

СВОД ПРАВИЛ

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В
СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ**

Hydraulic Structures in seismic areas

Дата введения 2013-01-01

1 Область применения

Настоящий свод правил распространяется на проектирование вновь строящихся, расширяемых и реконструируемых напорных и безнапорных гидротехнических сооружений в сейсмических районах.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах

СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений»

СП 39.13330.2012 «СНиП 2.06.05-84 Плотины из грунтовых материалов»

СП 40.133330.2012 «СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные»

СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования

СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

Для целей настоящего свода правил используются следующие термины и определения:

3.1 абсолютное движение: движение точек сооружения, определяемое как сумма переносного и относительного движений во время землетрясения.

3.2 акселерограмма (велосигграмма, сейсмограмма): хронограмма ускорения (скорости, смещения) точки основания или сооружения в процессе землетрясения, имеющая одну, две или три компоненты.

3.3 активный разлом: тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений бортов разлома в позднем плейстоцене – голоцене (за последние 100000 лет), величина (скорость) которых такова, что она представляет опасность для сооружения и требует специальных конструктивных и/или компоновочных мероприятий для обеспечения его безопасности.

3.4 временной динамический анализ (динамический анализ): расчет сооружения на сейсмические воздействия по ДТ; при этом состояние сооружения прослеживается в течение всего периода сейсмических колебаний, охваченного расчетной акселерограммой.

3.5 вторичная схема: расчетная схема, отражающая состояние сооружения в период времени от момента окончания землетрясения до начала ремонтных работ.

3.6 детальное сейсмическое районирование (ДСР) и уточнение исходной сейсмичности (УИС): сейсмическое районирование территорий размещения гидротехнических сооружений для средних грунтовых условий в масштабах 1:500000 - 1:200000.

3.7 детальное сейсмическое районирование (ДСР): комплекс методов, применяемых при оценке сейсмической опасности как в терминах сейсмической интенсивности, так и в параметрах сейсмических колебаний для конкретного объекта (как отдельного сооружения, так и комплекса инженерных сооружений, или некоторой территории). Детальность исследований должна обеспечить выделение зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ), более низких рангов по сравнению с выделяемыми при общем сейсмическом районировании.

3.8 интенсивность сейсмического воздействия: характеристика проявления землетрясения на рассматриваемой территории, измеряемая в баллах по сейсмической шкале MSK-64.

3.9 исходная сейсмичность: сейсмичность площадки гидротехнического сооружения, определяемая для нормативных периодов повторяемости и средних грунтовых условий с помощью ДСР или УИС (или принятая равной нормативной сейсмичности).

3.10 категория грунта по сейсмическим свойствам (I, II или III): характеристика, выражающая способность грунта в примыкающей к сооружению части основания ослаблять (или усиливать) интенсивность сейсмических воздействий, передающихся от грунтового основания на сооружение; отнесение грунтов к той или иной категории выполняется в соответствии с описаниями, данными в таблице 1.

3.11 конструктивная нелинейность: изменение расчетной схемы сооружения в процессе его нагружения, связанное с взаимными смещениями (например, раскрытием швов и трещин, проскальзыванием) отдельных частей сооружения и основания.

3.12 линейный временной динамический анализ (линейный динамический анализ): временной динамический анализ, при котором материалы сооружения и грунты основания принимаются линейно-упругими, а геометрическая и конструктивная нелинейность в поведении системы «сооружение – основание» отсутствует.

3.13 максимальное расчетное землетрясение (МРЗ): землетрясение с расчетным сейсмическим воздействием, используемым для проверки сейсмостойкости наиболее ответственных сооружений из числа расположенных на данной строительной площадке.

П р и м е ч а н и е - Значение периода повторяемости максимального расчетного землетрясения $T_{пов}^{МРЗ}$ принимается равным 10000 лет; при соответствующем обосновании, по усмотрению Заказчика, значение $T_{пов}^{МРЗ}$ допускается принимать в диапазоне от 5000 до 10000 лет для ВСФ и от 3000 до 10000 лет для МНГС.

3.14 нелинейный временной динамический анализ (нелинейный динамический анализ): временной динамический 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 нелинейность в поведении системы «сооружение-основание».

3.15 нормативная сейсмичность: сейсмичность района нахождения гидротехнического сооружения, определяемая для нормативных периодов повторяемости $T_{\text{пов}}^{\text{НОР}}$ по картам ОСР-97.

3.16 общее сейсмическое районирование (ОСР): сейсмическое районирование территорий РФ и ее регионов для средних грунтовых условий в масштабах 1:2500000 и 1:5000000.

3.17 ОСР-97: набор карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации для средних грунтовых условий и для средних периодов повторяемости в 500 (карта А), 1000 (карта В) и 5000 (карта С) лет.

3.18 относительное движение: движение точек сооружения относительно основания во время землетрясения под влиянием сейсмических сил (нагрузок).

3.19 переносное движение: совместное движение сооружения и основания во время землетрясения как единого недеформируемого целого с ускорениями (скоростями или смещениями) основания.

3.20 площадка гидротехнического сооружения (площадка строительства): территория, на которой проектируется (или размещается) гидротехническое сооружение.

3.21 проектное землетрясение (ПЗ): землетрясение с расчетным сейсмическим воздействием, используемым для проверки сейсмостойкости всех сооружений, расположенных на данной строительной площадке.

П р и м е ч а н и е - Значение периода повторяемости проектного землетрясения $T_{\text{пов}}^{\text{ПЗ}}$ принимается по усмотрению Заказчика в диапазоне от назначенного срока службы сооружения до 500 лет (но не менее 100 лет).

3.22 расчетная сейсмичность площадки: сейсмичность площадки гидротехнического сооружения, определяемая для нормативных периодов повторяемости

и реальных грунтовых и (или) иных локальных условий с помощью СМР (или по таблице 1).

3.23 расчётные акселерограммы (РА): акселерограммы, моделирующие движения грунта в основании сооружения при расчетных землетрясениях.

3.24 расчетные сейсмические воздействия: используемые в расчетах сейсмостойкости сооружений сейсмические воздействия, характеризующиеся расчетными параметрами землетрясения; для гидротехнических сооружений приняты два уровня расчетных сейсмических воздействий (землетрясений): проектное землетрясение (ПЗ) и максимальное расчетное землетрясение (МРЗ).

3.25 резонансная характеристика грунта: совокупность характерных периодов (или частот), на которых достигается резонансное усиление колебаний основания при прохождении сейсмических волн.

3.26 сейсмические (инерционные) силы, сейсмические нагрузки: силы (нагрузки), возникающие в системе «сооружение-основание» при колебаниях основания сооружения во время землетрясения; вычисляются с учетом интенсивности сейсмического воздействия и особенностей конструкции сооружения.

3.27 сейсмический район: район с установленными и возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке строительства сейсмические воздействия интенсивностью 6 и более баллов.

3.28 сейсмическое воздействие: движение грунта в основании инженерных сооружений во время землетрясения как результат прохождения сейсмических волн, излучаемых из очага землетрясения. Если воздействие задается непосредственно на поверхности основания, то специально оговаривается, для какой отметки оно задано.

3.29 сейсмическое микрорайонирование (СМР): определение сейсмичности площадки строительства для реальных грунтовых и (или) иных локальных условий, влияющих на усиление или ослабление сейсмичности.

3.30 сейсмическое районирование: определение сейсмичности рассматриваемых территорий для средних грунтовых условий с помощью комплекса сейсмологических, геологических и геофизических методов.

3.31 сейсмичность территории (в том числе площадки гидротехнического сооружения): максимальная интенсивность сейсмических воздействий в баллах

на рассматриваемой территории для принятого периода повторяемости землетрясения.

3.32 сейсмогенный разлом: тектонический разлом, являющийся возможным очагом землетрясения.

3.33 скоростные характеристики грунта: скорости распространения сейсмических (продольных V_p и поперечных V_s) волн в грунтах оснований, измеряемые в м·с⁻¹.

3.34 спектр действия (реакции, ответа, 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, определяемому данной акселерограммой.

3.35 средние грунтовые условия: грунты II категории по таблице 1.

3.36 уточнение исходной сейсмичности (УИС): работы по выявлению и параметризации источников сейсмических воздействий, которые могут вызвать на площадке сотрясения интенсивностью 6 баллов и выше, и определению параметров таких сейсмических воздействий. Выполняется методами детального сейсмического районирования (ДСР).

3.37 частотная (спектральная) характеристика грунта: отношение амплитуды колебаний на поверхности исследуемого грунта к амплитуде колебаний на поверхности грунта, принятого за эталонный, в зависимости от частоты сейсмических колебаний

Основные буквенные обозначения, принятые в настоящем своде правил приведены в приложении А.

4. Общие положения; определение нормативной, исходной и расчетной сейсмичности

4.1 Положения настоящего свода правил устанавливают специальные требования для гидротехнических сооружений, размещаемых или расположенных в районах с нормативной сейсмичностью $I^{\text{нор}}$, равной 6 баллам и более по сейсмической шкале MSK-64.

Указанные требования следует выполнять при проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, обследовании реального состояния, декларировании безопасности, страховании, реконструкции, восстановлении, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений.

4.2 При определении нормативной сейсмичности надлежит использовать следующие карты общего сейсмического районирования ОСР-97: карту С – для водоподпорных сооружений в составе напорного фронта ВСФ I и II класса и морских нефтегазопромысловых сооружений МНГС – при расчете этих сооружений на максимальное расчетное землетрясение МРЗ; карту А – для всех сооружений при расчете их на проектное землетрясение ПЗ. Допускается также использование Списка населенных пунктов РФ, расположенных в сейсмических районах (СНиП II-7*).

4.3 Для обеспечения сейсмостойкости проектируемых, строящихся и эксплуатируемых гидротехнических сооружений требуется:

проведение на стадии проектирования комплекса специальных исследований с задачей установления исходной и расчетной сейсмичности площадки строительства, наличия опасных процессов и явлений, связанных с сейсмичностью, определения расчетных сейсмических воздействий, получение набора сейсмических расчетных воздействий;

выполнение комплекса расчетов (а при необходимости и испытаний) по оценке прочности и устойчивости сооружений и их элементов с учетом динамического взаимодействия сооружений с водой и грунтом;

применение конструктивных решений и материалов, повышающих сейсмостойкость сооружений;

включение в проекты особо ответственных сооружений специального раздела о проведении в процессе эксплуатации сооружения слежения за опасными геодинамическими явлениями, в том числе - землетрясениями;

периодическое обследование состояния гидротехнических сооружений и их оснований, в том числе после каждого перенесенного землетрясения силой 5 баллов и более.

4.4 Гидротехнические сооружения должны воспринимать ПЗ без угрозы для жизни и здоровья людей и с сохранением собственной ремонтпригодности (для ВСФ - при любом предусмотренном правилами эксплуатации уровне верхнего бье-

фа). При этом допускаются остаточные смещения, деформации, трещины и иные повреждения, не нарушающие нормальную эксплуатацию объекта.

ВСФ I и II классов и МНГС должны обладать еще и способностью воспринимать МРЗ без угрозы собственного разрушения или прорыва напорного фронта.

При

этом допускаются любые иные повреждения сооружений и основания, в том числе нарушающие нормальную эксплуатацию объекта.

4.5. Исходная сейсмичность $I^{\text{исх}}$ площадки ВСФ I или II класса и МНГС определяется для ПЗ и МРЗ методами детального сейсмического районирования ДСР или уточнения исходной сейсмичности УИС. При этом составляется также сеймотектоническая модель сейсмического района расположения объекта, включающая карту и характеристики основных зон возможных очагов землетрясений ВОЗ, а также – наличие или отсутствие активных разломов и возможности склоновых смещений большого объема и их параметры.

Исходную сейсмичность остальных гидротехнических сооружений для ПЗ допускается принимать равной величине $I_{500}^{\text{нор}}$, определяемой по карте А ОСР-97.

В тех случаях, когда нормативная сейсмичность района на соответствующих картах ОСР-97 (п.3.1) превышает 9 баллов, исходная сейсмичность площадки строительства независимо от вида и класса гидротехнического сооружения должна определяться на основе ДСР или УИС.

4.6. Расчетная сейсмичность $I^{\text{рас}}$ площадки ВСФ I или II класса и МНГС определяется уровнями ПЗ и МРЗ с учетом данных СМР, выполняемых инструментальными и расчетными методами.

Расчетная сейсмичность остальных гидротехнических сооружений определяется уровнем ПЗ и устанавливается по данным СМР с использованием результатов инженерно-геологических и геофизических изысканий на площадке строительства.

Расчетную сейсмичность площадок безнапорных гидротехнических сооружений всех классов, а также при соответствующем обосновании – подпорных сооружений IV класса, допускается принимать по таблице 1 с использованием результатов инженерно-геологических изысканий на площадке строительства.

Как при сейсмическом микрорайонировании, так и при инженерно-геологических изысканиях глубина слоя исследования сейсмических свойств грунта должна определяться, исходя из особенностей геологического строения площадки, но не менее 40 м от подошвы сооружения (для сооружений III и IV классов, не входящих в состав напорного фронта, - не менее 20 м).

Категория грунта и его физико-механические и сейсмические характеристики должны определяться с учетом возможных техногенных изменений свойств грунтов в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

В тех случаях, когда расчетная сейсмичность площадки определяется методами СМР, дополнительно устанавливаются скоростные, частотные и резонансные характеристики грунта основания сооружения.

Примечания

1 В случаях, когда площадки гидротехнических сооружений сложены грунтами, по своему составу занимающими промежуточное положение между грунтами I и II или II и III категорий (например, основание сооружения представлено слоистыми грунтами), дополнительно к категориям грунта, указанным в таблице 1, допускается введение категорий I-II и II-III соответственно. При этом

расчетная сейсмичность площадки $I^{рас}$ при грунтах I-II категории принимается как при грунтах II категории, а при грунтах II-III категории – как при грунтах III категории.

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

4.7 На ранних стадиях проектирования при выборе площадки гидротехнического сооружения исходную сейсмичность допускается определять по картам А и С ОСР-97 (для ПЗ и МРЗ соответственно), а расчетную сейсмичность – по таблице 1 на основании результатов инженерно-геологических изысканий.

4.8 Строительство гидротехнических сооружений на площадках с расчетной сейсмичностью более 9 баллов, а также с расчетной сейсмичностью 9 баллов, но при наличии на площадке грунтов III категории по сейсмическим свойствам, требуется осуществлять по специальным техническим условиям.

4.9 Проектирование надводных зданий, крановых эстакад, опор ЛЭП и других объектов, входящих в состав гидроузлов, следует производить в соответствии со СНиП II-7*; при этом расчетную сейсмичность площадки строительства следует принимать в соответствии с настоящим СП.

В случае размещения этих объектов на гидротехнических сооружениях или в контакте с ними сейсмическое воздействие задается движением, передаваемым со стороны основного сооружения.

Т а б л и ц а 1

Категория грунта по сейсмиче- ским свой- ствам	Грунты	Расчетная сейсмич- ность площадки со- оружения при исход- ной сейсмичности площадки, баллы				
		6	7	8	9	10
I	Скальные грунты всех видов (в том числе многолетнемерзлые в мерзлом и талом состоянии) неветрелые и слабоветрелые; крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород, содержащие до 30% песчано-глинистого заполнителя; ветрелые и сильноветрелые 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 $V_p/V_s = 1.7 \div 2.2$ вне зависимости от степени водонасыщения.	-	-	7	8	9
II	Скальные грунты ветрелые и сильноветрелые, в т.ч. многолетнемерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории; 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 $J_L \leq 0.5$ 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; $V_s = 250 \div 700$ м/с; $V_p/V_s = 1.7 \div 2.2$ для неводонасыщенных грунтов; $V_p/V_s = 2.2 \div 3.5$ для водонасыщенных грунтов.	-	7	8	9	>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 $J_L > 0.5$; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $J_L \leq 0.5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0.9$ - для глин и суглинков и $e \geq 0.7$ - для супесей; многолетнемерзлые нескальные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допущение оттаивания грунтов основания); $V_s < 250$ м/с; $V_p/V_s = 1.7 \div 3.5$ для неводонасыщенных грунтов; $V_p/V_s > 3.5$ для водонасыщенных грунтов.	7	8	9	>9	>9

5 Учет сейсмических воздействий и определение их характеристик

5.1 Сейсмические воздействия учитываются в тех случаях, когда величина $I^{\text{рас}}$ составляет 7 баллов и более.

Сейсмические воздействия включаются в состав особых сочетаний нагрузок и воздействий.

5.2 Значение периода повторяемости проектного землетрясения $T_{\text{пов}}^{\text{пз}}$ принимается по усмотрению Заказчика в диапазоне от назначенного срока службы сооружения до 500 лет (но не менее 100 лет).

Значение периода повторяемости максимального расчетного землетрясения $T_{\text{пов}}^{\text{мрз}}$ принимается равным 10000 лет; при соответствующем обосновании, по усмотрению Заказчика, значение $T_{\text{пов}}^{\text{мрз}}$ допускается принимать в диапазоне от 5000 до 10000 лет для ВСФ и от 3000 до 10000 лет для МНГС.

5.3 Для ВСФ I или II класса и МНГС должны быть установлены расположение и характеристики основных зон ВОЗ сейсмического района, включая параметры сейсмических воздействий и направление подхода к сооружению сейсмических волн из расположенных в указанных зонах очагов землетрясений.

На основе выполненных исследований для площадки гидротехнического сооружения устанавливаются величины максимальных пиковых ускорений основания при проектном землетрясении $a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ и максимальном расчетном землетрясении $a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$ (с обеспеченностью не менее 50%), нижняя граница которых определяется согласно указаниям п.6.4.

Расчетные сейсмические воздействия задаются расчетными акселерограммами (РА), масштабированными (при необходимости) по величинам $a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ и $a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$. Расчетные акселерограммы подбираются с учетом данных о скоростных, частотных и резонансных характеристиках грунтов, залегающих в основании сооружения. Непосредственно для расчетов задаются компоненты $G1$, $G2$ и B расчетной акселерограммы.

Используются следующие РА:

из числа записей, произведенных на площадке или в районе сооружения;

аналоговые из числа записей, сделанных в районах, сходных с районом площадки строительства по сеймотектоническим, геологическим и другим сейсмологическим условиям;

синтезированные, сформированные в соответствии с указанными ниже расчетными параметрами сейсмического воздействия (для ПЗ и МРЗ соответственно):

общая длительность сейсмических колебаний $\tau^{\text{пз}}$ или $\tau^{\text{мрз}}$;

длительность фазы сейсмических колебаний основания $\tau_{0.5}^{\text{пз}} (\tau_{0.3}^{\text{пз}})$ или $\tau_{0.5}^{\text{мрз}} (\tau_{0.3}^{\text{мрз}})$;

период колебаний с максимальным пиковым ускорением $T_{\text{макс}}^{\text{пз}}$ или $T_{\text{макс}}^{\text{мрз}}$;

преобладающий период колебаний $T_{0.5}^{\text{пз}} (T_{0.3}^{\text{пз}})$ или $T_{0.5}^{\text{мрз}} (T_{0.3}^{\text{мрз}})$.

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

Приведенные параметры задаются в виде своих компонент $G1$, $G2$ и B .

П р и м е ч а н и е – Объем и состав сейсмологических исследований окончательно устанавливается Генеральным проектировщиком и согласовывается Заказчиком.

5.4 Для гидротехнических сооружений, не перечисленных в п.5.3, характеристикой расчетного сейсмического воздействия служит величина сейсмического ускорения основания, определяемая в соответствии с указаниями п.6.6.

5.5 В расчетах гидротехнических сооружений и их оснований учитываются следующие сейсмические нагрузки:

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

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

где $\rho(\vec{x})$ - плотность материала в точке наблюдения \vec{x} с координатами (в общем случае) x_1, x_2, x_3 по осям 1,2,3 соответственно, а $\ddot{U}(\vec{x}, t)$ - вектор ускорения точки \vec{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 учитываются взаимные подвижки блоков в основании сооружения, вызванные прохождением сейсмической волны.

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

смещения по тектоническим разломам;

проседание грунта;

обвалы и оползни;

разжижение грунта.

Отказ от учета инерционных свойств основания допускается при специальном обосновании.

6 Расчеты сооружений на сейсмические воздействия

6.1 Гидротехнические сооружения, в зависимости от вида и класса сооружения и уровня расчетного землетрясения (ПЗ или МРЗ), рассчитываются на сейсмические воздействия методами динамической теории (ДТ) или линейно-спектральной теории (ЛСТ). Общая схема использования различных методов расчета сооружений на сейсмические воздействия приведена в таблице 2.

П р и м е ч а н и е - Перечень сооружений I и II классов, относящихся к ВСФ, может быть расширен по усмотрению проектной организации за счет напорных трубопроводов большого диаметра и иных объектов, разрушение которых по своим последствиям идентично прорыву напорного фронта.

Т а б л и ц а 2

Расчетное землетрясение	Класс сооружения		
	I - II	III - IV	I - IV
	ВСФ МНГС	ВСФ	Остальные ГТС
ПЗ	ДТ	ЛСТ	ЛСТ
МРЗ	ДТ	-	-

6.2 В расчетах сейсмостойкости гидротехнических сооружений с использованием динамической теории (ДТ) сейсмическое ускорение основания задается расчетной акселерограммой землетрясения (РА), 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) определяются на всем временном интервале сейсмического воздействия на сооружение.

В случае применения линейного динамического анализа максимальные и минимальные значения указанных величин за весь рассматриваемый временной интервал суммируются со значениями смещений (деформаций, напряжений и усилий), полученными от остальных нагрузок и воздействий, входящих в состав особого сочетания нагрузок и воздействий, включающего сейсмические воздействия.

П р и м е ч а н и е - В качестве исходного сейсмического воздействия могут задаваться также велосигранмы либо сейсмограммы.

6.3 Гидротехнические сооружения рассчитываются по ДТ на ПЗ, как правило, с применением линейного временного динамического анализа, а на МРЗ - нелинейного или линейного временного динамического анализа.

Временной динамический анализ (линейный и нелинейный) производится с применением пошагового интегрирования дифференциальных уравнений; линейный динамический анализ допускается выполнять также методом разложения решения в ряд по формам собственных колебаний.

6.4 Расчеты гидротехнических сооружений по ДТ должны выполняться на расчетные акселерограммы с такими величинами максимального пикового ускорения в основании сооружения

$$a_{\text{п}} = \text{Max} \left| \ddot{U}_0(t) \right|, \quad (1)$$

чтобы ускорения $a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ (при расчете на ПЗ) и $a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$ (при расчете на МРЗ) имели значения не менее определенных по формулам:

$$a_{\text{п}}^{\text{пз}} = k_A^{\text{пз}} g A_{500}; \quad (2)$$

$$a_{\text{п}}^{\text{мрз}} = k_A^{\text{мрз}} g A_{5000}, \quad (3)$$

где A_{500} и A_{5000} - расчетные амплитуды ускорения основания (в долях g), определенные для землетрясений с нормативными периодами повторяемости $T_{\text{пов}}^{500}$ и $T_{\text{пов}}^{5000}$ соответственно с учетом реальных грунтовых условий на площадке строительства; значения A_{500} и A_{5000} даны в таблице 3;

g - ускорение свободного падения ($9,81 \text{ мс}^{-2}$);

$k_A^{\text{пз}}$ и $k_A^{\text{мрз}}$ - коэффициенты, учитывающие вероятность рассматриваемого сейсмического события за назначенный срок службы сооружения $T_{\text{сл}}$, а также переход от нормативного периода повторяемости в 500 лет $T_{\text{пов}}^{500}$ к принятому периоду повторяемости $T_{\text{пов}}^{\text{пз}}$ и от нормативного периода повторяемости в 5000 лет $T_{\text{пов}}^{5000}$ к принятому $T_{\text{пов}}^{\text{мрз}}$ соответственно; значения коэффициентов $k_A^{\text{пз}}$ и $k_A^{\text{мрз}}$ принимаются по таблице 4.

Расчетные акселерограммы, в дополнение к параметру $a_{\text{п}}$, должны соответствовать также всем остальным параметрам, характеризующим расчетное сейсмическое воздействие и указанным в п.5.3.

Если имеющихся сейсмологических данных недостаточно для установления значений расчетных ускорений $a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ и $a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$, то на предварительной стадии проектирования допускается принимать, что значения $a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ и $a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$ определяются по формулам (2) и (3).

Примечание - Формулу (2), а также таблицы 3 и 4 следует применять и в том случае, когда сейсмичность площадки строительства по карте ОСР, соответствующей принятому периоду повторяемости $T_{пов}^{пз}$, оказывается меньше, чем по карте А. Если же указанные величины сейсмичности равны между собой, то значение коэффициента $k_A^{пз}$ принимается по таблице 4 для $T_{пов}^{пз} = 500$ лет.

Т а б л и ц а 3

Категория грунта	$I^{исх}$, баллы									
	6		7		8		9		10	
	$I^{рас}$ баллы	А								
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 $I^{исх}$ имеет значения $I_{500}^{исх}$ или $I_{5000}^{исх}$, а $I^{рас}$ соответственно - $I_{500}^{рас}$ или $I_{5000}^{рас}$

2 Допускается принимать $I_{500}^{исх} = I_{500}^{нор}$ и $I_{5000}^{исх} = I_{5000}^{нор}$.

Т а б л и ц а 4

Назначенный срок службы $T_{сл}$, годы	$k_A^{пз}$					$k_A^{мрз}$	
	$T_{пов}^{пз}$, ГОДЫ					$T_{пов}^{мрз}$, ГОДЫ	
	100	200	300	400	500	5000	10000
10	0.55	0.60	0.65	0.68	0.70	0.70	0.80
20	0.63	0.70	0.74	0.78	0.80	0.80	0.90
50	0.70	0.78	0.83	0.87	0.90	0.90	1.00
100 и более	0.80	0.87	0.93	0.97	1.00	1.00	1.10

6.5 При выполнении динамического анализа сейсмостойкости гидротехнических сооружений следует использовать значения параметров затухания ζ , установленные на основе динамических исследований поведения сооружений при сейсмических воздействиях.

При отсутствии экспериментальных данных о реальных величинах параметров затухания в расчетах сейсмостойкости допускается применять параметры затухания ζ со значениями, не превышающими:

0.05 - для бетонных и железобетонных сооружений;

0.15 - для сооружений из грунтовых материалов;

0.08 - для скальных пород оснований;

0.12 - для полускальных и нескальных грунтов оснований.

6.6 В расчетах сооружений на ПЗ по ЛСТ материалы сооружения и основания считаются линейно-упругими; в поведении системы «сооружение-основание» отсутствует геометрическая, конструктивная или физическая нелинейность.

Сейсмическое ускорение основания задается постоянной во времени векторной величиной \ddot{U}_0 , модуль которой определяется по формуле:

$$\left| \ddot{U}_0 \right| = k_A^{\text{пз}} g A_{500}, \quad (4)$$

где $k_A^{\text{пз}}$, g и A_{500} - то же, что и в формуле (2).

6.7 В тех случаях, когда при расчете сейсмостойкости сооружения по ЛСТ система «сооружение-основание» разбита на отдельные дискретные объемы, то в качестве сейсмических нагрузок используются узловые инерционные силы \vec{P}_{ik} , действующие на элемент сооружения, отнесенный к узлу k , при i -ой форме собственных колебаний.

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

$$P_{ikj} = k_f k_\psi m_k \ddot{U}_0 \beta_i \eta_{ikj}, \quad (5)$$

где: k_f - коэффициент, отражающий недопустимость в сооружении повреждений;

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:

$$\eta_{ikj} = U_{ikj} \frac{\sum_s m_s \sum_{j=1}^3 U_{isj} \cos(U_{isj}, \ddot{U}_0)}{\sum_s m_s \sum_{j=1}^3 U_{isj}^2}; \quad (6)$$

где: 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} ;

П р и м е ч а н и е - 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.

6.8 Для всех гидротехнических сооружений k_f принимается равным 0.45.

Для водоподпорных сооружений значение коэффициента k_ψ принимается:

0.9 - для бетонных и железобетонных сооружений;

0.7 - для сооружений из грунтовых материалов.

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

6.9 Значения коэффициента динамичности $\beta(T_i)$ определяются по зависимостям (7÷9) или по графикам на рисунке 1:

$$\beta(T_i) = 1 + \frac{T_i}{T_1} (\beta_0 - 1), \quad 0 < T_i \leq T_1; \quad (7)$$

$$\beta(T_i) = \beta_0, \quad T_1 < T_i \leq T_2; \quad (8)$$

$$\beta(T_i) = \beta_0 \left(\frac{T_2}{T_i} \right)^{2/3}, \quad T_2 < T_i; \quad (9)$$

где β_0 , T_1 , T_2 - параметры, значения которых даны в таблице 5.

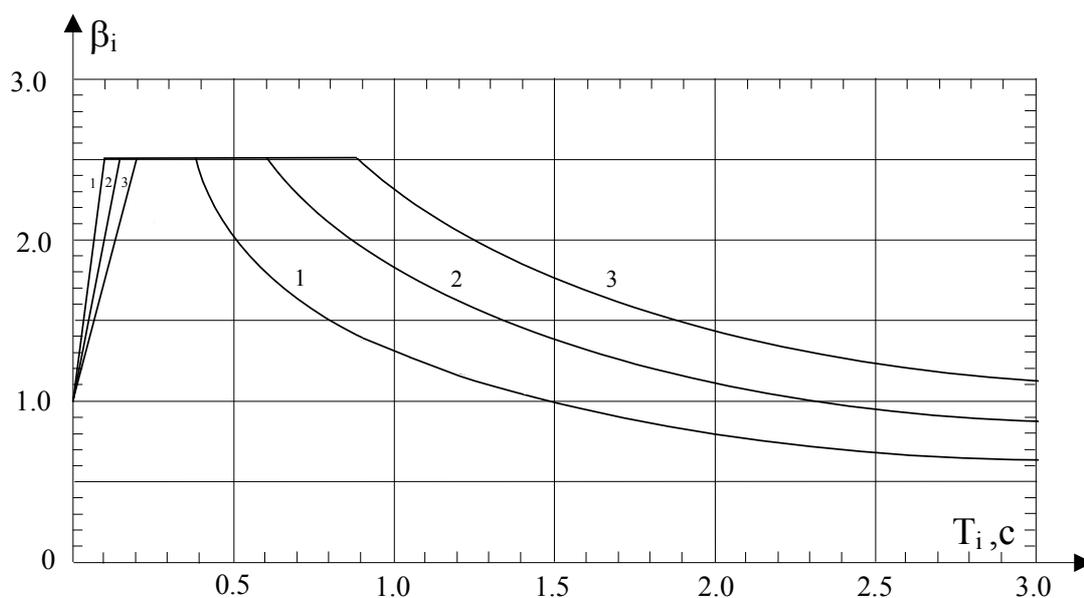
Примечания

1 Значения произведения $k_{\psi} \beta_i$ должны составлять не менее 0.80.

2 В дополнение к расчетам, выполненным с применением указанных функций $\beta(T_i)$, допускается производить расчеты, в которых используются спектры действия однокомпонентных расчетных акселерограмм, вычисленные при регламентируемых в п.6.5 значениях параметров затухания колебаний.

Т а б л и ц а 5

Категория грунтов по сейсмическим свойствам	β_0	T_1	T_2
I	2.5	0.10	0.375
I - II и II	2.5	0.15	0.611
II - III и III	2.5	0.20	0.882



1 - кривая для грунтов I категории.
2 - кривая для грунтов I - II и II категорий.

3 - кривая для грунтов II – III и III категорий.

Рисунок 1 - Коэффициенты динамичности $\beta(T_i)$

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

$$W = \sqrt{\sum_{i=1}^q W_i^2}, \quad (10)$$

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

W_i - обобщенное значение 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.

6.11 Плотность материалов сооружений и грунтов оснований следует определять согласно указаниям соответствующих ГОСТ, а также норм проектирования конкретных видов сооружений. При этом плотность материалов и грунтов устанавливается с учетом степени их водонасыщения.

Динамические деформационные и прочностные характеристики материалов сооружений и грунтов оснований при расчете сейсмостойкости гидротехнических сооружений следует определять экспериментально, в т.ч. с использованием геофизических методов.

В случаях отсутствия соответствующих экспериментальных данных в расчетах по ЛСТ допускается использовать корреляционные связи между величинами статического модуля общей деформации E_0 (или статического модуля упругости E_c) и динамического модуля упругости E_d . Допускается также использование статических прочностных характеристик материалов сооружения и грунтов основания; при этом вводятся дополнительные коэффициенты условий работы, устанавливаемые нор-

мами проектирования конкретных сооружений для учета влияния на эти характеристики кратковременных динамических воздействий.

6.12 При наличии в основании, боковой засыпке или теле гидротехнического сооружения водонасыщенных несвязных или слабосвязных грунтов следует выполнять исследования для оценки области и степени возможного разжижения этих грунтов при сейсмических воздействиях. Полученные в результате этих исследований данные об избыточном поровом давлении должны быть использованы при определении деформационных и прочностных характеристик указанных грунтов.

При этом следует учитывать также влияние возможных при сейсмических воздействиях других видов локальных разуплотнений и разрушений грунта (например, при наличии в указанных элементах сооружения глинистых тиксотропных грунтов – возможность текучести этих грунтов).

6.13 При расчетах гидротехнических сооружений на ПЗ оценка их прочности и устойчивости выполняется по критериям, принятым в нормах проектирования конкретных видов сооружений. Эти критерии должны соответствовать требованиям, предъявляемым к сооружениям при расчете их на ПЗ (п.4.4).

Для оценки прочности и устойчивости сооружений при расчете на МРЗ должны использоваться специально разработанные критерии, обеспечивающие выполнение требований п. 4.4 и принятые проектной организацией.

При этом для оценки сейсмостойкости сооружений допускается применять вероятностные методы.

Для сооружений из грунтовых материалов, а также для береговых склонов предельные значения допустимых остаточных деформаций и повреждений (осадки, смещения, трещины и т.д.), соответствующие состояниям сооружений, указанным в п.4.4, должны назначаться в результате специального обоснования с учетом природных условий площадки строительства, особенностей конструкции и условий эксплуатации сооружения.

Расчет сейсмостойкости сооружений на повторные сейсмические воздействия следует производить по вторичным схемам.

Для гидротехнических сооружений I и II классов на предварительных стадиях проектирования (при отсутствии оценок вероятности возникновения значимых повторных толчков на площадке рассматриваемого гидроузла) допускается произво-

дить проверку сейсмостойкости при повторных землетрясениях с интенсивностью, уменьшенной по сравнению с интенсивностью расчетного землетрясения на 1 балл.

6.14 Для определения напряженно-деформированного состояния гидротехнического сооружения при сейсмических воздействиях следует применять расчетные схемы, как правило, соответствующие таковым 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 ряда сооружений использовать двумерные расчетные схемы: для гравитационных плотин, подпорных стен и других массивных сооружений – расчеты по схеме плоской деформации; для арочных плотин и аналогичных им конструкций – расчеты при схематизации указанных сооружений оболочками средней толщины, а также пластинами, работающими в срединной плоскости как изгибаемые плиты. При специальном обосновании допускается использовать также одномерные расчетные схемы, применяемые для конструкций стержневого типа.

В расчетах учитывается масса жидкости, находящейся во внутренних полостях и резервуарах сооружений.

6.15 Размеры расчетной области основания в совокупности с другими грунтовыми массивами должны назначаться таким образом, чтобы при их увеличении возможно было пренебречь дальнейшим уточнением результатов расчета. Размеры расчетной области, занятой грунтовыми массивами, должны позволить проявиться предельным состояниям, характерным как для сооружения, так и для грунтовых массивов.

Для сооружений, входящих в состав напорного фронта, расчетная область основания, как правило, по своей нижней границе 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 других видов гидротехнических сооружений размеры расчетной области основания принимаются проектными организациями на основе опыта проектирования подобных сооружений.

П р и м е ч а н и е - Если на глубине менее $2H$ находятся породы, характеризующиеся скоростями распространения упругих сдвиговых волн не менее 1100 м/с, то допускается совместить подошву расчетной области основания с кровлей указанных пород.

6.16 В расчетах сейсмостойкости сооружений по ЛСТ направление сейсмического воздействия \ddot{U}_0 должно выбираться таким образом, чтобы воздействие оказалось наиболее опасным для сооружения.

При этом водоподпорные гидротехнические сооружения следует рассчитывать на сейсмические воздействия, в которых вектор \ddot{U}_0 принадлежит вертикальной плоскости, нормальной к продольной оси сооружения, а контрфорсные и арочные плотины - также и на воздействия, у которых вектор \ddot{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°.

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

Отдельно стоящие гидротехнические сооружения, схематизируемые стержнями, рассчитываются на горизонтальные сейсмические воздействия в плоскостях наибольшей и наименьшей жесткости.

В расчетах сейсмостойкости по ДТ для каждой из компонент вектора смещения в принятой расчетной схеме определяются сейсмические воздействия в виде акселерограмм, полученных по компонентам РА (с учетом их пространственной ориентации). Расчет производится на совместное действие учитываемых компонент РА. При этом вычисленные величины (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 $\tau^{\text{пз}}$ или $\tau^{\text{мрз}}$.

6.17 Число форм собственных колебаний q , учитываемых в расчетах с использованием разложения решения по указанным формам, выбирается таким образом, чтобы выполнялись условия:

$$\omega_q \geq 3 \omega_1, \quad (11)$$

$$\omega_q \geq 2 \omega_c, \quad (12)$$

где ω_q - частота последней учитываемой формы собственных колебаний;

ω_1 - минимальная частота собственных колебаний;

ω_c - частота, соответствующая пиковому значению на спектре действия расчетной акселерограммы.

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

П р и м е ч а н и е - На ранних стадиях проектирования при соответствующем обосновании допускается учитывать меньшее число форм колебаний, чем указано в настоящем пункте.

6.18 В расчетах прочности гидротехнических сооружений с учетом сейсмических воздействий в случае контакта боковых граней сооружения с грунтом (в том числе - наносами) следует учитывать влияние сейсмических воздействий на величину бокового давления грунта.

Конкретные методы определения бокового давления грунта при учете сейсмического воздействия в расчетах прочности сооружений принимаются проектными организациями с учетом особенностей конструкции сооружения и условий их эксплуатации.

6.19 Проверка устойчивости гидротехнических сооружений и их оснований с учетом сейсмических нагрузок должна производиться в соответствии с указаниями СП 23.13330.2011 и СП 39.13330.2012.

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

При расчете устойчивости откосов сооружений из грунтовых материалов и склонов с использованием ЛСТ сейсмические силы, действующие на сдвигаемую часть откосов и склонов, допускается определять инженерными методами (с учетом примененных методов проверки устойчивости).

Во всех случаях сдвигаемые грунтовые области (откосы сооружений из грунтовых материалов, склоны берегов и котлованов, засыпка подпорных стен, наносы, а также грунтовые массивы, слагающие основание) определяются из условия предельного равновесия этих областей 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 нахождения бокового давления грунта при сдвиге, принимаются проектными организациями с учетом особенностей конструкций и условий эксплуатации сооружений.

П р и м е ч а н и е - 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.

6.20 В тех случаях, когда при проектировании гидротехнического сооружения прогнозируется отложение у верхней 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 временных 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 верхней грани сооружения для различных временных этапов эксплуатации сооружения должны быть определены при проектировании сооружения и уточняться в процессе эксплуатации объекта по данным натурных наблюдений и исследований. Особое внимание должно обращать на установление возможности разжижения грунтов наносов при сейсмических воздействиях и размеров зоны этого явления.

6.21 В створе сооружения, в зоне водохранилища и нижнем бьефе подлежат проверке на устойчивость участки береговых склонов, потенциально опасные в от-

ношении возможности обрушения при землетрясениях больших масс горных пород и отдельных скальных массивов, результатом чего могут быть повреждения основных сооружений гидроузла, образование волн перелива и затопление населенных пунктов или промышленных предприятий, разного рода нарушения нормальной эксплуатации гидротехнического сооружения.

Для береговых склонов «назначенный срок службы» принимается равным максимальному для сооружений данного гидроузла.

6.22 В расчетах устойчивости гидротехнических сооружений, 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 п. 6.12.

6.23 При расчете подземного сооружения по ЛСТ следует учитывать отдельно:

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

б) инерционные сейсмические нагрузки от массы конструкции подземного сооружения и массы породного свода.

Подземные сооружения I и II классов на сейсмические воздействия на уровнях ПЗ и МРЗ рассчитываются по ДТ. В этих случаях напряженно-деформированное состояние сооружения определяется из единого динамического расчета системы, включающей вмещающую подземное сооружение грунтовую среду и само сооружение.

В расчетах подземных сооружений типа гидротехнических туннелей, как по ДТ, так и ЛСТ следует учитывать сейсмическое давление воды.

6.24 В расчетах гидротехнических сооружений 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, добавляется масса колеблющейся воды. Присоединенная

масса воды определяется 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.

6.25 При расчете гидротехнических сооружений (кроме перечисленных в п. 6.26) на горизонтальную составляющую сейсмического воздействия присоединенную массу воды $m_в$, приходящуюся на единицу площади их поверхности, следует определять по формуле

$$m_в = \rho_в h \mu \psi,$$

где $\rho_в$ - плотность воды;

h – глубина воды у сооружения;

μ - безразмерный коэффициент присоединенной массы воды, определяемый по таблице 6;

ψ - коэффициент, учитывающий ограниченность длины водоема и принимаемый для $l/h \geq 3$ равным 1, а для $l/h < 3$ – по таблице 7;

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

П р и м е ч а н и я

1 Для предварительного выбора характера колебаний сооружения по табл. 6 следует учитывать для бетонных и железобетонных плотин на скальном 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.

6.26 Для отдельно стоящих сооружений типа водонапорных башен, опор мостов и свай присоединенную массу воды, приходящуюся на единицу длины конструкции, следует определять по формуле

$$m_в = \rho_в d^2 \mu,$$

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

μ - коэффициент, определяемый по таблице 6.

6.27 В расчетах прочности и устойчивости безнапорных сооружений допускается учитывать сейсмическое давление воды, определяемое по формулам:

а) для жестких массивных оградительных и причальных портовых гидротехнических сооружений:

$$\begin{aligned} p &= AK_1 \rho_g ghD\psi; \\ P &= AK_1 \rho_g gh^2 D\psi; \\ h_0 &= h\chi; \end{aligned}$$

б) для отдельно стоящих сооружений, перечисленных в п 5.26:

$$\begin{aligned} p_0 &= AK_1 \rho_g gd^2 D; \\ P_0 &= AK_1 \rho_g gd^2 \Omega h; \\ h_0 &= h\chi; \end{aligned}$$

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

p_0 – то же, отнесенное к единице высоты отдельно стоящего сооружения;

P – суммарное гидродинамическое давление на единицу длины сооружения;

P_0 – то же, на отдельно стоящее сооружение;

h_0 – глубина погружения точки приложения равнодействующей гидродинамического давления;

D, Ω, χ – безразмерные коэффициенты, определяемые по таблице 6.

П р и м е ч н и е - Если вода находится с двух сторон сооружения, гидродинамическое давление следует принимать равным сумме абсолютных значений гидродинамических давлений, определенных для каждой из сторон сооружения.

6.28 В напорных водоводах гидродинамическое давление p_{\max} следует определять по формуле

$$p_{\max} = \frac{AK_1}{2\pi} \rho_g g C_v T_0,$$

где C_v – скорость звука в воде, равное 1300 м/с;

T_0 – преобладающий период сейсмических колебаний грунта, величина которого принимается равной 0.5 с.

Т а б л и ц а 6

Характер движения сооружения	Коэффициенты			
	μ	B	Ω	χ
1. Колебания вращения недеформируемого сооружения с вертикальной напорной гранью на податливом основании при $z_c \neq h$	$\frac{z_c R - \frac{2h}{\pi} G}{z_c - z}$	$\frac{z_c R - \frac{2h}{\pi} G}{z_c - h}$	$\frac{0.543z_c - 0.325h}{z_c - h}$	$\frac{0.325z_c - 0.210h}{0.543z_c - 0.325h}$
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	$D = \mu_1$	-	-
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, опор мостов, 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. То же, с квадратной формой поперечного сечения	$\left(\frac{z}{h}\right)^{d_2/2h}$	$\left(\frac{z}{h}\right)^{d_2/2h}$	$\frac{1}{1 + d_2/2h}$	$\frac{2h + d_2}{4h + d_2}$

Продолжение таблицы 6

Примечания

1 Коэффициенты R , G , μ_1 , C_1 , C_2 , C_3 – принимаются по таблице 8; z – ордината точки напорной грани, для которой вычисляется величина присоединенной массы воды (начало координат принимается на уровне водной поверхности); z_c – ордината центра вращения, определяется 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_1 .

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

3 Значение безразмерного коэффициента μ_1 для ключевого сечения симметричных арочных плотин принимается по таблице 8. Для остальных сечений арочной плотины значение этого коэффициента увеличивается линейно до $1.3 \mu_1$ в пятах.

4 Для случаев, не предусмотренных таблицей 6, присоединенная масса воды определяется специальными расчетами.

Т а б л и ц а 7

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
Безразмерный 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

Т а б л и ц а 8

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	$\theta = 90^\circ$	$b/h = 3$	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
	$\theta = 30^\circ$ 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
П р и м е ч а н и е - Параметр b – ширина ущелья на уровне водной поверхности.												

6.29 При расчете гидротехнических сооружений на вертикальную составляющую сейсмического воздействия следует учитывать дополнительное сейсмическое давление воды $p_{доп}$ (ординаты давления) на наклонные грани сооружений, определяемое по формуле

$$p_{доп} = 0.5\rho_w g z A K_1 \sin \Theta,$$

где z – расстояние от рассматриваемого сечения до водной поверхности;

Θ - угол наклона напорной грани к вертикали.

6.30 Высоту гравитационной волны Δh , м, учитываемую при назначении превышения гребня плотины над расчетным горизонтом воды, в случае возможности сейсмотектонических деформаций (подвижек) дна водохранилища при землетрясениях интенсивностью $I = 6 \div 9$ баллов, следует определять по формуле

$$\Delta h = 0.4 + 0.76(I - 6) . \quad (13)$$

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 водоподпорных и других сооружений, входящих в состав напорного фронта, 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 соору-

жения 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.

Пр и м е ч а н и е - Указания данного пункта не распространяются на гидротехнические сооружения из грунтовых материалов с экраном.

7.6 С целью повышения устойчивости верховой упорной призмы плотин из грунтовых материалов с ядрами или диафрагмами при сейсмических воздействиях надлежит 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 повышение их сейсмостойкости следует производить с помощью одного (или нескольких) мероприятий из нижеследующего перечня, осуществляя выбор на основании их технико-экономического сопоставления:

- а) уширение поперечного профиля плотины;
- б) облегчение верхней части сооружений за счет применения оголовков минимального веса, устройства верхней части сооружения в виде стенки, контрфорсной или рамной конструкции, выполнения полостей в пригребневой зоне сооружения и т. д.:

- в) заглубление подошвы сооружения до скальных пород;
- г) укрепление основания, сложенного нескальными грунтами, путем инъектирования этих грунтов;
- д) обжатие бетона у верхней грани бетонных плотин с помощью напрягаемых анкеров;
- е) защита напорной грани плотины из грунтовых материалов водонепроницаемым экраном;
- ж) использование для массивных гравитационных плотин клиновой («тогульской») разрезки сооружения на секции;
- з) применение пространственно работающих массивных гравитационных плотин;
- и) устройство периметрального шва для арочных плотин;
- к) использование сдвоенных контрфорсов, либо размещение распорных балок между контрфорсами для контрфорсной плотины;
- л) создание перед бетонной плотинной стационарной воздушной подушки, снижающей интенсивность гидродинамического давления на колеблющееся сооружение;
- м) устройство антисейсмических поясов;
- н) использование «армированного грунта» для возведения земляных плотин;

7.8 Для повышения сейсмостойкости эксплуатируемых плотин, имеющих дефицит сейсмостойкости, следует рассматривать мероприятия «а, б, д, к, л» из перечня, приведенного в п.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 этих 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) разрезка 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 Причалные сооружения и набережные следует, как правило, 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.

Для повышения сейсмостойкости причалов и набережных типа сборных гравитационных стен следует, как правило, укрупнять размеры сборных элементов, а монолитивание конструкций выполнять со сваркой выпусков арматуры или стальных закладных деталей. При расчетной сейсмичности строительной площадки, не превышающей 8 баллов, допускается применение сборных гравитационных стен в виде кладки из элементов типа обыкновенных массивов с выполнением конструктивных мероприятий для создания условий совместной работы этих элементов.

7.11 Протяженные причалы и набережные необходимо разделять на секции антисейсмическими швами, которые целесообразно совмещать с температурно-осадочными 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 (свай - для сооружений эстакадного типа, анкерных тяг и анкерных опор - для заанкеренных шпунтовых стен).

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.

Целесообразность соединения между собой отдельных секций причалов и набережных эстакадного типа специальными связями в цепочки секций устанавливается по результатам расчетов на основное сочетание нагрузок с учетом сил навала судов и на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий. Конструкция связей между секциями должна исключать возможность хрупкого разрушения этих связей при сейсмических колебаниях сооружения.

7.13 Для повышения сейсмостойкости причалов и набережных типа заанкеренных шпунтовых стен целесообразно в качестве анкерных опор использовать свайные ростверки; в случаях применения как опор анкерных плит или анкерных стенок следует предусматривать меры по тщательному уплотнению грунта перед этими конструкциями, а при необходимости - устройство плотных ядер из крупнообломочных грунтов.

При расчетной сейсмичности площадки строительства более 7 баллов следует применять конструкции, исключющие защемление анкерных тяг на опорах при значительных деформациях лицевых шпунтовых стен при землетрясении; рекомендуется применять компенсаторы для выравнивания усилий в тягах и лицевых шпунтовых стенах и предупреждения перегрузки этих элементов.

Подкрановые пути за шпунтовыми стенами следует устраивать на свайных фундаментах.

7.14 При возведении причалов и набережных типа заанкеренных шпунтовых стен или гравитационных подпорных стен из массивов-гигантов или сборных элементов должна быть обеспечена такая плотность обратной засыпки, при кото-

рой исключаются значительные осадки территории причалов или набережных при землетрясениях.

Устройство обратной засыпки из мелкого песка путем намыва допускается только при специальном обосновании.

8 Геодинамический мониторинг гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации

8.1 В проектах водоподпорных сооружений I и II классов 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 на участке плотины и в зоне водохранилища;

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 оценка сейсмического риска в случае изменения сейсмических условий площадки строительства, свойств основания и сооружения во время эксплуатации;

систему регламентных мероприятий персонала действующего гидротехнического сооружения по предотвращению либо снижению негативного влияния опасных геодинамических процессов и явлений в период эксплуатации.

Конкретные составы и методы наблюдений и исследований определяются специализированной проектной или исследовательской организацией. Примерный

состав геодинамических наблюдений и периодичность замеров в зависимости от характеристики объекта мониторинга и активности геодинамических процессов приведен в приложении Б.

Геодинамический мониторинг проводится комплексно и охватывает период от начала строительства до конца эксплуатации гидротехнического сооружения.

8.2 Сейсмологический мониторинг проводится для оперативного слежения за сейсмическим режимом и его изменением во времени. Специальной задачей исследований является выявление взаимосвязи сейсмичности района с режимом эксплуатации водохранилища.

Проект сейсмологического мониторинга разрабатывается с учетом расположения основных сейсмогенерирующих зон, величин максимально возможных магнитуд ожидаемых землетрясений, а также возможных изменений сейсмического фона за весь период наблюдений.

Для проведения сейсмологических наблюдений в головной части водохранилища размещается сеть высокочувствительных сейсмологических станций. Минимальное число станций в сети - четыре (по условию определения не только эпицентра, но и глубины очага землетрясения).

Одна из сейсмостанций локальной сети должна быть опорной и помимо сейсмологической аппаратуры иметь комплексы региональной сейсмологической и сейсмометрической аппаратуры.

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

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

Схема размещения сейсмометрических пунктов наблюдений разрабатывается на основе результатов динамических расчетов сооружения, а также опыта натуральных и модельных исследований. В зависимости от конструкции водоподпорного сооружения в его теле должно быть развернуто от 3-5 до 10-15 пунктов, в опорном контуре сооружения - до 6-8 пунктов наблюдения. Один комплект аппаратуры с трех-

компонентной регистрацией должен быть размещен на опорной сейсмологической станции.

До начала строительных работ инженерно-сейсмометрические наблюдения выполняются по контуру будущей плотины с целью уточнения каньонного эффекта.

8.4 Геофизический мониторинг проводится для контроля за изменением во времени физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния плотины и основания на различных масштабных уровнях.

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

Сеть пунктов для проведения геофизических исследований развертывается на участке расположения основных сооружений гидроузла и в зоне водохранилища. Непосредственно места размещения пунктов определяются специализированными проектными и научно-исследовательскими организациями с учетом инженерно-геологических и сейсмотектонических условий района.

8.5 На водоподпорных сооружениях, указанных в п.8.1, при сдаче их в эксплуатацию, а затем через каждые 5 лет, следует проводить силами специализированных 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 могут быть использованы следующие естественные и искусственные источники:

фоновые колебания сооружения, связанные с режимной работой гидроагрегатов;

специальные, приуроченные к динамическим исследованиям, пуски и остановки гидроагрегатов;

микросейсмы;

тестовые взрывы небольших зарядов ВВ;

воздействие специальной тестирующей вибромашины.

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

8.6 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.

8.7 Все гидротехнические сооружения независимо от их назначения, класса, конструкции и материала изготовления должны подвергаться обследованию после каждого сейсмического воздействия интенсивностью 5 баллов и выше. При этом должны быть оперативно проанализированы показания всех видов КИА, установленной в сооружении, а также проведен осмотр сооружения. На основании установленных фактов проводится экспертная и расчетная оценка прочности, устойчивости и эксплуатационных качеств сооружения.

Осмотр сооружения и аналогичная оценка его состояния (прочности, устойчивости и эксплуатационных качеств) производится 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 административные органы и МЧС.

Приложение А (справочное)

Обозначения

$a_{п}$ - максимальное пиковое ускорение основания (максимальное значение модуля ускорения за время землетрясения), $м·с^{-2}$.

$a_{п}^{мрз}$ - максимальное пиковое ускорение основания при максимальном расчетном землетрясении, $м·с^{-2}$.

$a_{п}^{пз}$ - максимальное пиковое ускорение основания при проектном землетрясении, $м·с^{-2}$.

I - интенсивность сейсмического воздействия

$I^{исх}$ - исходная сейсмичность

$I^{нор}$ - нормативная сейсмичность

$I^{рас}$ - расчетная сейсмичность площадки

$T_{макс}^{мрз}$ - период колебаний, соответствующий максимальному пиковому ускорению при максимальном расчетном землетрясении, с.

$T_{макс}^{пз}$ - период колебаний, соответствующий максимальному пиковому ускорению при проектном землетрясении, с.

$T_{0.5}^{мрз}, T_{0.3}^{мрз}$ - преобладающий период колебаний при максимальном расчетном землетрясении для фазы сейсмических колебаний длительностью

$\tau_{0.5}^{мрз}, \tau_{0.3}^{мрз}$ соответственно, с.

$T_{0.5}^{пз}, T_{0.3}^{пз}$ - преобладающий период колебаний при проектном землетрясении для фазы сейсмических колебаний длительностью $\tau_{0.5}^{пз}, \tau_{0.3}^{пз}$ соответственно, с.

$T_{\text{пов}}^{\text{мрз}}$ - принятое значение среднего периода повторяемости (в годах) максимального расчетного землетрясения.

$T_{\text{пов}}^{\text{нор}}$ - нормативные периоды повторяемости (в годах) землетрясений, принятые в ОСР-97 и равные 500 лет ($T_{\text{пов}}^{500}$; карта А) и 5000 лет ($T_{\text{пов}}^{5000}$; карта С).

$T_{\text{пов}}^{500}$, $T_{\text{пов}}^{5000}$ - смотри п. А.49.

$T_{\text{пов}}^{\text{пз}}$ - принятое значение среднего периода повторяемости (в годах) проектного землетрясения.

$T_{\text{сл}}$ - назначенный срок службы сооружения (в годах), определяемый действующими нормативными документами или техническими условиями Заказчика.

$\tau^{\text{мрз}}$ - общая длительность сейсмических колебаний при максимальном расчетном землетрясении, с.

$\tau^{\text{пз}}$ - общая длительность сейсмических колебаний при проектном землетрясении, с.

$\tau_{0.5}^{\text{мрз}}$, $\tau_{0.3}^{\text{мрз}}$ - длительность фазы сейсмических колебаний основания, в течение которой величины пиковых ускорений при максимальном расчетном землетрясении достигают значений не менее $0,5 a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$ и $0,3 a_{\text{п}}^{\text{мрз}}$ соответственно, с.

$\tau_{0.5}^{\text{пз}}$, $\tau_{0.3}^{\text{пз}}$ - длительность фазы сейсмических колебаний основания, в течение которой величины пиковых ускорений при проектном землетрясении достигают значений не менее $0,5 a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ и $0,3 a_{\text{п}}^{\text{пз}}$ соответственно, с.

Сокращения

ВОЗ - возможные очаги землетрясений.

ВСФ - водоподпорные сооружения в составе напорного фронта.

ГТС – гидротехнические сооружения.

ДТ - динамическая теория расчета сооружений на сейсмические воздействия.

ЛСТ - линейно-спектральная теория расчета сооружений на сейсмические воздействия.

МНГС – морские нефтегазопромысловые сооружения.

Приложение Б (рекомендуемое)

Примерный состав геодинамического мониторинга на гидротехнических объектах

№№ п/п	Объект мониторинга	Задачи мониторинга	Вид геодинамических наблюдений	Активность геодинамических (природных и техногенных) процессов		Периодичность наблюдений в нормальном режиме
				Сейсмическая активность в баллах	Активность прочих геодинамических процессов *)	
1	2	3	4	5	6	7
1	Плотины всех видов при высо- те сооружения 100м 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 1 раза в 3 месяца.
		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 1 раза в полгода.
		Контроль гидрогеодеформационных процессов.	Пьезометрия, расходометрия.	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее 1 раза в неделю или непрерывная регистрация.

(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
2	Глубокие водохранилища (с плотинами высотой 100м и более)	Контроль сейсмического режима. Выявление вызванной сейсмичности.	Сейсмологический мониторинг на локальной сети.	Высокая: 8 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 1 раза в 3 месяца.
		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 1 раза в полгода.
		Контроль гидрогеодеформационного поля.	Пьезометрия, расходометрия.	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее 1 раза в месяц.
3	Водоохранилища глубиной менее 100м.	Контроль оползневых процессов и процессов переработки берегов.	Геодезический мониторинг.	Высокая Средняя Низкая	Высокая Средняя Низкая	Не менее 1 раза в полгода
			Геофизический мониторинг: – акустико-эмиссионные измерения; – электрометрия. –	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее 1 раза в полгода.
4	Подземные гидротехнические сооружения - машинные залы, туннели и др.	Контроль напряженно-деформационного состояния вмещающего массива на различных масштабных уровнях сейсмичности.	Ультразвуковой, акустико-эмиссионный и высокочастотный сейсмический каротаж веером скважин	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее 1 раза в 3 месяца

(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
	Подземные гидротехнические сооружения - машинные залы, туннели и др.	Контроль горного давления, прогноз горных ударов	Ультразвуковой каротаж. Акустико-эмиссионное профилирование и каротаж. Гидроразрыв.	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Не менее 1 раза в 3 месяца
5	Плотины всех видов и классов высотой менее 100м. ГАЭС и другие гидротехнические сооружения	Контроль прочности и деформативности несущих бетонных и железобетонных конструкций	Ультразвуковое и высокочастотное сейсмическое профилирование	Высокая Средняя	Высокая Средняя	1 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	1 раз в 3-5 лет, после землетрясений интенсивностью 7-8 баллов
		Контроль фильтрационных процессов	Специальные электрометрические наблюдения	Высокая Средняя	Высокая Средняя	1 раз в 3-5 лет, после землетрясений интенсивностью 7-8 баллов
			Пьезометрия, расходомерия	Высокая Средняя	Высокая Средняя	Непрерывно

Примечание - 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

Библиография

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

УДК 627.8.012.4 (083.74).....

ОКС 93.160

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

Руководитель организации-разработчика
ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева»
(Наименование организации)

Генеральный директор
ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева», д.т.н



Е.Н. Беллендир

Научный руководитель,
Первый заместитель
генерального директора, д.т.н.



В.Б. Глаговский

Руководитель разработки,
главный научный сотрудник, д.т.н., проф.



А.А. Храпков

Ответственный исполнитель,
ведущий научный сотрудник, к.т.н.



М.С. Ламкин

Руководитель организации-разработчика
Центр службы геодинамических наблюдений в
электроэнергетической отрасли (ЦСГНЭО) –
филиал ОАО «Институт Гидропроект»
(Наименование организации)

Директор ЦСГНЭО – филиала
ОАО «Институт Гидропроект», д.ф.-м.н.



А.И. Савич

Ответственный исполнитель,
начальник отдела сейсмостойкости, к.т.н.



В.В. Речицкий

Ответственный исполнитель,
начальник отдела оценки
сейсмической опасности, к.г.-м.н.



А.Л. Стром

Издание официальное

Свод правил

СП

**Бетонные и железобетонные конструкции
гидротехнических сооружений**

Актуализированная редакция

СНиП