МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(МИНСТРОЙ РОССИИ)

ПРИКАЗ

от "16" декабря 2016 г. № 980/пр

Москва

Об утверждении свода правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования»

В соответствии с Правилами разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 г. № 624, подпунктом 5.2.9 пункта 5 Положения о Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1038, пунктом 35 Плана разработки и утверждения сводов правил и актуализации ранее утвержденных сводов правил, строительных норм и правил на 2015 г. и плановый период до 2017 г., утвержденного приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 июня 2015 г. № 470/пр с изменениями, внесенными приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 сентября 2015 г. № 659/пр, **п р и к а з ы в а ю:**

1. Утвердить и ввести в действие через 6 месяцев со дня издания настоящего приказа прилагаемый свод правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования».

2. Департаменту градостроительной деятельности и архитектуры в течение 15 дней со дня издания приказа направить утвержденный свод правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования» на регистрацию в национальный орган Российской Федерации по стандартизации.

gost.e-ecolog.ru

3. Департаменту градостроительной деятельности и архитектуры обеспечить опубликование на официальном сайте Минстроя России в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» текста утвержденного свода правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования» в электронно-цифровой форме в течение 10 дней со дня регистрации свода правил национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

4. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на заместителя Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Х.Д. Мавлиярова.

И.о. Министра Е.О. Сиэрра

УТВЕРЖДЕН
приказом Министерства строительства и
жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации
от «12» декабря 2016 г. № 930/пр

ОБЪЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ. ПРАВИЛА ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Издание официальное

Москва 2016

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 286.1325800.2016

ОБЪЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Правила детального сейсмического районирования

Издание официальное

РОССТАНДАРТ
ФГУП
«СТАНДАРТИНФОРМ»
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ФОНД СТАНДАРТОВ

Дата регистрации 06 июня 2016 г.

Москва 2016

В НАБОР

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

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

4 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 980/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г.

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

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

© Минстрой России, 2016

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

В НАБОР

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 6
5 Состав, стадийность и сроки выполнения работ по ДСР 8
6 Сейсмотектонические исследования 9
6.1 Цели, задачи и этапы сейсмотектонических исследований .....
6.2 Изучение активных разломов и оценка их параметров 10
6.3 Разработка сейсмотектонической модели 14
7 Сейсмологические исследования 16
7.1 Цели сейсмологических исследований .....
7.2 Разработка сводного каталога землетрясений 16
7.3 Локальные сейсмологические наблюдения 18
7.4 Оценка параметров сейсмического режима 20
8 Расчет прогнозных сейсмических воздействий .....
8.1 Общие положения расчета прогнозных сейсмических воздействий .....
8.2 Расчет параметров исходных сейсмических воздействий в баллах макросейсмической шкалы (методом расчета сейсмической сотрясаемости) .....
8.3 Уровень ускорений грунта 24
8.4 Преобладающий период колебаний 26
8.5 Продолжительность колебаний (ширина импульса) 26
8.6 Частотный состав. Форма спектра реакции 26
8.7 Коэффициент динамического усиления 27
8.8 Построение локального спектра 28
8.9 Построение синтетической акселерограммы 28
Библиография .....

В НАБОР

Введение

Настоящий свод правил разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1].

Настоящий свод правил разработан Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) (руководители разработки – д-р физ.-мат. наук *С.А. Тихоцкий*, д-р геол.-мин. наук, отв. исполнитель *Е.А. Рогожин*, д-р физ.-мат. наук *Ф.Ф. Аптикаев*, канд. физ.-мат. наук *А.И. Лутиков*, канд. геол.-мин. наук *А.Н. Овсюченко*, д-р физ.-мат. наук *Р.Э. Татевосян*, канд. физ.-мат. наук *О.О. Эртелева*).

В НАБОР

СП 286.1325800.2016

СВОД ПРАВИЛ

ОБЪЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ
Правила детального сейсмического районирования

Building objects of high critically rating. Guidelines of detailed seismic zoning

Дата введения – 2017–06–17

1 Область применения

1.1 Настоящий свод правил предназначен для проведения работ по детальному сейсмическому районированию (ДСР), включающих в себя сейсмотектонические, сейсмологические исследования, при изысканиях для объектов повышенного уровня ответственности, которые в соответствии с [2] отнесены к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам.

1.2 Настоящий свод правил распространяется на новые объекты повышенной ответственности, а также на проведение капитального ремонта, реконструкции и восстановление ранее возведенных объектов, если такие работы не были выполнены при их строительстве.

1.3 Настоящий свод правил не распространяется на ДСР при проектировании вновь строящихся, реконструируемых и технически перевооружаемых объектов атомной энергетики, крупных гидротехнических сооружений, транспортных сооружений, крупных линейных объектов, а также площадных объектов (например, территории субъектов Российской Федерации, крупные города).

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

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

Издание официальное

В НАБОР

СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

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

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **акселерограмма (велосиграмма, сейсмограмма):** Зависимость ускорения (скорости, смещения) от времени точки основания или сооружения в процессе землетрясения, имеющая одну, две или три компоненты.

3.2 **акселерограмма землетрясения:** Запись процесса изменения во времени ускорения колебаний грунта (основания) для определенного направления.

3.3 **активный разлом:** Тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений бортов разлома в позднем плейстоцене – голоцене (за последние 100 000 лет), скорость которых представляет опасность для сооружений и требует специальных конструктивных и/или компоновочных мероприятий для обеспечения их безопасности.

3.4 **вероятность превышения** P_I**:** Вероятность превышения P_I рассчитывают из представления, что поток землетрясений в области средних и более периодов повторения

В НАБОР

удовлетворяет распределению Пуассона, откуда следует, что превышение расчетной балльности за t лет (в данном случае t = 50 лет) может быть определено по формуле

$$P_I t = 1 - \exp(\frac{-t}{T}),$$

где T – средний период повторения сейсмической интенсивности I.

3.5 **график (закон) повторяемости:** Зависимость между числом событий и магнитудой землетрясения $N(M)$, закон повторяемости Гутенберга–Рихтера. Для целей сейсмического районирования число событий в каждом интервале магнитуд нормируется на свой период представительной регистрации $T_{\text{герг}}$, так что

$$\lg\left(\frac{N}{T_{\text{герг}}}\right) = -bM_S + A.$$

Параметр $N/T_{\text{герг}}$ – это среднее число событий за год в соответствующем интервале магнитуд. График повторяемости оценивает средний период повторения землетрясений с данной магнитудой на территории ДСР.

3.6 **детальное сейсмическое районирование;** ДСР: Метод сейсмического районирования, который применяют для определения возможных сейсмических воздействий, в том числе в инженерных терминах, на конкретные существующие и проектируемые сооружения, территории населенных пунктов и отдельных районов. Масштаб карт ДСР – 1:500 000–1:200 000.

3.7 **динамический метод анализа:** Метод расчета на сейсмическое воздействие в форме акселерограмм колебаний грунта в основании сооружения путем численного интегрирования уравнений движения.

3.8 **интенсивность землетрясения:** 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.

3.9 **исходная сейсмичность:** Сейсмичность района или площадки, определяемая для нормативных периодов повторяемости и грунтов категорий I или II по сейсмическим свойствам с помощью общего сейсмического районирования или ДСР.

В НАБОР

3.10 **логарифмическая ширина спектра:** Величина, характеризующая частотный состав спектра и измеряемая на уровне 0,5 максимума между частотами, на которых в первый и последний раз уровень спектра достиг половины его максимального значения.

Примечание – Логарифмическую ширину спектров следует измерять в безразмерных величинах, например в октавах.

3.11 **матрица сейсмической активности** $A_{3.3}$**:** Аналог сейсмической активности A_{10}, которую вместе с матрицей M_{max} используют для расчета сейсмической сотрясаемости, значения сейсмической активности в которой отнесены к центрам узлов координатной сетки.

Примечание – Магнитуда M_S, равная 3,3, соответствует землетрясениям с энергетическим классом K, равным 10, тем самым сохраняется преемственность в оценках величины сейсмической активности к исследованиями прошлых лет и обеспечивается сопоставимость полученных результатов.

3.12 **общее сейсмическое районирование;** ОСР: Метод сейсмического районирования, заключающийся в оценке нормативной сейсмичности районов на территории всей страны для нормативных периодов повторяемости. Масштаб карт ОСР 1:2 500 000–1:8 000 000. При ОСР гарантировано выделение структур, способных генерировать землетрясения с магнитудой выше 6.

3.13 **палеосейсмодислокации:** Следы на поверхности земли, оставленные палеоземлетрясениями. Выделяют первичные палеосейсмодислокации, к которым относятся сейсмотектонические разрывы, и вторичные, представляющие собой результат сейсмических колебаний, – сейсмогенные оползни, обвалы, осыпи, каменные лавины, гравитационные и вибрационные трещины, выбросы разжиженных грунтов и проседания земной поверхности.

3.14 **период представительной фиксации землетрясений** T_{repr}**:** Под периодом представительной фиксации землетрясений определенного интервала магнитуд понимается период времени, в течение которого землетрясения в пределах этого интервала магнитуд фиксируются без пропусков на рассматриваемой территории. При этом дискретизация шкалы магнитуд проводится через 0,5 единицы магнитуды с центральными значениями …; 3,0; 3,5; 4,0 и т. п., а соответствующие им интервалы магнитуд: 2,8–3,2; 3,3–3,7; 3,8–4,2 и т. п.

В НАБОР

3.15 **продолжительность колебаний (ширина импульса):** Интервал времени между первым и последним моментами превышения огибающей половины максимальной амплитуды. Ширина импульса τ служит параметром семейства огибающих, эмпирическая формула для которого имеет следующий вид:

$$PGA_{\text{огиб}}(t) = PGA_{\max} \frac{3t\tau}{9t^2 - 9t\tau + 4\tau^2}.$$

3.16 **расчетная сейсмичность:** Значение расчетного сейсмического воздействия для заданного периода повторяемости, выраженное в баллах макросейсмической шкалы или кинематических параметрах движения грунта (ускорения, скорости, смещения).

3.17 **расчетные сейсмические воздействия:** Сейсмические воздействия, используемые в расчетах сейсмостойкости сооружений (акселерограммы, велосиграммы, сейсмограммы и их основные параметры – амплитуды, длительность, спектральный состав).

3.18 **сейсмическая сотрясаемость** B_I: Средняя частота повторения сейсмических воздействий балльности I в данной точке.

3.19 **сейсмический район:** Район с установленными и возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке строительства сейсмические воздействия.

3.20 **сейсмический режим:** Под сейсмическим режимом определенной территории понимается пространственно-временное распределение землетрясений различных энергий (магнитуд).

3.21 **сейсмическое воздействие:** Движение грунта, вызванное природными или техногенными факторами (землетрясения, взрывы, движение транспорта, работа промышленного оборудования), обусловливающее движение, деформации, иногда разрушение сооружений и других объектов.

3.22 **сейсмическое микрорайонирование;** СМР: Метод сейсмического районирования, оценивающий влияние локальных (сейсмотектонических, грунтовых, гидрогеологических, геоморфологических) особенностей геологического строения площадок. Масштаб карт СМР для площадных объектов – 1:50 000 и крупнее.

3.23 **сейсмическое районирование;** СР: Картирование ожидаемых сейсмических воздействий, основанное на выявлении зон возможных очагов землетрясений и

В НАБОР

определении сейсмического эффекта, создаваемого ими на земной поверхности. Карты СР служат для осуществления сейсмостойкого строительства, обеспечения безопасности населения, охраны окружающей среды и других мероприятий, направленных на снижение ущерба при сильных землетрясениях.

3.24 **сейсмичность площадки строительства:** Интенсивность расчетных сейсмических воздействий на площадке строительства с соответствующими периодами повторяемости за нормативный срок.

Примечание – Сейсмичность устанавливают в соответствии с картами СР и СМР площадки строительства и измеряют в баллах по действующей макросейсмической шкале.

3.25 **сейсмичность территории:** Максимальная интенсивность сейсмических воздействий в баллах на рассматриваемой территории для принятого периода повторяемости землетрясения.

3.26 **сейсмогенерирующий разлом:** Тектонический разлом, с которым связаны возможные очаги землетрясений за период не более 10 000 лет.

3.27 **сейсмотектонический разрыв (сейсморазрыв):** Разрыв дневной поверхности, имеющий все признаки тектонического и связанный с выходом сейсмического очага на земную поверхность.

3.28 **синтезированная акселерограмма:** Акселерограмма, полученная с помощью расчетных методов, в том числе на основе статистической обработки ряда акселерограмм реальных землетрясений с учетом местных сейсмологических условий – магнитуды, типа подвижки в очаге, расстояния и результатов СМР.

3.29 **средний период повторения сейсмического эффекта с интенсивностью *I* T_I:** Величина, обратная сейсмической сотрясаемости, т. е.

$$T_I = \frac{1}{B_I}.$$

4 Общие положения

В стадийности исследований по оценке сейсмической опасности ДСР занимает промежуточное положение между ОСР и СМР. Несмотря на это в научно-методическом отношении ДСР представляет собой не промежуточную ступень, а самостоятельный вид работ.

В НАБОР

При оценке сейсмической опасности для строительных объектов повышенной ответственности необходимо учитывать все зоны возможных очагов землетрясений (далее – зоны ВОЗ), задающие уровень сейсмических воздействий в районе конкретной площадки без ограничения по магнитуде, как при ОСР. Магнитудный уровень выделяемых зон ВОЗ зависит от региональных сейсмотектонических условий. Выделение зон ВОЗ – сложная задача, решить которую без использования результатов полевых работ невозможно. Такие работы носят название ДСР. ДСР проводят в масштабах отдельных регионов для административных единиц и конкретных строительных объектов повышенной ответственности. Цель ДСР – предоставление инженерам и проектировщикам детальных данных о прогнозных сейсмических воздействиях и смещениях по активным разломам, что позволяет решить проблему сейсмического риска.

Ранее на основании опыта работ по оценке сейсмической опасности в детальном масштабе была дана формулировка ДСР в качестве определения совокупности ожидаемых сейсмических воздействий на территории проектирования и строительства важнейших строительных объектов повышенной ответственности. При производстве работ по СМР [5] интенсивность сейсмического воздействия, измеряемую в баллах и принимаемую за исходную величину при составлении карты СМР, определяют по картам ДСР масштаба 1:500 000–1:200 000.

Сейсмотектонические и сейсмологические исследования выделены в отдельный вид работ в составе инженерно-геологических изысканий [4].

Согласно СП 14.13330 при определении возможных сейсмических воздействий для конкретных существующих и проектируемых сооружений предусмотрено проведение ДСР в масштабе 1:500 000 и крупнее. Для уточнения сейсмичности района строительства объектов повышенной ответственности проводят сейсмотектонические и сейсмологические исследования.

СП 47.13330 и существующие отраслевые нормативы, в которых затронута тема оценки сейсмической опасности ([7], [8]), за исключением атомных норм ([9]), содержат в основном перечень итоговых материалов, необходимых для проектирования.

В НАБОР

5 Состав, стадийность и сроки выполнения работ по ДСР

В общем составе планировочных, проектных и инженерно-геологических работ ДСР начинают на первых стадиях, включая инженерные изыскания для подготовки документов территориального планирования и документации по планированию территории и принятия решений относительно выбора площадки строительства или варианта трассы и инженерно-геологические изыскания для обоснования инвестиций и подготовки проектной документации в соответствии с СП 47.13330 и [3], но завершается не менее чем через 2 мес после обработки результатов геодезических, инженерно-геологических, сейсмологических и геофизических изысканий. При оценке сейсмической опасности необходимо использование результатов всех геологических, геофизических и сейсмологических работ, проведенных применительно к проектируемому объекту. Сюда входят результаты дистанционного зондирования (аэро-, космосъемки, лазерного сканирования и др.), геологические и геофизические разрезы, содержащие сведения о структурно-тектонических и сейсмогеологических особенностях района, и т. д.

ДСР проводят в три этапа:

- 1-й этап – сбор и обобщение исходного материала;

- 2-й этап – дистанционные и полевые исследования;

- 3-й этап – обработка материалов, разработка заключения об уровне сейсмической опасности, написание отчета о выполненных работах.

ДСР включает в себя три основных вида работ:

1) сейсмотектонические исследования;

2) сейсмологические исследования;

3) расчет сейсмических воздействий.

Сейсмотектонические и сейсмологические исследования проводят параллельно, взаимно дополняя данные исследования. По их результатам выполняют расчеты прогнозных сейсмических воздействий.

Сроки выполнения работ определены техническим заданием, являющимся приложением к договору на их выполнение. Некоторые виды работ, такие как

В НАБОР

сейсмотектоническое обследование и траншейные исследования, могут быть только сезонными (весна – лето – осень).

Результаты ДСР используют в качестве исходных при проведении СМР, т. е. оценки сейсмической опасности с учетом грунтовых условий.

6 Сейсмотектонические исследования

6.1 Цели, задачи и этапы сейсмотектонических исследований

Цель сейсмотектонических исследований заключается в оценке опасности сейсмических и тектонических явлений для проектируемых объектов повышенной ответственности. К опасным явлениям относятся: собственно сейсмические сотрясения; вторичные эффекты (порожденные землетрясением гравитационные и вибрационные трещины, оползни, обвалы, осыпи, каменные лавины, выбросы разжиженных грунтов и проседания земной поверхности); сейсмотектонические разрывы, возникающие моментально, и медленные смещения по разломам. Сейсмотектонические разрывы и медленные смещения связаны с зонами активных разломов. Практически мгновенные разрывные сейсмотектонические смещения связаны с разрывными выходами сейсмических очагов на земную поверхность (сейсморазрывами). Смещения земной поверхности по сейсморазрывам могут достигать больших размеров, что представляет очевидную опасность для любых инженерных сооружений. Кроме того, к опасным явлениям относятся возникающие при сильных землетрясениях площадные опускания и поднятия обширных участков земной поверхности. Они связаны с подвижками по разломам и изучаются при исследовании активных разломов и палеосейсмодислокаций.

В задачи сейсмотектонических исследований входят:

1) выявление активных разломов с оценкой параметров прогнозных смещений;

2) разработка сейсмотектонической модели и построение карты зон ВОЗ, опасных для проектируемых объектов.

Указанные задачи определяют два основных направления сейсмотектонических исследований:

1) определение параметров прогнозных смещений по активным разломам для прогнозирования возможных разрушений строительных объектов;

В НАБОР

2) материалы полевого изучения активных разломов и вторичных палеосейсмодислокаций.

Результаты работ по этим направлениям наряду с другими сейсмотектоническими и сейсмологическими данными становятся основой карты зон ВОЗ.

В качестве первого шага в сейсмотектонических исследованиях принимается сейсмотектоническая основа ОСР. В результате последующих детальных сейсмотектонических исследований карту зон ВОЗ региона уточняют и детализируют с учетом конкретных сейсмогеологических условий региона. В итоге модель зон ВОЗ ОСР может быть полностью пересмотрена, с понижением или повышением уровня сейсмической опасности относительно ОСР, что требует соответствующего исчерпывающего обоснования.

Сейсмотектонические исследования проводятся в три этапа.

На 1-м этапе осуществляют сбор исходного материала, совместный анализ всех имеющихся материалов по геологическому строению, сейсмическому режиму, неотектонике, истории развития рельефа, глубинному строению, напряженному состоянию и современным движениям земной коры, а также дешифрирование материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), т.е. создают и анализируют региональную сейсмотектоническую базу данных. Она включает в себя сведения о геолого-тектоническом и геоморфологическом строении региона, соотношении приповерхностных геологических структур с глубинными, новейшей тектонике в виде серии результирующих карт соответствующего содержания в масштабе 1:500 000 и крупнее.

2-й этап подразумевает проведение полевых сейсмотектонических исследований.

3-й этап включает в себя обобщение всех собранных материалов, разработку сейсмотектонической модели и составление карты зон ВОЗ.

6.2 Изучение активных разломов и оценка их параметров

Методика выявления и изучения активных разломов основана на комплексе дистанционных и полевых методов, позволяющих по проявлениям в рельефе и молодым отложениям выявить активный разлом, закартировать зону связанных с ним деформаций и определить тип, амплитуду и среднюю скорость смещений.

В НАБОР

Наличие или отсутствие ярко выраженных активных разломов на поверхности далеко не всегда прямо отражает уровень сейсмической опасности, поэтому в задачи сейсмотектонических исследований входит изучение всех следов древних землетрясений и позднеплейстоцен-голоценовых тектонических деформаций.

Необходимо выполнить дешифрирование материалов ДЗЗ в камеральных условиях. Дешифрирование помимо непосредственного использования материалов ДЗЗ (космических снимков высокого разрешения, аэрофотоснимков и цифрового рельефа) включает в себя сведение всех картографических материалов (разномасштабных топографических, геологических, тектонических, геоморфологических и других карт) в единую систему координат, с дальнейшим их всесторонним сопоставительным анализом.

Предварительное выявление молодых тектонических деформаций проводят при сопоставительном анализе различных данных ДЗЗ между собой и с другими картографическими материалами геолого-геофизического содержания с построением трехмерных геолого-геоморфологических моделей. Наиболее информативными для этих целей являются материалы лазерного сканирования. Цель работ заключается в выявлении и точной привязке к картам в детальном масштабе (1:10 000–1:100 000) специфических морфоструктурных элементов, прямо или косвенно указывающих на наличие молодых тектонических деформаций и следов сильных землетрясений. В общем случае в качестве активных выделяются нарушения, отчетливо выраженные в рельефе в виде закономерно ориентированных уступов, ложбин и валов разной протяженности, которые пересекают и смещают различные формы рельефа позднеплейстоцен-голоценового возраста (долины водотоков, речные или морские террасы, конусы выноса, поверхности выравнивания и др.), а также синхронные им отложения.

Дистанционные исследования позволяют предварительно наметить положение активных разломов и вторичных палеосейсмодислокаций. Для детальной характеристики активных разломов, непосредственно затрагивающих проектируемые объекты, дешифрирование проводят на площади радиусом не менее 20 км в каждую сторону от объекта.

В НАБОР

Определить наличие и параметры активных разломов возможно только по результатам полевых исследований. В состав полевых сейсмотектонических исследований входят:

1) рекогносцировка, структурно-геологическое и морфотектоническое (геолого-геоморфологическое) картирование активных разломов, вторичных палеосейсмодислокаций и других деформаций молодых отложений и форм рельефа;

2) выбор мест для детального изучения разломов в горных выработках и обнажениях;

3) исследования зон разломов методами приповерхностной разведочной геофизики и газово-эманационной съемки;

4) проходка и документация горных выработок (тренчинг);

5) изучение вторичных палеосейсмодислокаций;

6) отбор образцов на абсолютное датирование.

Структурно-геологическое и морфотектоническое (геолого-геоморфологическое) картирование выполняют в целях заверки и прослеживания по простиранию молодых тектонических деформаций, выявленных по дистанционным данным, оценки возраста и генетической принадлежности смещенных по разлому отложений и форм рельефа, значений и направленности этих деформаций, оценки ширины зон разломов по геоморфологическим и геологическим данным, а также для выявления других признаков возможной сейсмической активизации – вторичных палеосейсмодислокаций. Данные о строении разреза молодых отложений в процессе выбора мест для проходки горных выработок, получаемые в результате геофизических исследований (сейсморазведка, электроразведка, георадарное зондирование), дают возможность оценить на глубине структуру и общую ширину зоны разлома.

Горные выработки проводят в целях исследования проявлений разломных зон в молодых отложениях. Данный метод получил название тренчинга и широко используется в связи с изучением структуры активных разломных зон и восстановлением их сейсмической истории. Места для проходки горных выработок выбирают преимущественно по структурно-геоморфологическим соображениям. В этом отношении наиболее предпочтительными для заложения канав, шурфов и расчисток являются поверхности аккумуляции рыхлых позднеплейстоцен-голоценовых отложений, маркирующих опорные уровни, используемые для возрастной привязки

В НАБОР

деформаций. Размеры горных выработок определяются конкретной геолого-геоморфологической ситуацией. Документация стенок канав выполняется в целях выявления следов подвижек по разлому, оценки их кинематики (направления смещения), значений отдельных компонент подвижек, определения пространственных характеристик разлома (азимуты падения и простирания), т. е. данных, необходимых для расчетов по принятию мер защиты от возможных подвижек. Исследования подразумевают детальную зарисовку стенок канав, расчленение разреза молодых отложений, прослеживание слоев с выявлением фрагментов земной поверхности прошлого, существовавшей на момент подвижки(ек), выявление и характеристику деформации этих фрагментов и определение их возраста методами абсолютного датирования.

При наличии активных разломов в результатах полевых сейсмотектонических исследований следует отразить их количественные характеристики:

1) местоположение в масштабе 1:2000–1:10 000, ширина зоны разлома;

2) кинематический тип разлома (направление смещений);

3) ориентировка и падение смесителя;

4) скорость смещений по разлому на последнем этапе геологического развития региона;

5) характер смещений (быстрый сейсмотектонический, медленный криповый);

6) амплитуда прогнозных сейсмотектонических подвижек в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Амплитуду прогнозных подвижек желательно указывать в трех направлениях: вертикальном для сброса или взброса, горизонтальном для сдвига и горизонтальном для взброса или надвига.

Определение параметров прогнозных смещений по активным разломам необходимо для прогноза возможных разрушений строительных объектов в случае их пересечения. Наряду с другими сейсмотектоническими и сейсмологическими данными, материалы полевого изучения активных разломов и вторичных палеосейсмодислокаций ложатся в основу карты зон ВОЗ. В связи с этим изучение активных разломов и палеосейсмодислокаций проводят на площади, охватывающей все источники сейсмических воздействий, оказывающие влияние на проектируемые объекты.

В НАБОР

6.3 Разработка сейсмотектонической модели

Результаты полевых исследований используют для установления мест пересечения активных разломов с проектируемыми объектами и построения сейсмотектонической модели и карты зон ВОЗ.

Основными элементами сейсмотектонической модели являются активные геологические структуры: активные разломы, складки, флексуры, блоки и их различные сочетания. Главное назначение сейсмотектонической модели – получение представления о морфологии активных геологических структур от нижней кромки сейсмогенерирующего слоя до поверхности и пространственных параметрах зон ВОЗ.

Основные элементы карты зон ВОЗ – источники сейсмических воздействий – площадные (домены), характеризующие рассеянную (фоновую) сейсмичность, и линейные, отражающие сосредоточенную сейсмичность, т. е. потенциальные очаги сильных землетрясений. В качестве линейных источников рассматриваются активные разломы. Материалы об активных разломах собираются в ходе специальных полевых исследований, а также по фондовым и опубликованным материалам. Детальность и площадь картирования зон ВОЗ при ДСР определяются охватом наиболее опасных структур в масштабе 1:500 000–1:200 000. Зоны ВОЗ характеризуются параметрами, необходимыми для расчета сейсмических воздействий: максимальной магнитудой ожидаемых землетрясений M_{max}, глубиной их гипоцентров, кинематикой сейсмотектонических смещений в очаге. Пороговое значение M_{max} при картировании зон ВОЗ определяется в зависимости от региональных сейсмотектонических условий.

Важнейшей составляющей карты зон ВОЗ являются прогнозные магнитуды землетрясений. Оценка максимально возможных магнитуд ожидаемых землетрясений M_{max} проводится по комплексу геолого-геофизических, сейсмологических и сейсмотектонических данных. Наиболее надежен – комплексный подход с использованием трех взаимно дополняющих методов: традиционного, формализованного и палеосейсмологического.

Первый, традиционный, метод основан на суммировании геологических, неотектонических, геофизических и сейсмологических данных в виде карты сейсмогенерирующих структур.

В НАБОР

Второй, формализованный, метод оценки сейсмического потенциала основан на численном моделировании геолого-геофизических критериев сейсмичности в различных направлениях, с выявлением количественных связей между различными сейсмогеологическими параметрами, отражающими уровень современной активизации той или иной структуры.

Третий – оценка M_{max} по комплексу палеосейсмологических данных – основан на корреляционных связях между магнитудой землетрясения M, протяженностью разрыва и значением подвижки по нему. Оценку проводят по следующим уравнениям:

$$M = a + b \cdot \lg L \quad (6.1)$$

и

$$M = c + d \cdot \lg D, \quad (6.2)$$

где L – длина сейсморазрыва, км;

D – величина одноактного смещения, м;

a, b, c и d – коэффициенты, значения которых существенно варьируются в разных регионах и по данным разных авторов.

В связи с вышеуказанным необходим подбор наиболее представительных региональных коэффициентов. Эти соотношения позволяют оценить магнитуду зоны ВОЗ по конкретным деформациям молодых отложений, параметры которых определяют по результатам проведения полевых сейсмотектонических исследований. Эти же соотношения, наряду с данными о глубинном строении, используют для оценки ширины зон ВОЗ. В случае отсутствия ярко выраженных активных разломов на поверхности силу древних землетрясений можно восстановить по параметрам вторичных палеосейсмодислокаций. К ним, в первую очередь, относятся размеры области, охваченной одновозрастными палеосейсмодислокациями.

Конечным итогом сейсмотектонических исследований являются:

1) разработка сейсмотектонической модели региона;

2) построение карты зон ВОЗ масштаба 1:200 000–1:500 000;

3) выделение активных разломов, оценка их параметров и точная привязка относительно проектируемых объектов в масштабе 1:2000–1:10 000.

В НАБОР

7 Сейсмологические исследования

7.1 Цели сейсмологических исследований

Целью сейсмологических работ является сбор сведений о сильных землетрясениях обширного «окружающего» района и всех имеющихся сведений о слабых и микроземлетрясениях «ближнего» района для составления базы сейсмологических данных.

База должна включать в себя данные об исторических землетрясениях, землетрясениях, инструментально зарегистрированных глобальными или региональными сетями, а также данные локальной сети наблюдений. Одним из основных требований при этом являются полнота каталога и однородность представления данных.

Конечные цели сейсмологических исследований при ДСР – это оценка средних периодов повторения землетрясений различных магнитуд вплоть до M_{max} на территории исследований, а также определение мощности и глубины залегания сейсмоактивного слоя. Решение этих задач осуществляется путем изучения сейсмического режима на территории ДСР. Результаты сейсмологических исследований необходимо увязывать с результатами палеосейсмологических в случае их наличия.

Область сейсмологических исследований определяют исходя из условия, что объект или территория, подлежащие оценке сейсмической опасности, располагались внутри этой области на расстоянии не менее 200 км от ее границ.

Основным источником для изучения сейсмического режима являются каталоги землетрясений.

7.2 Разработка сводного каталога землетрясений

Сводный каталог составляют в пространственных границах, выбранных в зависимости от степени изученности «окружающего» района и уровня сейсмичности, как правило, в радиусе не более 300 км от объекта. Если объект расположен в сейсмически активном районе, т. е. решающий вклад в сейсмические воздействия на объект вносят относительно близко расположенные зоны ВОЗ, допускается для исследования привлекать меньшую территорию.

В НАБОР

Сводный каталог компилируется из всех доступных сейсмологических источников, включающих общие, специализированные и региональные каталоги землетрясений, и, при необходимости, может быть дополнен результатами специальных сейсмических наблюдений, осуществляемых временной сетью цифровых сейсмических станций, специально установленных в рамках выполнения работ по ДСР.

Каталог исторических землетрясений должен удовлетворять следующим требованиям:

1) однородная параметризация землетрясений по всему каталогу;

2) процедура составления каталога на всех этапах работы, начиная от формирования исходной базы данных вплоть до окончательного представления каталога, должна быть абсолютно ясной и прозрачной.

Исторический каталог должен быть параметризирован. Все оценки координат и магнитуды землетрясений должны быть обоснованы. Случаи исключения и нового включения землетрясений должны быть исчерпывающе проанализированы.

Данные, содержащиеся в использованных каталогах, подвергаются взаимной проверке в целях дополнения источников, уточнения параметров отдельных землетрясений и исключения недостоверной информации.

При составлении каталога по данным различных сейсмологических центров в выбранной для исследований рамке собираются все доступные из разных источников каталоги. Записи различных агентств, относящиеся к одному и тому же землетрясению, следует сгруппировать. Все разнотипные магнитуды должны быть приведены к единой шкале.

Для некоторых наиболее сильных землетрясений необходимо проверять исходные данные и окончательное решение принимать индивидуально. Для остальных сейсмических событий необходимо выработать систему приоритетов источников информации в зависимости от величины землетрясения. Как правило, для более сильных землетрясений высокий приоритет присваивается международным агентствам, поскольку они используют станции всей мировой сети. Для слабых событий более высокий приоритет у региональных агентств.

В НАБОР

Для сводного каталога требуется выбирать шкалу магнитуд, к которой путем взаимной корреляции приводятся все остальные магнитудные оценки величины землетрясений в различных каталогах.

Поскольку при оценке сейсмической опасности базовой является магнитуда по поверхностным волнам M_S, все события в сводном каталоге унифицированы по этой магнитуде M_S. Для унификации сводного каталога по единой магнитуде M_S используются уже имеющиеся или специально получаемые региональные корреляционные соотношения между различными типами магнитуд или энергетических классов и магнитудой M_S.

Необходимо использовать все доступные сведения о механизмах очагов землетрясений.

При необходимости проведения работ по оценке уровня исходной сейсмичности территорий в условиях их слабой сейсмологической изученности оценку сейсмической опасности можно выполнять с использованием синтезированных случайных каталогов землетрясений, удовлетворяющих параметрам графика повторяемости для рассматриваемого региона.

7.3 Локальные сейсмологические наблюдения

Для обеспечения исходными сейсмологическими данными должна быть организована локальная сеть сейсмических наблюдений.

Аппаратурное оснащение, призванное обеспечить сейсмологические наблюдения для ДСР, должно удовлетворять следующим требованиям:

1) аппаратура для регистрации землетрясений должна быть цифровой, обеспечивающей без потери запись всех возникающих землетрясений;

2) аппаратура должна обеспечивать непрерывную регистрацию, рекомендуемый минимальный срок наблюдений – один год;

3) сейсмодатчики должны обеспечивать, в первую очередь, регистрацию близких землетрясений, т. е. использование длиннопериодных приборов не является обязательным и допускается применение короткопериодных датчиков;

4) сейсморегистрирующая аппаратура должна быть откалибрована, частотная характеристика всего измерительного тракта – представлена в виде полюсов и нулей;

В НАБОР

5) в месте установки сейсмических станций должно быть проведено изучение грунтовых условий с помощью инженерно-геологических и геофизических методов.

При выполнении ДСР в сейсмически активном районе, где велика вероятность возникновения ощутимых землетрясений, в состав локальной сети должен дополнительно входить акселерометр.

При подготовке аппаратуры к работе должны быть проведены тесты на идентичность, а именно: осуществление регистрации в течение нескольких суток всеми датчиками, установленными на одном постаменте.

Выбор мест размещения сейсмических станций должен обеспечить надлежащее окружение объекта станциями.

Окончательный выбор мест размещения сейсмических станций предваряется выполнением измерений сейсмического шума (микросейсм). Поэтому выбирают больше мест для предполагаемого размещения сейсмических станций, чем реально их будет установлено. Для каждого потенциального места проводят регистрацию в течение 1 сут и рассчитывают плотность спектральной мощности сейсмического шума.

Все данные регулярно переносят с регистраторов сейсмических станций в центр обработки и анализа. В рамках производства наблюдений сразу после снятия информации с регистраторов следует выполнять беглый просмотр записей для выявления аппаратурных неисправностей и сбоев в целях их скорейшего устранения.

В центре обработки и анализа выполняют обработку поступающей с отдельных сейсмических станций информации. Рекомендуется осуществлять сводную обработку данных, т. е. одновременно для всех сейсмических станций сети.

Для идентификации взрывов необходимо тщательно проверять все сомнительные случаи, вплоть до выезда на место предполагаемого события.

Основными измеряемыми параметрами при обработке цифровых сейсмограмм в целях получения каталога землетрясений являются времена вступления фаз P- и S-волн, общая продолжительность записи и максимальные амплитуды в группах этих волн. Следует уделять особое внимание точности и достоверности оценки глубин зарегистрированных сейсмических событий.

В НАБОР

Для контроля качества работы сети сейсмических станций и системы обработки, особенно в ситуациях с малой сейсмической активностью в районе исследований, следует также обрабатывать достаточно сильные удаленные землетрясения, которые регистрировались и определялись национальной или мировой системами наблюдений.

Составленный каталог зарегистрированных событий должен включать в себя основные параметры, характеризующие его точность (как отдельных землетрясений, так и каталога в целом): стандартная ошибка по координатам (эллипс ошибок); стандартная ошибка по глубине; RMS (невязка); число используемых при локации фаз.

При достаточно большой системе наблюдений для землетрясений следует определять механизм очага.

Специальные сейсмологические наблюдения при ДСР допускается не проводить в тех случаях, когда в окрестностях ответственного объекта уже имеется сеть сейсмических станций, удовлетворяющая следующим требованиям:

а) число сейсмических станций в сети должно быть не менее пяти–семи, и они должны быть распределены таким образом, чтобы обеспечивать уверенную регистрацию сейсмических событий с $M \geq 2{,}0$;

б) сеть должна функционировать не менее двух-трех лет, и ее данные должны быть доступны для исполнителей ДСР.

7.4 Оценка параметров сейсмического режима

В результате сейсмологических исследований модель зон ВОЗ, разработанная по сейсмотектоническим данным, уточняется. Возможно также построение альтернативной модели.

В каждой зоне ВОЗ должны быть охарактеризованы основные параметры сейсмического режима: параметры графика повторяемости, максимальная возможная магнитуда. Неопределенность параметров графика повторяемости должна определяться распределениями вероятности с учетом корреляции параметров.

Для каждой зоны ВОЗ должны быть определены максимальная возможная магнитуда M_{max} и ошибка ее определения.

В НАБОР

На 1-м этапе изучения сейсмического режима строятся карты эпицентров сильных и умеренных ($M_S \geq 4{,}3$ или $M_S \geq 3{,}8$) и слабых ($M_S \leq 4{,}2$ или $M_S \leq 3{,}7$) землетрясений. Граница между сильными и умеренными и слабыми землетрясениями (магнитудой 4,3 или 3,8) определяется соотношением между ними на территории исследований.

Количественную оценку параметров сейсмического режима предваряют анализом сводного унифицированного каталога на его пространственно-временную однородность и установлением периодов представительной фиксации землетрясений во всех интервалах магнитуд. После уточнения периодов представительной фиксации землетрясений различных магнитуд формируют представительный каталог землетрясений, включающий в себя только представительные сейсмические события. Представительный каталог землетрясений используют при построении графика повторяемости и матрицы сейсмической активности.

Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд на рассматриваемой территории строят матрицу сейсмической активности $A_{3.3}$. Расчеты ведут для ячеек размером 10' (0,167°) по широте и 15' (0,25°) по долготе. Сейсмическую активность рассчитывают по формуле

$$A_0 = \frac{(1-10^{-b})}{10^{-b(M_{\min}-M_0)}} \cdot \frac{T_0 S_0}{TS} \cdot N_s, \qquad (7.1)$$

где b – наклон графика повторяемости;

$M_{\min}$ – наименьшая представительная магнитуда (уровень представительности);

$M_0 = 3{,}33$ – магнитуда землетрясений, которой соответствует рассчитываемая активность A_0;

S_0 – принятая в соответствии с A_0 единица нормирования по площади (в данном случае $S_0 = 1000$ км^2);

T_0 – единица времени (один год);

S – площадь площадки осреднения;

T – период представительного наблюдения землетрясений;

N_s – общее число землетрясений различных магнитуд $M \geq M_{\min}$, наблюденных за время T на площади S.

В НАБОР

Распределение гипоцентров землетрясений по глубинам строятся раздельно для сильных и умеренных [$M_S \geq 4{,}3$ (3,8)] и слабых [$M_S \leq 4{,}2$ (3,7)]. Рекомендуемый шаг распределения по глубине Δh равен 5 км.

8 Расчет прогнозных сейсмических воздействий

8.1 Общие положения расчета прогнозных сейсмических воздействий

Сейсмотектоническими и сейсмологическими наблюдениями при ДСР определяются:

а) ожидаемая магнитуда землетрясения, соответствующая категории объекта;

б) глубина очага;

в) тип подвижки в очаге (взброс, сдвиг, сброс, поддвиги, надвиги и их комбинации);

г) кратчайшее расстояние до поверхности разлома.

Категорию грунта и его резонансные свойства могут определять как в ходе изучения грунтовых условий посредством инженерно-геологических и геофизических методов, так и по результатам СМР ([5], [6]), проводимого на исследуемой территории.

Расчет сейсмических воздействий основан на окончательной модели зон ВОЗ, в которой согласованы сейсмотектонические и сейсмологические данные. Если для объяснения всей совокупности существующих данных могут быть предложены различные модели, среди которых нельзя однозначно выделить единственную достоверную, то в расчеты следует включать все альтернативные модели.

Предпочтительным является проведение расчетов сейсмических воздействий как вероятностным, так и детерминистским методом анализа.

Для вероятностной оценки сейсмической опасности предлагается использовать метод «логического дерева», учитывающий альтернативные соотношения между параметрами очага и параметрами воздействий.

Сейсмические воздействия могут оцениваться как в баллах макросейсмической шкалы, так и в количественных параметрах сейсмических воздействий.

В НАБОР

Оценка сейсмических воздействий в баллах макросейсмической шкалы может быть проведена как методом расчета сейсмической сотрясаемости (см. 8.2), так и с использованием прогнозируемых количественных параметров сейсмических воздействий (см. 8.5). Оценка интенсивности, получаемая последним способом, обладает большей точностью.

Расчет сейсмических воздействий в количественных характеристиках могут проводить как на статистической обработке записей, полученных в ходе сейсмологических наблюдений на территории проведения ДСР, так и с использованием среднемировых закономерностей (см. 8.3–8.5).

При расчетах сейсмических воздействий в количественных параметрах определяют пиковые ускорения, преобладающий период колебаний, продолжительность колебаний, локальный спектр реакции и соответствующие акселерограммы, а также оценивают интенсивность сейсмических воздействий.

При необходимости определяют дополнительные параметры воздействий: пиковую скорость; преобладающий период скорости; продолжительность колебаний в скоростях; пиковое смещение; преобладающий период смещения; продолжительность колебаний в смещениях; остаточные смещения.

Перечень определяемых параметров сейсмических воздействий приводят в техническом задании на выполнение изысканий.

8.2 Расчет параметров исходных сейсмических воздействий в баллах макросейсмической шкалы (методом расчета сейсмической сотрясаемости)

Расчет сейсмической сотрясаемости в данной точке (ячейке матрицы сотрясаемости) позволяет получать вероятностные оценки исходной балльности в этой точке.

Первичными материалами для оценки сейсмической сотрясаемости, т. е. исходной интенсивности и ее повторяемости, служат:

1) матрица M_{max}, являющаяся формализованным цифровым аналогом схемы зон ВОЗ;

2) матрица сейсмической активности $A_{3,3}$, которая позволяет для каждой зоны ВОЗ определить присущую ей повторяемость землетрясений различных магнитуд

В НАБОР

$M \leq M_{max}$;

3) наклон графика повторяемости b, определяющий вместе с сейсмической активностью и повторяемость землетрясений различных магнитуд;

4) данные о средних глубинах очагов землетрясений, источником которых служат распределения по глубине гипоцентров сильных и умеренных землетрясений;

5) уравнение макросейсмического поля, дающее эмпирическую корреляционную связь между наблюдаемой макросейсмической интенсивностью, магнитудой землетрясения, эпицентральным расстоянием и глубиной очага.

Сейсмическую сотрясаемость рассчитывают по уравнению макросейсмического поля в форме Блейка–Шебалина:

$$I = a \cdot M_S - v \cdot \lg R + c,$$

где a, v, c – коэффициенты. Для регионов, в которых отсутствуют оценки значений этих коэффициентов, используют средние значения $a = 1{,}5$; $v = 3{,}5$; $c = 3{,}0$;

R – расстояние между гипоцентром землетрясения и точкой наблюдения, т. е.

$$R = \sqrt{(\Delta^2 + h^2)},$$

здесь Δ и h – эпицентральное расстояние и глубина очага соответственно, км.

Расчет сейсмической сотрясаемости в данной точке (ячейке матрицы сотрясаемости) осуществляют путем численного интегрирования сейсмических воздействий в этой точке от всех сейсмических источников (ячейки матрицы M_{max}) на рассматриваемой территории с учетом средней частоты повторения в них землетрясений различных магнитуд (ячейки матрицы сейсмической активности) от низшей представительной вплоть до M_{max}. При этом средняя частота повторения землетрясений с магнитудами $M \leq M_{max}$ определена в каждой ячейке матрицы M_{max} по значению сейсмической активности $A_{3.3}$ в этой ячейке и наклону графика повторяемости.

8.3 Уровень ускорений грунта

Пиковое ускорение грунта PGA зависит от магнитуды, типа подвижки по разлому, расстояния между поверхностью разрыва и точкой наблюдения. Выделяют три зоны с различным затуханием: очаговая, ближняя и дальняя.

Граница между очаговой и ближней зонами находится на расстоянии

В НАБОР

$$\lg R_{о.-б} = 0{,}33 M_S - 1{,}51. \quad (8.2)$$

Для целей ДСР допускается считать значения ускорений в очаговой зоне PGA_0 не зависящими от расстояния, но зависящими от типа подвижки в очаге: $PGA_0 = 10$ м/с^2 для поддвигов; 8,7 м/с^2 – для взбросов (надвигов); 7,6 м/с^2 – для взбросо-сдвигов; 6,6 м/с^2 – для сдвигов; 5,8 м/с^2 – для сбросо-сдвигов и 5 м/с^2 – для сбросов. В этой зоне амплитуды не зависят от категории грунта.

В ближней зоне величину PGA, м/с^2, вычисляют по уравнению

$$\lg PGA = 0{,}209\ M_S - 0{,}633 \lg R - 0{,}156, \quad (8.3)$$

где R – кратчайшее расстояние до поверхности разлома, км.

Значения ускорений не должны превышать PGA_0. В ближней зоне ускорения не зависят ни от типа подвижки, ни от категории грунта.

Граница между ближней и дальней зонами находится на расстоянии

$$\lg R_{б.-д} = 0{,}33 M_S - 0{,}61. \quad (8.4)$$

Значение PGA на этой границе равно 1,7 м/с^2 при любых условиях. Ускорение в дальней зоне вычисляют по формуле

$$\lg PGA = 0{,}634\ M_S - 1{,}92 \quad \lg R - 0{,}94 + C, \quad (8.5)$$

где значения коэффициента C равны –0,17 для грунтов 1-й категории, 0,0 – для грунтов 2-й категории и 0,17 – для грунтов 3-й и 4-й категорий.

Следует принимать во внимание, что при $I > 7{,}5$, где I – интенсивность, выражаемая в баллах, амплитуды колебаний на рыхлых грунтах меньше, чем на скальных (в пределах стандартных отклонений), но сейсмическая интенсивность возрастает за счет резкого увеличения продолжительности колебаний.

При расчетах обе горизонтальные компоненты принимают равными более интенсивной. Это намного повышает точность расчетов, поскольку воздействия становятся независимыми от ориентации компонент в пространстве.

Соотношение между вертикальной и горизонтальной компонентами следует принимать 0,6; 0,7 и 0,9 для интенсивностей 7, 8 и 9 баллов соответственно.

В НАБОР

8.4 Преобладающий период колебаний

Преобладающий период T ускорений следует рассчитывать по формуле

$$\lg T = 0{,}15\, M_S + 0{,}25 \lg R_{\text{гип}} + C_1 - 1{,}9 \pm 0{,}20, \qquad (8.6)$$

где $R_{\text{гип}}$ – гипоцентральное расстояние, причем в ближней зоне и очаговой зонах значение T не зависит от расстояния;

коэффициент C_1 = –0,20 для поддвигов, –0,10 для взбросов, 0,00 для сдвигов и 0,10 для сбросов.

При $R_{\text{гип}}<R_{\text{б.-д}}$ для расчетов используют величину $R_{\text{б.-д}}$. Преобладающий период T не зависит от типа грунта.

8.5 Продолжительность колебаний (ширина импульса)

Продолжительность колебаний τ в дальней зоне следует определять по формуле

$$\lg\tau = 0{,}15 M_S + 0{,}5 \lg R + C_1 + C_2 - 1{,}3, \qquad (8.7)$$

где R – расстояние, на котором находится точка от очага землетрясения;

коэффициент C_1 равен 0,25 для сбросов, 0,00 для сдвигов и –0,25 для взбросов;

коэффициент C_2 равен –0,15 для грунтов 1-й категории, 0,00 для грунтов 2-й категории и 0,4 для грунтов 3-й и 4-й категорий.

В очаговой и ближней зонах продолжительность колебаний τ постоянна и равна значению на границе между ближней и дальней зонами, т. е. при $R = R_{\text{б.-д}}$.

Форму огибающей рассчитывают по эмпирической формуле с использованием ширины импульса τ:

$$PGA_{\text{огиб}}(t) = PGA_{\text{макс}}\ \ 3t\tau/(9\, t^2 - 9\, t\tau + 4\, \tau^2). \qquad (8.8)$$

Сейсмическую интенсивность I с учетом продолжительности τ следует определять по формуле

$$I = 2{,}5 \lg PGA + 1{,}25 \lg\tau + 1{,}05. \qquad (8.9)$$

8.6 Частотный состав. Форма спектра реакции

Средняя форма спектра, нормированная по уровню и преобладающему периоду (см. рисунок 8.1) как безразмерная величина, в инженерном диапазоне практически не зависит от магнитуды, расстояния и категории грунта. Влиянием типа подвижки можно пренебречь. Спектр аппроксимируется отрезками прямых и является симметричным в

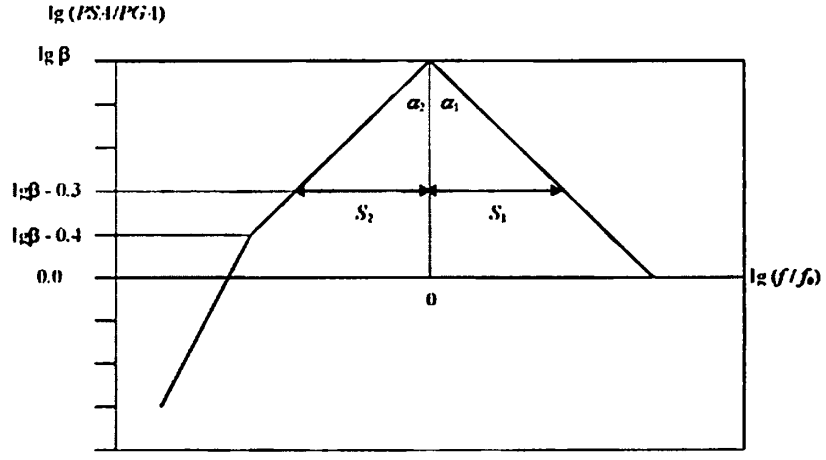
В НАБОР

двойном логарифмическом масштабе. Региональные различия в форме спектра ответа отсутствуют.

Для перехода от средней формы спектра к реальному спектру надо оценить ожидаемый преобладающий период T_0 и уровень спектра *PSA*.

Форму спектра можно изменять в соответствии с заданным уровнем доверия. Рекомендуется вместо ожидаемого значения преобладающего периода задавать «сигмовый» доверительный интервал периодов (см. 8.8).

Склоны среднего спектра вполне определяют величиной логарифмической ширины спектра *S*, которая равна (0,60 ± 0,20) ед. логарифма.



S_1 – высокочастотная часть спектра; S_2 – низкочастотная часть спектра; $S = S_1 + S_2$ – логарифмическая ширина спектра; f_0 – преобладающая частота колебаний; *PGA* – пиковое ускорение грунта; *PSA* – спектральная амплитуда; β – коэффициент динамического усиления

Рисунок 8.1 **– Схема параметризации спектра реакции**

8.7 Коэффициент динамического усиления

Среднее максимальное значение β на более интенсивной горизонтальной компоненте равно β = 3,6. При расчетах значение β рекомендуется принимать 3,2.

Примечание — В СП 14.13330 приведены значения уровней спектральных составляющих β при спектральном методе расчетов (β = 2,5), а не среднее максимальное значение коэффициента

В НАБОР

динамического усиления. $\beta = 3,6$ – реальный уровень нормированной спектральной кривой при 5 %-ном затухании для горизонтальных компонент по эмпирическим данным для всех типов грунтов, рассматриваемых совместно. Рекомендуемое значение $\beta = 3,2$ соответствует нормам для объектов атомной энергетики [9] и наиболее близко к реальному значению.

8.8 Построение локального спектра

Локальный спектр должен соответствовать характеристикам очага ожидаемого землетрясения и грунтовым условиям площадки.

Значение β откладывается вдоль оси уровня на ожидаемом преобладающем периоде T_0.

Максимум *PGA* с заданным уровнем доверия попадет в интервал $T_0 \pm n\sigma$, где n – число стандартных отклонений, а σ – стандартное отклонение (например, T_0 с вероятностью 67 % попадает в интервал $\lg T_0 \pm 0,2$, если используются среднемировые зависимости, и интервал $\lg T_0 \pm 0,12$, если используются записи местных землетрясений).

От концов этого интервала задаются склоны спектра, которые определяются величиной $S + n\sigma$, где n – число стандартных отклонений, определяющее ширину доверительного интервала.

На локальный спектр следует наложить резонансную характеристику грунтов, оцениваемую по результатам СМР ([5], [6]) в случае проведения таких работ на исследуемой территории.

8.9 Построение синтетической акселерограммы

По полученному локальному спектру и ожидаемой продолжительности колебаний с помощью компьютерной программы строят синтетическую акселерограмму.

Для верификации синтетической акселерограммы используют следующие критерии качества:

1) пиковые ускорения соответствуют ускорению на нулевом периоде колебаний;

2) корреляция компонент не должна превышать значения $k = 0,3$;

3) спектр синтетической акселерограммы не должен отклоняться от целевого (локального) спектра более чем на 10 %.

В НАБОР

Библиография

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

[2] Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»

[3] Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»

[4] Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 624 «Об утверждении перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства»

[5] РСН 60–86 Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ

[6] РСН 65–87 Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ

[7] СТО Газпром 2-2.1-249–2008 Магистральные газопроводы

[8] РД-91.020.00-КТН-042–12 Инженерные изыскания для строительства магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов

[9] РБ-019–01 Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных

gost.e-ecolog.ru

В НАБОР