
Саморегулируемая организация
Ассоциация
«Объединение организаций, выполняющих инженерные изыскания при архитектурно-строительном проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов атомной отрасли «СОЮЗАТОМГЕО»
(СРО «СОЮЗАТОМГЕО»)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Утвержден
решением Совета
СРО «СОЮЗАТОМГЕО»,
Протокол № 11/09-2025 от 01.09.2025 г.

ОБЪЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
Определение сейсмической опасности и расчётных сейсмических
воздействий

СТО СРО-Г 60542954 00024-2025

Издание официальное

Москва
2025

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН ООО «Центр технических компетенций атомной отрасли» (ООО
«ЦТКАО»)

2 ВНЕСЕН Исполнительной дирекцией СРО «СОЮЗАТОМГЕО»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ решением Совета СРО «СОЮЗАТОМГЕО»,
Протокол №11/09-2025 от 01.09.2025

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведён, тиражирован и распространён в качестве официального издания без разрешения СРО «СОЮЗАТОМГЕО»

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Сокращения и обозначения	11
5 Общие положения	12
6 Сейсмотектонические и сейсмогеологические исследования	14
6.1 Исследования и работы на стадии размещения (выбора площадки) объекта использования атомной энергии	14
6.2 Исследования и работы на стадии разработки проектной документации объекта использования атомной энергии	15
6.3 Исследования и работы на стадии сооружения объекта использования атомной энергии	16
6.4 Исследования и работы при эксплуатации и выводе из эксплуатации объекта использования атомной энергии	17
7 База данных	17
7.1 Формирование базы данных	17
7.2 Геолого-геофизическая БД	18
7.3 Сейсмологическая БД	18
7.4 Каталог землетрясений	18
7.4.1 Палео- и исторические землетрясения	18
7.4.2 Инструментальные землетрясения	19
7.4.3 Землетрясения, зарегистрированные сейсмическими станциями локальной сети наблюдений	20
7.5 Геотехническая база данных	20
8 Составление сейсмотектонической модели района размещения	21
9 Зоны возникновения очагов землетрясений	21
10 Уравнения прогнозирования движения грунта	22
11 Вероятностный анализ сейсмической опасности	25
12 Детерминистский анализ сейсмической опасности	26
13 Учёт неопределённости в исходных данных и моделях анализа сейсмической опасности на площадке объекта использования атомной энергии	27
14 Состав результатов определения сейсмической опасности на площадке объекта использования атомной энергии	28
15 Расчётные сейсмические воздействия	30

15.1 Сейсмические воздействия в терминах ускорения.....	30
15.2 Расчёт спектра реакции	31
15.3 Разработка единого для площадки объекта использования атомной энергии консервативного спектра реакции.....	33
15.4 Синтезирование акселерограмм, совместимых с заданным спектром реакции ...	33
15.4.1 Алгоритм синтезирования акселерограммы	33
15.4.2 Проектирование огибающей обобщённой акселерограммы	35
15.4.3 Проектирование огибающей синтетической акселерограммы сценарного землетрясения.....	35
15.5 Определение набора инструментальных акселерограмм реальных землетрясений для проектирования	36
15.6 Сейсмические воздействия в терминах интенсивности сотрясений	37
16 Состав параметров внешних сейсмических воздействий для проектирования объектов использования атомной энергии	37
Приложение А (рекомендуемое) Схемы назначения частоты, соответствующей ускорению нулевого периода, и построения обобщённого спектра реакции для проектных основ объектов использования атомной энергии.....	39
Приложение Б (рекомендуемое) Критерии качества и приемлемости синтезированных акселерограмм для расчёта реакции площадки и проектирования объектов использования атомной энергии	40
Приложение В (рекомендуемое) Форма и параметры огибающей обобщённой акселерограммы	41
Приложение Г (рекомендуемое) Форма огибающей акселерограммы сценарного землетрясения	43
Библиография	44

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ОБЪЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Оценка сейсмической опасности и расчет сейсмических воздействий

Дата введения – 2026–01–01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает общие положения по определению сейсмической опасности и расчету вибрационных сейсмических воздействий на объектах использования атомной энергии:

- объектах с промышленными и исследовательскими ядерными реакторами, критическими и подкритическими ядерными стендаами;
- объектах с ядерным топливом и материалами, в том числе с установками для их производства, использования и переработки;
- объектах стационарных радиационных источников с генерируемым ионизирующим излучением или изделиями, содержащими радиоактивные вещества;
- стационарных объектах и сооружениях, предназначенных для хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранения или захоронения радиоактивных отходов.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения специалистами организаций – членов саморегулируемой организации Ассоциация «Объединение организаций, выполняющих инженерные изыскания при архитектурно-строительном проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов атомной отрасли» «СОЮЗАТОМГЕО» (СРО «СОЮЗАТОМГЕО»).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 57546 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности»

СП 14.13330.2018 «СНиП-II-7-81*Строительство в сейсмических районах»

СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

СП 151.13330.2012 «Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть I. Общие положения. Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС)»

СП 151.13330.2012 «Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть II. Инженерные изыскания для разработки проектной и рабочей документации и сопровождения строительства»

СП 286.1325800.2016 «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования»

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (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 стандарт (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 могут быть проверены в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по федеральным законам [1], [2], ГОСТ Р 57546; СП 14.13330.2018; СП 47.13330.2016, СП 151.13330.2012, а также другие термины с соответствующими определениями¹:

3.1

акселерограмма: Зависимость ускорения колебаний от времени.

[[3], Основные термины и определения]

3.2 акселерограмма инструментальная (подобранныя): Акселерограмма, зарегистрированная на свободной поверхности грунта при землетрясении и принятая для расчета объекта использования атомной энергии на сейсмостойкость с учетом ее соответствия сейсмотектоническим и грутовым условиям площадки объекта использования атомной энергии.

¹ В данном разделе наряду с нормативными приведены специфические термины и определения, важные для их правильного понимания и применения в рамках настоящего стандарта. В скобках приведены распространённые аналоги терминов.

3.3 алеаторная неопределенность: Неопределенность значений некоторого параметра вследствие его случайной (стохастической) природы, учитываемая моделированием параметра как случайной величины в вероятностной модели.

П р и м е ч а н и е – В большинстве случаев алеаторная неопределенность не может быть снижена путем сбора дополнительных данных (проведения дополнительных исследований, получения дополнительной информации).

3.4 анализ реакции площадки: Определение и анализ движений грунта при землетрясении с учетом местных грунтовых условий, с помощью теории распространения сейсмических волн.

П р и м е ч а н и е – Сейсмогеологический вертикальный профиль грунта моделируется как колонка грунта конечной глубины с бесконечным простиранием в горизонтальных направлениях. Волны землетрясения распространяются вверх по колонке грунта, определяя его движения на поверхности.

3.5 велосиграмма: Зависимость скорости сейсмических колебаний от времени.

3.6 вероятность (частота) превышения в год: Средняя частота превышения определенного значения сейсмической интенсивности, ускорения или иной меры сейсмических колебаний на площадке объекта использования атомной энергии.

3.7

вероятностный анализ сейсмической опасности: Вероятностный метод, сочетающий альтернативные модели очагов, периоды повторяемости сейсмических воздействий, зависимости затухания сильных движений грунта, а также явные случайные неопределенности вероятностной модели сейсмической опасности для получения вероятности (частоты) превышения конкретного уровня движения грунта.

[[4], Приложение №2 Термины и определения]

3.8

воздействие природного происхождения: Воздействие, вызванное внешними по отношению к ОИАЭ процессами, явлениями и факторами природного происхождения

[[5], Приложение №2 Термины и определения, пункт 2]

3.9 геодинамическая зона: Линейное или иной формы геоморфологическое проявление, в пределах которого установлены изгибные или разрывные движения, произошедшие в неоген-четвертичный и современный периоды развития Земли.

3.10 гипоцентр (фокус) землетрясения: Условная точка очага, в которой начинается процесс движения по разлому при землетрясении и высвобождение энергии, в том числе – сейсмической.

П р и м е ч а н и е – гипоцентр характеризуется географическими координатами и глубиной.

3.11 деагрегация: Расчет наиболее вероятных магнитуд землетрясений и расстояний от очага до площадки, преобладающих при заданном периоде повторяемости и заданном периоде (частоте) сейсмических колебаний.

3.12 детерминистский анализ сейсмической опасности: Метод определения и анализа параметров сейсмических воздействий на площадке ОИАЭ при максимально возможной магнитуде землетрясения в каждой зоне ВОЗ и расположении очага этого землетрясения на кратчайшем расстоянии от гипоцентра до площадки.

3.13 достоверные результаты (сведения, характеристики): Результаты (сведения, характеристики), подтверждённые специальными экспериментами (расчетами), не требующие дополнительной проверки.

3.14

жизненный цикл здания или сооружения: Период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения.

[[6], статья 2].

3.15 закон повторяемости землетрясений (закон Гутенберга-Рихтера): Зависимость (логарифма) количества землетрясений от магнитуды в заданном районе за определённый промежуток времени.

Примечание – в общем виде закон Гутенберга-Рихтера описывается выражением $\lg N = a - bM$, где N – количество землетрясений; M – магнитуда; a и b – коэффициенты эмпирической регрессии.

3.16 запроектное землетрясение: Более сильное (и более редкое), чем максимальное расчётное землетрясение, требующееся для анализа запроектных аварий на объектах использования атомной энергии.

3.17 зона возможных очагов землетрясений: Сейсмоактивная структура земной коры и верхней мантии Земли, являющаяся источником землетрясений.

3.18 изосейсты: Условные линии, разделяющие на картах и схемах области (территории) с различной интенсивностью (балльностью) сотрясений.

3.19

интенсивность землетрясения (сейсмическая интенсивность, балльность): Оценка воздействия землетрясения в баллах 12-балльной шкалы, определяемая по макросейсмическим описаниям разрушений и повреждений природных объектов, грунта, зданий и сооружений, движений тел, а также по наблюдениям и ощущениям людей.

[СП 286.1325800.2016, раздел 3, пункт 3.8]

3.20 исходные сейсмические воздействия: Сейсмические воздействия в терминах интенсивности сотрясений, определённые применительно к реперному грунту, и в терминах ускорения, определённые применительно к референтному грунту.

3.21 каталог землетрясений: Сводка расположенных в хронологическом порядке сведений о параметрах очагов землетрясений.

3.22 каталог землетрясений проектный: Каталог землетрясений, составленный для использования при определении сейсмической опасности и сейсмических воздействий применительно к конкретному проекту ОИАЭ.

3.23 кинематические параметры: Смещение, скорость и ускорение сейсмических колебаний.

3.24 консервативный подход к сейсмическим воздействиям для проектирования: Подход, применяемый при разработке сейсмических воздействий для проектирования ОИАЭ, с использованием обоснованных значений параметров и характеристик, заведомо приводящих к более неблагоприятным воздействиям.

3.25 колебание сейсмическое грунта: Расчётное или зарегистрированное сейсмическое воздействие в форме акселерограммы, велосиграммы или сейсмограммы колебаний на свободной поверхности грунтового основания или во внутренних точках грунтового массива при землетрясении.

3.26 магнитуда землетрясения: Мера сейсмической энергии очага землетрясения, основанная, как правило, на оценках максимальной скорости или смещения колебаний грунта, функции очагового спектра смещения (сейсмического момента) или геологических данных.

3.27 макросейсмика: Последствия землетрясения, проявившиеся на поверхности Земли, оцениваемые на основе реакции категорий-сенсоров по ГОСТ Р 57546.

3.28

максимальное расчетное землетрясение: Землетрясение максимальной интенсивности² на площадке АС с повторяемостью один раз в 10 000 лет.

[[3], Основные термины и определения]

3.29 окрестности площадки ОИАЭ: Территория, окружающая площадку ОИАЭ, обычно рассматривается в радиусе 5 км.

² Под интенсивностью в данном определении следует понимать характеристики сейсмического движения грунта (в современной зарубежной литературе – Intensity Measure), выражаемые наряду с интенсивностью сотрясений в баллах сейсмической шкалы, также пиковым и спектральным ускорением, пиковой скоростью, пиковым смещением.

3.30

основание здания или сооружения: Массив грунта, воспринимающий нагрузки и воздействия от здания или сооружения и передающий на здание или сооружение воздействия от природных и техногенных процессов, происходящих в массиве грунта.

[[6], статья 2]

3.31 **основные здания и сооружения:** Здания и сооружения основного технологического процесса выработки продукции ОИАЭ, относящиеся к зданиям и сооружениям I и II категорий ответственности за радиационную и ядерную безопасность по НП-041-22 [7].

3.32

осциллятор (линейный): Линейная колебательная система с одной степенью свободы, характеризуемая определенной частотой собственных колебаний и степенью демпфирования.

[[3], Основные термины и определения]

3.33 **очаг землетрясения:** Объем геологической среды, где происходят разрывы пород и высвобождение упругих напряжений.

Примечание – Размер области очага и величина сбрасываемых упругих напряжений обуславливают энергию сейсмических волн и магнитуду землетрясения. Характеристикой очага является также сейсмический момент – произведение модуля сдвига горных пород на площадь разрыва и амплитуду смещения. По типу подвижки очаг может быть охарактеризован как сдвиг, сброс, взброс или их комбинация.

3.34 **палеоземлетрясение:** Землетрясение, не зарегистрированное ни инструментально, ни в исторических источниках, но выраженное сейсмодислокациями.

3.35 **палеосейсмодислокации:** Следы на поверхности Земли, оставленные палеоземлетрясениями.

Примечание – К первичным палеосейсмодислокациям относятся сейсмогенные разрывы грунта, а также поднятия и опускания примыкающих к ним территорий, к вторичным – сейсмогенные оползни, обвалы, осьпи, разжижение грунтов и связанные с разжижением локальные проседания земной поверхности.

3.36 **пиковое ускорение:** Максимальная абсолютная величина амплитуды акселерограммы.

3.37

площадка объекта использования атомной энергии: Территория в пределах охраняемого периметра, где размещаются здания и сооружения ОИАЭ.

[[5], Термины и определения]

3.38 повторяемость: Величина, обратная к среднегодовой частоте превышения некоторого уровня сейсмических воздействий, или к среднегодовой частоте превышения потока землетрясений определённой магнитуды.

3.39

проектное землетрясение: Землетрясение максимальной интенсивности³ на площадке АС с повторяемостью один раз в 1000 лет.

[[3], Основные термины и определения]

3.40 пункт размещения объекта использования атомной энергии: Территория, имеющая радиус охвата примерно 30 км от площадки объекта использования атомной энергии.

3.41

разлом активный: Тектонический разлом, по которому за последние 1 млн. лет произошло относительное перемещение примыкающих блоков на 0,5 м и более.

[[8], Термины и определения]

3.42 разлом сейсмически активный (сейсмогенный): Активный разлом, с которым связаны очаги землетрясений.

3.43 разлом с разрывом грунта: Сейсмически активный разлом, способный образовывать разрывы грунта на дневной поверхности или вблизи неё, связанные с выходом очага землетрясения на земную поверхность.

3.44

район размещения ОИАЭ: Территория, включающая площадку ОИАЭ, на которой возможны явления, процессы и факторы природного и техногенного происхождения, способные оказать влияние на безопасность ОИАЭ⁴.

[[5], Термины и определения]

3.45 рассеянная (диффузная) сейсмичность: Зарегистрированные на некоторой территории землетрясения, очаги которых при существующем уровне изученности нельзя связать с идентифицированными сейсмогенными структурами.

3.46 реакция площадки: Модифицирующее влияние грунтовой толщи на параметры и функционалы исходных сейсмических воздействий.

³ Под интенсивностью в данном определении следует понимать параметры сейсмического движения грунта, выражаемые наряду с интенсивностью сотрясений (сейсмичностью площадки) в баллах сейсмической шкалы, также пиковым ускорением, пиковой скоростью, пиковым смещением, спектральным ускорением, скоростью, смещением.

⁴ С точки зрения влияния сейсмотектонических и сейсмологических процессов, явлений и факторов обычно рассматривается территория радиусом порядка 300 км от площадки ОИАЭ.

3.47 реалистический подход к оценке сейсмической опасности: Подход, применяющийся при оценке реалистичных (неконсервативных) характеристик площадки ОИАЭ для выполнения вероятностного анализа ЗПА при сейсмических воздействиях.

3.48 реперный грунт⁵: Грунт, наиболее характерный для верхней части грунтовой толщи мощностью 30 м на площадке, относящийся к II категории по сейсмическим свойствам согласно СП 14.13330.2018 (таблица 4.1).

Примечание – К свободной поверхности участка реперных грунтов относится исходная сейсмичность площадки ОИАЭ.

3.49 референтный грунт: Грунт, относящийся к I или к II категории по сейсмическим свойствам, согласно СП 14.13330.2018 (таблица 4.1).

Примечание – референтный грунт может быть реальным (обнажение на дневной поверхности), либо виртуальным на площадке ОИАЭ. Применительно к референтному грунту разрабатываются исходные сейсмические воздействия в терминах физических параметров сейсмических колебаний (ускорение, длительность колебаний) и их функционалов (спектры реакции и акселерограммы).

3.50 свободная поверхность площадки: Поверхность площадки, сейсмические колебания которой не подвержены обратному влиянию собственных колебаний существующих зданий и сооружений.

3.51 сейсмическая активность: Среднее количество землетрясений определённой энергии (магнитуды) в единицу времени.

3.52 сейсмические воздействия: Макросейсмические (интенсивность сотрясений) и/или кинематические параметры колебаний грунта (ускорение, скорость, смещение), а также их функционалы – спектры реакции, акселерограммы, велосиграммы, сейсмограммы) на свободной поверхности площадки и/или на заданных отметках в основании ОИАЭ.

3.53 сейсмическая опасность исходная: Вероятность проявления сейсмических колебаний той или иной интенсивности (в терминах интенсивности сотрясений в баллах, ускорения, скорости, смещения) на заданной территории в течение заданного интервала времени.

3.54 сейсмичность района (пункта, площадки) объекта использования атомной энергии исходная: Интенсивность сейсмических сотрясений в баллах по ГОСТ Р 57546 в районе, пункте и на площадке размещения ОИАЭ при ПЗ и МРЗ, установленных согласно картам ОСР или по результатам сеймотектонических и сейсмологических исследований для реперных грунтов.

⁵ Понятие «реперный грунт» используется в настоящем стандарте как аналог и взамен ранее применявшегося в РФ понятия «эталонный грунт», поскольку в настоящее время понятие «эталон» строго нормировано в международных и российских документах и предполагает прослеживаемость к международным и национальным эталонам единиц величин.

3.55 сейсмологические и сейсмотектонические исследования: Комплекс полевых и камеральных работ, направленных на определение функций сейсмической опасности и параметров сейсмических воздействий на площадке уровней ПЗ, МРЗ и ЗЗ для проектирования, а также для последующего выполнения детерминистского и вероятностного анализов безопасности ОИАЭ.

3.56

сейсмическое микрорайонирование: Комплекс специальных работ по прогнозированию влияния особенностей приповерхностного строения, свойств и состояния пород, характера их обводнённости, рельефа на параметры колебаний грунта площадки.

П р и м е ч а н и е – Под приповерхностной частью разреза понимается верхняя толща пород, существенно влияющая на приращение интенсивности землетрясения.

[[3], Основные термины и определения]

3.57 сейсмический (сейсмологический) мониторинг: Комплекс работ, направленный на инструментальную регистрацию, обработку и анализ сейсмических сигналов природного и техногенного происхождения.

3.58 сейсмогеологическая модель: Модель строения грунтовой толщи в терминах сейсмических и физико-механических свойств и мощности слагающих её слоёв.

3.59 сейсмограмма: Общее определение записи сейсмических колебаний во времени.

П р и м е ч а н и е – Используется также для обозначения записи колебательного смещения грунта.

3.60 сейсмостойкость объекта использования атомной энергии: Свойство зданий, сооружений, систем и элементов ОИАЭ сохранять при землетрясении способность выполнять заданные функции в соответствии с проектом ОИАЭ или сохранять свою целостность в объеме, предусмотренном проектом ОИАЭ.

3.61 сейсмотектоническая модель: Модель, описывающая и связывающая тектоническую структуру района и её элементы с данными об имевших место землетрясениях.

3.62 скорость деформации: Изменение деформации в единицу времени.

3.63 спектр коэффициентов динаминости: Безразмерный спектр, полученный нормированием значений спектра ответа к пиковому ускорению колебаний грунта.

3.64 спектр реакции (ответа, отклика): Совокупность абсолютных значений максимальных ответных ускорений (скоростей, смещений) линейного неконсервативного осциллятора при заданном акселерограммой воздействии с учетом собственной частоты и степени демпфирования осциллятора.

3.65 спектр реакции с равной частотой превышения: Спектр реакции, определяемый таким образом, чтобы частота превышения спектральной амплитуды (ускорения, скорости,

смещения) была одинаковой для всех значений собственной частоты (периода) осцилляторов в этом спектре.

3.66 спектр реакции референтный: Спектр реакции, полученный для условий референтного грунта.

3.67 спектр реакции целевой: Спектр реакции, используемый при синтезировании или подборе акселерограмм, совместимых с этим спектром.

3.68 степень демпфирования: Отношение коэффициента демпфирования осциллятора с вязким демпфером к критическому значению его коэффициента демпфирования, выраженноеолях или процентах.

3.69 технология логического дерева: Метод учёта и анализа неопределённостей при моделировании.

Примечание – Применяется структура в виде дерева, состоящего из узлов и ветвей, представляющих точки принятия решений и альтернативные модели, соответственно. Ветви от каждого узла имеют определённый заданный вес.

3.70 траншейные исследования (тренчинг): Комплекс работ со вскрытием зоны активного разлома горными выработками для уточнения ее строения, параметризации сейсмотектонических дислокаций и определения абсолютного возраста тектонических смещений.

3.71 уравнение макросейсмического поля: Уравнение, описывающее функциональную связь между интенсивностью сотрясений, магнитудой и расстоянием до пункта, в котором оценивается интенсивность, от очага землетрясения.

3.72 ускорение нулевого периода: Асимптотическое значение спектра ответа по ускорению, численно равное максимальной амплитуде ускорения исходной акселерограммы.

Примечание – Назначается значениям спектра ответа при проектировании элементов ОИАЭ на собственных частотах осцилляторов выше некоторой частоты (называемой частотой ускорения нулевого периода).

3.73 функции деградации грунтов: Зависимости снижения упругих модулей и повышения материального демпфирования сейсмических колебаний грунтов от деформации.

3.74 функция сейсмической опасности: Совокупность значений частот превышения сейсмических воздействий заданной интенсивности для различных её квантильных уровней в зависимости от значения принятого параметра этих воздействий (интенсивность сотрясений, ускорение).

3.75 экспертный подход: Процесс получения качественной и/или количественной оценки некоторого параметра или модели явления на основе мнения экспертов, с целью последующего

принятия решения или выбора. Экспертный подход позволяет решать задачи, не поддающиеся решению аналитическим способом.

3.76 эпистемическая неопределенность: Неопределенность, связанная с недостаточной изученностью явления, что препятствует возможности точнее это явление моделировать.

П р и м е ч а н и е – Эпистемическая неопределенность присутствует в диапазоне изменения значений параметров, возможности использовать разные модели, уровне детализации при моделировании), различных экспертных оценках и в статистической доверительной вероятности.

3.77 эпицентр: Проекция гипоцентра на земную поверхность.

П р и м е ч а н и е – Эпицентр характеризуется географическими координатами.

4 Сокращения и обозначения

АС – атомная станция

БД – база данных

ВАБ – вероятностный анализ безопасности

ВАСО – вероятностный анализ сейсмической опасности

ВОЗ – зона возникновения очагов землетрясений

ГИС – географическая информационная система

ДАСО – детерминистский анализ сейсмической опасности

ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли

ЗЗ – запроектное землетрясение

ЗиС – здания и сооружения

МРЗ – максимальное расчетное землетрясение

ОБИН – обоснование инвестиций

ОИАЭ – объект использования атомной энергии

ОСО – определение сейсмической опасности

ОСР – общее сейсмическое районирование

ПЗ – проектное землетрясение

PCB – расчётные сейсмические воздействия

СГМ – сейсмогеологическая модель

СМР – сейсмическое микрорайонирование

СО – сейсмическая опасность

СТМ – сейсмотектоническая модель

ТЗ – техническое задание

УНП – ускорение нулевого периода

GMPE – Функция (уравнение) прогноза параметров сейсмических колебаний грунта

PGA – пиковое ускорение колебаний грунта

UHRS – спектр реакции с равной среднегодовой частотой превышения спектральных амплитуд

D_{05} – Интервал времени (с), в котором огибающая акселерограммы превышает уровень 0,5PGA

D_{5-75} – Продолжительность (с) нарастания интенсивности Ариаса акселерограммы от 5 % до 75 %

D_{5-95} – Продолжительность (с) нарастания интенсивности Ариаса акселерограммы от 5 % до 95 %

g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$)

I – интенсивность сотрясений (сейсмичность) в баллах

Mw – моментная магнитуда

V_S – скорость распространения поперечной сейсмической волны

V_{S30} – средневзвешенное значение скорости распространения поперечной сейсмической волны в верхней 30-метровой толще грунта (считая от планировочной отметки)

5 Общие положения

5.1 Итогом работ по определению СО и PCB должны являться проектные основы зданий, сооружений ОИАЭ различных категорий сейсмостойкости и ответственности в части расчётных землетрясений (ПЗ, МРЗ), PCB для использования в качестве исходных воздействий в ВАБ, а также обоснование безопасности в части сейсмических условий размещения ОИАЭ. PCB должны использоваться при проектировании и эксплуатации системы сейсмометрического контроля и защиты.

5.2 Исходные СО и PCB в терминах ускорения должны определяться применительно к референтному и (в случае определения СО и воздействий в терминах интенсивности) реперному грунту площадки ОИАЭ.

5.3 В оценках СО и PCB должны быть учтены и сублимированы все результаты сейсмотектонических и сейсмологических исследований для конкретного ОИАЭ.

5.4 Исходные PCB для проектных основ ОИАЭ должны быть консервативными и устанавливаться единными для площадки ОИАЭ в целом.

5.5 PCB для проектирования ОИАЭ могут не совпадать с оценками СО, выраженной параметрами и функционалами сейсмических колебаний, но обязаны быть консервативными по отношению к ней [1].

5.6 Для использования в целях ВАБ (ВАБ уровня 1 для блока атомной станции при исходных событиях, обусловленных сейсмическими воздействиями) должны приниматься

реалистичные (неконсервативные) воздействия, поскольку здесь учитывается крайне низкая среднегодовая частота превышения значений параметров воздействий (до 10^{-6} – 10^{-8} 1/год).

5.7 В рамках работ по определению СО и PCB должны решаться восемь групп задач:

- проведение инженерных изысканий, включающих сейсмотектонические и сейсмологические исследования, а также инженерно-геологические, инженерно-геотехнические изыскания и локальный сейсмологический мониторинг;

- сбор информации, и данных для характеристики общегеологических, сейсмотектонических, сейсмологических, геодинамических и геотехнических условия региона района, пункта и площадки размещения конкретного ОИАЭ;

- разработка сейсмотектонической модели (альтернативных моделей) и модели (альтернативных моделей) зон ВОЗ;

- разработка специальных для исследуемого района (региона) параметров сейсмических колебаний или выбор (импортирование) стандартизованных эмпирических функций (GMPE) из соответствующей мировой БД;

- расчёт исходных сейсмической опасности и сейсмических воздействий на площадке ОИАЭ применительно к референтному и реперному грунту;

- определение опасности, связанной с возможными первичными и вторичными остаточными сейсмодеформациями на площадке;

- анализ и расчёт реакции площадки на исходные сейсмические воздействия;

- разработка PCB в двух видах: как характеристики СО и для проектных основ ОИАЭ.

5.8 Блок-схема последовательности работ по ОСО и PCB приведена на рисунке 5.1.

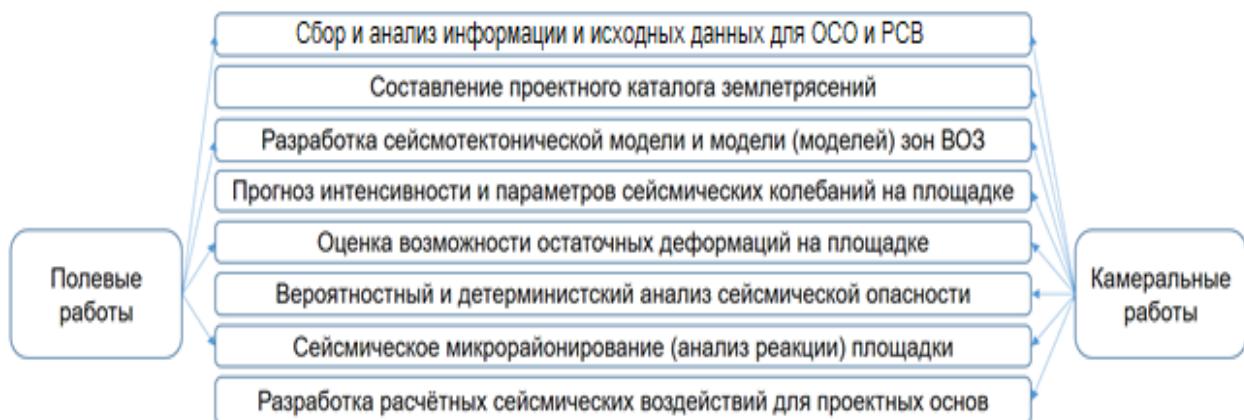


Рисунок 5.1 – Блок-схема работ по ОСО и PCB

6 Сейсмотектонические и сейсмологические исследования

6.1 Исследования и работы на стадии размещения (выбора площадки) объекта использования атомной энергии:

6.1.1 Состав работ на стадии размещения ОИАЭ:

- разработка программы (раздела программы) сейсмотектонических и сейсмологических исследований и работ по выбору площадки (общие рекомендации по составлению программы приведены в [3] (Приложение 2));

- сбор исходных материалов и данных по району и пункту размещения, в том числе, материалов ОСР⁶ (библиотечные и архивные исследования, обращение к фондовым материалам изыскательских и других геолого-геофизических организаций, а также к ресурсам российских и международных сейсмологических центров);

- анализ имеющихся материалов по региональной сейсмичности и сейсмическому режиму района, геологическому строению, неотектонике, глубинному строению, современным, четвертичным и неотектоническим движениям земной коры в районе и пункте размещения ОИАЭ, геотехническим (грунтовым) условиям площадки ОИАЭ (конкурентных площадок), а также дешифрирование материалов ДЗЗ;

- проведение полевых работ с целью установления в районе и пункте размещения ОИАЭ признаков активных и сейсмоактивных разломов, первичных и вторичных сейсмодислокаций (в том числе палеосейсмодислокаций), а также предварительного определения грунтовых условий и сейсмичности площадки (конкурентных площадок) с учётом грунтовых условий;

Примечание – Полевые работы на стадии размещения (выбора) площадки АС допускается выполнять в сокращённых составе и объёме.

- разработка программы (раздела программы) сейсмологического мониторинга района размещения площадки ОИАЭ (рекомендации к содержанию программы – по [10]).

6.1.2 Последовательность работ на стадии размещения ОИАЭ:

- выявить и предварительно определить параметры (характеристики) активных и сейсмоактивных разломов, геодинамических зон, областей рассеянной сейсмичности, зон ВОЗ и зон техногенных сейсмических источников;

- оценить возможность возникновения первичных и вторичных деформаций поверхности земли при землетрясениях;

⁶ На стадии выбора площадки ОИАЭ для предварительного определения сейсмичности площадки допускается использование действующих нормативных карт ОСР.

- составить предварительные каталоги землетрясений района раздельно для доисторических (палео-), исторических и инструментальных сейсмических событий;
- построить предварительную сейсмотектоническую модель района;
- предварительно оценить и классифицировать грунтовые условия конкурентных площадок размещения ОИАЭ согласно [9] (разделы 6, 7);
- определить предварительную оценку сейсмической опасности и сейсмических воздействий уровней МРЗ и ПЗ на дневной поверхности конкурентных площадок в терминах интенсивности сотрясений с учётом результатов СМР методами инженерно-геологических аналогий и сейсмических жёсткостей в соответствии с [9] (разделы 6 – 8);
- установить наличие на территориях конкурентных площадок тектонических и сейсмических факторов, исключающих возможность размещения ОИАЭ согласно критериям, представленным в [8] (раздел III, пункт 12).

6.1.3 Допустимая продолжительность сейсмотектонических и сейсмологических исследований и работ на стадии ОБИН не более 12 месяцев.

6.2 Исследования и работы на стадии разработки проектной документации объекта использования атомной энергии

6.2.1 На стадии разработки проектной документации ОИАЭ следует установить:

- положение разрывных тектонических нарушений;
- разломы с проявленными признаками тектонической и сейсмической активности, их ориентировочные возраст заложения и активизации, сегментацию, кинематику, скорость дифференциальных движений;
- геодинамические зоны: их расположение, возраст, длину, ширину, скорость деформации (градиент);
- возможную связь геодинамических зон с активной тектоникой в районе и пункте размещения площадки ОИАЭ;
- разломы и геодинамические зоны, которые могут быть приняты в качестве реальных или гипотетических зон ВОЗ, очаги землетрясений в пределах которых могут вызвать на площадке сейсмические колебания, представляющие физическую опасность для объектов ОИАЭ.

6.2.2 Состав работ:

- разработка программы (раздела программы) проведения детальных сейсмотектонических и сейсмологических исследований и работ для разработки проектных основ. Типовые рекомендации к составлению программы установлены в [3] (Приложение 2);

- разработка детальной сейсмотектонической модели, обоснование размещения площадки ОИАЭ в пределах тектонического блока, не нарушенного активными разломами, построение модели (альтернативных моделей) зон ВОЗ;
- продолжение (при необходимости) палеосейсмологических исследований;
- уточнение сводного каталога землетрясений района, в том числе: гомогенность каталога в части магнитудных оценок, представительность сводного каталога в части магнитуды землетрясений, имевших место на палео-, историческом и инструментальном этапах;
- определение положения и характеристик очагов землетрясений в удалённых (выходящих за пределы района размещения) зонах ВОЗ (при наличии документированных свидетельств ощущимых сотрясений в пункте размещения ОИАЭ), составление отдельных каталогов для землетрясений в указанных зонах;
- определение грунтовых условий на площадке ОИАЭ согласно [9] (разделы 6,7);
- выполнение работ по СМР площадки, согласно [9] (раздел 9);
- оценка СО в терминах ускорения для референтного, реперного и реального (на свободной поверхности) грунтов площадки. Результаты этих оценок должны быть представлены в соответствии с разделом 11.

6.2.3 На стадии разработки проектной документации должны начинаться (продолжаться, если были начаты на предшествующей стадии) инструментальные сейсмические наблюдения (мониторинг). Результаты сейсмологического мониторинга должны использоваться при периодической оценке безопасности ОИАЭ для контроля и (в случае необходимости) корректировки проектного каталога землетрясений и оценок СО.

6.2.4 На основе результатов оценок СО, соответствующих уровням ПЗ и МРЗ, и результатов СМР площадки должны быть разработаны сейсмические воздействия для проектирования сейсмостойких зданий, сооружений ОИАЭ. Требования к составу параметров сейсмических воздействий для проектирования представлены в разделе 16.

6.2.5 Допустимая продолжительность сейсмотектонических и сейсмологических исследований и работ на стадии разработки проектной документации – не более 12 – 14 месяцев.

6.3 Исследования и работы на стадии сооружения объекта использования атомной энергии

Основной задачей уточняющих сейсмологических и сейсмотектонических исследований должны являться актуализация сейсмических и сейсмотектонических условий размещения ОИАЭ и контроль консервативности результатов ОСО и PCB, полученных на стадии разработки проектной документации.

6.4 Исследования и работы при эксплуатации и выводе из эксплуатации объекта использования атомной энергии

6.4.1 Основной задачей уточняющих сейсмологических и сейсмотектонических исследований также должен являться контроль консервативности результатов ОСО и РСВ, полученных на стадии разработки проектной документации.

6.4.2 РСВ должны контролироваться с учётом возможных техногенных изменений грунтовых условий на площадке.

7 База данных⁷

7.1 Формирование базы данных

7.1.1 БД формируется на основе результатов инженерных изысканий и принимается в качестве фактологической базы разработки сейсмотектонической модели (моделей), модели (моделей) зон ВОЗ, прогноза параметров сейсмических колебаний на площадке, установления СО и определения РСВ на площадке размещения ОИАЭ.

Примечание – Для конкретного проекта ОИАЭ допускается составление БД в виде структурированной информации без системы управления базой данных.

Предварительная БД формируется на стадии размещения (выбора площадки) объекта использования атомной энергии.

7.1.2 БД должна актуализироваться и дополняться, в том числе, на основе появившихся новых методов и технологий для периодической оценки безопасности ОИАЭ.

Степень детализации данных, размещаемых в БД, должна определяться масштабом территории их сбора: от менее детальных для района – к наиболее детальным для площадки размещения ОИАЭ.

Все данные в БД должны быть согласованы и представлены в единой системе координат (ГИС).

7.1.3 Интегрированная БД должна быть структурирована и разделена на тематические базы:

- геолого-геофизическая БД;
- сейсмологическая БД;
- геотехническая БД.

⁷ В настоящем стандарте термин база данных понимается и используется в таком же контексте и содержании, как это принято в международной практике и представлено в стандарте МАГАТЭ по определению сейсмических опасностей SSG-9 [11].

7.2 Геолого-геофизическая база данных

7.2.1 В БД должна быть отражена общая геодинамическая и тектоническая обстановка региона и пункта размещения площадки ОИАЭ, описание геологических и геофизических особенностей, которые могут повлиять на определение сейсмической опасности на площадке.

П р и м е ч а н и е – Наиболее важными являются тектонические структуры, которые могут оказать влияние на вероятность смещения и/или деформации на или вблизи земной поверхности, в частности, разломы, обладающие потенциалом разрываобразования на поверхности.

7.2.2 В БД должны быть представлены тектонические разломы района, с характеристикой их активности, времени образования и активизации, глубины проникновения, типа подвижки, общей протяжённости, протяжённости и координат сегментов разломов.

7.3 Сейсмологическая база данных

7.3.1 БД формируется в рамках проекта сооружения ОИАЭ с целью обеспечения исходными данными ОСО. БД должна включать сведения о землетрясениях, характеризующих, по возможности, максимальный для данного региона интервал времени.

7.3.2 БД должна охватывать палеоземлетрясения, землетрясения исторического и инструментального периодов времени, а также данные о местных землетрясениях, зарегистрированных на сейсмических станциях, специально установленных в районе для мониторинга ОИАЭ.

При наличии удаленных от района исследований (более 300 км) сейсмотектонических провинций (например, зон субдукции), которые могут оказать ощутимые воздействия на ОИАЭ, сведения о них должны быть включены в БД.

7.4 Каталог землетрясений

Каталог землетрясений создается на основе БД о землетрясениях согласно определённым правилам, установленным для различных типов исходных данных.

7.4.1 Палео- и исторические землетрясения

7.4.1.1 Палеоземлетрясения являются наиболее явной формой проявления долговременной сейсмотектонической активности. Их исследование проводится в рамках сейсмотектонических работ, в основном, с помощью средств тренчинга.

7.4.1.2 Важной частью исследований исторической сейсмичности является анализ источников информации.

7.4.1.3 Для определения параметров землетрясения используется уравнение макросейсмического поля. При наличии эмпирически установленных уравнений, учитывающих особенности конкретного региона, их применение является предпочтительным. В противном

случае рекомендуется использование уравнение макросейсмического поля со среднемировыми коэффициентами.

7.4.1.4 Метод оценки магнитуды и положение очага (гипоцентра) землетрясения определяется эксперто с учетом качества и количества исходных макросейсмических данных.

7.4.1.5 Для ранне-инструментальных землетрясений следует использовать оценки магнитуд по инструментальным данным. В случае достаточных макросейсмических данных положение эпицентра следует оценивать на их основании.

7.4.2 Инструментальные землетрясения

7.4.2.1 Для ранне-инструментального периода времени (с 1900 до 1965 года) целесообразно выделить категорию ощутимых, то есть, воспринятых органами чувств человека, и соответствующим образом описанных землетрясений. Для них рекомендуется проводить совместный анализ инструментальных и макросейсмических данных.

7.4.2.2 В сейсмологическую БД заносятся все опубликованные ранее параметры землетрясений из международных, национальных и региональных сейсмологических агентств, специальных проектов, а также из отдельных публикаций, содержащих сведения о землетрясениях изучаемого региона.

7.4.2.3 В БД к одному и тому же землетрясению может относиться более одной записи. Все записи, относящиеся к данному землетрясению, должны быть сгруппированы и описаны (источники сведений, краткая характеристика).

7.4.2.4 Для выбора наиболее надежного решения из БД в проектный каталог землетрясений экспертно задается система приоритетов. Система приоритетов относится также к положению гипоцентра. Система приоритетов должна быть описана в отчёте по сейсмологическим исследованиям.

7.4.2.5 В проектном каталоге землетрясений необходимо выполнить унификацию магнитуд. Поскольку уравнения ожидаемого движения грунта (см. раздел 10) калиброваны по M_w , необходимо все оценки магнитуд конвертировать к M_w . Для этого строятся корреляционные зависимости разных типов магнитуд в БД. Если данных в БД недостаточно для построения достоверных корреляционных отношений, допускается использовать опубликованные уравнения для конвертации различных типов магнитуд. Процедура, в которой проводится конвертация, определяется экспертно. Все процедуры по унификации магнитуд должны быть описаны в БД.

7.4.3 Землетрясения, зарегистрированные сейсмическими станциями локальной сети наблюдений

Организация локальных сетей мониторинга регулируется руководством по безопасности [10]. В БД результаты локального мониторинга вносятся также, как и другие записи инструментального периода.

7.5 Геотехническая база данных

7.5.1 В БД вносится категория грунтов площадки ОИАЭ, предварительно устанавливаемая на стадии выбора площадки в соответствии с [9] (приложение А, таблица А.1).

7.5.2 Грунтовые условия площадки ОИАЭ в БД следует учитывать в форме СГМ.

7.5.3 СГМ разрабатывается на основе инженерно-геологических и геофизических разрезов толщ грунтов на участках основных сооружений ОИАЭ и/или на участках, указанных в задании на инженерные изыскания, с учётом результатов лабораторных динамических испытаний образцов грунта.

7.5.4 СГМ должна описывать грунтовую толщу в общем случае до глубины от 100 до 200 м или до меньшей глубины, в случае наличия на этой глубине мощного слоя несжимаемого грунта, который может быть принят за нижнее полупространство при оценке реакции площадки.

7.5.5 Должны быть определены следующие параметры и характеристики компонент СГМ:

- абсолютная отметка дневной поверхности для участка, где получена соответствующая СГМ;

- номер слоя грунтов в модели;

- мощность слоя;

- абсолютная и относительная (относительно дневной поверхности или поверхности планировки) отметки подошвы или кровли слоя;

- удельный вес (или плотность) грунтов в слое;

- скорость распространения продольных и поперечных сейсмических волн в слое;

- функции деградации грунтов. При отсутствии или недостатке лабораторных определений допускается использование функций деградации для грунтов-аналогов, опубликованных в научно-технической литературе;

- абсолютная и относительная отметка глубины, соответствующей поверхности нижнего полупространства, на которой задаются исходные спектры ответа и акселерограммы при определении реакции площадки в расчётном методе СМР.

7.5.6 В БД следует указывать основные неопределённости в следующих параметрах и характеристиках СГМ:

- скорость распространения сейсмических волн в слоях СГМ;

- мощности слоёв, составляющих СГМ;
- глубина кровли залегания референтного грунта;
- функции деградации грунта в слоях СГМ.

8 Составление сейсмотектонической модели района размещения

8.1 Сейсмотектоническая модель (СТМ) является одной из основ для разработки модели (моделей) зон ВОЗ.

8.2 СТМ должна отображать тектоническую структуру района, элементами которой являются активные и неактивные разломы, складки, тектонические блоки, флексуры. СТМ должна отражать также положение гипоцентров землетрясений, имевших место, на территории района.

8.3 СТМ в общем случае должна характеризоваться условными названиями (номерами) и географическими координатами разломов (сегментов разломов) и других тектонических структур, возрастом и типом разломов (брос, взброс, сдвиг или их комбинации), углами падения и простирации плоскости разрыва, типом складок и флексур, скоростью и направлением дифференциальных движений бортов разломов.

9 Зоны возникновения очагов землетрясений

9.1 Зона ВОЗ представляет собой математическое представление физической природы сейсмических источников, выявленных на основе информации, собранной в БД проекта и обобщенной в СТМ.

9.2 Зоны ВОЗ разрабатываются на основе СТМ. Могут быть приняты одна или несколько моделей зон ВОЗ. При разработке таких моделей применяют либо детерминистский, либо вероятностный подходы.

9.3 Зоны ВОЗ в модели должны характеризоваться:

- границами в терминах географических координат вершин полигонов (для площадных зон ВОЗ), начала, точек изменения направления и конца линейных (разломных) зон ВОЗ;
- типом (активные зоны земной коры, субдукция, стабильная платформа, смешаный тип);
- преобладающим механизмом в очагах землетрясений;
- преобладающей глубиной гипоцентров (глубиной кровли и подошвы сейсмогенного слоя);
- максимальной магнитудой (потенциалом) землетрясений;
- параметрами максимального наблюдённого в зоне землетрясения;
- сейсмическим режимом (повторяемостью землетрясений).

9.4 Используя составленную БД следует провести подробный анализ всех выявленных сейсмических источников (местоположение, геометрию, потенциальную максимальную

магнитуду, повторяемость землетрясений и т.д.), которые могут определять СО на площадке ОИАЭ.

9.5 Модели сейсмических источников должны состоять из двух типов сейсмических источников:

- сейсмогенерирующие структуры как зоны ВОЗ, которые можно идентифицировать и охарактеризовать с использованием доступной базы данных;
- рассеянная сейсмичность, состоящая обычно из небольших или умеренных землетрясений.

9.6 Идентификация и характеристика зон ВОЗ обоих типов должны включать оценки конкретной неопределенности, связанной с каждым типом.

9.7 Разработка моделей зон ВОЗ и характеристика всех параметров каждого из их элементов должны основываться, в первую очередь, на имеющихся данных и их интерпретации.

9.8 Если собранные геологические, геофизические и сейсмологические данные поддерживают альтернативные модели сейсмических источников, и различия в этих моделях не могут быть разрешены с помощью дополнительных исследований в разумные сроки, все такие модели должны быть приняты во внимание при окончательном определении опасности.

9.9 Обоснованность предлагаемых моделей зон ВОЗ должна быть оценена в соответствии с существующими знаниями и данными.

9.10 Параметры зон ВОЗ должны характеризоваться присущей им неопределенностью в соответствии с разделом 13.

10 Уравнения прогнозирования движения грунта

10.1 При определении СО применяются уравнения прогнозируемого движения грунта (GMPE). Они определяют параметры сейсмических колебаний грунта на площадке в зависимости от параметров очага землетрясения, расстояния до площадки и локальных грунтовых условий.

10.2 В общем виде GMPE представляются в виде:

$$\log Par = f(M, R, \theta) + \sigma(M, R, \theta) \varepsilon, \quad (10.1)$$

где \log – десятичный или натуральный логарифм;

Par – любой параметр колебаний грунта (интенсивность в баллах макросейсмической шкалы, спектральное ускорение, длительность колебаний, соотношение горизонтальной и вертикальной компонент колебаний, коэффициенты для расчёта спектра реакции с демпфированием, отличающимся от 5 % и т.п.).

$\log Par$ моделируется как случайная величина и описывается нормальным распределением. Функция $f(M, R, \theta)$ зависит от магнитуды землетрясения M , расстоянием от очага до площадки R и других параметров θ и определяет среднее (медианное) значение параметра $\log Par$ со стандартным отклонением σ , характеризующим разброс наблюдаемых величин; ϵ – количество среднеквадратических отклонений σ , использующихся в анализе.

10.3 Алеаторная неопределенность в явном виде входит в уравнение (10.1) и определяется как предел интегрирования функции распределения (функции Лапласа) параметров сейсмических колебаний. Рекомендуется ограничивать предел интегрирования значением не менее 3σ .

10.4 Эпистемическую неопределенность в логическом дереве на уровне GMPE следует учитывать набором нескольких рассматриваемых уравнений с соответствующими весами.

10.5 Современные GMPE зависят от многих параметров. Кроме магнитуды M и различных мер расстояний R , в качестве входных аргументов (параметр θ в уравнении 10.1) используются также механизм очага землетрясения, его размеры, сброшенное напряжение, глубина до кровли и подошвы сейсмогенного горизонта, эффект висячего крыла, параметр V_{S30} , глубина до горизонта, где параметр V_s достигает значения 2,5 км/с и др. Часто точные величины этих параметров неизвестны. В таком случае рекомендуется рассматривать их в некотором диапазоне вероятных величин (непрерывных или дискретных) и также учитывать в логическом дереве как эпистемические неопределенности.

10.6 Используемые уравнения GMPE должны соответствовать сейсмотектоническим условиям и выходным параметрам, необходимым для определения сейсмической опасности. Основными критериями соответствия являются:

- а) GMPE должны быть актуальными и подкрепленными достаточным количеством данных, обработанных надлежащим образом;
- б) GMPE должны быть построены с помощью соответствующего регрессионного анализа, чтобы избежать распространения ошибки в субъективно фиксированном коэффициенте на другие коэффициенты;
- в) GMPE должны соответствовать типам землетрясений и характеристикам затухания региона размещения площадки ОИАЭ;
- г) GMPE должны как можно точнее соответствовать сейсмотектоническим условиям региона площадки;
- д) Необходимо максимально использовать доступные локальные данные о сильных движениях при разработке GMPE. Если необходимо использовать GMPE из другого региона, их следует откалибровать, сравнив с максимально большим количеством локальных данных о

сильных движениях. Если подходящих данных из интересующего региона нет, следует предоставить качественное обоснование того, почему выбранные GMPE подходят;

- е) GMPE должны соответствовать физическим характеристикам референтного грунта.
- ж) Следует применять следующие критерии для исключения GMPE из анализа:
 - GMPE получено для несоответствующего сейсмотектонического режима;
 - GMPE не прошло рецензирование экспертами;
 - документация и набор данных недостаточны;
 - модель была заменена более новой;
 - не подходит диапазон периодов;
 - функциональная форма не имеет или нелинейной зависимости от магнитуды, или зависящего от магнитуды затухания с расстоянием;
 - использованы ненадлежащие методы регрессии;
 - использованы неподходящие входные параметры, например, локальная магнитуда или эпицентральное расстояние, грунтовые эффекты моделируются без учета V_{S30} ;
 - диапазон применимости GMPE слишком узкий;
 - GMPE ограничено недостаточно большим набором исходных данных.

10.7 При наличии в регионе достаточного количества наблюдённых данных рекомендуется на их основе разрабатывать собственные региональные GMPE.

10.8 При недостаточности наблюдённых данных сильных движений для разработки достоверных GMPE рекомендуется использовать глобальные GMPE, построенные по общемировым данным. Для достижения более точного соответствия конкретным локальным условиям допускается их корректировка.

10.9 Не следует выбирать GMPE, разработанные для диапазонов магнитуд, расстояний и других параметров, существенно отличающихся от модели сейсмических источников для конкретного проекта ОИАЭ.

10.10 При наличии достаточного количества наблюденных данных рекомендуется для ранжирования (выбора и присвоения весов) GMPE применять статистические методы тестирования.

10.11 Вибрационные сейсмические воздействия с использованием GMPE, в большинстве случаев определяют горизонтальную компоненту движения грунта. Вертикальную компоненту следует определять одним из двух способов:

- на основе горизонтальной компоненты с применением эмпирических отношений между компонентами;
- на основе применения GMPE, специально разработанных для вертикальной компоненты.

10.12 При расчёте вертикальной компоненты на основе горизонтальной компоненты спектра следует пользоваться частотно-зависимыми корреляционными соотношениями. При этом необходимо учитывать все виды неопределенностей согласно разделу 13.

10.13 Если:

- на площадке отсутствуют рыхлые грунты;
 - вблизи площадки на расстоянии 15 км от неё отсутствуют потенциальные очаги землетрясений с магнитудой 6,0 и более;
 - вблизи площадки не ожидаются очаги землетрясений с взбросовым или сбросовым типом движения;
 - ожидаемые сейсмические воздействия на площадку невелики,
- то допускается принимать частотно-независимый коэффициент отношения вертикальной компоненты к горизонтальной, равный 2/3.

11 Вероятностный анализ сейсмической опасности

11.1 ВАСО проводится на основе:

- базы данных проекта (см. раздел 7);
- моделей зон ВОЗ (см. раздел 9);
- уравнений прогнозирования движения грунта (GMPE) (см. раздел 10);
- учёта неопределённостей в исходных данных и моделях СО (см. раздел 13).

11.2 Результатом ВАСО являются функции сейсмической опасности. Они показывают годовую частоту превышения заданного уровня воздействий с заданной обеспеченностью. Воздействия должны быть выражены в терминах пикового и спектральных ускорений, предусмотренных в GMPE, и в терминах интенсивности сотрясений (в баллах макросейсмической шкалы по ГОСТ Р 57546) – если предусмотрено в ТЗ.

П р и м е ч а н и е – Как правило, рассчитываются средняя по всем ветвям логического дерева функция, а также квантили 50 %, 84 % и 95 %. Диапазон годовых вероятностей превышения задается в ТЗ – от 10^{-2} до 10^{-7} . Значению 10^{-3} соответствует ПЗ, значению 10^{-4} соответствует МРЗ.

11.3 ВАСО суммирует воздействия от всех элементов сейсмотектонической модели (зон ВОЗ), включая рассеянную сейсмичность. Для определения вклада каждого сейсмического источника в общую опасность проводится деагрегация опасности для заданной годовой частоты превышения, обычно для уровней ПЗ и МРЗ. Деагрегация выполняется, как минимум, для двух значений собственных частот осцилляторов с заданной степенью демпфирования, лежащих как правило, в низкочастотной (1 - 2,5 Гц) и высокочастотной (5 - 10 Гц или на частоте, соответствующей ускорению нулевого периода) области спектра. Деагрегация используется для определения пар «магнитуда-расстояние», которые вносят наибольший вклад в годовую частоту

превышения для выбранных диапазонов частот осциллятора, и установления на этой основе сценарных землетрясений.

11.4 При вычислении годовой частоты превышения заданного параметра движения грунта (интеграла сейсмической опасности) с помощью выражения, по форме подобного выражению (6.8) в [4] (Приложение № 5), необходимо задавать физически обоснованный нижний предел интегрирования по магнитуде землетрясения. В любом случае нижний предел интегрирования по магнитуде не должен превышать 5,0.

11.5 Из-за неопределенностей на каждом этапе процесса оценки СО, результаты ВАСО должны оцениваться на основе имеющихся наблюдений и данных реальных сейсмических событий, с учетом разницы между коротким периодом доступности данных и периодом повторяемости. Эта оценка должна использоваться либо для проверки согласованности предположений и адекватности определенной ветви логического дерева, либо для назначения надлежащего веса в логическом дереве.

12 Детерминистский анализ сейсмической опасности

12.1 Для контроля результатов ВАСО рекомендуется применять ДАСО. ДАСО предполагает получение отдельных индивидуальных значений параметров сейсмических колебаний (т. е. возникающих с вероятностью 1) от каждого сейсмического источника.

12.2 Для каждой сейсмогенной структуры следует предполагать, что потенциальное землетрясение с максимальной магнитудой происходит в точке сейсмогенной структуры (зоне ВОЗ), ближайшей к площадке, с учетом физических размеров сейсмического очага. Когда сейсмогенная структура находится в непосредственной близости от площадки и ее местоположение и протяженность не могут быть определены с достаточной точностью, следует предположить, что потенциальное землетрясение с максимальной магнитудой происходит под площадкой.

12.3 Для зон рассеянной сейсмичности, которые не включают площадку, следует предполагать, что землетрясение с максимально возможной в зоне магнитудой происходит в точке региона, ближайшей к площадке.

12.4 В зоне рассеянной сейсмичности, которая включает площадку ОИАЭ, следует предположить, что землетрясение с максимально возможной магнитудой происходит на некотором определенном горизонтальном и вертикальном расстоянии от площадки. Это расстояние должно быть основано на подробных сейсмологических, геологических и геофизических исследованиях с целью показать отсутствие разломов в окрестностях площадки или, если разломы присутствуют, гарантировать, что они (характеризуются направлением, протяженностью, историей и/или скоростью движений, а также возрастом самого последнего

движения, характеризуемого как более древний, чем установленное определение) не способны образовывать разрывы грунта на дневной поверхности или вблизи неё.

П р и м е ч а н и е – Эти исследования обычно охватывают территорию радиусом от 5 до 10 км от площадки.

12.5 Следует использовать несколько GMPE, соответствующих требованиям и рекомендациям раздела 10, для определения колебаний грунта, которые каждое из возможных землетрясений максимальной магнитуды может вызвать на площадке, с учетом неопределенности параметров колебаний грунта.

12.6 На каждом этапе ДАСО также, как и при ВАСО, необходим учет неопределённостей. Неопределенность в компонентах ДАСО учитывается таким же образом, как и в соответствующих компонентах ВАСО (за исключением компоненты ВАСО, связанной с повторяемостью землетрясений).

13 Учёт неопределённости в исходных данных и моделях анализа сейсмической опасности на площадке объекта использования атомной энергии

13.1 При анализе СО следует учитывать алеаторную и эпистемическую неопределенности, присущие исходным данным, моделям и методам исследования процессов и явлений.

13.2 Общий подход к определению СО должен быть направлен на сокращение количества неопределенностей на разных этапах оценки для того, чтобы получить достоверные результаты, основанные на данных.

13.3 Лучшим способом снижения неопределённостей следует считать поиск, сбор и анализ дополнительных сведений, данных, учёт и применение дополнительных моделей и методов исследования. Здесь следует руководствоваться компромиссом между затратами и временем, необходимыми для этого, и приемлемостью достигнутого уровня неопределенности.

13.4 Эпистемическая неопределенность связана с неполнотой знаний о процессах, определяющих СО, и выраженных моделями. Неопределенность этого вида в общем случае должна быть учтена в следующих основных исходных составляющих:

- конфигурации и типе зон ВОЗ;
- глубине сейсмогенного слоя;
- типе и параметрах подвижки в линейных сейсмогенных источниках (разломах);
- сегментации линейных сейсмогенных источников (активных тектонических разломов);
- параметрах повторяемости землетрясений в зонах ВОЗ (методы определения);
- максимальной магнитуде в зонах ВОЗ (методы определения);

- грунтовых условиях площадки ОИАЭ (СГМ грунтовой толщи);
- функциях прогноза интенсивности сотрясений и параметров сейсмических колебаний на площадке (эмпирические или теоретические модели).
- методах и алгоритмах вычислений оценок сейсмической опасности.

13.5 Алеаторная неопределённость связана со случайным характером количественных оценок параметров и означает, что оцениваемые величины не выражаются единственным значением, но характеризуются некоторым распределением, обычно характеризующимся стандартной ошибкой (стандартным отклонением).

13.6 Для учёта неопределённостей при анализе СО следует использовать технологию логического дерева, ветви которого отражают возможные альтернативы, гипотезы и модели. При этом каждой альтернативе, гипотезе или модели должен быть присвоен вес (весовой коэффициент), пропорциональный степени доверия к ним.

Допустимыми к применению являются иные методы учёта неопределённости, в частности, метод Монте-Карло.

13.7 Если неопределённость уже учтена на некотором этапе (шаге) процесса определения СО, следует избегать её повторного учёта на последующих этапах (шагах) процесса.

13.8 Параметры сейсмической опасности должны быть получены непосредственно методами ВАСО и ДАСО, на основе моделей зон ВОЗ и GMPE. Не допускается пересчет одних параметров из других на основе эмпирических соотношений.

14 Состав результатов определения сейсмической опасности на площадке объекта использования атомной энергии

14.1 Для определения параметров ПЗ, МРЗ на площадке ОИАЭ, а также в целях ВАБ на стадиях разработки проектной документации, сооружения и эксплуатации ОИАЭ должны быть представлены:

- средние и квантильные (5 %, 16 %, 50 %, 84 %, 95 %) значения функции сейсмической опасности по пиковому и спектральным исходным ускорениям (горизонтальная компонента колебаний) для среднегодовой частоты превышения 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} ;
- средние и квантильные (5 %, 16 %, 50 %, 84 %, 95 %) значения исходных спектров ответа (горизонтальная компонента колебаний) с равной частотой превышения амплитуд для среднегодовой частоты превышения 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} ;
- средние и квантильные (50 %, 84 %) значения функции сейсмической опасности по исходной интенсивности сотрясений для среднегодовой частоты превышения 10^{-3} , 10^{-4} ;
- функции деагрегации сейсмической опасности, представляющие в зависимости от соотношения «магнитуда – расстояние» относительный вклад в интегральную опасность

землетрясений, которые возникают в тех или иных диапазонах магнитуды и расстояния. Деагрегацию следует провести по средним пиковому и двум спектральным (на частотах 2 Гц и 10 Гц) ускорениям для среднегодовой частоты превышения 10^{-3} , 10^{-4} .

14.2 По результатам деагрегации сейсмической опасности на площадке ОИАЭ должны быть представлены следующие параметры сценарных землетрясений для среднегодовой частоты превышения 10^{-3} , 10^{-4} :

- магнитуда землетрясения;
- эпицентральное расстояние;
- возможная глубина гипоцентра.

14.3 Следует определить ускорение для вертикальной компоненты колебаний.

14.4 На стадии размещения ОИАЭ (ОБИН) должны быть представлены:

- средние и квантильные (50 %, 84 %) значения функции сейсмической опасности по пиковому и спектральным исходным ускорениям (горизонтальная компонента колебаний) для среднегодовой частоты превышения 10^{-3} , 10^{-4} ;
- средние и квантильные (50 %, 84 %) значения исходных спектров реакции (горизонтальная компонента колебаний) с равной частотой превышения амплитуд для среднегодовой частоты превышения 10^{-3} , 10^{-4} ;
- средние и квантильное (84 %) значения функции сейсмической опасности по исходной интенсивности сотрясений для среднегодовой частоты превышения 10^{-3} , 10^{-4} .

14.5 В результате ДАСО на площадке ОИАЭ должны быть представлены:

- среднее и квантильное (84 %) значения исходных пикового ускорения и спектров реакции.
- максимальная магнитуда землетрясения в каждой из зон ВОЗ;
- кратчайшее расстояние от границы каждой из зон ВОЗ до площадки ОИАЭ. При размещении площадки в зоне рассеянной сейсмичности и отсутствии на площадке неактивных разломов, с которыми можно было бы технически связать возникновение очага землетрясения, следует назначить это расстояние равным 5 км;
- возможная глубина гипоцентра.

14.6 Для сценарных землетрясений должны быть определены:

- исходные пиковое ускорение и спектры реакции, медианное и квантильное (84 %) значения;
- параметры продолжительности исходных колебаний (акселерограмм).

14.7 Амплитуды спектров реакции по умолчанию должны быть определены на частотах собственных колебаний осцилляторов 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10; 12; 15; 20; 25; 33; 40; 50; 100 Гц⁸.

14.8 Оценки сейсмической опасности должны сопровождаться характеристиками грунтовых условий, применительно к которым данные оценки были получены.

14.9 Для площадок, на которых возможны сейсмические воздействия от далёких землетрясений большой магнитуды, а также воздействия от близких, но более слабых землетрясений, следует рассматривать два вида воздействий раздельно. В качестве альтернативы по согласованию с Проектировщиком допустимо построить огибающую двух спектров и выполнить один расчет.

14.10 Функции сейсмической опасности, спектры реакции и функции деагрегации должны представляться в отчётной документации в форме таблиц и графиков стандартного формата. Дополнительно по требованию Проектировщика указанные спектры и функции могут предоставляться в виде отдельных файлов стандартного машиночитаемого формата.

15 Расчётные сейсмические воздействия

15.1 Сейсмические воздействия в терминах ускорения

15.1.1 РСВ должны быть представлены как в частотной, так и во временной области.

15.1.2 Основным результатом ВАСО для ОИАЭ, требующимся для расчёта синтетических или подбора инструментальных акселерограмм, являются спектры реакции типа UHRS (спектры с равной среднегодовой частотой превышения) или спектры сценарных землетрясений, соответствующие сейсмическим воздействиям с заданной среднегодовой частотой превышения.

15.1.3 Для характеристики СО достаточно использовать спектры UHRS с разной частотой превышения и расчётные дискретные параметры сейсмических колебаний (пиковое ускорение и длительность колебаний).

15.1.4 Для расчёта реакции площадки (SRA) требуются или исходные спектры реакции, и/или исходные акселерограммы с годовой частотой превышения, соответствующей уровням МРЗ, ПЗ (и ЗЗ, если для ЗЗ предусматривается частота превышения). При этом исходные воздействия должны быть заданы на реальном или, в случае его отсутствия, воображаемом обнажении референтного грунта на свободной поверхности площадки.

⁸ Особые требования (при их наличии) к частотам осцилляторов указываются в задании на выполнение инженерных изысканий.

5.1.5 Для проектирования сейсмостойких зданий и сооружений во временной области требуются спектры реакции и акселерограммы PCB уровней МРЗ, ПЗ и ЗЗ, указанные в задании на разработку PCB⁹.

15.2 Расчёт спектра реакции

15.2.1 В основе расчетной процедуры определения спектра реакции лежит уравнение движения для демпфированного линейного осциллятора с одной степенью свободы:

$$y''(t) + 2\alpha\xi \cdot y'(t) + \omega_i^2 \cdot y(t) = -x''(t), \quad (15.1)$$

где $y(t)$ - относительное смещение осциллятора;

ξ - степень демпфирования;

ω_i - частота собственных колебаний осциллятора без демпфирования;

$x(t)$ - смещение основания осциллятора (исходное возмущение).

Решение уравнения (15.1) при нулевых начальных условиях имеет вид интеграла Диоамеля:

$$y = -\frac{1}{\omega_i \sqrt{1-\xi^2}} \int_0^t x''(\tau) e^{-\omega_i \xi (t-\tau)} \sin[\omega_i \sqrt{1-\xi^2} (t-\tau)] d\tau, \quad (15.2)$$

Дважды продифференцировав выражение (15.2), получим реакцию осциллятора по абсолютным ускорениям (т.е. $y'' + x''$):

$$\begin{aligned} RSA(\omega_i) = (y'' + x'') &= -\frac{\omega_i (1-2\xi^2)}{\sqrt{1-\xi^2}} \int_0^t x''(\tau) e^{-\omega_i \xi (t-\tau)} \sin[\omega_i \sqrt{1-\xi^2} (t-\tau)] d\tau + \\ &+ 2\omega_i \xi \int_0^t x''(\tau) e^{-\omega_i \xi (t-\tau)} \cos[\omega_i \sqrt{1-\xi^2} (t-\tau)] d\tau, \end{aligned} \quad (15.3)$$

где $RSA(\omega_i)$ - спектр реакции осциллятора по ускорениям на частоте ω_i .

Спектром реакции является огибающая максимальных значений $RSA(\omega_i)$ в заданном диапазоне частот ω .

В частотной области характеристика колебаний осциллятора описывается выражением

$$H(\omega) = \frac{\omega^2}{\omega_i^2 \sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_i})^2]^2 + 4\xi^2 (\frac{\omega}{\omega_i})^2}} \quad (15.4)$$

и при совпадении частоты возмущающего воздействия с собственной частотой осциллятора принимает максимальное значение

$$H(\omega) = \frac{1}{2\xi} \quad (15.5)$$

⁹ Квантиль обеспеченности PCB для проектирования определяется по согласованию с Проектировщиком

При малой степени демпфирования осциллятора значение $\sqrt{1-\xi^2} \approx 1$ и тогда решение (15.2) может быть использовано для производства спектра ускорения по формуле $RSA(\omega) = y \times \omega^2$.

Спектр реакции может быть найден путём вычисления выражения (15.3) или с помощью прямого решения уравнения (15.1) каким-либо численным методом.

15.2.2 Шаг между собственными частотами смежных осцилляторов $k = \frac{\omega_{n+1} - \omega_n}{\omega_n} \times 100\%$

следует выбирать исходя из гладкости спектра реакции при заданной степени демпфирования осцилляторов.

Для обеспечения возможного снижения спектра реакции акселерограммы в интервале между частотами смежных осцилляторов не более, чем на 10 % следует учитывать минимальные теоретические требования к шагу по частоте, указанному в таблице 15.2.1.

Таблица 15.2.1 – Относительное теоретическое снижение уровня спектра реакции в интервале между соседними частотами осцилляторов

Степень демпфирования осцилляторов, %	Минимальное относительное снижение уровня спектра реакции на частотах в интервале между смежными частотами осцилляторов													
	Соотношение частот смежных осцилляторов k , %													
	0,125	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,70	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0
0,5	0,987	0,976	0,965	0,953	0,924	0,890	0,816	0,705	0,449	0,319	0,246	0,200	0,146	0,104
1,0	0,993	0,990	0,987	0,984	0,976	0,966	0,940	0,891	0,707	0,558	0,452	0,378	0,283	0,205
2,0	0,995	0,994	0,993	0,992	0,990	0,987	0,980	0,966	0,892	0,801	0,711	0,632	0,507	0,386
4,0	0,998	0,995	0,994	0,994	0,993	0,993	0,991	0,987	0,966	0,934	0,894	0,850	0,761	0,642
5,0	0,999	0,966	0,966	0,966	0,995	0,994	0,994	0,991	0,977	0,955	0,928	0,897	0,826	0,723
7,0	1,00	1,00	1,00	0,999	0,999	0,999	0,998	0,988	0,992	0,981	0,965	0,947	0,903	0,831
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,999	0,993	0,989	0,982	0,973	0,949	0,905

15.2.3 С возрастанием частоты внешнего воздействия амплитуда относительных колебаний осциллятора стремится к значению пикового ускорения воздействия (см. формулу (15.4)), никогда его не достигая (это асимптота). Следует согласовать с проектировщиком частоту, которой будет назначено ускорение нулевого периода.

Примечание – Частота, соответствующая ускорению нулевого периода, на практике ограничивается сверху некоторым значением (обычно в диапазоне 33-50 Гц), с игнорированием части спектра, лежащей выше назначенной частоты, (см. приложение А, рисунок А.1).

15.3 Разработка единого для площадки объекта использования атомной энергии консервативного спектра реакции

15.3.1 Для проектных основ требуется консервативный спектр реакции, единый для всей площадки ОИАЭ.

15.3.2 Спектры реакции, присущие свободной поверхности площадки на разных её участках, определяются в результате расчёта реакции площадки в соответствии с [9] (раздел 9).

15.3.3 Спектры реакции, полученные на основе СГМ, соответствующих отдельным участкам площадки, далее обобщаются. Обобщение заключается в построении схематизированной огибающей спектров коэффициента динамичности (β), проведённой по внешним экстремумам, (см. приложение А, рисунок А.2).

15.4 Синтезирование акселерограмм, совместимых с заданным спектром реакции

При оценке совместимости расчётной акселерограммы и целевого спектра реакции, а также качества и приемлемости расчётной акселерограммы следует руководствоваться критериями, приведёнными в приложении Б.

Задачей, решаемой при синтезировании акселерограммы, совместимой с заданным спектром реакции, является приданье акселерограмме определенных статистических свойств. К таким свойствам относятся: частотный состав, максимальная амплитуда ускорения (PGA), продолжительность колебаний. Дополнительным свойством может быть форма огибающей акселерограммы и др.

15.4.1 Алгоритм синтезирования акселерограммы

15.4.1.1 Акселерограмма синтезируется на основе гармонических функций¹⁰ и представляет собой их суперпозицию:

$$a(t) = ENV(t) \times \sum_{i=1}^k A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (15.6)$$

где A_i, φ_i, ω_i – амплитуда, начальная фаза и частота i -той гармоники;

$ENV(t)$ – огибающая акселерограммы.

15.4.1.2 Начальные фазовые углы задаются генератором случайных чисел в интервале $0 - 2\pi$, исходя из равномерного распределения значений на этом интервале.

15.4.1.3 Последовательность процедур при синтезировании совместимой с заданным спектром акселерограммы следующая:

¹⁰ Допускаются к применению другие способы синтезирования акселерограмм, например, на основе затухающих гармоник или вейвлет-функций. При этом также должны учитываться требования к качеству и совместимости акселерограмм с целевым спектром реакции согласно приложению Б.

- а) амплитуда i -той гармоники акселерограммы для первого приближения определяется по целевому спектру реакции;
- б) рассчитывается спектр реакции на первое приближение акселерограммы, его ординаты сопоставляются с ординатами целевого спектра;
- в) с учетом величины отклонений спектра первого приближения от целевого спектра корректируются амплитуды тех или иных гармонических составляющих акселерограммы;
- г) рассчитывается второе приближение спектра реакции акселерограммы.

15.4.1.4 В результате итерационного применения процедур в соответствии с 15.4.1.3 добиваются выполнения критериев совместимости и качества. Если результаты заданного числа итераций при стартовом наборе начальных фазовых углов не соответствуют критериям, указанным в приложении Б, делается следующая попытка: генерируется следующий набор случайных фаз, выполняются последовательность процедур в соответствии с 15.4.1.3 и т.д.

Блок-схема алгоритма расчёта акселерограммы показана на рисунке 15.4.1.1.

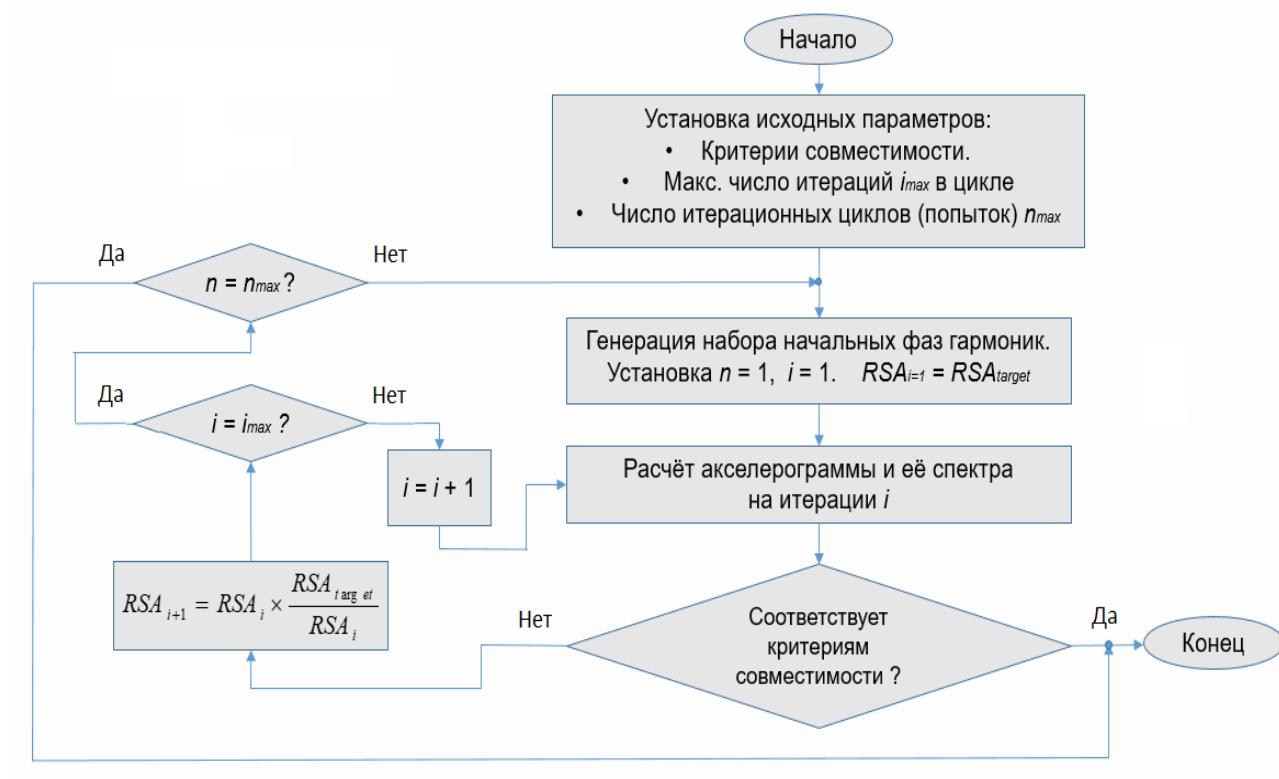


Рисунок 15.4.1.1 – Алгоритм расчёта синтетической акселерограммы

15.4.1.5 При подготовке трёхкомпонентной акселерограммы каждая из трёх взаимно-ортогональных компонент (две горизонтальных и вертикальная) должна синтезироваться отдельно.

15.4.2 Проектирование огибающей обобщённой акселерограммы

15.4.2.1 Функция огибающей $ENV(t)$ позволяет придать синтетической акселерограмме вид, приближенный к виду реальной записи землетрясения.

Форма и параметры огибающей находится в многофакторной связи с характеристиками очагов землетрясений, геофизической среды и грунтов площадки. Обобщённые акселерограммы синтезируются, исходя из совместимости со спектром типа UHRS, представляющим всю совокупность расчётных землетрясений района. Поэтому задать форму огибающей и продолжительность обобщённой акселерограммы можно лишь условно.

15.4.2.2 Огибающую обобщённой синтезированной акселерограммы рекомендуется проектировать с учётом уровня PGA.

15.4.2.3 Рекомендуемые форма и параметры огибающей обобщённой акселерограммы представлены на рисунке В.1 и в приложении Б (таблицы В.1 – В.3).

15.4.2.4 Рекомендуется единая огибающая для двух горизонтальных и вертикальной компонент обобщённой акселерограммы.

15.4.2.5 Длительность обобщённой синтезированной акселерограммы рекомендуется контролировать расчётным значением параметров длительности сценарных землетрясений D_{5-75} или D_{5-95} .

15.4.3 Проектирование огибающей синтетической акселерограммы сценарного землетрясения

15.4.3.1 Нормализованную огибающую синтезированной акселерограммы сценарного землетрясения следует рассчитывать по формуле

$$ENV(t, D_{05}) = \frac{3tD_{05}}{9t^2 - 9tD_{05} + 4d^2}, \quad (15.7)$$

где t – текущее время, с;

D_{05} – параметр длительности сейсмических колебаний, с,

и принимать в форме, приведённой на рисунке Г.1 приложения Г.

15.4.3.2 Параметр длительности акселерограммы колебаний D_{05} на площадке рассчитывается по формуле

$$\lg D_{05} = 0.2M_S + 0.5\lg R_h + C_m + C_g - 1.3 \pm \sigma, \quad (15.8)$$

где M_S – магнитуда землетрясения по поверхностным волнам;

R_h – гипоцентральное расстояние, км;

C_m – коэффициент, зависящий от типа подвижки в очаге землетрясения;

C_g – коэффициент, зависящий от грунтовых условий площадки;

σ – среднеквадратическое отклонение ($\sigma = 0,3$)

Следует принимать следующие значения C_m :

- для сбросов – 0,25;
- для сбросо-сдвигов – 0,12;
- для сдвигов – 0,00;
- для взбросо-сдвигов – минус 0,12;
- для взбросов – минус 0,25.

Следует принимать следующие значения C_g :

- для грунтов категории I – минус 0,15;
- для грунтов категории II – 0,00;
- для грунтов категории III – 0,45.

15.5 Определение набора инструментальных акселерограмм реальных землетрясений для проектирования

В случае использования для проектирования акселерограмм реально зарегистрированных землетрясений должны быть учтены следующие требования:

- количество инструментальных (подобранных) трёхкомпонентных акселерограмм в наборе должно быть не менее семи;
- инструментальные акселерограммы следует выбирать из доступных баз данных по сильным движениям или из зарегистрированных непосредственно на площадке или в её окрестностях;
- критериями отбора применительно к площадке АС должны служить схожесть сейсмических условий (сейсмотектонический режим территории, магнитуда землетрясений), близость эпицентральных расстояний и глубины гипоцентров зарегистрированных землетрясений, которым соответствуют акселерограммы к условиям, для которых в результате анализа сейсмической опасности были определены сценарные землетрясения, а также близость пикового ускорения к расчётному значению (обычно, в диапазоне от 0,5 до 2,0 от расчётного значения);
- спектры реакции подобранных инструментальных акселерограмм должны составлять такое множество, что средний по множеству каждой компоненты спектр будет соответствовать расчётному целевому спектру. Для достижения совместимости среднего спектра по набору акселерограмм с целевым спектром могут применяться методы амплитудной модификации спектра с сохранением естественного фазового состава исходной акселерограммы.

15.6 Сейсмические воздействия в терминах интенсивности сотрясений

15.6.1 Сейсмические воздействия выражаются в баллах макросейсмической шкалы. Допустимо использование шкал MSK-64 или шкалы ГОСТ Р 57546.

Предполагается, что в части оценки макросейсмического эффекта обе шкалы совпадают.

15.6.2 Расчет ведется аналогично расчетам сейсмических воздействий в ускорениях, от единой модели зон ВОЗ, с использованием уравнения макросейсмического поля. В общем виде такое уравнение задается в виде:

$$I_i = bM - \nu \lg(\sqrt{R^2 + H^2}) + c, \quad (15.9)$$

где I_i – интенсивность в точке наблюдения (среднее значение);

M – магнитуда¹¹;

R – эпицентральное расстояние в км;

H – глубина гипоцентра в км;

b, ν, c – коэффициенты эмпирической регрессии.

Величины коэффициентов зависят от региона. Средние значения по мировым данным равны $b = 1,5$, $\nu = 3,5$, $c = 3,0$. Если данных для определения региональных коэффициентов в рамках проекта недостаточно (около 200 пар изосейст), следует использовать опубликованные значения в научно-технической литературе. Рекомендуется включать в логическое дерево уравнения со среднемировыми и региональными коэффициентами (если таковые имеются).

15.6.3 Следует учитывать точность расчёта интенсивности $\pm 0,5$ баллов (стандартное отклонение) по формуле (15.9).

16 Состав параметров внешних сейсмических воздействий для проектирования объектов использования атомной энергии

В общем случае должны выполняться следующие требования¹².

16.1 Для проектирования зданий, сооружений ОИАЭ I и II категорий сейсмостойкости по [3] следует принимать интенсивность сотрясений уровней ПЗ и МРЗ, полученную на основе соответствующей средней исходной интенсивности и максимального на площадке приращения интенсивности, и округлённую до целых значений баллов по ГОСТ Р 57546 в соответствии с общепринятым правилом арифметического округления чисел.

16.2 В проектные основы для проектирования ЗиС ОИАЭ III категории сейсмостойкости следует включать интенсивность сотрясений, определённую по нормативной карте ОСР, указанной в задании на проектирование, с учётом максимального на площадке приращения интенсивности, округлённую до целочисленных баллов по ГОСТ Р 57546.

Примечание – если расчётная интенсивность сотрясений для ЗиС III категории сейсмостойкости превысит расчётную интенсивность уровня ПЗ, её следует ограничить уровнем ПЗ.

¹¹ При разработке уравнения в оригинальном виде (Н.В. Шебалин) использовалась магнитуда типа Ms.

¹² Особые требования к составу и значениям параметров внешних сейсмических воздействий для проектирования должны устанавливаться в задании на изыскательские работы.

16.3 Для целей проектирования зданий и сооружений ОИАЭ следует представить:

- СГМ, отражающие строение, сейсмические и деформационные свойства слоёв грунтовой толщи с указанием участков площадки, на которых данные модели применимы;
- СГМ, отражающие строение, сейсмические и деформационные свойства слоёв грунтовой толщи, прогнозируемые с учётом техногенных изменений (обратная засыпка или срезание при планировке, замещение или укрепление грунтов на площадке);
- функции деградации грунтов, в слоях СГМ;
- средние значения горизонтальной и вертикальной компоненты пикового ускорения уровней ПЗ, МРЗ на свободной поверхности площадки (отметке планировки) для участков, соответствующих СГМ;
- средние значения горизонтальной и вертикальной компоненты спектров ответа с демпфированием 5 %¹³ уровней ПЗ, МРЗ на свободной поверхности (отметке планировки) для участков, соответствующих СГМ;
- среднее значение горизонтальной и вертикальной компоненты пикового ускорения уровней ПЗ и МРЗ на обнажении (реальном или виртуальном) скальных или условно-скальных (I или II категории по сейсмическим свойствам) референтных грунтов;
- среднее или медианное значение пикового ускорения уровней ПЗ и МРЗ во внутренних точках грунтовой толщи в функции глубины;
- средние спектры ответа с демпфированием 5 % уровней ПЗ и МРЗ на заданных отметках (подошва фундамента и др.) в грунтовой толще;
- единые для площадки трёхкомпонентные обобщённые спектры ответа уровней ПЗ и МРЗ, представляющие собой огибающую индивидуальных средних спектров, соответствующих участкам, характеризующимися СГМ, а также совместимые с обобщёнными спектрами акселерограммы. Обобщённый спектр предоставляется для отметки планировки площадки.

16.4 Параметры и характеристики сейсмических воздействий в отчётной документации должны представляться в числовой (таблицы) и графической формах. Акселерограммы в числовом выражении по запросу Проектировщика допускается предоставлять в отдельных машиночитаемых файлах.

¹³ Спектры ответа со степенью демпфирования, отличающейся от 5 %, предоставляются в связи с конкретным требованием, указанным в задании на изыскательские работы.

Приложение А
(рекомендуемое)

**Схемы назначения частоты, соответствующей ускорению нулевого периода, и
построения обобщённого спектра реакции для проектных основ объектов использования
атомной энергии**

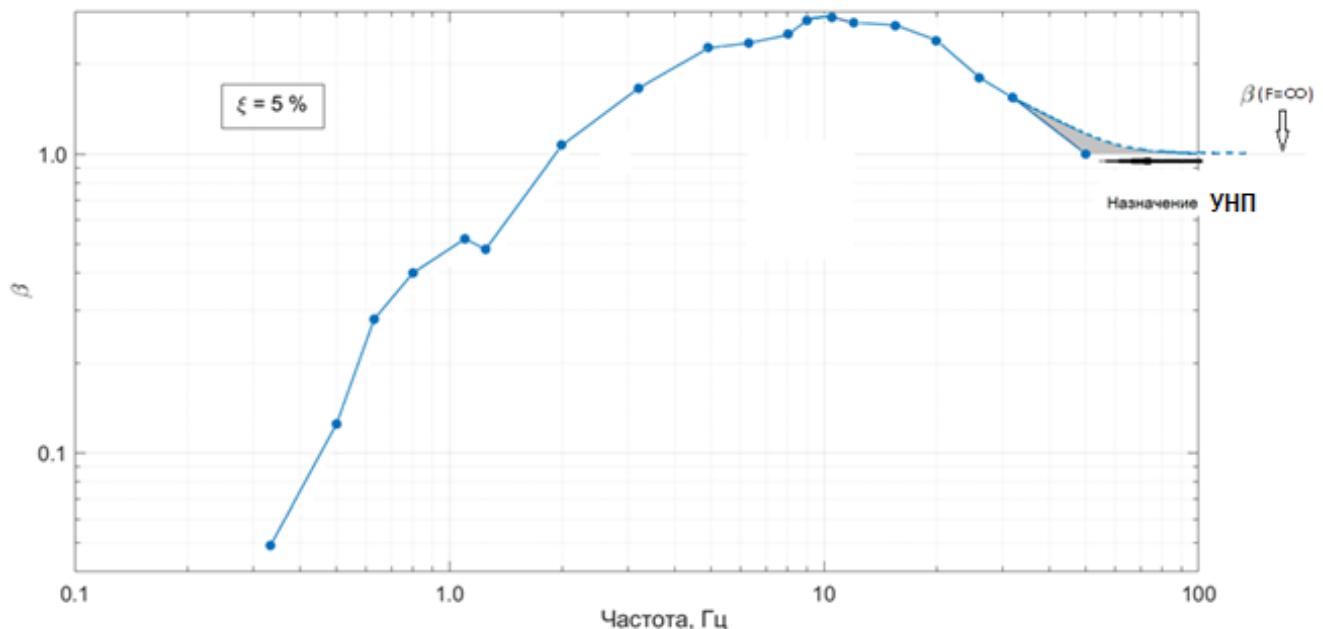


Рисунок А.1 – Схема назначения частоты, соответствующей ускорению нулевого периода
(спектр реакции для воздействия с единичным пиковым ускорением)

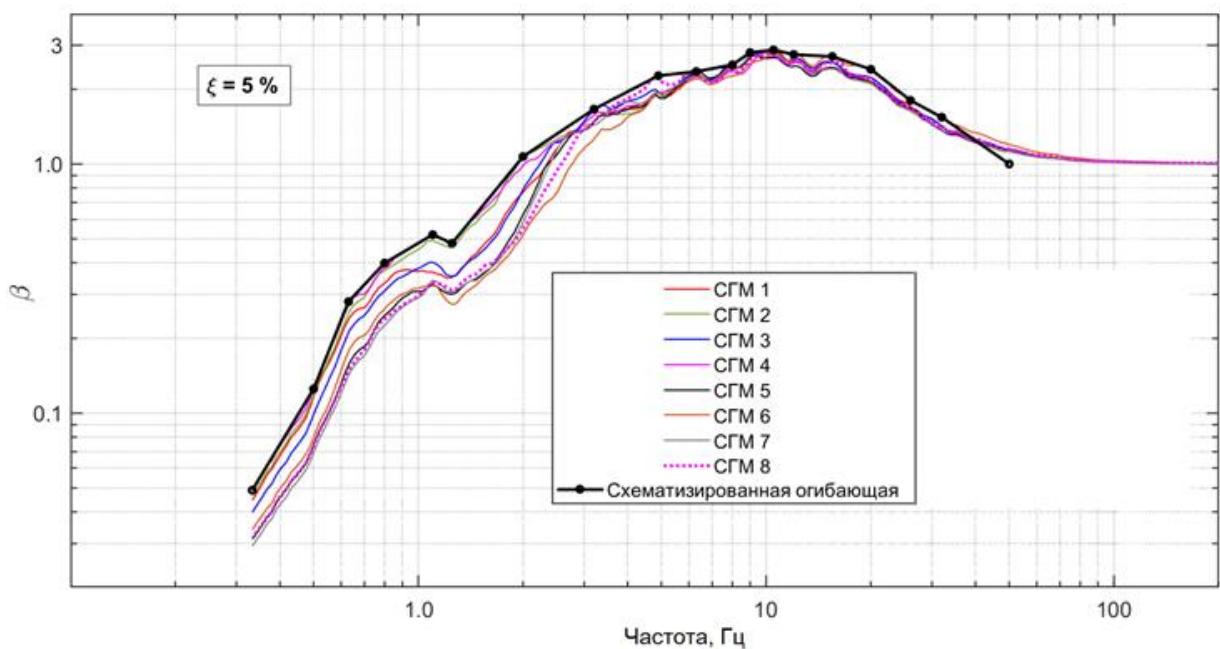


Рисунок А.2 – Схема построения схематизированной огибающей спектров реакции
(спектры реакции для воздействия с единичным пиковым ускорением)

Приложение Б
(рекомендуемое)

**Критерии качества и приемлемости синтезированных акселерограмм для расчёта
реакции площадки и проектирования объектов использования атомной энергии**

Б.1 Шаг дискретизации акселерограмм во времени при спектре реакции, ограниченном сверху частотой 50 Гц – не более 0,005 с (частота дискретизации не менее 200 Гц)¹⁴.

Б.2 Максимальная амплитуда акселерограммы должна быть не менее значения принятого ускорения нулевого периода целевого спектра.

Б.3 Спектральные ускорения, составляющие акселерограмму, в диапазоне частот целевого спектра с демпфированием 5 % должны быть вычислены исходя из не менее 100 значений, приходящихся на частотную декаду, и равномерно распределенных по логарифмической частотной оси. Это соответствует шагу по значениям смежных частот 2,3 %.

Б.4 Спектр каждой из трёх компонент акселерограммы не должен превышать соответствующих целевых спектров более чем на 30 % во всем диапазоне частот;

Б.5 Ускорение нулевого периода компонент акселерограммы должно быть равно или больше ускорения нулевого периода соответствующих целевых спектров.

Б.6 Отношение среднего спектра для каждой из компонент акселерограммы к соответствующему целевому спектру должно быть равно или больше 1,0, но не более 1,05.

Б.7 Спектр каждой из компонент акселерограмм не должен быть ниже целевого спектра реакции более, чем на 10 % на всем диапазоне частот.

Б.8 В частотном поддиапазоне, центрированном на любой из частот целевого спектра, и имеющем ширину $\pm 10\%$ от данной частоты не должны иметь место только отрицательные отклонения от целевого спектра. При расчёте спектра акселерограммы с учётом требования 3 это означает, что снижение спектра акселерограммы допускается не более, чем в девяти смежных точках по частоте;

Б.9 Акселерограммы трёх компонент колебаний должны быть различны и статистически независимы, коэффициент взаимной корреляции попарно для трех компонент акселерограммы по абсолютной величине не должен превышать 0,16;

Б.10 Акселерограммы должны быть сбалансированы по колебательным скорости и смещению (в момент окончания акселерограммы остаточные скорость и смещение должны быть минимизированы). Максимально допустимым остаточным смещением следует считать значение, составляющее 2 % от максимальной амплитуды сейсмограммы.

¹⁴ Шаг (частота) дискретизации устанавливается исходя из обеспечения, как минимум, 3,3 отсчётов, приходящихся на самую короткопериодную (самую высокочастотную) гармонику акселерограммы.

Приложение В
(рекомендуемое)

Форма и параметры огибающей обобщённой акселерограммы

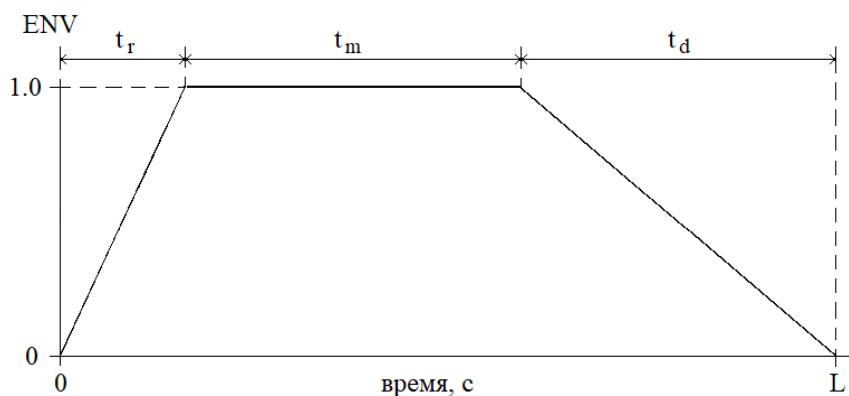


Рисунок В.1 – Форма огибающей (ENV) обобщённой синтезированной акселерограммы

На рисунке В.1 и в таблицах В.1 – В.3 обозначены:

t_r – время нарастания амплитуды акселерограммы от нуля до максимума;

t_m – время примерного постоянства амплитуды ускорения;

t_d – время спада амплитуды ускорения до условного нуля;

L – общая продолжительность акселерограммы ($L = t_r + t_m + t_d$).

На участках нарастания t_r и спада t_d огибающая может быть представлена также в экспоненциальной форме.

Таблица В.1 – Параметры огибающей обобщённой синтетической акселерограммы для грунтовых условий категории I по сейсмическим свойствам

PGA, g	t_r , с	t_m , с	t_d , с	L , с
0,06	1	6,5	7,5	15
0,12	1,5	7	8,5	17
0,25	2	8	10	20
0,40	3	10,0	12	25

Таблица В.2 – Параметры огибающей обобщённой синтетической акселерограммы для грунтовых условий категории II по сейсмическим свойствам

PGA, g	t_r , с	t_m , с	t_d , с	L , с
0,06	1	7	12	20
0,12	1,5	7,5	14	22
0,25	2	8,5	16,5	27
0,40	3	12	18	33

Таблица В.3 – Параметры огибающей обобщённой синтетической акселерограммы для грунтовых условий категории III по сейсмическим свойствам

PGA, g	t_r , с	t_m , с	t_d , с	L, с
0,06	1	8	18	27
0,12	1,5	10	20,5	32
0,25	2,0	12	24	39
0,40	3,0	14	27	44

Приложение Г
(рекомендуемое)

Форма огибающей акселерограммы сценарного землетрясения

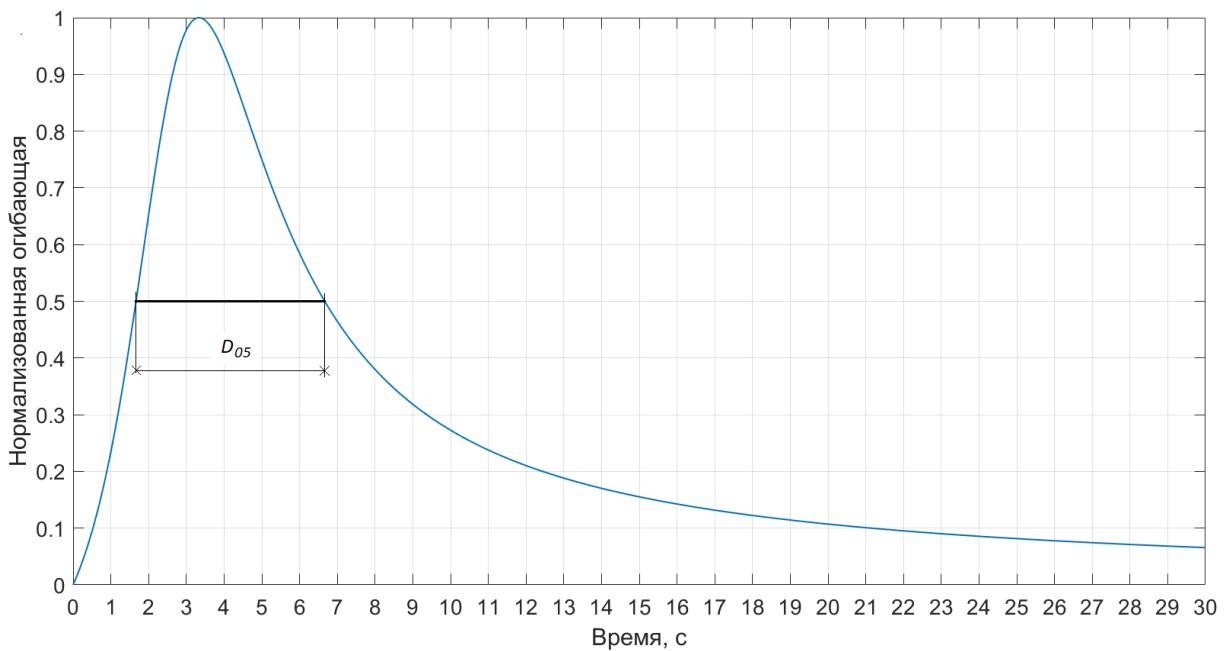


Рисунок Г.1 – Форма нормализованной огибающей акселерограммы сценарного землетрясения (для $D_{05} = 5$ с)

Библиография

- [1] Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»
- [2] Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии»
- [3] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций
- [4] Руководство по безопасности при использовании атомной энергии РБ-123-17 Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при исходных событиях, обусловленных сейсмическими воздействиями
- [5] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-064-17 Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии
- [6] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
- [7] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-041-22 Требования по безопасности к строительным конструкциям зданий и сооружений атомных станций
- [8] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-032-19 Площадка атомной станции. Требования безопасности
- [9] Стандарт организации СТО 95 12022–2017 Инженерные изыскания для строительства атомных станций. Сейсмическое микрорайонирование. Общие требования
- [10] Руководство по безопасности при использовании атомной энергии РБ-142-18 Сейсмологический мониторинг участков размещения ядерно и радиационно опасных объектов
- [11] IAEA Specific Safety Guide No SSG-9 (Rev. 1) Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations