|  |
| --- |
| **МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО****ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ** |
| **С В О Д П Р А В И Л СП ХХХ.1325800.2016** |

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ**

**Вторая редакция**

**СП ХХХ.1325800.2016**

**Издание официальное**

**Москва**

**2016**

**Предисловие**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки – постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил».

**Сведения о своде правил**

1 РАЗРАБОТАН Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики

4 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от………2016 г. № и введен в действие с 2016 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Новое СП ХХХ.1325800.2016 «Инженерные изыскания для строительства в сейсмоопасных районах»

*Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». 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 нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

**Содержание**

[1.Область применения 1](#_Toc446421745)

[2.Нормативные ссылки 1](#_Toc446421746)

[3. Термины и определения 2](#_Toc446421747)

[4. Общие положения 6](#_Toc446421748)

5. Состав, стадийность и сроки выполнения работ по ДСР………………………………..7

6. Сейсмотектонические исследования……………………………………………………...7

6.1. Изучение активных разломов и оценка их параметров……………………………..……………8

6.2. Разработка сейсмотектонической модели…………………………………………….10

[7. Сейсмологические исследования 13](#_Toc446421749)

[7.1 Разработка сводного каталога землетрясений 13](#_Toc446421750)

[7.2. Локальные сейсмологические наблюдения 1](#_Toc446421751)4

[7.3 Оценка параметров сейсмического режима 1](#_Toc446421752)6

[8. Расчет прогнозных сейсмических воздействий 17](#_Toc446421754)

# [8.1 Расчет параметров исходных сейсмических воздействий в баллах макросейсмической шкалы (методом расчета сейсмической сотрясаемости)………….17](#_Toc446421755)

[8.2 Уровень ускорений грунта 18](#_Toc446421757)

[8.3 Преобладающий период колебаний 19](#_Toc446421758)

[8.4 Продолжительность колебаний (ширина импульса) 19](#_Toc446421759)

[8.5 Частотный состав. Форма спектра реакции 19](#_Toc446421760)

[8.6 Коэффициент динамического усиления 20](#_Toc446421761)

[8.7 Резонансное усиление грунтов 20](#_Toc446421762)

[8.8 Построение локального спектра 21](#_Toc446421763)

[8.9 Построение синтетической акселерограммы 21](#_Toc446421764)

[9. Построение карт ДСР для площадных объектов 21](#_Toc446421765)

[10. Проведение сейсмического микрорайонирования на площадных объектах 22](#_Toc446421766)

[10.1. Инженерно-геологические исследования 23](#_Toc446421767)

[10.2. Инструментальные геофизические исследования 2](#_Toc446421768)4

[10.3. Расчеты параметров сейсмических воздействий с учетом грунтовых условий 2](#_Toc446421769)4

**Введение**

В своде правил установлены требования в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», учтены требования международных и европейских нормативных документов, применены единые методы определения эксплуатационных характеристик и методов оценки.

Нормативными документами предусмотрено проведение специализированных сейсмологических и сейсмотектонических исследований [СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах», Приказ Минрегиона России от 30 декабря 2009 г. № 624], материалы этих работ могут использоваться для уточнения сейсмичности района строительства объектов повышенной ответственности.

Настоящий свод правил разработан на основе второй редакции СП «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования» и второй редакции СП «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования» разработанных в 2016 г. Федеральным государственным учреждением науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук в рамках договора с АО «ЦНИИПромзданий» для Министерства строительства и коммунального хозяйства Российской Федерации.

Вплоть до настоящего времени проведение работ по детальному сейсмическому районированию (ДСР) и сейсмическому микрорайонированию (СМР) площадных объектов никакими нормативными документами не регламентировалось. Настоящий свод правил представляет собой новый документ, официально утвержденных аналогов которому ранее не существовало.

Разработка выполнена авторским коллективом Федерального государственного бюджетного научного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН): докт. геол.-мин. наук, руководитель проекта *Е.А. Рогожин,* докт. физ.-мат. наук *А.С. Алешин*, докт. физ.-мат. наук *Ф.Ф Аптикаев,* канд. физ.-мат. наук *А.И Лутиков,* канд. геол.-мин. наук *А.Н. Овсюченко*, канд. физ.-мат. наук *О.О. Эртелева.*

**СВОД ПРАВИЛ**

|  |
| --- |
| ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХENGINEERING SURVEYS FOR CONSTRUCTION IN EARTHQUAKE-PRONE AREAS |

**Дата введения 2016–ХХ–ХХ**

# 1.Область применения

1.1 Настоящий свод правил распространяется на работы по оценке сейсмической опасности, включающие сейсмотектонические, сейсмологические исследования, детальное сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование и оценку прогнозных сейсмических воздействий для площадных объектов (типа территорий городов и субъектов Федерации – краев, областей, республик) с целью предоставления проектным организациям всей необходимой информации для учета при проектировании ожидаемых параметров сейсмического движения грунта, в том числе смещений по активным разломам.

1.2 Настоящий свод правил не распространяется на детальное сейсмическое районирование и сейсмическое микрорайонирование под проектирование вновь строящихся, реконструируемых и технически перевооружаемых объектов атомной энергетики, крупных гидросооружений, транспортных сооружений, крупных линейных объектов, а также точечных (сосредоточенных) ответственных строительных объектов. Для этих объектов существуют собственные нормативные своды правил.

# 2.Нормативные ссылки

В настоящем своде правил приведены ссылки на следующие нормативные документы:

Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ

РБ-019-01 Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов на основании геодинамических данных. М.: Госатомнадзор России, 2001.

РД-91.020.00-КТН-042-12. Инженерные изыскания для строительства магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. М.: ОАО «АК «Транснефть», 2012.

РСН-60-86. Республиканские строительные нормы. М.: Росстройиздат, 1986.

Сейсмическая сотрясаемость территории СССР. / Отв. ред. Ю.В. Ризниченко. М.: Наука, 1979. 190 с.

СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. АктуализированнаяредакцияСНиП II-7-81\*, 2015.

СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: 2013.

СТО Газпром 2-2.1-249-2008. Магистральные газопроводы. М.: ОАО «Газпром», 2008.

СП XXX.13330.2016 «Объекты строительные ответственные. Правила детального сейсмического районирования». Вторая редакция, 2016

СП XXX.13330.2016 «Объекты строительные ответственные. Правила сейсмического микрорайонирования». Вторая редакция, 2016

Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

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

Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности сооружений»

BS EN 1998-1:2004. English version. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standartization. This British Standard was published under the authority of the Standards Policy and Strategy Committee on 8 April 2005. 233 p

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

# 3. Термины и определения

В настоящем документе приняты следующие термины и определения:

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

**3.4 активная зона сооружения:** слой грунта мощностью, ниже которой дополнительное давление от сооружения не превышает 20% природного литостатического давления

**3.5 активный разлом:** Геологический разлом, смещающий позднеплейстоцен-голоценовые отложения и формы рельефа возрастом в первые десятки тысяч лет и моложе.

**3.6 вероятность превышения (*Pt*):** рассчитывается из представления, что поток землетрясений в области средних и более периодов повторения удовлетворяет распределению Пуассона, откуда следует, что превышение расчетной балльности за t лет (в нашем случае t = 50 лет) может быть определено по формуле:

,

где *T*– средний период повторения сейсмической интенсивности *I*.

**3.7 виброразжижение:** потеря несущей способности водонасыщенных дисперсных грунтов при сильных динамических воздействиях.

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

**3.9 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 фиксации (Trepr), так что



Параметр *N / Trepr*- это среднее число событий за год в соответствующем интервале магнитуд. График повторяемости оценивает средний период повторения землетрясений с данной магнитудой на территории ДСР.

**3.10 грунтовые коэффициенты:** коэффициенты, учитывающие увеличение амплитуды сейсмических воздействий.

**3.11 грунтовые категории**: – категории грунтов по сейсмическим свойствам.

**3.12 детальное сейсмическое районирование (ДСР):** Метод сейсмического районирования, служит 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 и крупнее.

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

**3.14 зона ВОЗ:** Зона возможных очагов землетрясений.

**3.15 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.

**3.16 интенсивность сейсмических воздействий:** величина сейсмических воздействий либо в макросейсмических баллах, либо в амплитудах ускорений.

**3.17 инструментальные характеристики сейсмических воздействий:** амплитуды ускорений, скоростей смещений, смещений, периодов и длительностей сейсмических воздействий.

**3.18 исходная сейсмичность:** Сейсмичность района или площадки, определяемая для нормативных периодов повторяемости и средних грунтовых условий с помощью ОСР или ДСР.

**3.19 логарифмическая ширина спектра:** Величина, характеризующая частотный состав спектра и измеряемая на уровне 0.5 от максимума между частотами, на которых в первый и последний раз уровень спектра достиг половины его максимального значения. Логарифмическую ширину спектров следует измерять в октавах, а не в герцах, т.е. в безразмерных единицах.

**3.20 матрица сейсмической активности A3.3:** аналог сейсмической активности A10, которая вместе с матрицей Mmax используется для расчета сейсмической сотрясаемости. В ней (магнитуда MS=3.3 соответствует землетрясениям с энергетическим классом К = 10, тем самым сохраняется преемственность в оценках величины сейсмической активности к исследованиям прошлых лет и обеспечивается сопоставимость полученных результатов) значения сейсмической активности отнесены к центрам узлов координатной сетки.

**3.21 нелинейные свойства грунтов:** нелинейная зависимость напряжений и деформаций грунтов.

**3.22 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 500000–1:8 000 000.

**3.23 опасные геологические процессы**: геологические процессы, активизирующиеся при сейсмических воздействиях.

**3.24 палеосейсмодислокации:** Следы на поверхности земли, оставленные палеоземлетрясениями. По отношению к очагу землетрясения палеосейсмодислокации разделяются на две большие группы – первичные и вторичные. К первичным относятся **сейсмотектонические разрывы**. К вторичным, представляющим собой результат сейсмических колебаний, относятся сейсмогенные оползни, обвалы, осыпи, каменные лавины, гравитационные и вибрационные трещины, выбросы разжиженных грунтов и проседания земной поверхности.

**3.25 период представительной фиксации землетрясений:** Под периодом представительной фиксации землетрясений (Trepr) 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 производится 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.

**3.26 приращение сейсмической интенсивности:** – добавка к значению сейсмической интенсивности, в зависимости от локальных геологических условий.

**3.27 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 вид:

.

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

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

**3.30 сейсмическая жесткость:** – произведение скорости поперечной волны в грунте на плотность.

**3.31** **сейсмическая сотрясаемость** (*BI*): средняя частота повторения сейсмических воздействий балльности *I* в данной точке.

**3.32 сейсмическое микрорайонирование (СМР):** Метод сейсмического районирования, оценивающий влияние локальных (сейсмотектонических, грунтовых, гидрогеологических, геоморфологических) особенностей геологического строения площадок. Масштаб карт СМР для площадных объектов − 1:50000.

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

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

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

**3.36 сейсмическое районирование (СР):**Картирование ожидаемых сейсмических воздействий, основанное на выявлении зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и 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.

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

Примечание – Сейсмичность устанавливается в соответствии с картами сейсмического районирования и сейсмомикрорайонирования площадки строительства и измеряется в баллах по действующей макросейсмической шкале.

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

**3.39 сейсмогенерирующий разлом:** Тектонический разлом, с которым связаны возможные очаги землетрясений за период не более 10000 лет.

**3.40 сильные сейсмические воздействия:** сейсмические воздействия, при которых изменяются свойства грунта, обычно более 6 баллов.

**3.41 спектральные характеристики грунтовой толщи:** спектры Фурье, спектры реакции и коэффициенты динамичности грунтового массива.

**3.42 средние грунтовые условия:** параметры грунта, к которым отнесены значения сейсмичности на картах ОСР или ДСР.

**3.43 средний период повторения сейсмического эффекта с балльностью *I – TI:***величина, обратная сейсмической сотрясаемости, т.е.



# 4. Общие положения

Свод правил «Инженерные изыскания для строительства в сейсмоопасных районах» предназначается для описания методов детального сейсмического районирования (ДСР) площадных объектов – городов, республик, краев, областей Российской Федерации, а также объектов, к которым применимы в данном контексте работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР).

ДСР в стадийности исследований по оценке сейсмической опасности занимает промежуточное положение между Общим сейсмическим районированием (ОСР) и СМР. Несмотря на промежуточное положение между ОСР и СМР в общей стадийности исследований, в научно-методическом отношении ДСР не представляет собой промежуточной ступени, а является самостоятельным видом работ.

При оценке сейсмической опасности для ответственных объектов необходимо учитывать все зоны ВОЗ, задающие уровень сейсмических воздействий в районе конкретной площадки. Магнитудный уровень выделяемых зон ВОЗ зависит от региональных сейсмотектонических условий. Выделение зон ВОЗ базируется на использовании результатов полевых работ. ДСР проводится 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.

До сегодняшнего дня нет утвержденного базового научно-методического руководства по ДСР. Ранее на основании опыта работ по оценке сейсмической опасности в детальном масштабе была дана формулировка ДСР как определения совокупности ожидаемых сейсмических воздействий на территории проектирования и строительства важнейших народнохозяйственных объектов. В нормах производства работ по СМР (РСН-60-86) интенсивность сейсмического воздействия в баллах, принимаемая за исходную величину при составлении карты сейсмического микрорайонирования, определяется по картам детального сейсмического районирования (ДСР) масштаба 1:500 000 -1:200 000, а в случае их отсутствия – по карте общего сейсмического районирования.

В приказе Министерства регионального развития РФ № 624 от 30 декабря 2009 г. "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" сейсмотектонические и сейсмологические исследования выделены в отдельный вид работ в составе инженерно-геологических изысканий.

Согласно СП 14.13330.2014, при определении возможных сейсмических воздействий для конкретных существующих и проектируемых сооружений, предусмотрено проведение детального сейсмического районирования (ДСР) в масштабе 1 : 500 000 и крупнее. Для уточнения сейсмичности района строительства объектов повышенной ответственности проводятся специализированные сейсмотектонические и сейсмологические исследования.

Существующие отраслевые нормативы, в которых затрагивается тема оценки сейсмической опасности (СТО Газпром 2-2.1-249-2008, РД-91.020.00-КТН-042-12, СП 47.13330.2012), за исключением атомных норм (РБ-019-01), содержат в основном перечень итоговых материалов, необходимых для проектирования и не раскрывают научно-методического содержания работ.

**5. Состав, стадийность и сроки выполнения работ по ДСР**

В общем составе планировочных, проектных и инженерно-геологических работ ДСР начинается на первых стадиях, включая выбор места для проектируемого объекта, обоснование инвестиций, разработку проекта, но завершается не менее чем через два месяца после получения результатов геодезических, инженерно-геологических, сейсмологических и геофизических изысканий. При оценке сейсмической опасности необходимо использование результатов всех инженерно-геологических, геофизических и геодезических работ, проведенных применительно к проектируемому объекту. Сюда входят топографические планы с окончательной точной привязкой проектируемых объектов, результаты дистанционного зондирования (аэро-, космосъемки, лазерного сканирования и др.), инженерно-геологические и геофизические разрезы, несущие сведения о структурно-тектонических и сейсмогеологических особенностях района, и т.д.

ДСР проводится в три этапа:

1 этап – сбор и обобщение исходного материала;

2 этап – дистанционные и полевые исследования;

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

ДСР включает три основных вида работ:

1) сейсмотектонические исследования;

2) сейсмологические исследования;

3) расчет сейсмических воздействий.

Полевые сейсмотектонические исследования могут проводиться только в определенные сезоны (весна - лето - осень).

Сейсмотектонические и сейсмологические исследования проводятся параллельно, взаимно дополняя друг друга. По результатам этих исследований выполняются расчеты прогнозных сейсмических воздействий.

Результаты ДСР используются в качестве исходных при проведении сейсмического микрорайонирования, т.е. оценки сейсмической опасности с учетом грунтовых условий.

**6. Сейсмотектонические исследования**

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 многих метров, что представляет очевидную опасность для любых инженерных сооружений.

В задачи сейсмотектонических исследований входит:

- выявление активных разломов с оценкой параметров прогнозных смещений;

- разработка сейсмотектонической модели и построение карты зон ВОЗ, опасных для площадных объектов изучения.

Указанные задачи определяют два основных направления сейсмотектонических исследований и тесно взаимосвязаны между собой. Определение параметров прогнозных смещений по активным разломам необходимо для прогноза возможных разрушений строительных объектов. Материалы полевого изучения активных разломов и вторичных палеосейсмодислокаций, наряду с другими сейсмотектоническими и сейсмологическими данными, ложатся в основу карты зон ВОЗ.

В качестве первого шага в сейсмотектонических исследованиях принимается сейсмотектоническая основа ОСР. В результате сейсмотектонических исследований модель зон ВОЗ, принятая в ОСР, уточняется и детализируется с учетом конкретных сейсмогеологических условий того или иного 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 первом этапе проводится 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). Иными словами, создается и анализируется региональная сейсмотектоническая база данных. Она включает 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.

Второй этап подразумевает проведение полевых сейсмотектонических исследований.

Третий этап включает обобщение всех собранных материалов, разработку сейсмотектонической модели и составление карты зон ВОЗ,

**6.1. 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 молодых отложениях выявить активный разлом, закартировать зону связанных с ним деформаций и определить тип, амплитуду и среднюю скорость смещений.

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 др. карт) в единую систему координат, с дальнейшим их всесторонним сопоставительным анализом.

Предварительное выявление молодых тектонических деформаций производится при сопоставительном анализе различных данных ДЗЗ между собой и с другими картографическими материалами геолого-геофизического содержания с построением трехмерных геолого-геоморфологических моделей. Наиболее информативными в этих целях являются материалы лазерного сканирования. Цель работ заключается в выявлении и точной привязке к картам в детальном масштабе (1:10 000 – 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 площадные объекты изучения, дешифрирование проводится на площади, составляющей не менее 20 км в каждую сторону от границ объекта.

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

1. рекогносцировка, маршрутное 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.

Маршрутное картирование выполнятся с целью заверки и прослеживания по простиранию молодых тектонических деформаций выявленных по дистанционным данным, оценки возраста и генетической принадлежности смещенных по разлому отложений и форм рельефа, величины 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 позволяют получить геофизические исследования (сейсморазведка, электроразведка, георадарное зондирование). Они же дают возможность оценить поведение на глубине и общую ширину зоны разлома.

Горные выработки проходятся с целью исследования проявлений разломных зон в молодых отложениях. Этот 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 выбираются преимущественно по структурно-геоморфологическим соображениям. В этом отношении наиболее предпочтительными для заложения канав, шурфов и расчисток являются поверхности аккумуляции рыхлых позднеплейстоцен-голоценовых отложений, маркирующих собой опорные уровни, используемые для возрастной привязки деформаций. Размеры горных выработок определяются конкретной геолого-геоморфологическойситуацией. Документация канав выполняется с целью выявления следов подвижек по разлому, оценки их кинематики (направления смещения), величины отдельных компонент подвижек, определения пространственных характеристик разлома (азимуты падения и простирания), т.е. данных, необходимые 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 (подвижек), выявление и характеристику деформации этих фрагментов и определение их возраста методами абсолютного датирования.

При наличии активные разломов, результаты полевых сейсмотектонических исследований должны дать их количественные характеристики:

1. местоположение в масштабе 1:2000 – 10 000, ширина зоны разлома;
2. кинематический тип разлома (направление смещений);
3. ориентировка и падение сместителя;
4. средняя скорость смещений по разлому на последнем этапе геологического развития региона;
5. характер смещений (сейсмотектонический, криповый);
6. амплитуда прогнозных сейсмотектонических подвижек в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

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 проводится на площади, охватывающей все источники сейсмических воздействий, оказывающие влияние на проектируемые объекты.

**6.2. Разработка сейсмотектонической модели**

Результаты полевых исследований используются при этом не только для установления мест пересечения активных разломов с проектируемыми объектами, но и для построения сейсмотектонической модели и карты зон ВОЗ.

Основными элементами сейсмотектонической модели являются активные геологические структуры: активные разломы, складки, флексуры, блоки и их различные сочетания. Основное 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 результате специальных полевых исследований а также по фондовым и литературным материалам. Детальность и площадь картирования зон ВОЗ при ДCР определяются охватом наиболее опасных структур в масштабе 1:200 000 – 500 000. Зоны ВОЗ характеризуются параметрами, необходимыми для расчета сейсмических воздействий: максимальной магнитудой ожидаемых землетрясений (Мmax), глубиной их гипоцентров, кинематикой сейсмотектонических смещений в очаге.

Важнейшей составляющей карты зон ВОЗ являются прогнозные магнитуды землетрясений. Оценка максимально возможных магнитуд ожидаемых землетрясений (Мmax) производится по комплексу геолого-геофизических, сейсмологических и сейсмотектонических данных. Наиболее надежным является комплексный подход, с использованием взаимно дополняющих методов: традиционного; формализованного и палеосейсмологического.

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

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

Оценка Мmax по комплексу палеосейсмологических данных основывается на корреляционных связях между магнитудой землетрясения, протяженностью разрыва и величиной подвижки по нему. Уравнения, в общем, имеют вид:

M = a + blgL и M = c + dlgD, где

L – длина сейсморазрыва (километры), D – величина одноактного смещения (метры). Коэффициенты a, b, c и d существенно варьируют в разных регионах и для Земли в целом, и по данным разных авторов. В связи с этим необходим подбор наиболее представительных региональных коэффициентов. Эти соотношения позволяют оценить магнитуду зоны ВОЗ по конкретным деформациям молодых отложений, параметры которых получаются в результате проведения полевых сейсмотектонических исследований. Эти же соотношения, наряду с данными о глубинном строении, используются для оценки ширины зон ВОЗ. В случае отсутствия ярко выраженных активных разломов на поверхности, силу древних землетрясений можно восстановить по параметрам вторичных палеосейсмодислокаций. К таковым, в первую очередь, относятся размеры области, охваченной одновозрастными палеосейсмодислокациями.

Конечным итогом сейсмотектонических исследований является:

1. разработка сейсмотектонической модели региона;
2. построение карты зон ВОЗ масштаба 1:200 000 – 500 000;
3. выделение активных разломов, оценка их параметров и точная привязка относительно проектируемых объектов в масштабе 1:2000 – 10 000.

Сейсмотектонические исследования позволяют проводить детальную локализацию сейсмической опасности. В ряде случаев это приводит к существенному сокращению участков с высокой (8-9 баллов) сейсмической опасностью по сравнению с ОСР и, соответственно удешевляет строительство. В других случаях могут быть найдены новые, ранее неизвестные источники сейсмических воздействий. Тогда уровень сейсмической опасности может быть повышен на локальных участках по сравнению с данными ОСР.

# 7. Сейсмологические исследования

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.

Каталог должен включать в себя данные об исторических землетрясениях, землетрясениях, инструментально зарегистрированных глобальными или региональными сетями, а также данные локальной сети наблюдений. Одним из основных требований здесь является полнота каталога и однородность представления данных.

Конечной целью сейсмологических исследованийпри ДСР является оценка средних периодов повторения землетрясений различных магнитуд вплоть до Mmax на территории исследований, а также определение мощности и глубины залегания сейсмоактивного слоя. Решение этих задач осуществляется путем изучения сейсмического режима на территории ДСР.

Область сейсмологических исследований определяется из условия, чтобы объект или территория, подлежащие оценке сейсмической опасности, располагались внутри нее на расстоянии не менее 200 км от ее границ.

Основным источником для изучения сейсмического режима являются каталоги землетрясений.

# 7.1 Разработка сводного каталога землетрясений

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

Сводный каталог компилируется из всех доступных сейсмологических источников, включающих общие, специализированные и региональные каталоги землетрясенийи, в случае необходимости, может дополняться 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, с целью 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 из 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 выбирать 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.

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 MS, все события в сводном каталоге унифицируются по этой магнитуде (MS). Для унификации сводного каталога по единой магнитуде(MS) используются уже имеющиеся или специально получаемые региональные корреляционные соотношения между различными типами магнитуд или энергетических классов и магнитудой MS.

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.

# 7.2 Локальные сейсмологические наблюдения

Для обеспечения исходными сейсмологическими данными организуется 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;

3) сейсмодатчики должны обеспечивать, в первую очередь, регистрацию близких землетрясений, то есть использование длиннопериодных приборов не является обязательным (допускается применение короткопериодных датчиков).

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

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

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

Выбор мест размещения сейсмических станций должен обеспечить хорошее окружение объекта станциями; в месте установки станций проводится изучение грунтовых условий инженерно-геологическими и геофизическими методами.

Окончательный выбор мест размещения сейсмостанций предваряется выполнением измерений сейсмического шума (микросейсм). Поэтому выбирается больше мест для возможного размещения станций, чем реально их будет установлено. Для каждого потенциального места проводится регистрация в течение 1-3 суток и рассчитывается плотность спектральной мощности сейсмического шума.

Все данные регулярно переносятся 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 с целью их скорейшего устранения.

В центре обработки и анализа выполняется обработка поступающей с отдельных станций информации. Рекомендуется выполнять сводную обработку данных, то есть одновременно для всех 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 с целью получения каталога землетрясений являются времена вступления фаз P- иS-волн, общая продолжительность записи и максимальные амплитуды в группах этих волн. Следует уделять особое внимание точности и достоверности оценки глубин зарегистрированных сейсмических событий.

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

Составленный каталог зарегистрированных событий должен сопровождаться основными параметрами, характеризующими 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 могут не проводиться в тех случаях, когда в окрестностях ответственного объекта уже имеется сеть сейсмических станций, удовлетворяющая следующим требованиям:

а) число станций в сети должно быть не менее 5 – 7 и они должны быть распределены таким образом, чтобы обеспечивать уверенную регистрацию сейсмических событий с М > 2.0;

б) сеть должна функционировать не менее 2-3 лет, и ее данные должны быть доступны для ДСР.

# 7.3 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 должна быть определена максимальная возможная магнитуда Мmax и ошибка ее определения.

На первом этапе изучения сейсмического режима строятся карты эпицентров сильных и умеренных (MS≥ 4.3) или (MS≥ 3.8) и слабых (MS≤ 4.2) или
(MS≤ 3.7) землетрясений. Граница между сильными и умеренными и слабыми землетрясениями 4.3 или 3.8 определяется соотношением между первыми и последними на территории исследований.

Количественная оценкапараметров сейсмического режима предваряется 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 формируется Представительный каталог землетрясений, включающий только представительные сейсмические события. Представительный каталог землетрясений используется при построении графика повторяемости и матрицы сейсмической активности.

Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд на рассматриваемой территории строится матрица сейсмической активности A3.3.Расчеты ведутся для ячеек размером 10' (0.167°) по широте и 15' (0.25°) по долготе. Cейсмическая активность определяется по формуле:

 , где

где *b*– наклон графика повторяемости; *Mmin*– наименьшая представительная магнитуда (уровень представительности);*M0* = 3.33 – магнитуда землетрясений, которой соответствует рассчитываемая активность *A0*; *S*– площадь площадки осреднения; *Т*– период представительного наблюдения землетрясений; *S0*– принятая в соответствии с *A0*единица нормирования по площади (в данном случае *S0* = 1000 км2),*Т0*– единица времени (1 год); *Ns*–общее число землетрясений различных магнитуд M>Mmin, наблюденных за время T на площади S.

Распределение гипоцентров землетрясений по глубинам строятся раздельно для сильных и умеренных (MS≥ 4.3 (3.8)) и слабых (MS≤ 4.2 (3.7)). Рекомендуемый шаг распределения по глубине Δh = 5 км.

# 8. Расчетпрогнозных 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, сброси их комбинации);

г) кратчайшее расстояние до поверхности разлома.

Категория грунта и его резонансные свойства определяются по результатам СМР.

Расчет сейсмических воздействий основывается на окончательной модели зон ВОЗ, в которой согласуются 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 должны включаться все альтернативные модели.

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

При расчетах вероятностным методом следует указать для какой вероятности превышения рассчитаны воздействия. 1%, 5% и 10% за 50 лет

Сейсмические воздействия выражаются как в терминах интенсивности сотрясений в баллах макросейсмической шкалы, так и в количественных параметрах сейсмических воздействий.

Обязательными параметрами при расчетах сейсмических воздействий являются пиковые ускорения, преобладающий период колебаний, продолжительность колебаний, локальный спектр реакции и соответствующие ему акселерограммы.

Допускается определять и дополнительные параметры воздействий – пиковую скорость, преобладающий период скорости, продолжительность колебаний в скоростях, пиковое смещение, преобладающий период смещения, продолжительность колебаний в смещениях, остаточные смещения.

# 8.1 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, то есть исходной балльности и ее повторяемости, служат:

1) матрица Mmax, являющаяся формализованным цифровым аналогом схемы зон ВОЗ;

2) матрица сейсмической активности A3.3 , которая позволяет для каждой зоны ВОЗопределитьприсущуюейповторяемость землетрясений различных магнитуд M<Mmax;

3) наклон графика повторяемости b, определяющий вместе с сейсмической активностью 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 балльностью,магнитудой землетрясения, эпицентральным расстоянием и глубиной очага.

При расчетах сейсмической сотрясаемости используетсяуравнение макросейсмического поля в форме Блейка-Шебалина:

,

где *R* – расстояние между гипоцентром землетрясения и точкой наблюдения, то есть . Здесь *Δ* и *h*– соответственно эпицентральное расстояние и глубина очага в километрах.

Расчет сейсмической сотрясаемости в данной точке (ячейке матрицы сотрясаемости) осуществляется путем численного интегрирования сейсмических воздействий в этой точке от всех сейсмических источников (ячейки матрицы Mmax) на рассматриваемой территории с учетом средней частоты повторения в них землетрясений различных магнитуд (ячейки матрицы сейсмической активности) от низшей представительной вплоть до Mmax. При этом средняя частота повторения землетрясений с магнитудами M ≤ Mmax определяется в каждой ячейке матрицы Mmax по величине сейсмической активности A3.3в этой ячейке и наклону графика повторяемости. При этом в каждой зоне ВОЗ принимается единое значение A3.3, равное максимальному наблюденному значению A3.3 в этой зоне.

# 8.2 Уровень ускорений грунта

Пиковое ускорение грунта (PGA) зависит от расстояния между очагом землетрясения и точкой наблюдения. Выделяются три зоны с различным затуханием: очаговая, ближняя и дальняя.

Граница между очаговой и ближней зонами находится на расстоянии

lgRо-б= 0.33МS – 1.51.

Для целей ДСР допускается считать значения ускорений в очаговой зоне (PGA0) не зависящими от расстояния, но зависящими от типа подвижки в очаге: PGA0 = 10 м/с2 для поддвигов; 8.7 м/с2 для взбросов (надвигов); 7.6 м/с2 для взбросо-сдвигов; 6.6 м/с2 для сдвигов; 5.8 м/с2 для сбросо-сдвигов и 5 м/с2 для сбросов.В этой зоне амплитуды не зависят от категории грунта.

В ближней зоне величина PGA вычисляется по уравнению:

lgPGA(м/с2) = 0.209 MS – 0.633 lgR – 0.156,

где R – кратчайшее расстояние до поверхности разлома в км. Значения ускорений не должны превышать PGA0. В ближней зоне ускорения не зависят ни от типа подвижки, ни от категории грунта.

Граница между ближней и дальней зонами находится на расстоянии

lgRб-д= 0.33МS – 0.61.

Значение PGA на этой границе равно 1.7 м/с2 при любых условиях. Величина ускорения в дальней зоне вычисляется по формуле:

lg PGA = 0.634 MS -1.92 lg R – 0.94 + C,

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 категории.

Следует принимать во внимание, что при *I*> 7,5, где *I* – интенсивность 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 считаются одинаковыми по уровню, равными более интенсивной. Это намного повышает точность расчетов, поскольку воздействия становятся независимыми от ориентации компонент в пространстве.

Cоотношение между вертикальной и горизонтальной компонентами следует принимиать 0.6, 0.7 и 0.9 для интенсивностей 7, 8 и 9 баллов соответственно.

# 8.3 Преобладающий период колебаний

Преобладающий период (T) ускорений следует определять по формуле:

lgT = 0.15 MS + 0.25 lgRгип + C1 – 1.9± 0.20,

где *Rгип* – гипоцентральное расстояние, причем в ближней зоне и очаговой зонах величина*Т* не зависит от расстояния; *C*1 = -0.20 для поддвигов, -0.10 для взбросов, 0.00 для сдвигов и 0.10 для сбросов. При *Rгип*<*R*б-д для расчетов используется величина *R*б-д. Преобладающий период *Т*не зависит от типа грунта.

# 8.4 Продолжительность колебаний (ширина импульса)

Продолжительность колебаний τ в дальней зонеследует определять по формуле:

lgτ = 0.15 MS + 0.5 lgR + C1 + C2 – 1.3,

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; *C*2 равняется –0.15 для грунтов 1-й категории, 0.00 для грунтов 2-й категории и 0.4 для грунтов 3-й категории. Общая продолжительность записи примерно в 5 раз превышает ширину импульса.

В очаговой и ближней зонах продолжительность колебаний τ постоянна и равна значению на границе между ближней и дальней зонами, т.е. при R = Rб-д. Ширина импульса *τ* служит параметром семейства огибающих.

Сейсмическую интенсивность I с учетом продолжительности τ следует определять по формуле:

*I* = 2.5 lgPGA + 1.25 lgτ + 1.05

# 8.5 Частотный состав. Форма спектра реакции

Средняя форма спектра, нормированная по уровню и преобладающему периоду (рис. 1), как величина безразмерная, 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 двойном логарифмическом масштабе. Региональные различия в форме спектра ответа отсутствуют.

При значении периодов Т = 2.7×Т0, на длиннопериодном склоне спектра наблюдается излом, соответствующий среднему значению преобладающего периода скорости колебаний. Для 5% затухания уровни спектральных составляющих пропорциональны f±1, а логарифмическая ширина спектра равна S = 0.60 ± 0.20.



Рис. 1 – Схема параметризации спектра реакции. S1 – высокочастотная часть спектра; S2 – низкочастотная часть спектра; S = S1 + S2 – логарифмическая ширина спектра; f0 – преобладающая частота колебаний; PGA – пиковое ускорение грунта; PSA – спектральная амплитуда; β – коэффициент динамического усиления.

Для перехода от средней формы спектра к реальному спектру надо оценить ожидаемый преобладающий период T 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.

В среднем длиннопериодный склон спектра после преобладающего периода скорости колебаний пропорционален . Склоны среднего спектра вполне определяются величиной логарифмической ширины спектра S.

# 8.6 Коэффициент динамического усиления

Среднее значение β на более интенсивной горизонтальной компоненте равно β= 3.6.

# 8.7 Резонансное усиление грунтов

Максимальное резонансное усиление грунта относительно среднего при 5% демпфировании не превышает 1.6 (отклонение от среднего в три “сигмы”). Полосе пропускания (в одну октаву) на уровне 0.7соответствует резонансное усиление около 1.5.

Декремент затухания колебаний, в том числе и сейсмических, при высоком уровне колебаний пропорционален уровню этих колебаний. У крайне низкодобротной среды острых резонансных явлений быть не может.

# 8.8 Построение локального спектра

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

Построение нормированного по амплитуде локального спектра начинается с выбора коэффициента динамического усиления β*.* Если желательно получение синтетической акселерограммы с параметрами, близкими к реальным для демпфирования 5%, то следует принять β = 3.6.

Значение «бета» откладывается вдоль оси уровня на ожидаемом преобладающем периоде T0.

Поскольку оценка преобладающего периода содержит случайную составляющую, следует принять, что максимум PGA с заданным уровнем доверия попадет в интервал T0 ± nσ, где n – количество стандартных отклонений, а σ– стандартное отклонение (например, T0 с вероятностью 67% попадает в интервал lgT0 ± 0.2 если используются среднемировые зависимости и интервал lgT0± 0.12, если используются записи местных землетрясений).

От концов этого интервала задаются склоны спектра, которые определяются величиной
S +nσ.

На локальный спектр следует наложить резонансную характеристику грунтов, оцениваемуюпо результатам СМР (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 строится синтетическаяакселерограмма.

Для верификации синтетической акселерогрпаммы используются 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%.

# 9. Построение карт ДСР для площадных объектов

Состав работ включает установление параметров уравнения макросейсмического поля (в большинстве случаев уже известного по литературным источникам) и на его основе по схемам сейсмической активности и зон ВОЗ с учетом наклона графика повторяемости проведении расчетов повторяемости сейсмических сотрясений различной интенсивности на территории, где оценивается сейсмическая опасность. Итогом этих работ является картирование исходного сейсмического балла в рамках карты сейсмической опасности с вероятностями возможного превышения в течение 50 лет 10%, 5% и 1%.

Первичными материалами для оценки сейсмической сотрясаемости, то есть исходной балльности и ее повторяемости [Сейсмическая сотрясаемость…, 1979] служат:

Матрица Mmax, являющаяся формализованным цифровым аналогом схемы зон ВОЗ.

Матрицы сейсмической активности A3.3 , которая позволяет для каждой зоны ВОЗ определить присущую ей повторяемость землетрясений различных магнитуд M<Mmax.

Наклон графика повторяемости b, определяющий вместе с сейсмической активностью повторяемость землетрясений различных магнитуд.

Данные о средних глубинах очагов землетрясений.

Уравнение макросейсмического поля, дающее корреляционную связь между наблюдаемой макросейсмической балльностью, магнитудой землетрясения, эпицентральным расстоянием и глубиной очага.

При расчетах используется уравнение макросейсмического поля, традиционно применяемое для каждого из изучаемых регионов.

Расчет сейсмической сотрясаемости в данной точке (ячейке матрицы сотрясаемости) осуществляется путем численного интегрирования сейсмических воздействий в этой точке от всех сейсмических источников (ячейки матрицы Mmax) на рассматриваемой территории с учетом средней частоты повторения в них землетрясений различных магнитуд (ячейки матрицы сейсмической активности) от М0 вплоть до Mmax. При этом средняя частота повторения землетрясений с магнитудами M ≤ Mmax определяется в каждой ячейке матрицы Mmax по величине сейсмической активности A3.3 в этой ячейке и наклону графика повторяемости [Сейсмическая сотрясаемость…, 1979].

Расчет и картирование сейсмических воздействий в терминах пиковых ускорений грунта для площадных объектов возможно осуществлять для условий «средних грунтов», без учета локальных грунтовых условий, получаемых при работах СМР.

# 10. Проведение сейсмического микрорайонирования на площадных объектах

Работы СМР являются частью инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий на площадках строительства особо опасных, технически сложных и уникальных объектов.

Сейсмическое микрорайонирование выполняется с целью количественной оценки влияния местных условий (состав и свойства грунтов, особенности рельефа, наличие опасных геологических явлений и др.) на сейсмичность с указанием изменения интенсивности в баллах и/или инструментальных параметров сейсмических колебаний.

Перечень определяемых параметров расчетных сейсмических воздействий - интенсивность в баллах, пиковое ускорение, преобладающий период и продолжительность колебаний, спектр реакции, коэффициент динамичности, акселерограммы, грунтовые коэффициенты и др. - устанавливается с учетом используемых методов расчетов и приводится в задании на проведение изысканий.

Параметры сейсмических колебаний соответствуют распределению сейсмических свойств грунтов на площадке изысканий, полученных в результате комплексных геолого-геофизических работ.

Объекты СМР делятся на площадные (площадь более 5 км2), сосредоточенные (площадь менее 5 км2, характеризуемые одним значением исходной сейсмической интенсивности по карте ОСР), и линейные. В зависимости от типа объекта устанавливается состав и объем работ по СМР.

В результате работ по сейсмическому микрорайонированию для площадных объектов должна составляться карта сейсмического микрорайонирования. Масштаб карты сейсмического микрорайонирования площадных объектов в зависимости от категории сложности инженерно-геологических условий, устанавливаемой нормативными документами для соответствующих видов строительства, и площади сейсмического микрорайонирования принимается по табл.1 настоящих СП

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
|  Категория сложности инженерно-геологических условий | Площадь объекта в кв. км |
| более 100 | от 20 до 100 | от 5 до 20 | менее 5 |
| I | 1:25000 | 1:25000 | 1:10000 | 1:5000 |
| II | 1:25000 | 1:10000 | 1:5000 | 1:5000 |
| III | 1:10000 | 1:10000 | 1:5000 | 1:5000 |

Параметры исходной сейсмичности на площадных объектах определяются по результатам ДСР. При СМР используются модели грунтовой толщи, учитывающие как упругие, так и неупругие свойства грунта при сильных сейсмических воздействиях.

# 10.1. Инженерно-геологические исследования

Инженерно-геологические исследования являются главным элементом комплексных работ на площадке СМР.

Основные задачи, решаемые при инженерно-геологических исследованиях в комплексе работ по СМР на площадках, заключаются: 1) в изучении строения геологического разреза; 2) в определении физико-механических свойств грунтов; 3) в изучении неблагоприятных геологических процессов и явлений; 4) в построении инженерно-геологической модели грунтов.

Основными методами изучения инженерно-геологических свойств грунтового массива являются: 1) бурение скважин на глубину не менее 30 м и 2) лабораторное исследование образцов керна из скважин.

Слоистость грунтовой толщи при инженерно-геологических изысканиях определяется по данными бурения. При лабораторных методах изучения керна определяют физико-механические параметры каждого слоя, в частности плотность грунта и модуль деформации.

При СМР в рамках инженерных изысканий на площадках и вдоль трасс ООО помимо сейсмической опасности учитывается также «геологическая» опасность, т.е. опасность активизации геологических явлений в связи с сейсмическими воздействиями.

К опасным геологическим явлениям относятся:

1) наличие на площадке изысканий тектонических разрывов;

2) карстовые проявления;

3) неустойчивость склонов;

4) разжижение и просадки грунта при сильных сейсмических воздействиях.

5) предпостроечное замачивание просадочных грунтов;

6) мерзлотные процессы в дисперсных грунтах.

Все разнообразие грунтовых условий при наличии опасных геологических процессов разделяется на две категории – худшие и нормальные. К худшим грунтовым условиям следует отнести:

а) площадки с просадочными и свежезамоченными лессовыми грунтами;

б) площадки, сложенные мерзлыми грунтами, с возможным оттаиванием;

в) участки вблизи тектонических нарушений, перекрытых слоем рыхлых осадков незначительной (не более 10 м) мощности;

г) участки, представленные скоростными разрезами, с резким контрастом свойств рыхлого чехла, лежащего на скальном основании и способствующими образованию резонансных явлений;

д) участки на крутых склонах;

е) обводненные участки проявления опасных геологических явлений, поскольку обводнение, как правило, способствует активизации опасных геологических процессов.

Основным результатом инженерно-геологических работ на площадке является *инженерно-геологическая модель грунта* на расчетную глубину, равную 10 или 30 метров.

Картирование опасных геологических процессов требуется осуществлять в окрестности площадного объекта. Конкретное удаление от площадки СМР зависит от физической природы опасных явлений. Если они отмечены в окрестности, то существует вероятность проявления их в будущем непосредственно на площадке.

# 10.2. Инструментальные геофизические исследования

Инструментальные исследования проводятся с целью получения данных о сейсмических свойствах грунтовой толщи. При этом решаются следующие задачи:

* получение сейсмических разрезов грунтовой толщи;
* определение мощности рыхлого чехла;
* сопоставление инженерно-геологических и сейсмических разрезов;
* изучение спектральных характеристик грунтовой толщи.

Комплекс инструментальных исследований включает применение сейсморазведочных, сейсмологических, в том числе микросейсмических, электроразведочных и других геофизических методов.

При СМР площадных объектов важнейшей задачей является *картирование сейсмогрунтовых моделей*, различающихся реакцией грунтовой толщи на сейсмические воздействия, подходящие к ним со стороны упругого (скального) полупространства. Каждый отдельный участок районируемой территории характеризуется набором параметров сейсмических воздействий, определяемых совокупным влиянием, как исходного сейсмического воздействия, так и локальными свойствами грунтовой толщи.

# 10.3. Расчеты параметров сейсмических воздействий с учетом грунтовых условий

Исходные сейсмические воздействия на площадных объектах определяются при работах по детальному сейсмическому районированию (ДСР). Исходное сейсмическое воздействие выражается либо в макросейсмических баллах, либо в инструментальных характеристиках – ускорениях, периодах (частотах) и длительностях. Интенсивность исходных сейсмических воздействий на картах ДСР относится к референтным грунтам с сейсмической жесткостью R = 2000 тм-2с-1.

Расчеты параметров сейсмических воздействий включают в себя учет влияния локальных грунтовых условий на интенсивность и на спектральные характеристики сейсмических воздействий.

При расчете интенсивности возможно использование двух типов моделей связи параметров грунтов с параметрами сейсмических воздействий – 1) аддитивную, основанную на понятиях макросейсмического балла и грунтовых категорий и 2) мультипликативную, с использованием для описания сейсмических воздействий непрерывных физических величин – максимальных ускорений, периодов и длительности сейсмических воздействий.

Для СМР использование макросейсмического балла предполагает локальные, грунтовые и гидрогеологические условия учитывать аддитивной поправкой или приращением к значению исходной сейсмической интенсивности в баллах (или долях балла).

В виду большого объема и сложности перечисленных инженерно-геологических и инструментальных геофизических исследований, необходимых для выполнения СМР, эти работы реально проводить для небольших площадных объектов – площадок строительства, городов, и их частей. Обширные площадные объекты – области, края, республики не могут быть подвержены СМР в силу большой сложности сбора необходимой информации для его качественного выполнения.

УДК [69+699.841] ОКС 91.100.10

Ключевые слова:землетрясение, карты сейсмического районирования, каталог землетрясений, сейсмичность площадки, балл, сейсмическое воздействие, преобладающий период, коэффициент динамического усиления, спектр реакции (ответа), акселерограмма землетрясения, ускорение, уровень ускорения, скорость, смещение, продолжительность, сейсмическая жесткость, грунт

**ИСПОЛНИТЕЛЬ**

|  |
| --- |
| **ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН** |
| **наименование организации** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Руководитель разработки | Директор ИФЗ РАН |  | С.А.Тихоцкий |
| Ответственный исполнитель | Заместитель директора ИФЗ РАН |  | Е.А.Рогожин |
| Исполнители: | Главный научный сотрудник |  | Ф.Ф.Аптикаев |
|  | Ведущий научный сотрудник |  | А.И.Лутиков |
|  | Заведующий лабораторией |  | А.Н.Овсюченко |
|  | Заведующий лабораторией |  | Р.Э.Татевосян |
|  | Ведущий научный сотрудник |  | О.О.Эртелева |

Издание официальное

Свод правил

СП ХХХ . 1325800.2016

Инженерные изыскания для строительства в сейсмоопасных районах

Вторая редакция

СП ХХХ . 1325800.2016

Подготовлено к изданию ФАУ «ФЦС»

Тел. (495) 930-64-69; (495) 930-96-11; (495) 930-09-14

Формат 60×841/8. Тираж 70 экз. Заказ № 1817/12.

*Отпечатано в ООО «Аналитик»*

*г. Москва, Ленинградское ш., д.18*