	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Непрерывно

* Под активностью прочих геодинамических процессов подразумеваются современные изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, теплового потока, гидрогеодеформационного поля, а также оползневые и обвальные процессы, вызванные природными и техногенными факторами.

Приложение Д

Основные требования к проведению работ по уточнению (обоснованию) исходной сейсмичности и сейсмическому микрорайонированию площадок гидротехнических сооружений и морских нефтегазопромысловых сооружений

Д.1 Уточнение (обоснование) исходной сейсмичности

Д.1.1 Работы по УИС площадки ГТС и МНГС выполняются в рамках инженерных изысканий и включают комплекс сейсмотектонических и сейсмологических исследований для определения возможных сейсмических воздействий, в том числе в виде акселерограмм и спектров отклика, на существующие, реконструируемые и проектируемые ГТС классов I и II, расположенные в районах с нормативной сейсмичностью 6 и более баллов по карте С действующего комплекта карт ОСР, а также на МНГС, расположенные у побережья территорий с аналогичной нормативной сейсмичностью.

Сейсмотектонические и сейсмологические исследования проводят параллельно, взаимно дополняя друг друга. По результатам этих исследований выполняют расчеты исходных (фоновых) сейсмических воздействий.

Д.1.2 Сейсмотектонические исследования

Д.1.2.1 Задачами сейсмотектонических исследований являются:

- выделение геологических структур (активных разломов), с которыми могут быть связаны зоны ВОЗ, воздействия которых (на уровне МРЗ) на площадке сооружения могут составлять 7 баллов и более (6 баллов при наличии в основании сооружений грунтов, относящихся к категории III по сейсмическим свойствам согласно таблице 4.1) и должны учитываться при проектировании согласно 5.1;
- выделение активных разломов, подвижки по которым могут непосредственно затронуть сооружение, а также изучение иных геологических процессов и явлений, связанных с землетрясениями и способных оказать негативное влияние на сооружение (региональные опускания территории в прибрежных районах, крупномасштабные оползни, в том числе на берегах водохранилищ, а также в нижних и в верхних бьефах гидроузлов).

Д.1.2.2 Размеры территории, изучаемой в ходе сейсмотектонических исследований, определяются в каждом конкретном случае. При этом следует учитывать требования Д.1.2.1.

Примечание — При наличии зон ВОЗ, связанных с активными разломами в окрестностях площадки, воздействия из которых по своей интенсивности превосходят воздействия из более удаленных зон, допускается проводить детальные полевое изучение только ближайших к створу активных разломов с оценкой параметров прогнозных смещений и соответствующих им значений M_{max} и оценивать значение M_{max} удаленных зон на основании анализа литературных, фондовых и дистанционных данных.

Д.1.2.3 Комплекс методов, применяемых при проведении сейсмотектонических исследований, определяется в каждом конкретном случае с учетом изученности территории, ландшафтных условий и характера проявления современных сейсмотектонических процессов и включает:

- сбор и анализ опубликованных и фондовых материалов по геологии, древней, новейшей и современной тектонике, глубинному строению, сейсмичности (см. Д.1.3) региона;
- анализ дистанционных данных (космических снимков, аэрофотоснимков, цифровых моделей рельефа);
- полевое маршрутное обследование выявленных при дешифрировании или описанных в опубликованных и фондовых материалах активных разломов, а также участков развития возможных оползней и обвалов;
- при обнаружении в ходе дешифрирования или при полевом маршрутном обследовании признаков, указывающих на возможное наличие активных разломов, протягивающихся в пределы площадки строительства, а также на наличие активных разломов, с которыми связаны очаги землетрясений, определяющих уровень сейсмической опасности на площадке ГТС в соответствии с Д.1.2.1, необходимо проводить их детальное геолого-геоморфологическое изучение, в том числе с проходкой траншей для определения величины единовременных подвижек, их кинематики, возраста последней подвижки и по возможности повторяемости подвижек.

Д.1.3 Сейсмологические исследования

Д.1.3.1 Задачами сейсмологических исследований являются:

- сбор сведений о землетрясениях, происходивших на территории, в пределах которой располагаются тектонические структуры, с которыми могут быть связаны очаги землетрясений, потенциально опасных для сооружений, и составление сводного каталога землетрясений;
- проведение наблюдений на ЛСС для изучения естественного сейсмического режима как основы для последующего сейсмологического мониторинга.

Д.1.3.2 Размеры территории, для которой составляется каталог землетрясений, определяют с учетом имеющихся данных о сейсмической активности региона и размеров структур, рассматриваемых в качестве зон ВОЗ, для обеспечения требований Д.1.2.1. В тектонически и сейсмически активных регионах, где сейсмическая опасность обычно определяется воздействиями из зон ВОЗ, расположенных близко к площадке ГТС или МНГС, каталог со-

ставляют на территорию радиусом не менее 100 км от площадки; в менее активных районах каталог допускается составлять для территории радиусом до 200—300 км от площадки.

Д.1.3.3 В составляемый каталог включают сведения об исторических и инструментально зарегистрированных землетрясениях. Каталоги исторических и инструментальных землетрясений дополняют археосейсмическими и палеосейсмологическими данными (при их наличии и возможности определить возраст и основные параметры древних землетрясений). На основании сводного каталога составляют график повторяемости для сейсмического района.

Д.1.3.4 При составлении и анализе сводного каталога землетрясений необходимо соблюдать следующие требования:

- приводить список использованных источников данных о землетрясениях. При сборе данных об исторических землетрясениях следует максимально использовать первоисточники;

- приводить сведения об истории развития и современном состоянии региональной сейсмологической сети и ЛСС и о магнитуде (классе) землетрясений, для которых в различные периоды времени обеспечивалась представительная регистрация;

- при составлении сводного каталога на основании нескольких источников следует исключать дублирование сведений об одном и том же событии;

- проводить анализ каталога на предмет наличия сейсмических событий искусственного происхождения (взрывов) и его очистку, а также анализ макросейсмических сведений на предмет выявления землетрясений нетектонического происхождения;

- приводить магнитуды всех событий, включенных в сводный каталог, к унифицированным значениям;

- при построении графиков повторяемости землетрясений следует исключать форшоки, афтершоковые последовательности (проводить декластаризацию).

Д.1.4 По результатам сейсмотектонических исследований и с учетом данных, полученных в ходе сейсмологических исследований (Д.1.3), составляют сейсмотектоническую модель сейсмического района расположения объекта согласно 4.5.

Допускаются разработка альтернативных сейсмотектонических моделей и их включение в логическое дерево при проведении вероятностной оценки сейсмической опасности.

Д.1.4.1 При составлении сейсмотектонической модели надлежит соблюдать следующие требования:

- M_{max} выделяемых зон ВОЗ не может быть меньше магнитуд землетрясений, ранее происшедших в их пределах;

- при назначении M_{max} следует соотносить получаемые оценки с протяженностью активных разломов, с которыми связаны очаги предполагаемых землетрясений, на основе опубликованных зависимостей, выведенных по представительным данным о параметрах разрывов современных землетрясений;

- при отсутствии достаточных сейсмостатистических данных и достоверных сведений о наличии активных разломов рекомендуется применять модель рассеянной сейсмичности, ограничивая в этом случае значение M_{max} значением, равным максимальной зарегистрированной магнитуде, округляемой в бóльшую сторону до 0,5 единицы магнитуды, но не свыше 5,5. Если допускается возможность возникновения более сильных землетрясений, следует увязывать соответствующие зоны ВОЗ с конкретными тектоническими структурами, даже при отсутствии на территории достоверных активных разломов.

Д.2 Сейсмическое микрорайонирование

Д.2.1 Работы по СМР площадок ГТС всех классов и МНГС выполняются в рамках инженерных изысканий и включают комплекс сейсмологических, геофизических и инженерно-геологических исследований для определения влияния инженерно-геологических условий и рельефа на сейсмичность площадки.

Д.2.2 Комплекс специальных исследований по СМР для установления расчетной сейсмичности площадки строительства ГТС и уточнения (локализации) параметров сейсмических воздействий включает:

- наблюдения за сейсмической обстановкой по данным сейсмологических станций, устанавливаемым в пределах площадки (инструментальный метод СМР);

- геофизические исследования грунтов площадки и анализ инженерно-геологических данных для оценки категорий грунтов по сейсмическим свойствам и разработки моделей строения и свойств грунтовой толщи (расчетные методы СМР);

- уточнение параметров расчетных сейсмических воздействий по результатам применения инструментального и расчетных методов СМР.

Инструментальные сейсмологические и геофизические исследования для СМР проводятся параллельно. По результатам этих наблюдений и исследований и с учетом результатов СМР определяют расчетные сейсмические воздействия.

Д.2.3 Сейсмическое микрорайонирование площадки выполняют для естественных и прогнозируемых техногенно-измененных условий.

Д.2.4 Задачами сейсмологических наблюдений и исследований для целей СМР являются:

- регистрация сейсмических колебаний грунтов площадки (землетрясений и микросейсм) для количественной оценки изменения интенсивности и спектрального состава колебаний на участках с различными инженерно-

геологическими условиями и рельефом. Регистрацию землетрясений проводят в районах с сейсмической активностью, обеспечивающей получение статистически представительного числа записей событий, эпицентры которых расположены в пределах сейсмического района за период проведения инженерных изысканий;

- инструментальное изучение динамических особенностей сейсмических колебаний грунтов площадки (амплитуд, частотного состава и длительности колебаний) в районах с нормативной или исходной сейсмичностью более 6 баллов для прогноза сейсмических воздействий (балльности, РА и спектров отклика) с учетом конкретных грунтовых условий площадки и рельефа местности.

Д.2.5 Задачами геофизических исследований для целей СМР являются:

- получение пространственной или плоской схемы (модели) строения грунтовой толщи площадки;

- определение скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн, плотности и мощности слоев грунтовой толщи;

- определение параметра V_s^{30} — средней скорости поперечных волн в верхней 30-метровой грунтовой толще.

Выбор методов геофизических исследований обосновывается в программе работ в зависимости от решаемых задач и локальных особенностей исследуемой площадки.

Для увязки данных наземных геофизических исследований с реальным геологическим разрезом, а также для пополнения геологической и гидрогеологической информации при изучении разрезов, уточнения границ, связанных с изменением состава, состояния и свойств пород, целесообразно использовать геофизические методы исследования скважин.

Д.2.6 Сейсмическое микрорайонирование площадки ГТС выполняют, как правило, двумя независимыми методами — инструментальным и расчетным.

В связи со спецификой выполнения СМР на площадках МНГС комплекс методов для проведения таких работ определяют при разработке программы инженерных изысканий и согласовывают с заказчиком.

Д.2.7 По результатам работ по СМР определяются:

- расчетная сейсмическая интенсивность площадки в баллах макросейсмической шкалы и в величинах пиковых ускорений при землетрясениях уровней МРЗ и ПЗ. На основании этих данных составляют карту СМР для землетрясений уровней МРЗ и ПЗ в изолиниях балльности;

- теоретические (рассчитанные по инженерно-геологическим и геофизическим данным) и экспериментальные (по данным инструментальных сейсмологических наблюдений) амплитудно-частотные характеристики грунтовой толщи, преобладающие частоты резонансных колебаний и карта резонансных частотных свойств грунтовой толщи площадки; распределение по площадке средней скорости поперечных волн в верхней 30-метровой грунтовой толще V_s^{30};

- при регистрации землетрясений из установленных зон ВОЗ (если они получены в результате сейсмологических наблюдений на площадке) — карты распределения на площадке максимальных амплитуд, преобладающих периодов и длительностей колебаний;

- спектры отклика и синтезированные акселерограммы или корректированные аналоговые акселерограммы, построенные с учетом конкретных сейсмогрунтовых, сейсмотектонических и других условий площадки по результатам СМР.

Д.2.8 На площадках, характеризующихся нормативной или исходной сейсмичностью 6 и более баллов, сложенных грунтами, склонными к разжижению, дополнительно следует выполнять оценку динамической устойчивости грунтов.

Библиография

[1] Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

[2] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

[3] Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

УДК 627.8.012.4 (083.74) ОКС 93.160

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, сейсмостойкость сооружений, расчетная сейсмичность, максимальное расчетное землетрясение, проектное землетрясение, ускорение основания, акселерограммы, динамическая теория, линейно-спектральная теория, присоединенная масса воды, расчеты, конструкции, геодинамические наблюдения

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Д.В. Кардановской*

Сдано в набор 29.06.2018. Подписано в печать 30.07.2018. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,18.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком свода правил

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
123001 Москва, Гранатный пер., 4. gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru