МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ **СП 269.1325800.2016**

ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ — Общество с ограниченной ответственностью «Проектирование, обследования, испытания строительных конструкций» (ООО «ПОИСК»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

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

4 УТВЕРЖДЕН Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 961/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г.

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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Минстрой России, 2017
© Стандартинформ, 2017

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
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Основные положения 3
5 Уточнение исходной сейсмичности района строительства 5
6 Сейсмическое микрорайонирование 7
Приложение А (справочное) Дробный балл сейсмической опасности как мера интенсивности колебаний грунта при землетрясениях 13
Приложение Б (справочное) Региональные коэффициенты уравнения макросейсмического поля . . 16
Приложение В (справочное) Уточнение исходной сейсмичности участка строительства железной и автомобильной дорог 17
Приложение Г (справочное) Уточнение исходной сейсмичности и сейсмическое микрорайонирование места расположения лавинозащитной галереи 19
Приложение Д (справочное) Определение условного сопротивления грунтов сжатию при сейсмическом микрорайонировании 22
Приложение Е (справочное) Сейсмическое микрорайонирование участка строительства виадука 29
Приложение Ж (справочное) Сейсмическое микрорайонирование участка мостового перехода 31
Приложение И (справочное) Сейсмическое микрорайонирование участка железнодорожного вокзала 34
Приложение К (справочное) Сейсмическое микрорайонирование оползневого склона 35
Приложение Л (справочное) Методика расчета склонов на сейсмоустойчивость 37

Введение

Настоящий свод правил разработан в соответствии с требованиями федеральных законов от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Работа выполнена ООО «ПОИСК» (д-р геол.-мин. наук, проф. *Г.С. Шестоперов*, инж. *С.Г. Шестоперов*). При разработке настоящего свода правил были использованы материалы работ по уточнению исходной сейсмичности и сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных объектов, выполнявшихся ИФЗ РАН (д-р физ.-мат. наук, проф. *В.И. Уломов*, д-р геол.-мин. наук, проф. *Е.А. Рогожин*), центром «Наука» СО РАН (канд. техн. наук *С.А. Перетокин*), ОАО «Фундаментпроект» (инж. *К.А. Костенко*, инж. *А.В. Хилько*), ИЗК СО РАН (д-р геол.-мин. наук *В.И. Джурик*).

СВОД ПРАВИЛ

ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования

Transport structures in seismic zones. Rules for initial seismity detailing and seismic microzoning

Дата введения 2017—06—17

1 Область применения

Настоящий свод правил устанавливает правила проведения работ по уточнению исходной сейсмичности (УИС) и сейсмическому микрорайонированию (СМР) при изысканиях участков нового строительства, реконструкции, капитального ремонта и восстановления транспортных объектов, включая транспортные здания, в сейсмических районах.

Настоящий свод правил не распространяется на УИС и СМР территорий городов и других населенных пунктов, промышленных, энергетических, гидротехнических и сельскохозяйственных сооружений, а также на сооружения высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Примечания

1 Исходная сейсмичность определяется в баллах шкалы MSK-64 по картам общего сейсмического районирования Российской Федерации (приложение А СП 14.13330.2014).

2 Правила настоящего свода правил детализируют основные требования к уточнению исходной сейсмичности и сейсмическому микрорайонированию, изложенные в СП 47.13330.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 25100—2012 Грунты. Классификация

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

СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01—83* Основания зданий и сооружений»

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03—85 Свайные фундаменты»

СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02—85* Автомобильные дороги»

СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03—84* Мосты и трубы»

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

СП 119.13330.2012 «СНиП 32-01—95 Железные дороги колеи 1520 мм»

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 **активный разлом:** Разлом земной коры или всей литосферы, по которому за последние 10 000 лет происходили смещения горных пород или возникали очаги землетрясений.

3.2 **амплитуда разрыва:** Величина относительного смещения в плоскости разрыва двух смежных точек, находящихся на противоположных крыльях разлома.

3.3 **амплитудная характеристика сейсмического воздействия:** Расчетная амплитуда сейсмических ускорений (скоростей, перемещений) грунта, принимаемая при проектировании сооружений.

3.4 **балл шкалы MSK-64:** Мера опасности землетрясения, определяемая по реакции людей и животных, изменениям земной поверхности, показаниям сейсмометрических приборов, тяжести повреждений некоторых типов зданий и сооружений пониженной сейсмостойкости.

3.5 **взброс:** Разрыв со смещением висячего крыла разлома вверх по плоскости разрыва.

3.6 **водно-песчаные потоки:** Потоки донных отложений, образующиеся на подводных склонах при землетрясении. Могут возникать также на береговых склонах рек, озер, водохранилищ, сложенных слабыми водонасыщенными песками.

3.7 **гипоцентр землетрясения:** Начальная точка разрыва горных пород, завершающегося образованием (обновлением) тектонического разлома.

3.8 **зона дробления:** Дезинтегрированный массив горных пород, расположенных между крыльями разлома.

3.9 **исходная (нормативная) сейсмичность:** Опасность землетрясения в целых баллах шкалы MSK-64, определяемая по нормативным картам общего сейсмического районирования в зависимости от требований, предъявляемых к сейсмостойкости сооружений (объектов классов сейсмостойкости I, II и III).

3.10 **категория грунта по сейсмическим свойствам:** Характеристика расчетной толщи грунта, в зависимости от которой устанавливается огибающая нормализованных спектров сейсмического воздействия на сооружение (коэффициент динамичности).

3.11 **класс сейсмостойкости:** Системная (таксонометрическая) единица, позволяющая упорядочить множество сооружений по свойству выдерживать без разрушения землетрясения, повторяющиеся с различной вероятностью в месте расположения объекта.

Примечание — Транспортные сооружения по сейсмостойкости подразделяются на три класса с допустимым при проектировании сейсмическим риском (вероятностью превышения силы расчетного землетрясения за интервал времени 50 лет) 10, 5 и от 2,5 до 1 % для сооружений классов сейсмостойкости III, II и I соответственно. Принятым значениям риска соответствуют сейсмические события, повторяющиеся в среднем с интервалом времени 500, 1000 и от 2000 до 5000 лет. Отнесение сооружений к классам сейсмостойкости выполняется согласно правилам проектирования транспортных сооружений в сейсмических районах.

3.12 **линия (след) разлома:** Линия пересечения земной поверхности плоскостью разрыва.

3.13 **магнитуда:** Мера землетрясения, характеризующая в неявной форме энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн.

3.14 **общее сейсмическое районирование:** Процедура выделения на территории страны методом вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) зон сейсмичностью 6, 7, 8, 9 и 10 баллов по шкале MSK-64.

3.15 **очаг землетрясения:** Область разрыва земной коры, сопровождаемого быстрой подвижкой контактирующих горных пород.

3.16 **разлом:** Разрывное нарушение в земной коре, образовавшееся в процессе тектонических деформаций горных пород.

3.17 **сброс:** Разрыв со смещением висячего крыла разлома вниз по плоскости разрыва.

3.18 **сбросо-сдвиг:** Разрыв, включающий в себя сбросовую и сдвиговую составляющие относительного смещения крыльев разлома.

3.19 **сдвиг:** Разрыв с относительным смещением крыльев разлома в направлении его простирания.

3.20 **сейсмическая жесткость грунта:** Произведение плотности грунта на скорость распространения в слое сейсмических волн.

3.21 **сейсмические волны:** Колебательный процесс распространения быстрых изменений напряженно-деформированного состояния земной коры или всей литосферы из очага землетрясения на сопредельные участки недр и земной поверхности.

3.22 **сейсмическое микрорайонирование;** СМР: Комплекс инженерно-геологических и инженерно-сейсмологических работ, имеющих целью выделение на территории строительного объекта микрозон, существенно различающихся по сейсмической опасности.

3.23 **сейсмичность строительной площадки (участка):** Опасность землетрясения на данном участке, определяемая с учетом класса сейсмостойкости размещаемого на участке объекта, а также коррекции исходной сейсмичности за счет сейсмического режима в пункте строительства, местных инженерно-геологических и геоморфологических условий.

3.24 **сейсмодислокации:** Изменения земной поверхности, возникающие при землетрясениях. Различают сейсмотектонические (разрывы земной поверхности, поднятия, опускания, горизонтальные перемещения участков земной коры), сейсмогравитационные (оползни, обвалы, сели, лавины, водно-песчаные потоки, грифоны) и вибрационные (вертикальные разрывы и остаточные перемещения в грунте, вызванные распространением сейсмических волн). По времени возникновения различают современные (за последние несколько сотен лет), голоценовые (за последние 10 000 лет) и более древние палеосейсмодислокации.

3.25 **спектральная характеристика сейсмического воздействия на сооружение:** Спектр наибольших ускорений осциллятора, соответствующий данному землетрясению, или огибающая спектров наибольших ускорений осциллятора, характеризующая возможное воздействие на сооружение совокупности многих землетрясений. Спектры, построенные для относительных наибольших ускорений осциллятора, измеренных в долях наибольших ускорений колебаний грунта, называются нормализованными.

3.26 **средние по сейсмическим свойствам грунты:** Покровные отложения, сейсмическая жесткость которых (произведение плотности грунта на скорость поперечных сейсмических волн) близка к 655 т/(м^2·с).

3.27 **тектоническое землетрясение:** Колебания грунта, вызванные упругой отдачей горных пород при их разрыве в процессе тектонических деформаций земной коры.

3.28 **уравнение макросейсмического поля:** Математическое выражение, позволяющее приближенно определить силу землетрясения в известном пункте равнинной местности для участков, сложенных средними по сейсмическим свойствам грунтами, по магнитуде землетрясения, глубине очага, эпицентральному расстоянию и эмпирическим коэффициентам.

3.29 **уравнение метода сейсмических жесткостей:** Математическое выражение, позволяющее определить приращение сейсмичности площадки за счет местных инженерно-геологических условий по сейсмической жесткости исследуемого грунта.

3.30 **уравнение сейсмического режима:** Математическое соотношение между силой землетрясения по шкале MSK-64 и средним промежутком времени в годах между землетрясениями этой силы в месте строительства.

3.31 **уточнение исходной сейсмичности;** УИС: Процедура корректировки сейсмической опасности, установленной картами ОСР, на основании уточненных данных о сейсмотектонической обстановке в районе строительства и расчета сейсмического режима (повторяемости землетрясений) в данном пункте.

3.32 **шкала MSK-64:** Сейсмическая шкала, служащая для оценки в баллах опасности землетрясений в зависимости от реакции людей и животных, тяжести повреждений некоторых типов зданий и других эффектов колебаний грунта.

3.33 **эпицентр:** Точка на земной поверхности, расположенная над гипоцентром.

3.34 **эпицентральное расстояние:** Расстояние между известным пунктом и эпицентром землетрясения.

4 Основные положения

4.1 Работы по УИС и СМР на участках, предназначенных для строительства транспортных сооружений, выполняются в целях уточнения опасности землетрясений на основании данных об активных разломах, сейсмическом режиме в пункте строительства, сейсмических свойствах изучаемой толщи грунта и геоморфологических условиях участка строительства.

4.2 Задачи УИС и СМР заключаются в количественной оценке сейсмического воздействия, а именно: выявлении амплитудных и спектральных характеристик сейсмического воздействия на сооружение при землетрясении расчетной силы.

4.3 При выполнении инженерно-сейсмологических исследований проводятся следующие виды работ:

- изучение материалов ранее выполненных исследований по инженерной сейсмологии, сейсмотектонике и сейсмичности района, а также данных общих инженерно-геологических изысканий и аэрокосмического зондирования участка строительства;
- визуальные сейсмотектонические и макросейсмические обследования на участке строительства и прилегающей территории;
- геологические, геодезические, геофизические и геохимические работы;
- сейсмический мониторинг с помощью сети временных сейсмостанций;
- комплексный анализ всей совокупности полученных данных, оформленный в виде сводного отчета, содержащего значение уточненной сейсмичности района строительства, карту (схему) сейсмического микрорайонирования участка строительства, рекомендуемые амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия на сооружение.

4.4 Работы по УИС и СМР на участках строительства транспортных сооружений выполняются организациями, которым в установленном порядке предоставлено право на проведение этого рода деятельности.

4.5 При планировании состава, объема и методов выполнения работ по оценке опасности землетрясений рекомендуется учитывать возможный социальный, экономический и экологический ущерб, обусловленный прекращением функционирования транспортных систем и авариями транспортных средств в результате сейсмотектонических, сейсмогравитационных и сейсмических воздействий. Содержание работ по УИС и СМР должно соответствовать допустимому сейсмическому риску (классу сейсмостойкости проектируемого сооружения).

4.6 Изучение сейсмотектоники и сейсмичности района по фондовым материалам проводится на участках строительства объектов всех классов сейсмостойкости. На этой основе с учетом данных общих инженерно-геологических изысканий упрощенными методами оценивается сейсмичность участков объектов классов сейсмостойкости II и III и планируются специальные инженерно-сейсмологические исследования условий строительства объектов класса сейсмостойкости I.

Примечание — При изысканиях объектов классов сейсмостойкости II и III полевые методы исследований, включая сейсморазведку, применяются в случаях, перечисленных в 6.21.

4.7 При оценке опасности землетрясений на участках строительства объектов классов сейсмостойкости II и III рекомендуется использовать корреляционные уравнения инженерной сейсмологии (уравнение макросейсмического поля, уравнение метода сейсмических жесткостей, уравнение сейсмического режима и др.), а также приближенные методы расчета, учитывающие влияние рельефа местности и местных инженерно-геологических условий на амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия на сооружение.

4.8 Для объектов класса сейсмостойкости I амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия на сооружение, полученные расчетом с использованием корреляционных зависимостей между данными общих инженерно-геологических изысканий и скоростями сейсмических волн в грунте, следует проверять и уточнять с применением инструментальных методов инженерной сейсмологии.

4.9 Результаты работ по оценке опасности землетрясений оформляются в виде сводного отчета по сейсмотектонике, сейсмоустойчивости склонов и сейсмической опасности изучаемой территории. Сейсмическая опасность показывается на картах (схемах) уточненного сейсмического районирования в полосе дороги и сейсмического микрорайонирования участков сооружений, определяемых техническим заданием. Масштаб карт (схем) устанавливается в зависимости от особенностей инженерно-геологической обстановки и размеров территории (акватории) выполняемых работ.

4.10 Применительно к сооружениям класса сейсмостойкости I материалы исследований по сейсмотектонике должны содержать сведения о положении возможных очагов землетрясений в радиусе до 100—150 км, вызывающих сотрясения силой 7 баллов и более на площадках, сложенных средними по сейсмическим свойствам грунтами, в пункте строительства, о типе (взброс, сброс, сдвиг, сбросо-сдвиг и др.) и характеристиках возможных разрывных движений на земной поверхности, максимальных зарегистрированных и расчетных значениях магнитуд, наблюдаемых и наиболее вероятных глубинах очагов, современных и голоценовых сейсмодислокациях в кровле коренных пород и слоях покровных отложений, а также о других проявлениях сейсмотектонической активности. Следы разломов на земной поверхности, их сейсмическая активность за последние 10 000 лет и более должны быть подтверждены

данными полевых инженерно-геологических работ и дистанционных съемок, а также материалами сети постоянных сейсмических наблюдений и временных сейсмостанций.

4.11 Материалы работ по оценке опасности землетрясений на участках строительства сооружений класса сейсмостойкости I должны содержать информацию о землетрясениях наибольшей силы на участке строительства за голоценовый период времени, сейсмическом режиме на прилегающей к объекту территории, скоростях сейсмических волн, значениях динамических модулей деформации и других характеристиках грунта в пределах расчетной толщи, положении границ микрозон участка строительства с различной интенсивностью сейсмического воздействия, а также о возможных сейсморазрывах, обвалах, оползнях, селях, лавинах, водно-песчаных потоках, разжижении грунта и других явлениях, обусловленных подземными толчками расчетной силы.

4.12 На картах (схемах) УИС и СМР опасность сейсмического воздействия указывается с округлением до десятой части балла шкалы MSK-64 или в физических единицах измерения картируемого параметра (в виде рекомендуемых для использования при проектировании амплитуд ускорения, скорости, перемещения колебаний грунта) с приемлемым для практических целей округлением значения определяемой величины.

5 Уточнение исходной сейсмичности района строительства

5.1 Исходную сейсмичность в заданной географической точке определяют в целых баллах сейсмической шкалы MSK-64 по одной из действующих карт общего сейсмического районирования (приложение А СП 14.13330.2014), выбираемой в зависимости от класса сейсмостойкости объекта.

При определении исходной сейсмичности объектов классов сейсмостойкости I, II, III следует использовать карты ОСР-2015-С, ОСР-2015-В, ОСР-2015-А, исходя из обеспечения вероятности непревышения силы расчетного землетрясения 99, 95, 90 % за интервал времени 50 лет или математического ожидания интервала времени между толчками расчетной силы 5000, 1000 и 500 лет соответственно.

5.2 Определяемая по картам общего сейсмического районирования исходная сейсмичность пункта строительства относится к участкам, расположенным на ровной местности и сложенным средними по сейсмическим свойствам грунтами.

Примечание — К средним по сейсмическим свойствам грунтам относятся песчано-глинистые отложения с сейсмической жесткостью ρV_s = 655 т/(м^2·с), где ρ — нормативная плотность грунта, т/м^3; V_s — скорость поперечных сейсмических волн в грунте, м/с.

5.3 За нормативные значения амплитудных характеристик колебаний грунтов следует принимать математическое ожидание наибольших амплитуд для представительных выборок инструментальных записей землетрясений, позволяющих выполнять их статистический анализ (приложение А).

При отсутствии достаточных данных об изменчивости исследуемых характеристик в имеющейся выборке для определения нормативных значений ускорения, скорости и перемещения грунта допускается использовать таблицу 5.1.

Таблица 5.1 — Характеристики колебаний грунта при землетрясениях

Интенсивность сейсмического воздействия, баллы	Ускорение, см/с^2	Скорость, см/с	Перемещение, см
7	100	8,0	4,0
8	200	16,0	8,0
9	400	32,0	16,0
10	800	64,0	32,0

5.4 Для сооружений классов сейсмостойкости II и III нормативные амплитудные характеристики колебаний грунта уточняются по данным расчета сейсмического режима в пункте строительства (приложение В).

5.5 При составлении уравнения сейсмического режима находят промежутки времени (средние периоды повторяемости) T_i, соответствующие сейсмическим событиям целочисленной силы I_i в пункте строительства. При выполнении расчета сейсмологические организации используют модели очагов землетрясений, принятые при разработке действующих карт общего сейсмического районирования,

или другие модели, обоснованные геолого-геофизическими и сейсмотектоническими исследованиями в районе строительства.

5.6 По найденным парам чисел (I_i, T_i) с применением математических приемов обработки данных численного эксперимента определяют коэффициенты корреляционного уравнения логарифмического типа (уравнения сейсмического режима) в пункте строительства

$$I = a + b\lg T, \tag{5.1}$$

где a, b — эмпирические коэффициенты уравнения сейсмического режима;

T — средний промежуток времени, измеряемый в годах, между землетрясениями силой I в месте строительства.

5.7 По уравнению (5.1) находят уточненную силу землетрясения I, соответствующую промежутку времени T = 500 лет для объектов класса сейсмостойкости III и T = 1000 лет для объектов класса сейсмостойкости II или допустимому риску в размере 10- и 5-процентного превышения расчетного сейсмического воздействия за интервал времени 50 лет.

5.8 Уточненная по уравнению (5.1) сила землетрясения отличается от сейсмичности пункта, указанной на соответствующей карте ОСР, на положительное или отрицательное значение $\delta I_{c.p}$, учитывающее сейсмический режим местности. В любом случае для дальнейшего расчета принимают, что модуль $\delta I_{c.p}$ не должен превышать 1,0.

5.9 При изысканиях сооружений класса сейсмостойкости I для УИС составляют карту активных разломов, расположенных в радиусе до 100—150 км от объекта, и от сейсмогенерирующих разломов зон возможных очагов землетрясений выполняют расчет сейсмических воздействий для средних по сейсмическим свойствам грунтов и ровных площадок на участке строительства.

5.10 Для картирования и описания сейсмогенерирующих разломов (тип разрывов, максимальная магнитуда продуцируемых ими землетрясений и др.) проводят анализ фондовых и опубликованных источников геолого-геофизического и сейсмологического содержания совместно с материалами полевых геологических работ, сейсморазведки, эманационной и газовой съемок на ключевых участках, результатами дешифрирования аэро- и космических снимков, аэровизуальных наблюдений, данными датировки сейсмодислокаций радиоуглеродным методом.

5.11 При выполнении геофизических исследований, обеспечивающих строительство объектов класса сейсмостойкости I, следует проводить наблюдения сетью временных сейсмических станций в целях подтверждения данных о выделенных по фондовым и опубликованным источникам активных разломов, получения информации о распределении гипоцентров землетрясений по глубине, уточнения спектров сейсмического воздействия на сооружение для различных грунтов в створах мостовых и тоннельных переходов, а также на участках строительства других транспортных объектов класса сейсмостойкости I.

5.12 Сейсмическая опасность от каждой из выделенных зон активных разломов определяется по уравнению макросейсмического поля

$$I = bM_{max} - s\lg\sqrt{\Delta^2 + h_{cp}^2} + c, \tag{5.2}$$

где M_{max} — наибольшая магнитуда землетрясений, возникавших в рассматриваемой зоне разломов за последние 10 000 лет;

Δ — расстояние от эпицентра до сооружения, км;

h_{cp} — средневзвешенная глубина очага, км;

b, s, c — коэффициенты уравнения макросейсмического поля, в среднем принимаемые b = 1,5; s = 3,5; c = 3,0.

Примечания

1 Коэффициенты b, s, c допускается уточнять по приложению Б или по данным региональных сейсмотектонических исследований.

2 Форму изосейст и силу землетрясения вблизи эпицентра рекомендуется уточнять с привлечением региональных сейсмологических организаций.

5.13 Сейсмическую опасность совокупности очагов землетрясений, состоящей из n выделенных зон разломов, находят как наибольшее значение I_{max} для ряда детерминированных величин I_i (i = 1, 2, ... , n).

5.14 Сила землетрясения I_{max} из наиболее опасного для сооружения очага рассматривается как уточненная сейсмичность пункта строительства $I_{ут}$ при выполнении условия

$$I_{2000} \le I_{max} \le I_{3000}\,, \tag{5.3}$$

где I_{2000} — сила землетрясений, повторяющихся в среднем на участке сооружения один раз за 2000 лет;

I_{3000} — сила землетрясений, повторяющихся там же в среднем один раз за 3000 лет.

Примечания

1 По предложению проектной организации, согласованному с заказчиком объекта, верхний предел неравенства (5.3) для транспортных переходов через морские проливы и заливы, тоннели и станции метрополитенов и другие подобные сооружения может быть увеличен до I_{5000}, то есть до силы землетрясений, повторяющихся в среднем на участке сооружения один раз за 5000 лет.

2 В тех случаях, когда условие (5.3) нарушается, то есть если $I_{max} < I_{2000}$ или $I_{max} > I_{3000}$ (I_{5000}), в качестве уточненной сейсмичности района строительства $I_{ут}$ принимаются I_{2000} или I_{3000} (I_{5000}) соответственно.

5.15 Уточненная с учетом сейсмического режима сейсмичность в пункте строительства отличается от сейсмичности пункта по карте ОСР-2015-С на величину $\delta I_{с.р} = I_{ут} - I_{ис}$, то есть на приращение балльности в долях целого балла, найденное при уточнении исходной сейсмичности детерминированно-вероятностным способом. Модуль $\delta I_{с.р}$ принимается не более 1,0.

5.16 Уточненная сейсмичность района (пункта) строительства сооружений всех классов сейсмостойкости корректируется на этапе выполнения работ по СМР по правилам раздела 6 и приложениям Г—Л.

6 Сейсмическое микрорайонирование

6.1 Грунты, воспринимающие нагрузки от сооружений, должны сохранять устойчивость при землетрясении расчетной силы. Изменение интенсивности колебаний грунтов за счет инженерно-геологических и геоморфологических условий в границах участка строительства определяется и картируется применительно к сейсмоустойчивым отложениям расчетной толщи грунта.

6.2 Исследование сейсмоустойчивости грунтов в полосе дорог и на прилегающих склонах следует включать в состав работ по СМР.

6.3 Оценку сейсмоустойчивости склонов рекомендуется выполнять с учетом:

- сейсмических сил, сдвигающих покровные отложения относительно ложа оползня и уменьшающих давление на поверхность сдвига от собственного веса оползневого тела;
- сил гидростатического взвешивания, действующих ниже уровня воды в грунте;
- изменения физико-механических свойств грунта (угла внутреннего трения, сцепления, модулей деформации при сдвиге и сжатии) при сейсмическом воздействии;
- кратковременности действия сейсмических сил.

6.4 Если покровные отложения состоят из нескольких слоев, силы инерции в слоистой толще рекомендуется находить расчетом колебаний покровной толщи. Амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия на склон определяются для устойчивой породы, подстилающей покровные отложения, расположенные выше поверхности предполагаемого или ранее происшедшего сдвига.

6.5 Амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия на склон должны соответствовать землетрясению расчетной силы, значение которой определяется по действующим картам общего сейсмического районирования с поправками на сейсмический режим, инженерно-геологические условия и рельеф местности.

6.6 При определении сейсмических напряжений в толще грунта рекомендуется учитывать изменение при сейсмическом воздействии модулей деформации и увеличение рассеяния энергии колебаний покровных отложений из-за появления трещин и пластических деформаций в грунте.

6.7 Модуль деформации при сдвиге G в слоях покровных отложений и подстилающей породе определяют по формуле

$$G = \rho V_S^2\,, \tag{6.1}$$

где ρ — нормативная плотность слоя грунта, т/м^3;

V_S — скорость S-волн в слое грунта, м/с.

6.8 Скорость S-волн определяется с помощью сейсморазведки или по данным общих инженерно-геологических изысканий согласно 6.41 и 6.42.

6.9 Модуль деформации грунта при сжатии E определяют по формуле

$$E = 2(1 + \mu)G, \quad (6.2)$$

где μ — коэффициент Пуассона;

G — модуль деформации при сдвиге, тс/м^2.

6.10 Коэффициент Пуассона μ допускается принимать равным:

- 0,3 — для скальных грунтов;
- 0,4 — для полускальных грунтов;
- 0,45 — для крупнообломочных и песчано-глинистых грунтов.

Примечание — При изысканиях сооружений класса сейсмостойкости I коэффициент Пуассона μ рекомендуется уточнять по данным сейсморазведки.

6.11 Скорость продольных волн V_P в слоях расчетной толщи определяют по формуле

$$V_P = V_S\sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}}, \quad (6.3)$$

где V_S — скорость поперечных волн, м/с.

6.12 При проверке сейсмоустойчивости грунтов в полосе отвода дорог и на прилегающих склонах несущую способность глинистых грунтов сдвигу в условиях сейсмического воздействия рекомендуется уменьшать по сравнению с обычными условиями эксплуатации. Коэффициент условий работы m_c принимают по СП 24.13330 как коэффициент условий работы для корректировки значений сил трения по боковой поверхности буровых свай.

Примечания

1 При расчетной сейсмичности, отличающейся от целочисленных значений балльности, коэффициент условий работы m_c находят с помощью линейной интерполяции.

2 При расчетной сейсмичности 9 баллов коэффициент m_c для глинистых грунтов при показателе текучести $0,75 \le I_L < 1$ принимается равным 0,55.

6.13 В качестве меры сейсмоустойчивости принимается отношение сил, удерживающих частицы грунта от сдвига $T_{уд}$, к силам сдвига $T_{сд}$. При коэффициенте $K_{ус} = \frac{T_{уд}}{T_{сд}} \ge 1,20$ покровные отложения на склоне и ровной местности рассматриваются как сейсмоустойчивые.

6.14 Слои водонасыщенных илов и песков, залегающие на глубине до 20 м от ровной поверхности грунта, в том числе на дне заливов и проливов, могут подвергаться разжижению при землетрясениях. Глубина разжижения должна определяться расчетом с учетом силы расчетного землетрясения и физико-механических свойств илов и песков. Слой разжижаемого грунта исключается из расчетной толщи, учитываемой при оценке сейсмичности участка строительства.

6.15 Материалы работ по СМР участков строительства транспортных объектов должны содержать количественные оценки влияния особенностей залегания устойчивых слоев и сейсмических свойств грунта расчетной толщи, а также рельефа местности на амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия на сооружение.

6.16 Число микрозон различной сейсмической опасности, выделяемых на участке строительства, определяется неоднородностью строения исследуемой грунтовой толщи, изменчивостью сейсмических свойств грунта, рельефом местности и конструктивными особенностями сооружения.

6.17 При СМР участков больших и внеклассных мостов и виадуков через реки и глубокие долины, как правило, следует выделять микрозоны русла реки, ее пойм и береговых склонов. На участках возведения малых и средних мостов достаточно выделить одну микрозону по данным разведочного бурения на площадке с наименее благоприятными свойствами грунта.

6.18 При СМР участков мостовых переходов через проливы и заливы следует выделять микрозоны акватории, островов, кос и дамб в створе перехода, а также подходов к проливу (заливу).

6.19 Сейсмичность микрозон в створах больших и внеклассных мостов, виадуков и эстакад устанавливается по приращению балльности в местах микрозон, сложенных наименее благоприятными по сейсмическим свойствам устойчивыми грунтами.

6.20 Сейсморазведку и другие геофизические методы исследований следует применять во всех случаях изысканий на участках строительства транспортных объектов класса сейсмостойкости I.

6.21 При проведении изысканий на участках строительства сооружений классов сейсмостойкости II и III геофизические исследования следует применять в случаях:

- сложения верхней толщи инженерно-геологического разреза слоями крайне слабых грунтов (торфа, ила, текучих и текучепластичных супесей, суглинков и глин, рыхлых песков), требующего их замены или укрепления с оценкой влияния изменения геологической среды на сейсмичность участка строительства;
- наличия в разрезе линз погребенных слабых грунтов, в том числе таликов в мерзлой толще, а также карстовых пустот, заполненных слабыми грунтами;
- большой мощности аллювиальных и морских отложений в устьях рек, в морских проливах и заливах;
- особо сложных инженерно-геологических условий, встречающихся на участках меандрирующих рек с поймами, выполненными крайне слабыми отложениями, залегающими на неровной кровле консолидированных отложений, изрезанной палеоруслами блуждающей реки;
- присутствия на участке строительства дислокаций сейсмотектонического и сейсмогравитационного генезиса;
- падения в сторону тальвега пластов глинистых грунтов и коренной породы типа аргиллита, способствующего потере устойчивости покровных отложений на склонах долин и берегах проливов при землетрясениях;
- возможности оптимизировать антисейсмические мероприятия по критериям надежности и стоимости за счет применения геофизических методов исследования сейсмичности строительных площадок;
- возможности использования при СМР данных сейсморазведки прошлых лет, выполненной на исследуемой территории или в аналогичных инженерно-геологических условиях на прилегающих участках местности.

6.22 При выборе положения верхней и нижней границ расчетной толщи грунта, границ слагающих ее слоев нужно учитывать свойства грунтов инженерно-геологического разреза, тип и конструктивное решение фундаментов, глубину их заложения, влияние природно-техногенных воздействий на сохранность и свойства грунтов в транспортном коридоре.

Примечание — На участках распространения многолетнемерзлых грунтов мощность деятельного слоя следует принимать от поверхности грунта до уровня нормативной глубины сезонного оттаивания мерзлых грунтов.

6.23 Сейсмичность площадок строительства мостовых опор с массивными фундаментами мелкого заложения устанавливается в зависимости от сейсмических свойств грунта расчетной толщи мощностью 10 м, расположенной ниже отметок заложения фундаментов, сооружаемых в открытых котлованах. Если в пределах разведанной глубины инженерно-геологического разреза 10-метровый слой подстилается слоем менее прочного грунта, то нижнюю границу расчетной толщи следует принимать в уровне подошвы слабого подстилающего слоя, а ее верхнюю границу — на отметках низа фундаментов. Мощность слоев грунта в пределах расчетной толщи определяют по данным инженерно-геологических разрезов, соответствующих центральным осям фундаментов.

6.24 Для мостовых опор с фундаментами глубокого заложения положение верхней границы расчетной толщи устанавливают с учетом устойчивого уширения подмостового русла (срезки), общего размыва грунта у опор и технологии сооружения фундаментов. Из состава расчетной толщи исключают грунт насыпей подходов и залегающие с поверхности неуплотненные насыпные грунты, грунт выше подошвы плиты низкого свайного ростверка, слои ила, торфа, склонные к разжижению водонасыщенные рыхлые песчаные, очень слабые глинистые грунты текучепластичной и текучей консистенции, а также залегающие на дне водотоков, проливов и заливов насыпные (техногенные) грунты.

6.25 Для мостовых опор с фундаментами из свай-стоек нижняя граница расчетной толщи принимается в уровне кровли скальной породы или другого малосжимаемого грунта (глины твердой консистенции со статическим модулем деформации $E > 50$ МПа, крупнообломочных отложений с песчаным заполнителем или содержанием не более 40 % глинистого заполнителя), на который опираются сваи-стойки. Если мощность неконсолидированного слоя меньше 10 м, в состав расчетной толщи включают часть скального массива или другого малосжимаемого грунта с тем, чтобы общая мощность расчетной толщи была не менее 10 м. То же правило действует при опре-

делении нижней границы расчетной толщи в основании столбчатых (свайных) опор, опирающихся на малосжимаемый грунт.

6.26 Для мостовых опор с фундаментами из висячих свай нижняя граница расчетной толщи проходит в уровне нижних концов свай или ниже этого уровня, но не менее 10 м от верхней границы расчетной толщи. Если в инженерно-геологическом разрезе присутствуют линзы или прослойки менее прочного грунта под слоем, в который погружены нижние концы свай, нужно считать, что нижняя граница расчетной толщи проходит по подошве наиболее заглубленного слабого слоя инженерно-геологического разреза. Во всех случаях нижняя граница расчетной толщи при проектировании мостовых опор с фундаментами из висячих свай принимается не ниже уровня поверхности, достигнутой при бурении разведочных скважин.

6.27 Для мостовых опор с массивными фундаментами глубокого заложения (опускными колодцами), опертыми на скальную породу, твердую глину или малосжимаемые крупнообломочные отложения, сейсмичность строительных площадок, как правило, устанавливают в зависимости от сейсмических свойств массива грунта, расположенного сбоку от фундамента, принимая мощность расчетной толщи от ее верхней границы не менее 10 м.

Примечание — При учете сил инерции в неконсолидированном слое и сейсмического давления грунта на боковые грани опускного колодца допускается в качестве расчетной толщи принимать слой малосжимаемого грунта мощностью 10 м, считая вниз от отметки подошвы опускного колодца.

6.28 Сейсмичность микрозон припортальных и заглубленных участков горных тоннелей следует находить в зависимости от сейсмических свойств массива, в котором ведут проходку горных выработок и сооружают обделку тоннеля.

6.29 Сейсмичность участков строительства тоннелей метрополитена и пешеходных тоннелей, сооружаемых в открытых котлованах, находят так же, как для площадок строительства мостовых опор.

6.30 Сейсмичность площадок строительства насыпей, водопропускных труб и транспортных тоннелей в насыпях следует определять в зависимости от сейсмических свойств грунта верхнего 10-метрового устойчивого слоя основания насыпи.

6.31 Сейсмичность площадок строительства выемок определяют в зависимости от сейсмических свойств грунта 10-метрового слоя, считая от контура откосов выемки.

6.32 Для опор контактной сети, расположенных на насыпи, сейсмичность строительных площадок находят в зависимости от сейсмических свойств 10-метрового слоя грунта насыпи и ее основания. Для опор контактной сети в выемках и нулевых местах учитывают сейсмические свойства грунта основания дороги на глубину 10 м от уровня основной площадки земляного полотна.

6.33 При определении сейсмичности площадок строительства подпорных стен используют те же правила выделения расчетной толщи грунта, что и для мостовых опор.

6.34 При определении сейсмичности площадок строительства вокзалов и других зданий транспортного назначения сейсмические свойства грунта расчетной толщи принимают осредненными по территории строительных площадок секций здания, разделенных деформационными (антисейсмическими) швами.

6.35 При расчете сейсмоустойчивости склонов сейсмичность участка относят к массиву породы мощностью 10 м, относительно которого проверяют возможность скольжения вышележащих отложений.

6.36 При сейсмическом микрорайонировании участков строительства транспортных сооружений уточненная сейсмичность, найденная по указаниям раздела 5, корректируется с учетом местных инженерно-геологических условий. Корректировка задается в форме приращения сейсмичности (балльности), учитывающей сейсмическую жесткость грунта строительной площадки.

6.37 Приращение сейсмичности за счет местных инженерно-геологических условий определяют с точностью до 0,1 балла по формуле

$$\delta I_{\text{гр}} = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_S}\right), \qquad (6.4)$$

где ρV_S — сейсмическая жесткость грунта расчетной толщи, т/(м^2·с);

ρ — нормативная плотность грунта, т/м^3;

V_S — скорость поперечных сейсмических волн в расчетной толще, м/с.

Примечание — Модуль $\delta I_{\text{гр}}$ не должен превышать 1,0.

6.38 Если расчетная толща грунта состоит из нескольких слоев, то в этом случае принимается во внимание средневзвешенная сейсмическая жесткость пачки слоев, определяемая по формуле

$$\rho V_S = \frac{\sum(\rho_i V_{Si})\delta_i}{\sum\delta_i}, \quad (6.5)$$

где δ_i — толщина i-го слоя пачки, м;

$\rho_i V_{Si}$ — сейсмическая жесткость i-го слоя пачки относительно поперечных сейсмических волн, т/(м$^2\cdot$с).

6.39 Нормативная плотность грунтов инженерно-геологического разреза устанавливается по данным общих инженерно-геологических изысканий.

6.40 Скорости поперечных сейсмических волн в слоях находят по данным сейсморазведки или используя корреляционные уравнения, связывающие условное сопротивление грунта сжатию со значением скорости поперечных сейсмических волн.

Примечание — При определении скоростей S-волн по данным сейсморазведки следует вводить поправку на нелинейность деформаций грунта по 6.42.

6.41 При изысканиях объектов классов сейсмостойкости II и III, выполняемых без привлечения геофизических методов исследований, скорость поперечных сейсмических волн на глубине 10 м от поверхности грунта рекомендуется определять по формуле

$$V_S = 454\lg R_0 - 316, \quad (6.6)$$

где V_S — скорость поперечных волн, м/с;

$R_0 \le 1000$ тс/м^2 — условное сопротивление грунта сжатию, тс/м^2.

Примечание — Величину R_0 находят с использованием линейной интерполяции между R_0 и физическими характеристиками грунта по приложению Д.

6.42 При определении по формуле (6.6) скоростей поперечных волн в слоях полускальных грунтов очень низкой, низкой и пониженной прочности по ГОСТ 25100, крупнообломочных и песчаных грунтов, а также супесей и суглинков на глубине $h \ne 10$ м вводится поправочный множитель на глубину залегания слоя, определяемый по формуле

$$K_h = 0{,}70 + 0{,}03h \text{ при } h \le 30 \text{ м}, \quad (6.7)$$

где h — средняя глубина залегания слоя от поверхности грунта.

При глубине залегания слоя $h \ge 100$ м коэффициент $K_h = 2{,}5$. Для промежуточных значений h коэффициент K_h находят по интерполяции.

Примечания

1 При определении скоростей S-волн в слоях, сложенных грунтами категории III, по сейсмическим свойствам следует учитывать уменьшение скоростей волн за счет нелинейности деформаций грунта посредством умножения скоростей на поправочные множители 0,9; 0,8; 0,7 и 0,6 при исходной сейсмичности 7, 8, 9 и 10 баллов соответственно.

2 Для насыщенных водой песков и гравийно-галечниковых отложений с песчано-глинистым заполнителем скорость V_S дополнительно умножается на коэффициенты 0,8 для песков и 0,9 для гравийно-галечниковых отложений.

6.43 При СМР участков дорог, расположенных на крутых горных склонах, амплитуды колебаний грунта корректируются в зависимости от рельефа местности. Поправка определяется в форме коэффициента учета рельефа местности $K_{р.м}$, на который умножают амплитуды колебаний грунта.

6.44 Коэффициент $K_{р.м}$ определяют с помощью расчета или измерением колебаний грунта на дне долины и ее бортах. Для долин в горной местности, врезанных в коренные породы на 100 м и более, при отношении высоты бортов к ширине долины поверху не менее 0,5 допускается принимать значение коэффициента $K_{р.м}$ равным 0,5 для дна долины и 1,25 для верха ее бортов. Для площадок, расположенных на бортах между их верхом и дном долины, коэффициент $K_{р.м}$ определяется по интерполяции в зависимости от высоты расположения площадки над дном долины.

6.45 Нормализованную спектральную характеристику расчетного сейсмического воздействия на сооружение (огибающая нормализованных спектров ускорений осциллятора) β_i определяют по таблице 6.1 в зависимости от категории расчетной толщи грунта по сейсмическим свойствам.

Примечание — Значения β_i в таблице 6.1 соответствуют относительному коэффициенту затухания в размере 5 % критического значения, при котором гармоническое колебательное движение массы осциллятора переходит в апериодическое движение. Предполагается также, что колебания грунта содержат низкочастотные составляющие, характерные для излучения волн из глубоких и удаленных высокомагнитудных очагов землетрясений, а также в случае влияния на спектр большой мощности покровных отложений на участке строительства.

Таблица 6.1

Категория расчетной толщи грунта по сейсмическим свойствам	Сейсмическая жесткость расчетной толщи грунта ρV_S, т/(м^2·с)	Нормализованные спектры расчетного сейсмического воздействия на сооружение β_i
I	Более 2570	$\beta_i = 1 + 15T_i$ при $T_i \le 0,1$ с $\beta_i = 2,5$ при $0,1$ с $< T_i \le 0,3$ с $\beta_i = \frac{0,75}{T_i}$, но не менее 1,0 при $0,31$ с $< T_i \le 1,8$ с
II	От 655 до 2570	$\beta_i = 1 + 15T_i$ при $T_i \le 0,1$ с $\beta_i = 2,5$ при $0,1$ с $< T_i \le 0,5$ с $\beta_i = \frac{1,25}{T_i}$, но не менее 1,0 при $0,5$ с $< T_i \le 1,8$ с
III	Менее 655	$\beta_i = 1 + 15T_i$ при $T_i \le 0,1$ с $\beta_i = 2,5$ при $0,1$ с $< T_i \le 0,7$ с $\beta_i = \frac{1,75}{T_i}$, но не менее 1,0 при $0,7$ с $< T_i \le 1,8$ с

6.46 Спектральная характеристика β_i может быть уточнена при изысканиях с учетом сейсмотектонических, инженерно-геологических и геоморфологических особенностей района (участка) строительства на основании анализа сейсмограмм, записанных временной сетью регистрации землетрясений, сейсмограмм российских и зарубежных сейсмостанций сети постоянных сейсмических наблюдений на близких по инженерно-геологическому строению участках.

6.47 Рекомендуемые для использования при проектировании амплитуды перемещений, скоростей и ускорений колебаний грунта определяются по приложению А с учетом уточнения исходной сейсмичности пункта строительства за счет сейсмического режима местности и приращения сейсмичности за счет местных инженерно-геологических условий, а также поправки на рельеф участка строительства по 6.44.

Приложение А
(справочное)

Дробный балл сейсмической опасности как мера интенсивности колебаний грунта при землетрясениях

Исходная сейсмичность на картах общего сейсмического районирования задается в целых баллах сейсмической шкалы MSK-64. При УИС и СМР приращение сейсмической опасности получают, как правило, в десятичных долях целого балла. В результате выполнения УИС и СМР сила расчетного землетрясения отличается от целых чисел. В связи с этим необходимо установить понятие дробного балла сейсмической опасности как меры интенсивности колебаний грунта при землетрясениях.

На основе анализа акселерограмм сильных и разрушительных землетрясений были получены различные эмпирические зависимости между ускорениями колебаний грунта и силой землетрясения, описываемые формулой

$$\lg W = kI - c, \qquad (A.1)$$

где W — ускорение колебаний грунта, см/с^2;
I — сила землетрясения, баллы;
k, c — эмпирические коэффициенты.

Установлены следующие значения для коэффициентов формулы (А.1): k = 0,3; c = 0,1. Следовательно, для землетрясений силой 7, 8, 9 и 10 баллов ускорения колебаний грунтов будут соответственно равны: 100, 199, 398 и 794 см/с^2. Эти значения ускорений от 7 до 9 баллов близки к средним значениям выборок максимальных ускорений при толчках соответствующей силы. Дополненная с учетом амплитуды перемещений инструментальная часть шкалы MSK-64 приведена в таблице А.1.

Таблица А.1 — Параметры колебаний среднего по сейсмическим свойствам грунта при землетрясениях силой 7—10 баллов

Сила землетрясения, баллы	Интервальные значения		
	ускорения, см/с^2	скорости, см/с	перемещения, см
7	50—100	4,1—8,0	2,1—4,0
8	100—200	8,1—16,0	4,1—8,0
9	200—400	16,1—32,0	8,1—16,0
10	400—800	32,1—64,0	16,1—32,0

В СП 14.13330 ускорения грунта в основаниях сооружений, соответствующие расчетному землетрясению, принимаются равными 100, 200 и 400 см/с^2 в районах сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов (при средних грунтовых условиях). В СП 14.13330 не регламентированы ускорения колебаний грунта при 10-балльных землетрясениях, а также отсутствуют данные о скоростях колебаний и перемещениях грунта при землетрясениях силой от 7 до 10 баллов.

Графики зависимостей (рисунок А.1) между силой землетрясения I и ускорением колебаний грунта W по экспериментальным данным (непрерывная функция) при составлении шкалы MSK-64 (ступенчатая функция) и разработке строительных норм и правил (дискретная функция, показанная на рисунке точками) существенно отличаются.

Особенность представления искомой зависимости $I = f(W)$ ступенчатой функцией, принятой в шкале MSK-64, состоит в том, что вблизи граничных значений ускорения 50, 100, 200 и 400 см/с^2 опасность землетрясений уменьшается или увеличивается сразу на один балл при самых незначительных изменениях ускорения.

В случае применения дискретной функции (рисунок А.1 в) ускорения на всей территории каждой из зон сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов получаются одинаковыми, то есть равными 100, 200 и 400 см/с^2, хотя в действительности ускорения вблизи границ смежных зон должны быть близки и не зависеть от того, в какой зоне измеряется ускорение.

Замена ступенчатой и дискретной функций непрерывной зависимостью соответствует наблюдаемому увеличению степени повреждений конструкций по мере роста ускорений колебаний грунта. Использование непрерывной зависимости силы землетрясения от ускорения колебаний грунта позволяет избежать необоснованного занижения сейсмической опасности в одних случаях и перерасхода средств на антисейсмические мероприятия в других случаях. Близкий эффект получается в случае представления искомой зависимости $I = f(W)$ ступенчатой функцией с малым шагом по балльности.

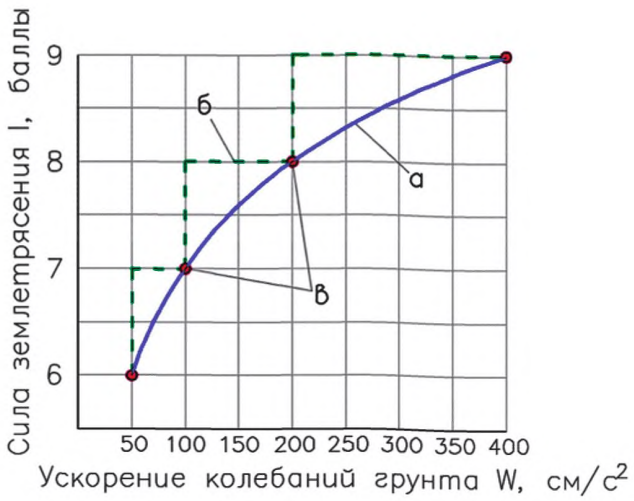


Рисунок А.1 — Зависимости между ускорением колебаний грунта и силой землетрясения по экспериментальным данным (а), по шкале MSK-64 (б) и по строительным нормам и правилам (в)

Формула (А.1) задает зависимость ускорения грунта W от силы землетрясения I в виде геометрической прогрессии (при целых значениях I) или в виде показательной функции (при любом I). Так, из формулы (А.1) следует, что $W = 10^{kI-c}$ и отношение ускорений при толчках силой $I+1$ и I равно

$$\frac{W_{I+1}}{W_I} = \frac{10^{k(I+1)-c}}{10^{kI-c}} = 10^k,$$

то есть ускорения образуют геометрическую прогрессию со знаменателем 10^k, где $k = 0{,}3$, и последовательность ускорений имеет знаменатель $q = 10^{0,3} \cong 2{,}0$.

Каноническая форма общего члена геометрической прогрессии (А.1) имеет вид

$$a_i = a_1 q^{i-1},$$

где a_1 — первый член прогрессии;
a_i — i-й член прогрессии;
q — знаменатель прогрессии.

В качестве первого члена прогрессии принимают $W = 100$ см/с^2, то есть ускорение, соответствующее толчку силой 7 баллов. Общий член ряда (прогрессии) определяют по формуле

$$W_{7+\Delta I} = 100 \cdot 2^{\Delta I}, \qquad (А.2)$$

где ΔI — приращение балльности по отношению к исходному (седьмому) баллу.

С помощью формулы (А.2) определяют значения ускорений колебаний грунта в диапазоне балльности от 7 до 10 баллов с шагом 0,1 балла (таблицы А.2—А.4). Подобным образом можно определить скорости и перемещения при колебаниях грунта в том же диапазоне балльности.

Пример — Требуется уточнить ускорения колебаний среднего по сейсмическим свойствам грунта для участка эстакады, расположенной на расстоянии Δ23 км от потенциального очага землетрясения. Максимальная магнитуда землетрясений M = 6,8. Средняя глубина очагов $h_{ср}$ = 12 км.

Наибольшую силу сотрясений и среднего по сейсмическим свойствам грунта вблизи эстакады определяют по уравнению макросейсмического поля

$$I = bM - s \lg \sqrt{\Delta^2 + h_{ср}^2} + c,$$

где b = 1,5; s = 3,6; c = 3,1.

При подстановке в уравнение значений всех параметров находят I = 8,2 балла. По таблице А.3 расчетное ускорение колебаний грунта W = 246 см/с^2. По шкале MSK-64 такому ускорению соответствует землетрясение силой 9 баллов, при котором нормативное ускорение следует принимать равным 400 см/с^2. Таким образом, в рассматриваемом случае можно существенно уменьшить сейсмическую нагрузку за счет использования дробных баллов как меры интенсивности колебаний грунта.

Таблица А.2 — Параметры колебаний грунта при силе землетрясения, выраженной в долях целого балла ($7,0 \le I \le 7,9$)

Сила землетрясения, баллы	Расчетные параметры горизонтальных колебаний грунта		
	Перемещение U, см	Скорость V, см/с	Ускорение W, см/с^2
7,0	4,0—4,3	8,0—8,6	100—107
7,1	4,3—4,6	8,6—9,2	107—115
7,2	4,6—4,9	9,2—9,8	115—123
7,3	4,9—5,3	9,8—10,6	123—132
7,4	5,3—5,7	10,6—11,3	132—141
7,5	5,7—6,1	11,3—12,1	141—152
7,6	6,1—6,5	12,1—13,0	152—162
7,7	6,5—7,0	13,0—13,9	162—174
7,8	7,0—7,5	13,9—14,9	174—187
7,9	7,5—8,0	14,9—16,0	187—200

Таблица А.3 — Параметры колебаний грунта при силе землетрясения, выраженной в долях целого балла ($8,0 \le I \le 8,9$)

Сила землетрясения, баллы	Расчетные параметры горизонтальных колебаний грунта		
	Перемещение U, см	Скорость V, см/с	Ускорение W, см/с^2
8,0	8,0—8,6	16,0—17,1	200—214
8,1	8,6—9,2	17,1—18,4	214—230
8,2	9,2—9,8	18,4—19,7	230—246
8,3	9,8—10,6	19,7—21,1	246—264
8,4	10,6—11,3	21,1—22,6	264—283
8,5	11,3—12,1	22,6—24,3	283—303
8,6	12,1—13,0	24,3—26,0	303—325
8,7	13,0—13,9	26,0—27,9	325—348
8,8	13,9—14,9	27,9—29,9	348—373
8,9	14,9—16,0	29,9—32,0	373—400

Таблица А.4 — Параметры колебаний грунта при силе землетрясения, выраженной в долях целого балла ($9,0 \le I \le 9,9$)

Сила землетрясения, баллы	Расчетные параметры горизонтальных колебаний грунта		
	Перемещение U, см	Скорость V, см/с	Ускорение W, см/с^2
9,0	16,0—17,1	32,0—34,3	400—429
9,1	17,1—18,4	34,3—36,8	429—460
9,2	18,4—19,7	36,8—39,4	460—492
9,3	19,7—21,1	39,4—42,2	492—528
9,4	21,1—22,6	42,2—45,3	528—566
9,5	22,6—24,3	45,3—48,5	566—606
9,6	24,3—26,0	48,5—51,9	606—650
9,7	26,0—27,9	51,9—55,7	650—696
9,8	27,9—29,9	55,7—59,7	696—746
9,9	29,9—32,0	59,7—64,0	746—800

Приложение Б
(справочное)

Региональные коэффициенты уравнения макросейсмического поля

Таблица Б.1

Сейсмоактивные регионы и субрегионы	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля		
	b	*s*	*c*
Крым	1,5	3,5	3,0
Нижняя Кубань	1,5	3,5	3,0
Таманский полуостров	1,5	3,5	3,0
Северный Кавказ	1,6	3,1	2,2
Дагестан	1,5	3,6	3,1
Алтай и Саяны	1,5	3,5	3,0
Прибайкалье	1,5	4,0	4,0
Якутия и северо-восток Российской Федерации	1,5	3,5	3,0
Приморье и Приамурье	1,5	3,5	3,0
о. Сахалин	1,6	4,3	3,3
Курильские о-ва	1,5	4,5	4,5
п-ов Камчатка	1,5	2,6	2,5
п-ов Чукотка	1,5	3,5	3,0
Балтийский щит	1,5	3,5	3,0
Европейская часть Российской Федерации	1,5	3,5	3,0
Урал и Западная Сибирь	1,5	3,5	3,0

Приложение В
(справочное)

Уточнение исходной сейсмичности участка строительства железной и автомобильной дорог

В.1 Приведенные в настоящем приложении данные о комплексных исследованиях для уточнения сейсмической обстановки выполнялись при изысканиях железной дороги категории III по СП 119.13330 в Восточной Сибири. Длина исследованного участка дороги около 200 км. Перечень сооружений, для которых уточнена исходная сейсмичность, включает в себя 49 мостов на железной дороге и два моста на притрассовой автомобильной дороге.

Сооружения на железной дороге должны проектироваться с допустимым сейсмическим риском (вероятностью превышения расчетной сейсмической нагрузки) 5 % за 50 лет эксплуатации. Для мостов на притрассовой автомобильной дороге сейсмический риск установлен в размере 10 % за 50 лет эксплуатации.

Согласно карте ОСР-97-В[1)] южная часть трассы железной дороги проходит в зоне сейсмичностью 9 баллов, северная — в зоне сейсмичностью 8 баллов. Примерно посредине трассы дорога пересекает границу упомянутых зон. При пересечении границы сейсмичность изменяется на один балл.

Для сооружений на притрассовой автомобильной дороге требования к их сейсмостойкости понижены. Согласно карте ОСР-97-А только начальный участок дороги длиной 30 км расположен в 9-балльной зоне. На остальном протяжении дорога проходит по 8-балльной зоне, переходя в 7-балльную зону вблизи конечного пункта трассы. При пересечении дорогой границ зон картированная сейсмическая опасность изменяется скачком на один балл.

Исходная сейсмичность, указанная на картах ОСР-97-А и ОСР-97-В, уточнялась расчетом по сетке с шагом 5 × 5 км с округлением силы сейсмического воздействия до 0,1 балла шкалы MSK-64. Положение зон очагов возможных землетрясений в районе проектируемой железной дороги и характеристики их сейсмической активности соответствовали методологии общего сейсмического районирования, основанной на данных о сейсмичности и сейсмическом режиме регионов Северной Евразии. Сейсмичность уточнялась для 20 пунктов, равномерно расположенных вдоль дорог.

Расчеты по методике ВАСО показывают непрерывное изменение сейсмической опасности вдоль дорог без скачков на границе зон 7-, 8- и 9-балльной опасности по картам ОСР-97-А и ОСР-97-В. Наибольшие погрешности сейсмической опасности, указанной на картах ОСР-97-А и ОСР-97-В, соответствуют пунктам вблизи границ зон различной сейсмичности (рисунки В.1 и В.2).

В результате уточнения исходной сейсмичности определены поправки к сейсмической опасности на сейсмический режим местности для 51 мостового сооружения. Для трех объектов уточненная сейсмичность совпала с исходной по картам ОСР-97, для 15 мостов уточненная сейсмичность оказалась выше исходной, для 33 мостов возможно уменьшение исходной сейсмичности при использовании детализированных карт общего сейсмического районирования. Значение поправки на сейсмический режим изменялось в пределах от –0,5 до 0,5 балла шкалы MSK-64.

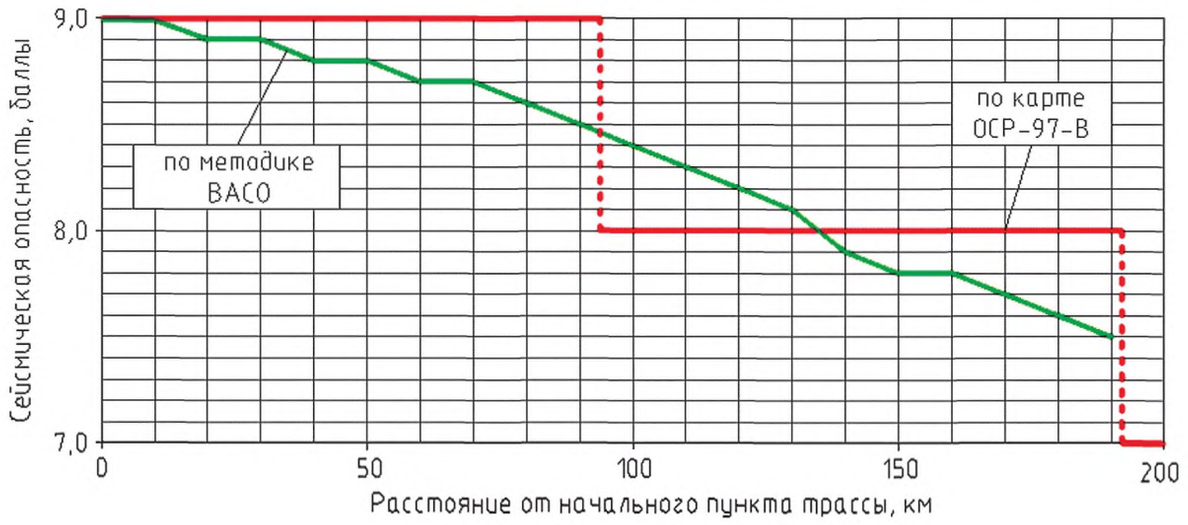


Рисунок В.1 — Изменение сейсмической опасности вдоль трассы железной дороги (средний период повторения землетрясений T = 1000 лет)

[1)] Приведенные в настоящем приложении комплексные исследования проводились до введения в действие карт общего сейсмического районирования ОСР-2015.

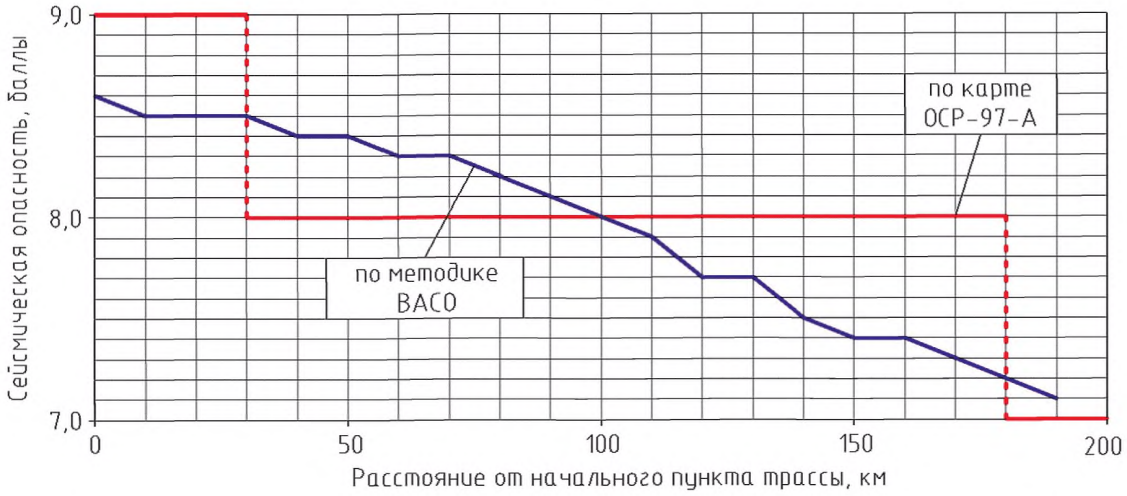


Рисунок В.2 — Изменение сейсмической опасности вдоль трассы автомобильной дороги (средний период повторения землетрясений T = 500 лет)

В.2 Использование при проектировании целых баллов, указанных на картах ОСР-97, без уточнения сейсмической опасности с учетом ее вариации вдоль трассы железной и автомобильной дорог способно привести в одних случаях к недооценке опасности землетрясений, в других — к ее переоценке. Применение детализированных карт сейсмической опасности с шагом изолиний 0,1 балла шкалы MSK-64 позволяет проектировать дороги в соответствии с требуемым уровнем их сейсмостойкости, исключая случаи необоснованного снижения надежности для одних сооружений и завышения стоимости других объектов.

В.3 Для 51 сооружения на железной и автомобильной дорогах выполнено СМР, учитывающее местные инженерно-геологические и геоморфологические условия. С учетом всех видов поправок (на сейсмический режим, грунтовые условия и рельеф участков мостовых переходов) сейсмичность повышена для восьми, уменьшена для 40 и оставлена без изменения для трех объектов.

Приложение Г
(справочное)

Уточнение исходной сейсмичности и сейсмическое микрорайонирование места расположения лавинозащитной галереи

Г.1 Рассматриваемый объект расположен на горном участке железной дороги категории IV по СП 119.13330 в долине р. Нижний Ингамакит, то есть находится в центральной части зоны активных Ингамакитских и Чина-Вакатских разломов. На флангах этой зоны землетрясения силой 9—10 баллов происходили в 1957 и 1967 гг. Центральная часть зоны характеризуется за последние 135 лет относительно слабой местной сейсмичностью, где за это время накопился значительный сейсмический потенциал (рисунок Г.1).

Галерея размещается на полке крутого склона. Свод галереи спроектирован из стальных гофрированных листов. Расстояние между осями фундаментов принято равным 7,68 м. Высота конструкции галереи от основной площадки до замка арки — 7,71 м, длина галереи — 38 м.

При проектировании объект рассматривался как сооружение класса сейсмостойкости II. Для определения исходной сейсмичности использовалась действовавшая на момент проведения работ по УИС и СМР карта ОСР-97-В, согласно которой сейсмичность района строительства $I_{ис}$ равна 9 баллам по шкале MSK-64.

Исходные данные для расчета поправки, учитывающей особенности сейсмического режима в месте расположения галереи, представлены в таблице Г.1.

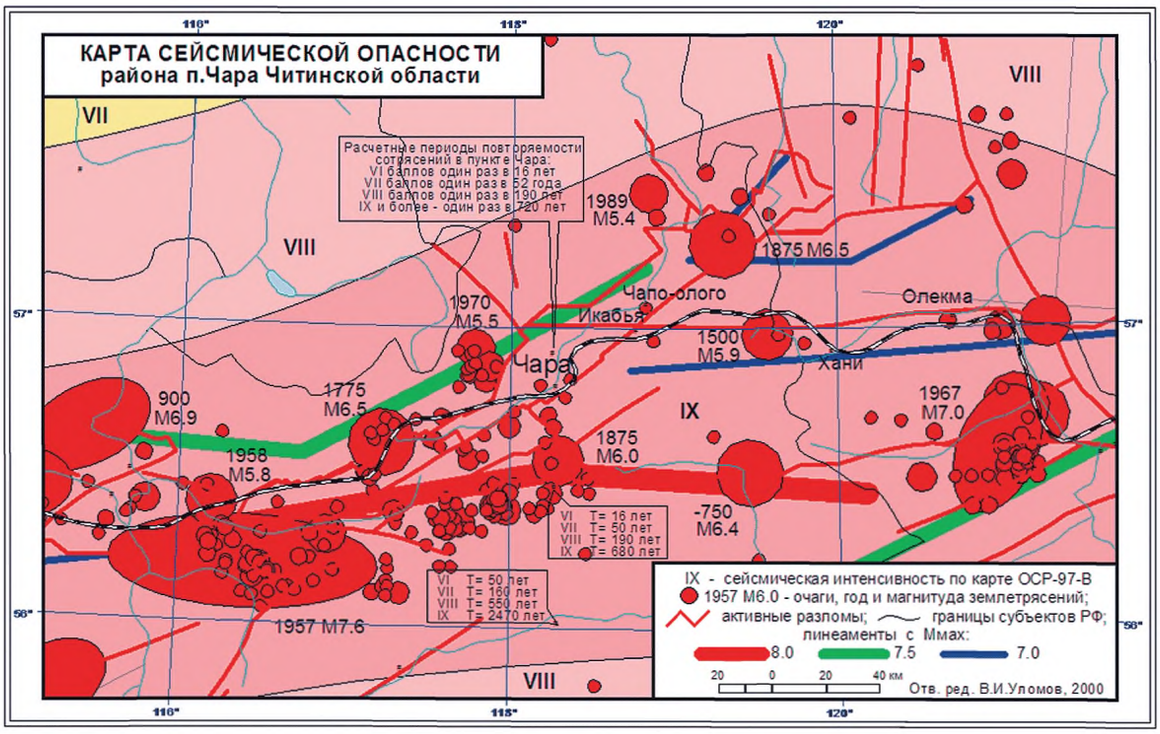


Рисунок Г.1 — Сейсмичность и сейсмическая опасность в районе п. Чара Читинской области (с 1 марта 2008 г. — Забайкальский край)

Таблица Г.1

Сила землетрясения I_j, баллы	6	7	8	9
Интервал времени между толчками по сейсмологическим данным T_i, годы	16	50	190	680
Десятичный логарифм времени T_i	1,204	1,700	2,279	2,832

Среднее значение чисел в строке $\lg T_i$:

$$\left(\lg T_i\right)_{ср} = 0,25\left(1,204 + 1,700 + 2,279 + 2,832\right) = 2,004.$$

Уравнение сейсмического режима в пункте строительства:

$$I = \alpha + \beta\left[\lg T - \left(\lg T_i\right)_{ср}\right]. \quad (Г.1)$$

Для определения коэффициентов α и β использованы формулы:

$$\alpha = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} I_i = \frac{6+7+8+9}{4} = 7,5,$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^{4} I_i\left[\lg T_i - \left(\lg T_i\right)_{ср}\right]}{\sum_{i=1}^{4}\left[\lg T_i - \left(\lg T_i\right)_{ср}\right]^2} =$$

$$= \frac{6(1,204-2,004)+7(1,700-2,004)+8(2,279-2,004)+9(2,832-2,004)}{(1,204-2,004)^2+(1,700-2,004)^2+(2,279-2,004)^2+(2,832-2,004)^2} = 1,82.$$

Подстановкой коэффициентов α и β в уравнение сейсмического режима получена формула для определения уточненной сейсмичности

$$I_{ут} = 3,85 + 1,82\lg T. \quad (Г.2)$$

График формулы (Г.2) показан на рисунке Г.2. Уточненная по формуле (Г.2) сейсмичность района строительства, соответствующая интервалу времени между толчками T = 1000 лет или вероятности превышения расчетного сейсмического воздействия за 50 лет эксплуатации (сейсмическому риску) 5 %, составляет

$$I_{ут} = 9,3 \text{ балла}.$$

Приращение балльности при вероятностном способе оценки отклонения сейсмического режима от принятого при составлении карты ОСР-97-В $\delta I_{с.р} = I_{ут} - I_{ис} = 0,3$ балла.



«+» — повторяемость землетрясений по сейсмологическим данным;
«–» — график сейсмического режима, построенный методом наименьших квадратов

Рисунок Г.2 — График сейсмического режима в верховьях р. Нижний Ингамакит

Г.2 Влияние рельефа местности на интенсивность колебаний грунта в месте расположения галереи

Согласно топографической карте ширина долины по дну приближается к 500 м, поверху — к 2000 м. Борта долины возвышаются над дном на 450—500 м. Средняя крутизна склонов 1:1,5. Отметка строительной площадки на 220 м превышает отметку дна долины, то есть в месте расположения галереи трасса дороги проложена в средней части склона.

Характеристика формы поперечного сечения долины определена в зависимости от ширины долины поверху L и глубины H по формуле

$$B = \frac{\sqrt{0,25L^2 + H^2}}{H} = \frac{\sqrt{0,25 \cdot 2^2 + 0,5^2}}{0,5} = 2,24.$$

Скорость поперечных сейсмических волн V_S в коренной породе склонов равна 2050 м/с, период колебаний грунта T = 0,3 с. Таким образом, длина волны λ для периода T = 0,3 с составит $\lambda = V_S T = 2050 \cdot 0,3 = 615$ м. Отношение x длины волны λ к глубине долины H

$$x = \frac{\lambda}{H} = \frac{615}{500} = 1,23.$$

Отношение амплитуд колебаний грунта на дне долины и на плоской горизонтальной площадке вне долины

$$\frac{A_{низ}}{A_{пл}} = \frac{1}{1+B^{-x}} = \frac{1}{1+2,24^{-1,23}} = 0,73.$$

Отношение амплитуд колебаний грунта в верхней части склонов и на плоской горизонтальной площадке вне долины

$$\frac{A_{верх}}{A_{пл}} = 1+\frac{0,5}{1+B^{x}} = 1+\frac{0,5}{1+2,24^{1,23}} = 1,13.$$

Искомый коэффициент, показывающий влияние рельефа на интенсивность колебаний склонов долины, изменяется линейно между найденными значениями 0,73 (на дне долины) и 1,13 (в верхней части склона). В уровне дороги коэффициент $K_{р.м}$ = 0,91. Для меньших значений периода поперечной волны 0,2 и 0,1 с коэффициент $K_{р.м}$ уменьшается до 0,88 и 0,86 соответственно.

Г.3 Влияние местных инженерно-геологических условий на сейсмичность площадки строительства галереи

В основании галереи залегают щебенисто-глыбовые грунты, оттаивающие в летний сезон на глубину 5 м ниже подошвы фундамента. По данным изысканий и сейсморазведки плотность верхнего слоя ρ_1 = 2,0 тс/м^3, скорость S-волн — 280 м/с. Ниже грунт находится в вечномерзлом состоянии, при котором скорость S-волн увеличивается до 1100 м/с.

Сейсмические жесткости верхнего и нижнего слоев расчетной толщи соответственно $\rho_1 V_{S1}$ = 560 т/(м$^2 \cdot$с) и $\rho_2 V_{S2}$ = 2200 т/(м$^2 \cdot$с). Средневзвешенная жесткость толщи

$$\rho V_s = \frac{\sum \rho_i V_{si} \delta_i}{\sum \delta_i} = \frac{560 \cdot 5 + 2200 \cdot 5}{5+5} = 1380 \text{ тс/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

то есть толща относится к грунтам категории II по сейсмическим свойствам.

Приращение сейсмичности строительной площадки за счет грунтовых условий

$$\delta I_{гр} = 1,67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_s}\right) = 1,67 \lg\left(\frac{655}{1380}\right) = \textbf{0,5 балла.}$$

Суммарная поправка на сейсмический режим и грунтовые условия $\delta I_{с.р} + \delta I_{гр}$ = 0,3 – 0,5 = –0,2 балла.

Амплитуду колебаний грунта при землетрясении силой 8,8 балла по таблице А.3 приложения А принимают равной 14,9 см. С учетом поправки на рельеф местности $K_{р.м}$ = 0,91 амплитуда колебаний уменьшается до 13,5 см, что не выходит за границы интервала амплитуд колебаний грунта при толчках силой 8,8 балла.

Приложение Д
(справочное)

Определение условного сопротивления грунтов сжатию при сейсмическом микрорайонировании

Д.1 Общие положения

Известные зависимости между модулем деформации глинистых грунтов, углом внутреннего трения песков, прочностью скальных грунтов при сжатии и скоростью S-волн не полностью охватывают разнообразные инженерно-геологические условия, встречающиеся при строительстве. В связи с этим при сейсмическом микрорайонировании участков транспортных сооружений используется универсальная зависимость.

Согласно СП 35.13330 расчетное сопротивление R нескальных грунтов осевому сжатию рекомендуется определять в зависимости от условного сопротивления R_0 грунта сжатию, размеров (меньшей стороны или диаметра) фундамента мелкого заложения или опускного колодца в плане, глубины заложения фундамента и удельного веса грунта выше его подошвы. Перечисленные исходные данные применяют также при определении сопротивления сжатию грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений по СП 22.13330.

Расчетное сопротивление грунтов сжатию R незначительно отличается от условного сопротивления R_0, так как поправки на размер фундамента и глубину его заложения обычно не превышают 10—20 % от R. Таким образом, расчетное сопротивление грунтов сжатию в основном определяется условным сопротивлением R_0, зависящим от физических свойств грунта.

Использование условного сопротивления R_0 в качестве индикатора скорости распространения S-волн в грунте требует введения некоторых дополнений и изменений в методику, применяемую для вычисления R_0 при статическом расчете оснований опор мостов на прочность. Приведенная ниже методика определения R_0 применительно к задаче сейсмического микрорайонирования относится к участкам строительства транспортных сооружений, сложенных глинистыми, песчаными и крупнообломочными грунтами, а также скальными грунтами в зоне выветривания.

После определения при изысканиях условного сопротивления сжатию R_0 грунтов расчетной толщи скорости V_S в слоях могут быть найдены с использованием формул (6.6) и (6.7).

Д.2 Глинистые грунты

Изложенная в СП 35.13330 методика определения R_0 с использованием физических характеристик (показателя текучести I_L и коэффициента пористости e) относится к супесям, суглинкам и глинам от мягкопластичной до полутвердой консистенции, то есть имеющим показатель текучести $0 \le I_L \le 0{,}6$. В этом диапазоне I_L значение R_0 изменяется у супесей — от 10 до 35 тс/м^2, у суглинков — от 10 до 40 тс/м^2, у глин — от 10 до 60 тс/м^2 (таблица Д.1).

Таблица Д.1 — Условное сопротивление грунтов сжатию при неотрицательных значениях показателя текучести

Грунты	Коэффициент пористости e	Условное сопротивление грунта сжатию R_0, тс/м^2, в зависимости от показателя текучести I_L						
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Супеси	0,5	35	30	25	20	15	10	—
	0,7	30	25	20	15	10	—	—
Суглинки	0,5	40	35	30	25	20	15	10
	0,7	35	30	25	20	15	10	—
	1,0	30	25	20	15	10	—	—
Глины	0,5	60	45	35	30	25	20	15
	0,6	50	35	30	25	20	15	10
	0,8	40	30	25	20	15	10	—
	1,1	30	25	20	15	10	—	—

При отрицательном показателе текучести $I_L < 0$ глинистые грунты переходят в твердое состояние с повышением R_0 в 3—5 раз по сравнению с полутвердыми грунтами. Для твердых глинистых грунтов значение R_0 по СП 35.13330 следует определять на основании данных испытаний образцов на одноосное сжатие. При этом значение R_0 принимают для супесей — не более 100 тс/м^2, для суглинков — не более 200 тс/м^2, для глин — не более 300 тс/м^2.

В природных условиях глинистые грунты одного и того же выделенного на участке строительства инженерно-геологического элемента (слоя) могут в одних точках находиться в полутвердом состоянии, в других точках — в твердом. В этом случае для оценки R_0 используют физические характеристики проб грунта. Если среднее значение I_L частных определений оказывается отрицательным, то в запас надежности среднее значение I_L принимают равным нулю и определяют R_0 как для грунта полутвердой консистенции, в зависимости от e.

Увеличение фактического отрицательного значения показателя текучести I_L твердого грунта до нуля приводит к занижению его условной прочности на сжатие, что противоречит общему требованию СП 35.13330 о принятии проектных решений, обеспечивающих наиболее полное использование прочностных характеристик грунта. Для использования при СМР таблицу функции $R_0 = f(I_L, e)$ следует дополнить значениями R_0 для отрицательных величин I_L (таблица Д.2), то есть для твердых глинистых грунтов.

В таблице Д.2 приведены значения R_0 для твердых супесей, суглинков и глин при $-0,5 \le I_L \le -0,1$ и e от 0,3 до 0,7 для супесей, от 0,3 до 1,0 для суглинков и от 0,4 до 1,1 для глин, полученные линейной экстраполяцией величин R_0, приведенных в таблице Д.1.

Таблица Д.2 — Условное сопротивление грунтов сжатию при отрицательных значениях показателя текучести

Грунты	Коэффициент пористости e	Условное сопротивление грунта сжатию R_0, тс/м^2, в зависимости от показателя текучести I_L				
		–0,5	–0,4	–0,3	–0,2	–0,1
Супеси	0,3	65	60	55	50	45
	0,5	60	55	50	45	40
	0,7	55	50	45	40	35
Суглинки	0,3	70	65	60	55	50
	0,5	65	60	55	50	45
	0,7	60	55	50	45	40
	1,0	55	50	45	40	35
Глины	0,4	145	130	115	100	85
	0,5	135	120	105	90	75
	0,6	125	110	95	80	65
	0,8	90	80	70	60	50
	1,1	55	50	45	40	35

Пример — Коренные породы на участке реконструкции моста через р. Адагум (Краснодарский край) представлены аргиллитоподобной глиной. Физико-механические свойства глины определены исследованием опытных образцов, извлеченных при бурении семи разведочных скважин глубиной заложения до 30 м. Всего для лабораторных исследований отобрано 58 образцов с глубин от 1,5 до 29,2 м.

Показатель текучести I_L образцов менялся в диапазоне от минус 0,51 до плюс 0,22. Среднее значение I_L для всей совокупности образцов равно минус 0,20. Таким образом, в отдельных местах глина имеет полутвердую консистенцию, но в среднем массив относится к твердым глинам.

Коэффициент пористости образцов глины лежит в интервале значений от 0,62 до 1,27 при среднем значении частных определений 0,94.

Условное сопротивление глины R_0 = 35,9 тс/м^2 определено по таблице Д.1, как для полутвердого грунта с показателем текучести I_L = 0.

При СМР R_0 следует определять по таблице Д.2 с учетом среднего для массива значения I_L = –0,20. В этом случае условное сопротивление глины сжатию равно 50,7 тс/м^2, то есть примерно в 1,4 раза больше, чем принято при выполнении статических расчетов оснований на прочность.

На практике также встречаются грунты, имеющие положительное среднее значение I_L при изменении показателя текучести I_L в отдельных точках инженерно-геологического элемента от отрицательных до положительных значений. В данном случае для определения R_0 по физическим характеристикам I_L и e грунта следует пользоваться таблицей Д.1 как при оценках R_0 для статических расчетов, так и при СМР.

Пример — При изысканиях на участке строительства пешеходного моста на ст. Тихорецкая (Краснодарский край) пробурены три разведочные скважины глубиной по 20 м каждая. По данным разведочного бурения, с поверхности участка залегает слой насыпного грунта толщиной от 1,1 до 3,1 м.

Ниже залегает суглинок полутвердой консистенции (I_L = 0,03) с маломощными прослоями тугопластичного суглинка (I_L = 0,36). Суммарная мощность слоев суглинка от 6,7 до 10,5 м.

Суглинки подстилаются глиной от твердой (минимальное значение частных определений I_L = –0,12) до полутвердой (наибольшее значение выборки I_L = 0,13) консистенции. Нормативное значение показателя текучести I_L = 0,04, то есть в среднем глина имеет полутвердую консистенцию. При коэффициенте пористости e = 0,69 соответствующее физическим характеристикам условное сопротивление глины сжатию R_0 = 39,6 тс/м^2.

Значение R_0 для грунтов с положительными частными значениями I_L всех образцов, то есть соответствующими супесям пластичной консистенции, суглинкам и глинам полутвердой, тугопластичной и мягкопластичной консистенции, находят так же, как в приведенном примере.

Д.3 Песчаные грунты

Условное сопротивление песчаных грунтов R_0 определяют с учетом трех физических характеристик: гранулометрического состава, плотности и влажности. Для определения R_0 плотных и средней плотности песков при СМР за основу принимают оценки условного сопротивления сжатию песчаных грунтов (таблицы Д.3 и Д.4). Рыхлые пески в таблицы Д.3 и Д.4 не включены, так как при СМР склонные к разжижению рыхлые пески из состава расчетной толщи грунтов исключаются.

Таблица Д.3 — Условное сопротивление сжатию плотных песков

Наименование грунта	Коэффициент пористости e	Условное сопротивление сжатию R_0, тс/м^2
Гравелистые и крупные пески независимо от их влажности	e < 0,55	45
Пески средней крупности: - маловлажные - влажные и насыщенные водой	e < 0,55	 40 35
Мелкие пески: - маловлажные - влажные и насыщенные водой	e < 0,60	 30 25
Пылеватые пески: - маловлажные - влажные - насыщенные водой	e < 0,60	 25 20 15

Таблица Д.4 — Условное сопротивление сжатию песков средней плотности

Наименование грунта	Коэффициент пористости e	Условное сопротивление сжатию R_0, тс/м^2
Гравелистые и крупные пески независимо от их влажности	e = 0,65	35
Пески средней крупности: - маловлажные - влажные и насыщенные водой	e = 0,65	 30 25
Мелкие пески: - маловлажные - влажные и насыщенные водой	e = 0,70	 20 15
Пылеватые пески: - маловлажные - влажные - насыщенные водой	e = 0,80	 20 15 10

Для песков средней плотности в СП 35.13330 приведено значение R_0 примерно на 40 % меньше, чем для плотных песков. В запас прочности нормативное значение R_0 относят к более слабому песку с наибольшим коэффициентом пористости. Например, маловлажные пески средней крупности имеют коэффициент пористости $0,55 \le e \le 0,65$. В этом интервале R_0 изменяется от 40 до 30 тс/м^2. За нормативное значение R_0 принимают 30 тс/м^2, соответствующее e = 0,65.

При СМР показатель прочности грунта R_0 необходимо относить не к самому слабому слою массива, а к среднему значению R_0 для массива в целом, так как скорость S-волн в массиве зависит от физических свойств всех

слоев на пути волн, а не от свойств одного самого слабого слоя. Поэтому для средней плотности гравелистых песков, крупных и средней крупности при $0,55 \le e \le 0,65$, а также мелких песков средней плотности при $0,60 \le e \le 0,70$ и пылеватых при $0,60 \le e \le 0,80$ значения R_0 следует находить линейной интерполяцией значений, указанных в таблицах Д.3 и Д.4 для плотных песков и песков средней плотности.

Пример — Верхний слой инженерно-геологического разреза площадки одной из опор моста через р. Цемес в Новороссийске состоит из средней плотности мелкого влажного песка с коэффициентом пористости e = 0,65 и удельным весом γ = 1,89 тс/м^3.

Условное сопротивление сжатию мелких влажных песков средней плотности изменяется в интервале значений от 15 до 25 тс/м^2 (рисунок Д.1). При коэффициенте пористости e = 0,65 значение R_0 при сейсмическом микрорайонировании равно 20 тс/м^2, что примерно на 30 % больше, чем условное сопротивление грунта при расчете оснований на нагрузки основного сочетания.

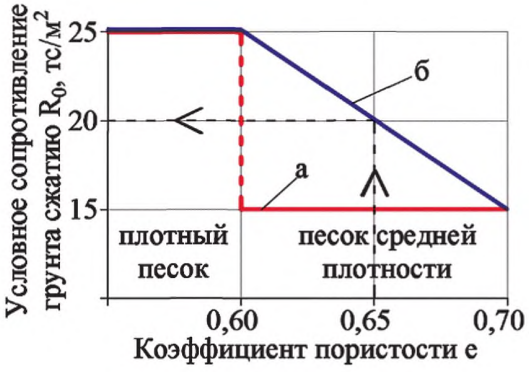


Рисунок Д.1 — Зависимость условного сопротивления грунта сжатию R_0 от коэффициента пористости при расчете прочности оснований на основное сочетание нагрузок (а) и при сейсмическом микрорайонировании (б)

Д.4 Крупнообломочные грунты

Д.4.1 Гравийно-галечниковые грунты

Значения R_0 крупнообломочных грунтов изменяются в пределах от 50 до 150 тс/м^2 в зависимости от крупности и окатанности обломков (галька, щебень, гравий, дресва), вида породы, из которой образовались обломки (кристаллической или осадочной), а также от содержания и прочности глинистого заполнителя.

Примечание — Если крупнообломочные грунты образовались из магматических, метаморфических и осадочных пород, то при сейсмическом микрорайонировании значение R_0 принимают как среднее условных сопротивлений сжатию обломков осадочных и кристаллических пород.

В транспортном строительстве к дресвяной (гравийной) фракции принято относить обломки размером от 2 до 10 мм, к щебенистой (галечниковой) фракции — обломки породы размером от 10 до 200 мм. Размеры частиц скелета существенно влияют на прочность крупнообломочного грунта при сжатии. Для галечникового (щебенистого) грунта осадочных пород условное сопротивление R_0 принимают 100 тс/м^2, для гравийного (дресвяного) грунта из тех же пород — 50 тс/м^2. Примерно такое же соотношение прочностей принято для галечниковых и гравийных грунтов из кристаллических пород.

На установленной нормами границе (50 % содержания по массе обломков соответствующей фракции) прочность грунта полагают скачкообразно изменяющейся, что является условно принятым соглашением, в первом приближении учитывающим уменьшение прочности грунта с сокращением размера частиц жесткого каркаса. Таким образом, чем сильнее разрушена исходная скальная порода, тем ниже прочность остаточного материала.

Для уточнения прочности грунта используют линейную интерполяцию между значениями R_0, регламентированными для отдельных сочетаний физических характеристик грунта (пористости, пластичности, крупности зерен, плотности и др.). Интерполяцию используют применительно к определению R_0 для грунтов, состоящих из гравия и гальки, гальки с суглинистым заполнителем, гальки и гравия с суглинистым заполнителем.

Принимают, что упомянутые нормативные значения R_0 относятся к галечниковой (щебенистой) и гравийной (дресвяной) фракциям. Прочность грунта, состоящего из двух фракций, находят линейной интерполяцией в зависимости от содержания в грунте обломков размером более 10 мм (рисунок Д.2).

Из сопоставления графиков а) и б) на рисунке Д.2 видно, что относительная погрешность определения R_0 с использованием ступенчатой функции может составлять до 33 % определяемого значения в сторону занижения или завышения прочности.

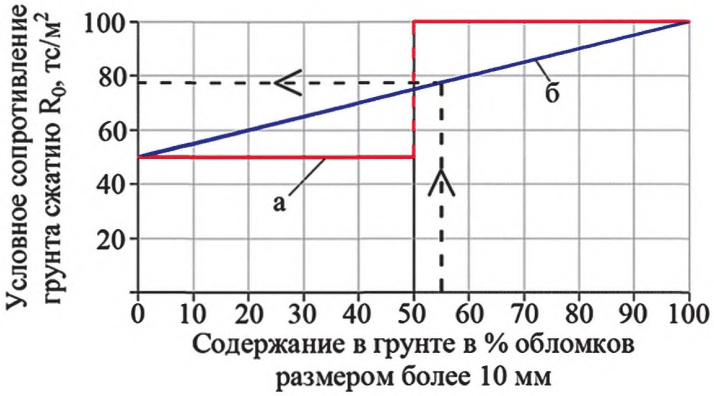


Рисунок Д.2 — Зависимости R_0 крупнообломочного грунта осадочных пород от содержания обломков размером более 10 мм по нормам проектирования мостов (а) и при сейсмическом микрорайонировании (б)

Пример — Галечниковый грунт осадочной породы содержит 55 % по массе частиц размером более 10 мм и 45 % частиц гравийной фракции. Требуется найти условное сопротивление сжатию грунта, содержащего обе фракции в данном соотношении.

Величину R_0 находим линейной интерполяцией между крайними значениями 50 и 100 тс/м^2:

$$R_0 = 50 + \frac{50 \cdot 55}{100} = 77 \text{ тс/м}^2.$$

В данном случае прочность, найденная по ступенчатой зависимости, завышена на 23 тс/м^2 по сравнению с прочностью, определенной линейной интерполяцией.

Д.4.2 Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем

При заполнении пустот между крупными обломками глинистым материалом в количестве более 40 % массы грунта значения R_0 принимают по нормам расчета оснований на прочность, как для глинистого заполнителя. Так, для глинистых грунтов мягкопластичной консистенции R_0 = 10—15 тс/м^2, соответственно в разы уменьшается условное сопротивление сжатию крупнообломочного грунта при переходе через упомянутое соотношение глинистого заполнителя и крупных обломков в грунте.

Фактически свойства щебенисто-глинистой массы почти полностью зависят от состава и свойств заполнителя, если содержание крупных обломков в породе менее 10 % (то есть содержание заполнителя более 90 %). При 35—65-процентном содержании щебня значительная часть нагрузки при сжатии воспринимается жестким скелетом из крупных обломков, поэтому линейная интерполяция между предельными значениями R_0, относящимися к прочности жесткого скелета при отсутствии глинистого заполнителя и прочности заполнителя при отсутствии крупных обломков в составе грунта, дает более точные значения прочности крупнообломочных грунтов с глинистым заполнителем.

Пример 1 — Крупнообломочный грунт относится к галечникам из обломков осадочных пород с суглинистым заполнителем до 18 % полутвердой консистенции. Условное сопротивление сжатию жесткого каркаса без суглинистого заполнителя R_0 = 100 тс/м^2. Условное сопротивление полутвердого суглинка без учета влияния крупных обломков (гальки) R_0 = 28 тс/м^2. Изменение прочности на сжатие галечника с суглинистым заполнителем (суглинка с галькой) принимают по графику (рисунок Д.3).

Искомое значение прочности галечника с суглинистым заполнителем:

$$R_0 = 28 + \frac{(100 - 28) \cdot 82}{100} = 87 \text{ тс/м}^2.$$

При расчете оснований на прочность влиянием суглинка в количестве 18 % массы галечника пренебрегают, то есть прочность галечника считают равной 100 тс/м^2, завышая ее на 13 %. При содержании заполнителя более 40 % условное сопротивление R_0, напротив, будет занижено более чем в два раза.

Пример 2 — Крупнообломочный грунт содержит гальку осадочной породы в количестве 55 % массы грунта и 27 % частиц гравийной фракции. Кроме того, гравийно-галечниковые отложения включают в себя суглинистый заполнитель полутвердой консистенции, составляющий 18 % массы грунта в целом.

Условное сопротивление на сжатие грунта, состоящего из трех фракций, находят линейной интерполяцией (рисунок Д.4) между крайними значениями, соответствующими прочности галечнико-гравийного каркаса (R_0 = 83 тс/м^2) и суглинистого заполнителя (R_0 = 28 тс/м^2).



Рисунок Д.3 — Зависимости прочности галечника при сжатии от содержания суглинистого заполнителя полутвердой консистенции при расчете оснований на прочность (а) и при сейсмическом микрорайонировании (б)

Искомое значение условного сопротивления грунта из трех фракций

$$R_0 = 28 + \frac{(83 - 28) \cdot 82}{100} = 73 \text{ тс/м}^2.$$

При расчете на сжатие оснований статической нагрузкой R_0 рассматриваемого грунта принимают равной 100 тс/м^2, так как грунт более чем на 50 % состоит из галечниковой фракции осадочной породы.

Присутствие в грунте гравия и суглинистого заполнителя уменьшает значение R_0 на 27 тс/м^2. Таким образом, учет влияния гравия и суглинка с помощью интерполяции позволяет считать, что грунт имеет менее благоприятную характеристику прочности, чем при оценке R_0 с использованием ступенчатой функции.

Оценку R_0 крупнообломочного грунта можно уточнить путем учета гранулометрического состава галечниковой фракции. Принимая значение R_0 = 50 тс/м^2 для гравия с размером частиц s = 10 мм и R_0 = 100 тс/м^2 для гальки из обломков осадочных пород с размерами частиц s = 200 мм, находят зависимость между размером частиц и условным сопротивлением каркаса R_0 = 47,37 + 0,26s.

Пусть галечниковая фракция состоит из частиц размером от 10 до 20 мм в количестве 5 % массы грунта, размером от 20 до 40 мм в количестве 10 %, размером от 40 до 60 мм в количестве 25 % и размером от 60 до 80 мм в количестве 15 %.

Соответствующее условное сопротивление галечниково-гравийного каркаса R_0 = 57 тс/м^2. Условное сопротивление грунта, состоящего из гальки, гравия и суглинка,

$$R_0 = 28 + \frac{(57 - 28) \cdot 82}{100} = 52 \text{ тс/м}^2,$$

что существенно меньше, чем для грунта, включающего самую крупную по размерам гальку (R_0 = 73 тс/м^2).

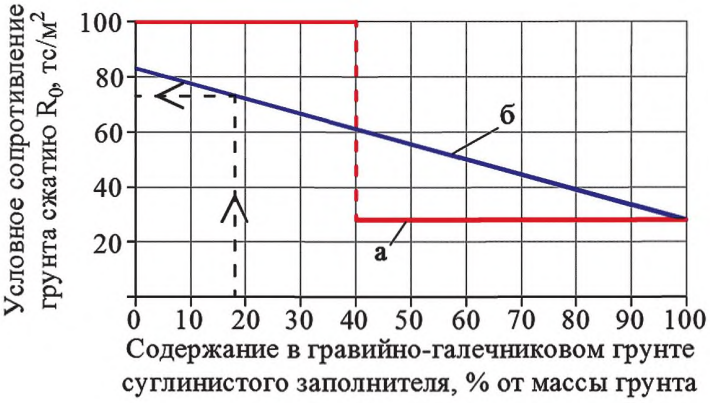


Рисунок Д.4 — Зависимости условного сопротивления гравийно-галечникового грунта при сжатии от содержания суглинистого заполнителя при расчете основания на прочность (а) и при сейсмическом микрорайонировании (б)

Д.5 Скальные грунты в зоне выветривания

Вдоль трасс дорог скальные грунты нередко выходят на земную поверхность или их кровля располагается на глубине до 10 м от нее. В этих случаях в состав расчетной толщи грунта, сейсмическая жесткость которой учитывается при сейсмическом микрорайонировании сооружений на дорогах, включают верхнюю часть скального массива.

При выполнении СМР участков под объекты транспортного строительства условное сопротивление грунтов сжатию R_0 считают равным пределу прочности грунта на одноосное сжатие R_c, которое определяют как среднее значение прочности скального грунта по ГОСТ 25100. Идентификацию скальных грунтов в зоне выветривания устанавливают по данным общих инженерно-геологических изысканий.

Условное сопротивление сильновыветрелого слоя, состоящего из более или менее крупных обломков с пустотами, заполненными песчаным и глинистым материалом, находят при СМР, как для крупнообломочного грунта, в зависимости от происхождения породы, крупности и окатанности обломков, количества и свойств глинистого заполнителя с использованием линейных зависимостей между R_0 и физическими характеристиками грунта.

Приложение Е
(справочное)

Сейсмическое микрорайонирование участка строительства виадука

Е.1 Исходные данные

Мостовой переход через долину р. Чемитоквадже на Черноморском побережье Северного Кавказа (Краснодарский край) расположен между г. Туапсе и г. Сочи. Приустьевая часть долины р. Чемитоквадже врезана в подстилающие коренные породы примерно на 110 м. Древнее дно долины перекрыто аллювиальными четвертичными отложениями мощностью до 30 м. Крутизна скальных склонов долины достигает 30—35°. Исходная сейсмичность района принята равной 9 баллам по шкале MSK-64.

По данным изысканий, коренные породы в створе мостового перехода представлены окремнелым мергелем. Верхние слои коренной породы трещиноватые, малопрочные с расчетным сопротивлением сжатию $R_c \approx 1000$ тс/м^2. Плотность мергеля — 2,45 т/м^3.

В средней части перехода кровля мергеля погружается на глубину около 30 м ниже современного дна долины. Инженерно-геологический разрез по оси центральной опоры включает в себя насыпной грунт, слой галечника мощностью 7,5 м, расположенный под ним слой суглинка толщиной 4,3 м и залегающий на кровле мергеля слой галечника мощностью 15,5 м.

Расчетная толща грунта, определяющая сейсмичность площадки центральной опоры виадука, включает в себя два слоя галечника и один слой суглинка (рисунок Е.1). Эти грунты имеют следующие характеристики:

Слой № 1. Галечник из обломков преимущественно осадочных пород с суглинистым заполнителем до 28 %. Нормативная плотность грунта ρ = 2,30 г/м^3. Условное сопротивление сжатию составляющих грунт фракций равно 100 тс/м^2 (галечник) и 13,5 тс/м^2 (суглинок).

Условное сопротивление галечника с суглинистым заполнителем R_0 = 75,8 тс/м^2.

Слой № 2. Тугопластичный суглинок с гравием осадочных пород до 20 %. Плотность грунта ρ = 1,97 г/м^3. Условное сопротивление сжатию составляющих грунт фракций равно 50 тс/м^2 (гравий) и 13,5 тс/м^2 (суглинок).

Условное сопротивление суглинка с гравием R_0 = 20,8 тс/м^2.

Слой № 3. Галечник плотностью ρ = 2,30 г/м^3 с тонкими прослойками суглинка, составляющими суммарно 6 % мощности слоя № 3. Это позволяет считать слой однородным, пренебрегая прослойками суглинка. Условное сопротивление галечника сжатию R_0 = 100 тс/м^2.

Е.2 СМР в створе виадука

Сейсморазведка в створе моста выполнялась в целях определения скоростей продольных и поперечных волн в коренной породе и покровных отложениях. Работы осуществлялись вдоль линии длиной 276 пог. м при наибольшей глубине зондирования 33 м. Регистрация колебаний грунта и предварительная обработка записей проводились с помощью сейсмостанции.

Скорости S-волн в слоях № 1—3, по данным сейсморазведки, равны 433, 278 и 680 м/с соответственно. Сейсмические жесткости слоев $\rho_1 V_{S1}$ = 2,30 · 433 = 996 тм^2/с, $\rho_2 V_{S2}$ = 1,97 · 278 = 548 тм^2/с, $\rho_3 V_{S3}$ = 2,30 · 680 = = 1564 тм^2/с. По сейсмической жесткости галечник относится к грунтам категории II по сейсмическим свойствам, суглинок — к грунтам категории III. Скорость S-волн в мергеле — 1065 м/с. Сейсмическая жесткость коренной породы $\rho_4 V_{S4}$ = 2,45 · 1065 = 2609 тм^2/с, то есть мергель относится к грунтам категории I по сейсмическим свойствам.

При исходной сейсмичности 9 баллов расчетное значение скорости S-волн в грунтах категории III по сейсмическим свойствам уменьшается на 30 % за счет нелинейности деформаций грунта при 9-балльных землетрясениях. Поэтому для дальнейших расчетов скорость S-волн в тугопластичном суглинке принимают равной 0,7 · 278 = 195 м/с, сейсмическую жесткость $\rho_2 V_{S2}$ = 1,97 · 195 = 384 тм^2/с.

Приращение сейсмичности площадки центральной опоры за счет местных инженерно-геологических условий по данным сейсморазведки определяют по формуле

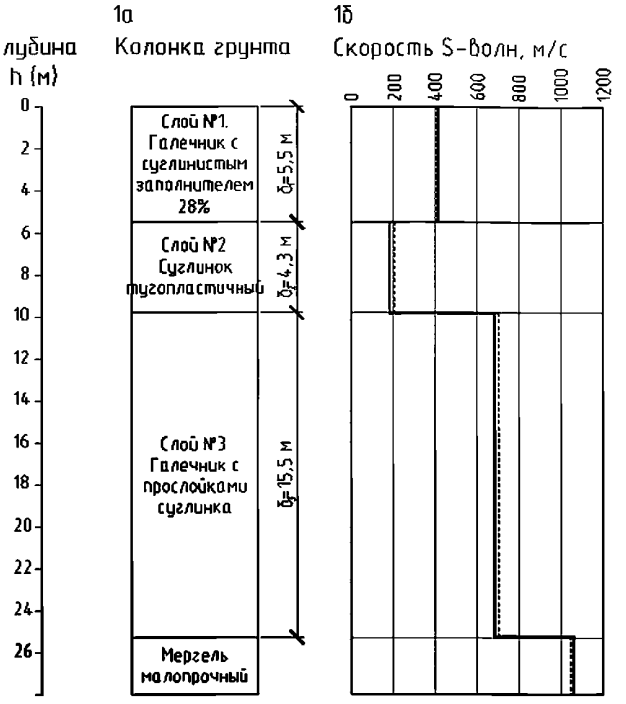
$$\delta I_{гр} = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_S}\right),$$

где средневзвешенная жесткость расчетной толщи

$$\rho V_S = \frac{\sum(\rho_i V_{si})\delta_i}{\sum\delta_i} = \frac{996 \cdot 5{,}5 + 384 \cdot 4{,}3 + 1564 \cdot 15{,}5}{5{,}5 + 4{,}3 + 15{,}5} = \mathbf{1240}\ \text{т/(м}^2 \cdot \text{с)},$$

то есть расчетная толща относится к грунтам категории II по сейсмическим свойствам.

Приращение балльности $\delta I_{гр} = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{1240}\right) = -0{,}5$ балла.



а — колонка грунта; б — графики скорости S-волн: ——— по данным сейсморазведки; -------- по данным расчета

Рисунок Е.1 — Скорости S-волн в грунтах расчетной толщи и в коренной породе

Приращение балльности на основе данных общих инженерно-геологических изысканий оценивают с определением скорости S-волн в зависимости от условного сопротивления грунта сжатию R_0, средней глубины залегания слоев и поправочных коэффициентов на нелинейность деформирования и обводненность слоев грунта расчетной толщи.

Для слоя № 1 на глубине h_1 = 5,75 м от поверхности грунта условное сопротивление сжатию R_0 = 75,8 тс/м^2. Поправочный коэффициент на обводненность слоя $K_{об}$ = 0,9. Скорость

$$V_{S1} = K_{об}\left(0,70+0,03h_1\right)\left(454\lg R_0 - 316\right) = 0,9\left(0,70+0,03\cdot 5,75\right)\left(454\lg 75,8 - 316\right) = 422 \text{ м/с}.$$

Сейсмическая жесткость $\rho_1 V_{S1}$ = 2,30 · 422 = 971 т/(м^2 · с).

Для слоя № 2 на глубине h_2 = 10,65 м от поверхности грунта условное сопротивление сжатию грунта R_0 = 20,8 тс/м^2. Поправочный коэффициент на нелинейность деформирования грунта $K_{н.д}$ = 0,7. Скорость

$$V_{S2} = K_{н.д}\left(0,70+0,03h_2\right)\left(454\lg R_0 - 316\right) = 0,7\left(0,70+0,03\cdot 10,65\right)\left(454\lg 20,8 - 316\right) = \mathbf{201\ м/с}.$$

Сейсмическая жесткость $\rho_2 V_{S2}$ = 1,97 · 201 = 396 т/(м^2 · с).

Для слоя № 3 на глубине h_3 = 20,55 м от поверхности строительной площадки условное сопротивление грунта сжатию R_0 = 100 тс/м^2. Поправочный коэффициент на обводненность слоя $K_{об}$ = 0,9. Скорость

$$V_{S3} = K_{об}\left(0,70+0,03h_3\right)\left(454\lg R_0 - 316\right) = 0,9\left(0,70+0,03\cdot 20,55\right)\left(454\lg 100 - 316\right) = 701 \text{ м/с}.$$

Сейсмическая жесткость $\rho_3 V_{S3}$ = 2,30 · 701 = 1612 т/(м^2 · с).

Средневзвешенная сейсмическая жесткость расчетной толщи из трех слоев

$$\rho V_S = \frac{\sum\left(\rho_i V_{si}\right)\delta_i}{\sum\delta_i} = \frac{971\cdot 5,5 + 396\cdot 4,3 + 1612\cdot 15,5}{5,5+4,3+15,5} = 1266 \text{ т/(м}^2\cdot\text{с)}.$$

Приращение балльности $\delta I_{гр} = 1,67\lg\left(\dfrac{655}{1266}\right)$ = –0,5 балла.

Таким образом, при использовании данных сейсморазведки и неинструментального способа СМР получены одинаковые приращения балльности строительной площадки опоры виадука.

По данным общих инженерно-геологических изысканий можно найти скорости S-волн в коренной породе на глубине 28,3 м, соответствующей кровле мергеля, V_{S4} = 454lgR_0 – 316 = 454lg1000 – 316 = 1046 м/с, что незначительно отличается от скорости, найденной экспериментально (V_{S4} = 1065 м/с).

Приложение Ж
(справочное)

Сейсмическое микрорайонирование участка мостового перехода

Мост через р. Углегорка (Сахалинская область) расположен на автомобильной дороге категории III по СП 34.13330. Первоначальный проект моста был разработан в 1993 г. в период действия карты ОСР-78, на которой сейсмичность района строительства моста была принята 7 баллов.

После Нефтегорского землетрясения 1995 г. сейсмичность территории мостового перехода была увеличена до 9 баллов. В связи с этим в 2001 г. была выполнена корректировка проекта. По измененному проекту полная длина моста составила 207,14 м. Мост относится к балочной системе с разрезными на поймах и неразрезным над руслом реки (частично над левобережной поймой) пролетными строениями. Опоры бетонные (железобетонные) с фундаментами в виде свайных ростверков расположены на левобережной и правобережной поймах.

По данным общих инженерно-геологических изысканий, левобережная пойма с поверхности сложена крайне слабыми отложениями (илами, глинистыми грунтами текучей консистенции, заторфованными суглинками). Мощность толщи этих грунтов изменяется от нескольких метров у подошвы береговой террасы до 23 м у русла реки. Под толщей слабых глинистых грунтов на кровле выветрелого аргиллита залегает суглинок с гравием и дресвой.

Инженерно-геологическая обстановка на правобережной пойме сложнее, чем на левом берегу реки. В верхних слоях грунтового массива присутствуют текучие, мягкопластичные и тугопластичные супеси, суглинки и глины с примесью органических веществ. Углы падения слоев локально более крутые, чем на левобережной пойме. Общая мощность покровных отложений, залегающих на кровле выветрелых аргиллитов, местами превышает 25 м.

Неблагоприятные особенности инженерно-геологической обстановки на правобережной пойме созданы деятельностью р. Углегорки и ее правого притока, спускающегося на пойму в створе моста с террасы правого берега.

Русловые процессы в палеоруслах р. Углегорки и ее притока привели к понижению отметок кровли трещиноватого аргиллита, увеличению мощности элювия, эрозии и сносу части коренной породы с выработкой плоского ложа и крутых стенок русел, с последующим накоплением в палеоруслах слабых отложений. В результате аргиллиты и покровные отложения на правобережной пойме имеют быстро изменяющиеся свойства как по глубине разреза, так и в горизонтальных сечениях.

В период строительства с 1994 по 2003 г. наблюдались осадка насыпей на подходах к мосту, разрушение глубоким сдвигом правобережного устоя, осадка и крен левобережного устоя, трещины в надземных конструкциях промежуточных опор.

В 2008 г. на объекте выполнялись работы по обследованию конструкций, диагностике причин деформаций сооружения с составлением рекомендаций по мерам стабилизации состояния моста, включая сейсмическое микрорайонирование участка мостового перехода и разработку мер защиты сооружения от землетрясений.

Сейсморазведочные работы включали в себя определение скоростей продольных и поперечных волн по шести сейсмопрофилям (СМПР) общей длиной 552 м. СМПР располагались вдоль и поперек оси моста на площади 16 000 м^2. Глубина разрезов до 40 м. Скорости волн измерялись с шагом 2 м по глубине разрезов и 10 м по их простиранию. По этим данным построены геофизические разрезы изучаемого массива вдоль и поперек оси моста. На разрезах приведены положение слоев и сейсмические свойства слагающих их грунтов. Положение СМПР в плане показано на рисунке Ж.1.

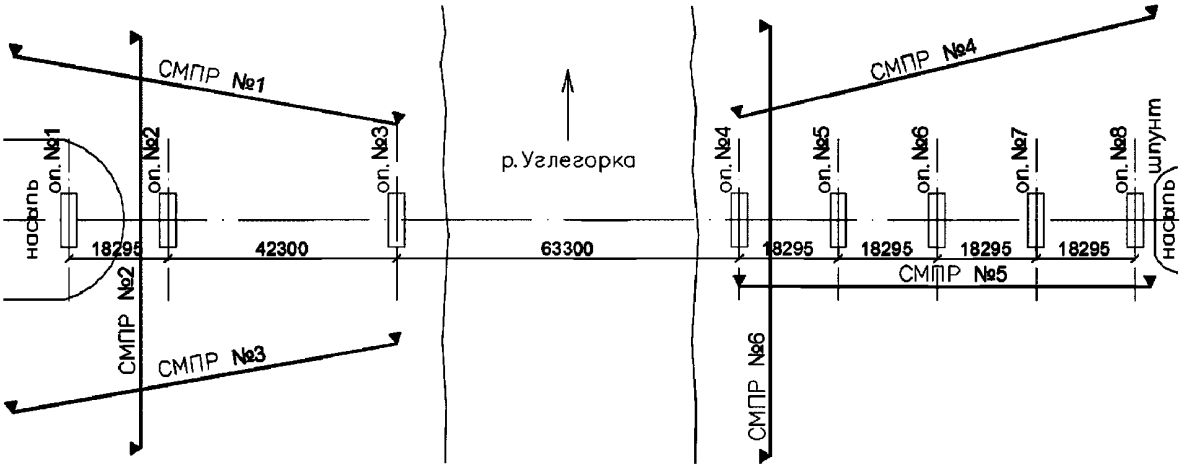


Рисунок Ж.1 — Положение сейсмопрофилей на участке мостового перехода

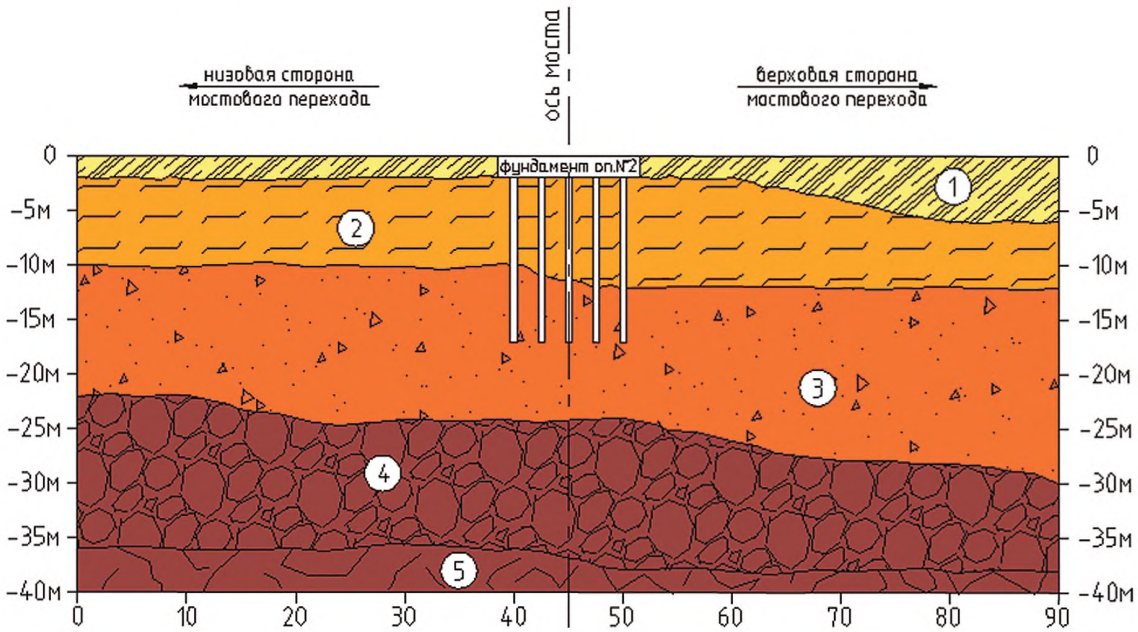
***При СМР поправку на грунтовые условия оснований мостовых опор определяют с учетом сейсмической жесткости расчетной толщи грунта. Для фундаментов из свай, столбов и оболочек из состава расчетной толщи исключают залегающие с поверхности неуплотненные насыпные грунты, слои ила, торфа, склонные к разжижению водонасыщенные рыхлые песчаные, а также очень слабые глинистые грунты текучепластичной и текучей консистенции. Под слоем упомянутых отложений располагается верхняя граница расчетной толщи грунта.

Для опор с фундаментами из висячих свай нижняя граница расчетной толщи проходит в уровне нижних концов свай или ниже этого уровня, но не менее 10 м от верхней границы расчетной толщи. Если в инженерно-геологическом разрезе присутствуют линзы или прослойки менее прочного грунта под слоем, в который погружены нижние концы свай, то считают, что нижняя граница расчетной толщи проходит по подошве наиболее заглубленного слабого слоя инженерно-геологического разреза. Во всех случаях нижнюю границу расчетной толщи при проектировании мостовых опор с фундаментами из висячих свай принимают не ниже уровня поверхности, достигнутой при бурении разведочных скважин.

Сваи ростверка опоры № 2 погружены на 17,2 м ниже поверхности строительной площадки (рисунок Ж.2). По данным сейсморазведки, сваи погружены в слой суглинка с гравием и дресвой примерно на 5 м. Кровля выветрелого аргиллита располагается на 8 м ниже отметки погружения свай. Верхняя граница расчетной толщи проходит по поверхности слоя суглинка с гравием и дресвой на глубине 12 м от поверхности строительной площадки, нижняя граница располагается на 10 м глубже, то есть на глубине 22 м. Средняя плотность грунта расчетной толщи ρ = 1,98 т/м^3, скорость поперечных сейсмических волн в створе опоры № 2 V_S = 235 м/с. Сейсмическая жесткость расчетной толщи ρV_S = 1,98 · 235 = 465 т/(м^2·с). Поправка к исходной сейсмичности за счет грунтовых условий $\delta I = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_S}\right) = 0{,}2$ балла. С учетом нелинейности деформаций грунта V_S = 0,7 · 235 = 165 м/с, δI = 0,5 балла.

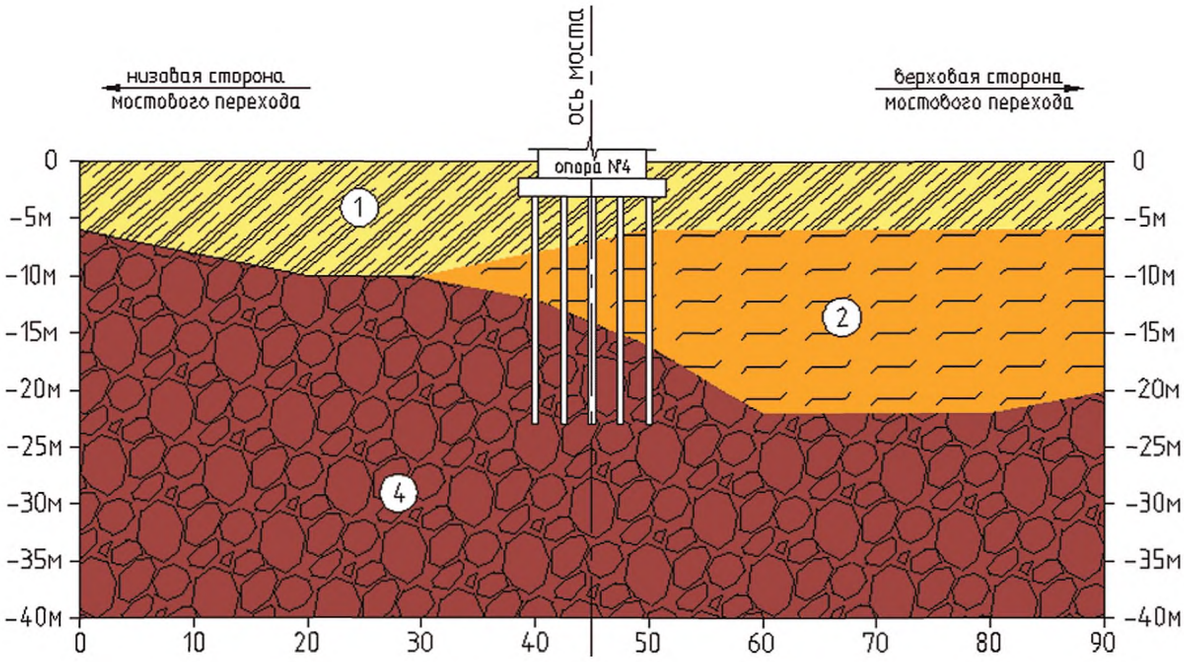
Для опор с фундаментами из свай-стоек нижнюю границу расчетной толщи принимают в уровне кровли скальной породы или другого малосжимаемого грунта (глины твердой консистенции со статическим модулем деформации E > 50 МПа, крупнообломочных отложений с песчаным заполнителем или содержанием не более 40 % глинистого заполнителя), на который опираются сваи-стойки. Если мощность неконсолидированного слоя оказывается меньше 10 м, то в состав расчетной толщи включают часть скального массива или другого малосжимаемого грунта с тем, чтобы общая мощность расчетной толщи была не менее 10 м.

Опора № 4 имеет фундамент из свай-стоек, объединенных поверху железобетонной плитой (рисунок Ж.3). Верхняя граница расчетной толщи совпадает с кровлей выветрелого аргиллита, поскольку залегающие выше глинистые грунты имеют текучую консистенцию. Уровень кровли аргиллита принимают по вертикальной оси фундамента, то есть в данном случае на отметке –14,0 м относительно поверхности строительной площадки. Нижнюю границу расчетной толщи принимают расположенной на 10 м ниже, то есть на отметке –24,0 м относительно поверхности строительной площадки.



1 — суглинок с торфом (51 ≤ V_S ≤ 96 м/с); *2* — суглинок текучий (135 ≤ V_S ≤ 173 м/с); *3* — суглинок с гравием и дресвой (225 ≤ V_S ≤ 361 м/с); *4* — выветрелый аргиллит (506 ≤ V_S ≤ 524 м/с); *5* — трещиноватый аргиллит (V_S = 767 м/с)

Рисунок Ж.2 — Разрез по сейсмопрофилю № 2



1 — текучий суглинок с торфом (91 ≤ V_S ≤ 120 м/с); *2* — текучие супесь и суглинок (V_S = 170 м/с); *4* — выветрелый аргиллит (448 ≤ V_S ≤ 565 м/с)

Рисунок Ж.3 — Разрез по сейсмопрофилю № 6

По данным общих изысканий и сейсморазведки, плотность аргиллита ρ = 2,30 т/м^3, скорость поперечных сейсмических волн в расчетной толще в створе опоры № 4 V_S = 488 м/с. Сейсмическая жесткость расчетной толщи ρV_S = 2,30 · 488 = 1122 т/(м^2·с). Поправка к исходной сейсмичности за счет грунтовых условий $\delta I_{гр} = 1,67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_S}\right) = -0,4$ балла.

Приложение И
(справочное)

Сейсмическое микрорайонирование участка железнодорожного вокзала

Железнодорожный вокзал в г. Сочи (Краснодарский край) построен в 1952 г. Комплекс разновысоких зданий вокзала занимает площадку размерами 145 × 52 м в плане. Высота двух зданий (административного корпуса и здания билетных касс) около 10 м, центрального корпуса — 20 м, башни — более 45 м.

Вокзал сооружен на спланированном участке склона. Фундаменты под кирпичными стенами устроены в виде бетонных лент шириной по подошве от 1,2 до 4,0 м. Глубина заложения фундаментов от естественной поверхности грунта колеблется от 1,2 до 7,2 м.

Под подошвой фундаментов залегает глина от тугопластичной до полутвердой консистенции с включением до 20 % дресвы и щебня аргиллита и песчаника. Суммарная мощность слоев глины под зданием административного корпуса составляет от 10 до 20 м. Под фундаментами других зданий мощность покровных отложений уменьшается до 10—15 м и менее.

На участке вокзала коренная порода представлена аргиллитом. Верхний слой аргиллита толщиной около 3 м разрушен до состояния глыб, дресвы и щебня с глинистым заполнителем. Плотность грунта — 2,08 т/м^3, модуль деформации — 15—24 МПа, условное сопротивление R_0 при сжатии — 20—25 тс/м^2.

Ниже залегает слой аргиллита низкой прочности с плотностью 2,10 т/м^3, модулем деформации 30 МПа, условным сопротивлением R_0 при сжатии 30—35 тс/м^2. Мощность этого слоя приблизительно 2 м.

Еще ниже располагается трещиноватый аргиллит с плотностью в кровле 2,35 т/м^3, модулем деформации 35—40 МПа, условным сопротивлением R_0 при сжатии 40—50 тс/м^2.

За период с 1952 по 1990 г. в стенах зданий появились многочисленные трещины преимущественно вертикального направления. Ширина раскрытия трещин в отдельных местах достигала 10 мм. Трещины появились из-за неодинакового давления на грунт разновысоких частей зданий и переменной мощности сжимаемой толщи глинистых грунтов. К 1994 г. разность осадок стены вокзала со стороны перрона достигла 169 мм.

При проектировании вокзала предполагалось, что сила максимального возможного землетрясения в г. Сочи не превышает 7 баллов. В связи с этим в проекте были предусмотрены только минимальные антисейсмические мероприятия в виде поясов из железобетона в кирпичных стенах центрального и административного корпусов, а также в здании билетных касс.

В связи с разрушительными землетрясениями на Кавказе в Армении (1988 г.) и Грузии (1991 г.) сейсмическая опасность для г. Сочи повышена до 9 баллов применительно к наиболее крупным объектам на железных и автомобильных дорогах, включая выдающиеся памятники архитектуры, к которым относится железнодорожный вокзал г. Сочи.

Неудовлетворительное состояние кирпичной кладки стен, слабое армирование железобетонных конструкций не соответствовали требованиям безопасной эксплуатации вокзала в районе высокой сейсмичности. В связи с этим были выполнены специальные исследования, включая сейсмическое микрорайонирование места расположения вокзала, и разработаны рекомендации по антисейсмическому усилению несущих и декоративных конструкций.

Сейсмические свойства грунтов под зданием вокзала на глубину до 20 м определены при выполнении геофизических работ на пяти профилях общей длиной 344 м. Мощности слоев и скорости продольных и поперечных сейсмических волн выявлялись с шагом в горизонтальном направлении 10 м.

Сейсмичность площадок зданий вокзала определялась с осреднением сейсмических свойств расчетной толщи по территории зданий, разделенных антисейсмическими (деформационными) швами. Характеристики расчетной толщи устанавливались в зависимости от сейсмических свойств толщи мощностью 10 м, расположенной ниже отметок заложения фундаментов. Мощность слоев грунта в пределах расчетной толщи определялась по данным инженерно-геологических разрезов, соответствующих центральным осям зданий.

В изученном массиве поперечные волны распространялись со следующими скоростями: в полутвердых и тугопластичных глинах — от 270 до 300 м/с, в аргиллите разной степени выветрелости — от 720 до 850 м/с.

Грунты с менее благоприятными сейсмическими свойствами расположены под зданием административного корпуса. Среднее значение скорости V_S = 270 м/с, плотность глины ρ = 1,92 т/м^3, мощность расчетной толщи — 10 м, сейсмическая жесткость грунта ρV_S = 518 т/(м^2·с), поправка к исходной сейсмичности на грунтовые условия $\delta I = 1{,}67 \lg \frac{655}{518} \approx 0{,}2$ балла. С учетом нелинейности деформаций грунта при землетрясениях силой 9 баллов $V_S = 0{,}7 \cdot 270 = 189$ м/с, δI = 0,4 балла.

По данным сейсморазведки, на участке работ по капитальному ремонту вокзала выделены четыре микрозоны. Поправки на грунтовые условия в микрозонах изменялись в интервале значений от 0,3 до 0,4 балла.

Приложение К
(справочное)

Сейсмическое микрорайонирование оползневого склона

К.1 Исходные данные

СМР оползневого склона показано на примере обхода г. Сочи. Строительство обхода г. Сочи (Краснодарский край) началось в 1988 г. В 1992 г. работы на участке от ПК45 до ПК134 были приостановлены. На первом пусковом комплексе до ПК45 работы продолжались.

В феврале 2001 г. в г. Сочи выпали обильные осадки в объеме трехмесячной нормы. На склоне Раздольненской котловины (ПК43—ПК48), подрезанном в 1991—1992 гг. выемкой глубиной до 8 м, под влиянием осадков сформировался оползень. Оползневая масса состояла из сдвинутых слоев полутвердой глины, дресвы и щебня, блоков и пакетов аргиллита. Мощность оползневого массива в отдельных местах достигала 12—15 м, высота стенки отрыва в тыльной части оползня — 9—10 м. Средняя ширина оползневого тела составила около 400 м, длина — примерно 300 м, объем сместившейся породы — около 1 млн м^3.

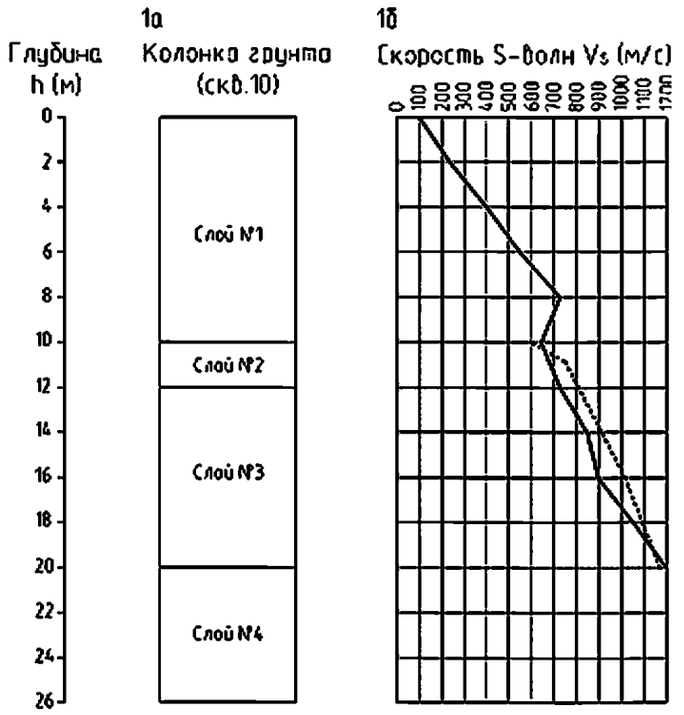
В связи с возникшим оползнем потребовалась корректировка проекта строительства автомобильной дороги. Дополнительно были выполнены бурение разведочных скважин через тело оползня и вне оползневого массива, отбор образцов грунта из тела оползня и ниже поверхности скольжения, лабораторное определение физико-механических свойств грунтов, сейсмическое микрорайонирование участка оползневого склона.

На основании полевых и лабораторных работ были установлены следующие свойства грунтов на склоне Раздольненской котловины (рисунок К.1 а).

Слой № 1. В разной степени дезинтегрированные блоки и пакеты коры выветривания, составляющие тело оползня. Толщина слоя δ_1 = 10 м от поверхности склона. По поверхности скольжения угол внутреннего трения φ = 8°, сцепление c = 1,2 тс/м^2.

Слой № 2. Аргиллит низкой прочности с прослоями малопрочных песчаников (3—5 %). Толщина слоя δ_2 = 2,0 м. Нормативная плотность ρ = 2,15 т/м^3. По ГОСТ 25100 предел прочности грунта R_c на одноосное сжатие изменяется в интервале от 100 до 300 тс/м^2. Для слоя в среднем было принято условное сопротивление сжатию

$$R_0 = R_c = \frac{100 + 300}{2} = 200 \text{ тс/м}^2.$$



а — колонка грунта (скв. 10); б — графики скорости S-волн: ——— по данным сейсморазведки;
-------- по расчету с использованием данных общих инженерно-геологических изысканий

Рисунок К.1 — Изменение скорости S-волн по глубине инженерно-геологического разреза

Слой № 3. Аргиллит пониженной прочности с прослоями маломощных песчаников (до 5 %). Нормативная плотность ρ = 2,20 т/м^3. Толщина слоя δ_3 = 8,0 м. По ГОСТ 25100 предел прочности грунта на одноосное сжатие лежит в интервале значений от 300 до 500 тс/м^2. Для средней глубины залегания слоя h = 16 м было принято

$$R_0 = R_c = \frac{300 + 500}{2} = 400 \text{ тс/м}^2.$$

У нижней границы слоя на глубине 20 м $R_0 = R_c$ = 500 тс/м^2.

Слой № 4. Малопрочный аргиллит, близкий по свойствам аргиллиту пониженной прочности. Слой заглублен на 20—26 м от поверхности склона. Прочность на одноосное сжатие R_c и условное сопротивление сжатию R_0 были приняты равными 500 тс/м^2.

К.2 Сейсмическое микрорайонирование

Суммарная длина геофизических профилей вдоль и поперек тела оползня — 568 м. Скорости сейсмических волн вычислялись на глубину до 26 м от поверхности склона с шагом 2 м по глубине разрезов. Изменение скорости поперечных волн V_S по глубине разреза показано на рисунке К.1 б.

На глубине 10 м отмечен локальный минимум скорости S-волн в аргиллите низкой прочности, что объясняется повышенной трещиноватостью породы вблизи поверхности сдвига. Из рисунка К.1 б, видно, что выше и ниже отметки 10 м скорость V_S увеличивается в связи с удалением от поверхности скольжения.

В интервале глубин от 10 до 20 м скорость V_S увеличивается с 667 до 1200 м/с из-за уменьшения трещиноватости коренной породы. Ниже отметки 20 м скорость S-волн стабилизируется, достигнув своего максимума 1200 м/с. Таким образом, мощность зоны выветривания аргиллита на склоне составляет 20 м.

При расчете сейсмоустойчивости склонов сейсмичность участка относят к массиву породы мощностью 10 м, относительно которого проверяют возможность скольжения вышележащих отложений. В данном случае необходимо учитывать сейсмические свойства аргиллита низкой и пониженной прочности (слои № 2 и 3).

Для слоя № 2 средняя скорость S-волн на глубине 11 м V_{S2} = 698 м/с, сейсмическая жесткость $\rho_2 V_{S2}$ = 2,15 · 698 = 1591 т/(м^2 · с). Для слоя № 3 на глубине 16 м скорость V_{S3} = 897 м/с, сейсмическая жесткость $\rho_3 V_{S3}$ = 2,20 · 897 = 1973 т/(м^2 · с).

Сейсмическая жесткость расчетной толщи

$$\rho V_S = \frac{\sum (\rho_i V_{si}) \delta_i}{\sum \delta_i} = \frac{1591 \cdot 2 + 1973 \cdot 8}{2 + 8} = \mathbf{1897 \text{ т/(м}^2 \cdot \text{с})}.$$

Приращение сейсмичности за счет местных инженерно-геологических условий

$$\delta I_{\text{гр}} = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_s}\right) = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{1897}\right) = \mathbf{-0{,}8 \text{ балла}}.$$

По данным общих инженерно-геологических изысканий, скорость S-волн находят в зависимости от условного сопротивления грунта сжатию R_0 и глубины залегания слоя h.

Для слоя № 2 на глубине h = 11 м условное сопротивление сжатию R_0 = 200 тс/м^2. Скорость S-волн $V_S = (0{,}70 + 0{,}03h)(454 \lg R_0 - 316)$ = 750 м/с. Сейсмическая жесткость слоя ρV_S = 2,15 · 750 = 1650 т/(м^2 · с).

Для слоя № 3 на глубине 16 м условное сопротивление сжатию R_0 = 400 тс/м^2. Скорость S-волн $V_S = (0{,}70 + 0{,}03h)(454 \lg R_0 - 316)$ = 1021 м/с. Сейсмическая жесткость слоя ρV_S = 2,20 · 1021 = 2246 т/(м^2 · с).

Сейсмическая жесткость слоев расчетной толщи

$$\rho V_S = \frac{\sum (\rho_i V_{Si}) \delta_i}{\sum \delta_i} = \frac{1612 \cdot 2 + 2246 \cdot 8}{2 + 8} = 2119 \text{ т/(м}^2 \cdot \text{с})$$

Приращение балльности за счет местных инженерно-геологических условий

$$\delta I_{\text{гр}} = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_S}\right) = 1{,}67 \lg\left(\frac{655}{2119}\right) = \mathbf{-0{,}85 \text{ балла}}.$$

Приращения сейсмичности ложа оползня, найденные по данным сейсморазведки (δI = –0,8 балла) и материалам общих инженерно-геологических изысканий ($\delta I_{\text{гр}}$ = –0,85 балла) практически совпадают.

Приложение Л
(справочное)

Методика расчета склонов на сейсмоустойчивость

Расчет сейсмоустойчивости склонов имеет некоторые особенности, отличающие его от расчета склонов на устойчивость с учетом исключительно гравитационных и гидростатических сил. К этим особенностям относятся:

- появление дополнительных (сейсмических) сил, сдвигающих покровные отложения относительно коренной породы и изменяющих давление оползневого тела на основание;
- изменение физико-механических свойств грунта при сейсмическом воздействии;
- снижение требований к запасу устойчивости склона до $K_{уст}$ = 1,2; учитывающее кратковременность действия сейсмических сил.

Сущность приведенной ниже методики состоит в делении оползневого тела на несколько отсеков с вертикальными боковыми гранями. Силы, действующие на противоположные боковые грани каждого отсека, считаются одинаковыми и при расчете устойчивости оползневого тела не учитываются.

На каждый отсек оползневого тела в его центре тяжести действуют активные силы (веса Q_i, гидростатического взвешивания W_i, горизонтальная $S_{гi}$ и вертикальная $S_{вi}$ силы инерции). Эти силы вызывают нормальное к подошве отсека давление N_i и сдвигающее усилие T_i, касательное к линии скольжения. Схемы сил, приложенных в центрах тяжести отсеков и по их подошвам, показаны на рисунке Л.1.

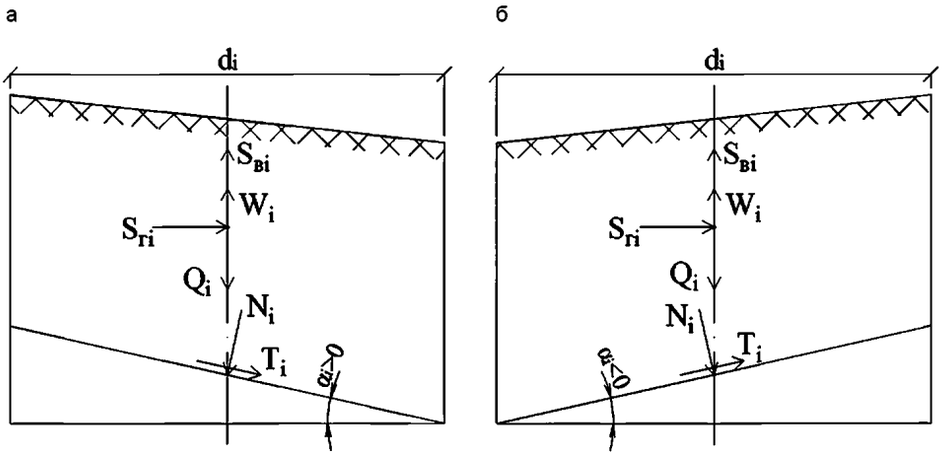
Коэффициент устойчивости отсека с номером i и размером 1 м из плоскости продольного сечения тела оползня определяется как отношение суммы сил трения и сцепления, удерживающих отсек от сдвига по контакту с подстилающей породой, к величине сдвигающих сил (проекции внешних сил на касательную к линии скольжения), то есть

$$K_{уст,i} = \frac{N_i \operatorname{tg}\varphi_i + c_i l_i}{T_i}, \qquad (Л.1)$$

где N_i — проекция активных сил на нормаль к линии сдвига;
φ_i — нормативный угол внутреннего трения;
c_i — нормативное сцепление;
l_i — длина подошвы отсека;
T_i — проекция активных сил на касательную к линии сдвига.

Для нахождения коэффициента устойчивости проверяемого массива, состоящего из n отсеков, необходимо суммировать удерживающие и сдвигающие силы вдоль линии сдвига по формуле

$$K_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i \operatorname{tg}\varphi_i + c_i l_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i}. \qquad (Л.2)$$



а — отсек располагается в пределах оползающей части склона; б — отсек находится на удерживающей оползень части склона

Рисунок Л.1 — Схемы сил в границах выделенного отсека оползневого тела

Нормальная к линии сдвига составляющая активных сил N_i зависит от веса отсека Q_i, силы гидростатического взвешивания W_i, горизонтальной $S_{гi}$ и вертикальной $S_{вi}$ сейсмических сил, угла α_i падения линии сдвига. Последний принимают положительным в пределах сползающей части склона и отрицательным для удерживающей части. N_i определяют по формуле

$$N_i = (Q_i - W_i - S_{вi})\cos\alpha_i - S_{гi}\sin\alpha_i. \quad (Л.3)$$

Сила гидростатического взвешивания зависит от уровня воды в грунте и объема скелета грунта ниже этого уровня, составляя некоторую долю от веса грунта отсека $W_i = K_{взв,i} Q_i$, где $K_{взв,i}$ — коэффициент гидростатического взвешивания i-го отсека.

Вертикальная сейсмическая сила $S_{вi}$ зависит от ускорения колебаний $a_в$ центра масс (тяжести) выделенного отсека в вертикальном направлении. Эта сила может быть найдена по формуле $S_{вi} = \frac{a_в}{g} Q_i$, где g — ускорение свободного падения. Следовательно, сила N_i определяется формулой

$$N_i = \left(1 - K_{взв,i} - \frac{a_в}{g}\right) Q_i \cos\alpha_i - S_{гi}\sin\alpha_i. \quad (Л.4)$$

При вертикальном давлении от веса грунта на единицу площади горизонтальной проекции подошвы отсека $q_i = \frac{Q_i}{d_i}$ и усилии среза в горизонтальной плоскости от сейсмической силы $s_i = \frac{S_{гi}}{d_i}$

$$N_i = \left[\left(1 - K_{взв,i} - \frac{a_в}{g}\right) q_i \cos\alpha_i - s_i \sin\alpha_i\right] d_i. \quad (Л.5)$$

После замены величины d_i произведением $l_i\cos\alpha_i$ получают для определения сил, удерживающих отсек от сдвига, формулу

$$N_i \operatorname{tg}\varphi_i + c_i l_i = \left\{\left[\left(1 - K_{взв,i} - \frac{a_в}{g}\right) q_i \cos^2\alpha_i - s_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i\right] \operatorname{tg}\varphi_i + c_i\right\} l_i. \quad (Л.6)$$

Касательная составляющая активных сил T_i зависит от веса отсека Q_i, силы гидростатического взвешивания W_i, вертикальной $S_{вi}$ и горизонтальной $S_{гi}$ сейсмических сил, а также от угла падения линии сдвига α_i. Величину T_i определяют по формуле

$$T_i = [Q_i - W_i - S_{вi}]\sin\alpha_i + S_{гi}\cos\alpha_i. \quad (Л.7)$$

Произведя замены $S_{вi} = \frac{a_в}{g} Q_i$, $Q_i = q_i d_i$, $S_{гi} = s_i d_i$, $W_i = K_{взв,i} Q_i$ и $d_i = l_i \cos\alpha_i$, получают

$$T_i = \left[\left(1 - K_{взв,i} - \frac{a_в}{g}\right) q_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i + s_i \cos^2\alpha_i\right] l_i. \quad (Л.8)$$

Согласно исходной зависимости (Л.2) и полученным выражениям для удерживающих (Л.6) и сдвигающих (Л.8) сил коэффициент сейсмоустойчивости выделенного массива грунта определяют по формуле

$$K_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left\{\left[\left(1 - K_{взв,i} - \frac{a_в}{g}\right) q_i \cos^2\alpha_i - S_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i\right] \operatorname{tg}\varphi_i + c_i\right\} l_i}{\sum_{i=1}^{n} \left\{\left(1 - K_{взв,i} - \frac{a_в}{g}\right) q_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i + S_i \cos^2\alpha_i\right\} l_i}, \quad (Л.9)$$

где q_i — вертикальное давление от веса грунта на единицу площади горизонтальной проекции подошвы отсека, тс/м^2;

s_i — усилие сдвига в горизонтальной плоскости в уровне подошвы отсека от сейсмической нагрузки, тс/м^2;

c_i — нормативное сцепление между проверяемым на сдвиг массивом грунта и подстилающей породой, тс/м^2;

φ_i — нормативный угол внутреннего трения грунта по поверхности сдвига, град;

$a_в$ — модуль ускорения колебаний центра масс отсека в вертикальном направлении, м/с^2;

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

α_i — угол падения подошвы отсека, град.

При отсутствии сил гидростатического взвешивания коэффициент сейсмоустойчивости склона определяют по формуле

$$K_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left\{\left[\left(1 - \frac{a_в}{g}\right) q_i \cos^2\alpha_i - S_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i\right] tg\varphi_i + c_i\right\} l_i}{\sum_{i=1}^{n} \left\{q_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i - \frac{a_в}{g} q_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i + S_i \cos^2\alpha_i\right\} l_i}. \quad (Л.10)$$

Согласно методике расчета по предельным состояниям давление от веса грунта следует определять с учетом коэффициентов перегрузки (надежности по нагрузке), которые могут быть больше или меньше единицы в зависимости от того, в какой части массива (с падением подошвы отсека в сторону предполагаемого сдвига грунта или ее падением в противоположную сторону) находится данный отсек.

Силы, препятствующие сдвигу частиц грунта при прохождении сейсмических волн, могут существенно изменяться, вплоть до полного исчезновения, после чего наступает разжижение грунта, сопровождаемое образованием потоков разжиженных отложений.

На основании натурных и экспериментальных данных при расчете склонов на сейсмоустойчивость следует уменьшать расчетное сопротивление грунтов сдвигу по сравнению с расчетами на статические нагрузки.

При проектировании объектов транспортного строительства в сейсмических районах принято уменьшать нормативный угол внутреннего трения грунта φ на 1,5; 3,0 и 6,0° при расчетной сейсмичности 7, 8 и 9 баллов соответственно. Одновременно снижается значение нормативного удельного сцепления грунта c на 10, 20 и 40 % по сравнению с расчетами на основное сочетание нагрузок.

При ускорении колебаний расчетной толщи грунта, отличающемся от приведенных значений, снижение φ и c находят с помощью линейной интерполяции.

Пример — Проверяемый на сейсмоустойчивость участок склона вблизи поверхности сложен суглинком полутвердой консистенции с нормативными плотностью 1,96 т/м^3, углом внутреннего трения φ = 20° и удельным сцеплением c = 2,5 тс/м^2. Суглинок подстилается аргиллитом пониженной прочности. По данным обследований, на склоне не замечены следы современных подвижек.

Возможная линия сдвига в слое суглинка принята в виде ломаной, а тело предполагаемого оползня — состоящим из пяти сегментов. Горизонтальная проекция линии сдвига имеет длину 25 м (рисунок Л.2).

Значения тригонометрических функций угла падения α подошвы отсеков приведены в таблице Л.1.

Таблица Л.1 — Значения тригонометрических функций угла падения подошвы отсеков

Номер отсека	*Угол падения подошвы отсека α, град*	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\sin\alpha \cdot \cos\alpha$	$\cos^2\alpha$
1	*–21,8*	*–0,37*	*0,93*	*–0,34*	*0,86*
2	*–11,3*	*–0,19*	*0,98*	*–0,19*	*0,96*
3	*5,7*	*0,10*	*0,99*	*0,10*	*0,98*
4	*31,0*	*0,51*	*0,86*	*0,44*	*0,74*
5	*60,9*	*0,87*	*0,49*	*0,43*	*0,24*

Коэффициент сейсмоустойчивости склона определяют по формуле (Л.10). В данной формуле величина q_i (вертикальное давление от веса грунта на единицу площади горизонтальной проекции подошвы i-го отсека) определяется по нормативной плотности суглинка ρ = 1,96 т/м^3 с учетом коэффициента надежности по нагрузке n = 0,9 для отсеков № 1, 2 и n = 1,2 для отсеков № 3, 4, 5. Весовые характеристики отсеков и давление от веса грунта на их подошву приведены в таблице Л.2.

В таблице Л.2 также приведены усилия горизонтального среза S_i от веса отсеков при уточненной сейсмичности района строительства 8 баллов. Усилия среза определяются по формуле $S_i = K_c Q_i$, где K_c = 0,05 — коэффициент сейсмичности, равный расчетному значению амплитуды горизонтальных ускорений грунта в центре масс отсека, выраженный в долях ускорения свободного падения. Коэффициент K_c принят с учетом влияния на ускорения колебаний центра масс сейсмических свойств грунта, заглубления центра масс оползневого тела относительно поверхности склона и возможных неупругих деформаций покровных отложений.

Таблица Л.2 — Вертикальное давление грунта и силы горизонтального сдвига в уровне подошвы отсеков

Номер отсека	*Площадь сечения отсека F_i, м^2*	*Вес отсека Q_i, тс*	*Давление от веса отсека на его подошву q_i, тс/м^2*	*Усилие горизонтального сдвига в уровне подошвы отсека от сейсмической нагрузки S_i, тс*	*Напряжение в грунте при сдвиге S_i, тс/м^2*
1	*7,5*	*13,2*	*2,64*	*0,66*	*0,13*
2	*20,0*	*35,3*	*7,06*	*1,76*	*0,35*
3	*31,2*	*73,4*	*14,68*	*3,67*	*0,73*
4	*35,0*	*83,3*	*16,66*	*4,16*	*0,83*
5	*16,2*	*38,1*	*7,62*	*1,90*	*0,38*

Напряжение сдвига в грунте в уровне подошвы отсеков вычисляют по формуле

$$s_i = \frac{S_i}{d_i b},$$

где $b = 1$ ***м — размер отсека из плоскости продольного сечения склона;***

$d_i = 5$ ***— ширина отсека в горизонтальном направлении в плоскости чертежа (рисунок Л.2).***

Нормальное напряжение $\frac{N_i}{bl_i}$ ***на предполагаемой поверхности сдвига определяют в зависимости от вертикального давления*** q_i ***и напряжений от вертикальной и горизонтальной сейсмической нагрузки в уровне подошвы i-го отсека. Результаты вычислений приведены в таблице Л.3 при значении*** $\frac{a_в}{g} = 0{,}1$, ***принятом без учета неупругих деформаций грунта для повышения надежности оценки сейсмоустойчивости склона.***

Таблица Л.3 — Нормальные напряжения на поверхности сдвига

Номер отсека	*Напряжение от веса грунта* $q_i\cos^2\alpha_i$, тс/м^2	*Напряжение от вертикальной составляющей сейсмической нагрузки* $-\frac{a_в}{g} q_i \cos^2\alpha_i$, тс/м^2	*Напряжение от горизонтальной составляющей сейсмической нагрузки* $-s_i\sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i$, тс/м^2	*Суммарное напряжение от веса грунта и сейсмической нагрузки* $\frac{N_i}{bl_i}$, тс/м^2
1	*2,27*	*–0,23*	*0,04*	*2,08*
2	*6,78*	*–0,68*	*0,07*	*6,17*
3	*14,39*	*–1,44*	*–0,07*	*12,88*
4	*12,33*	*–1,23*	*–0,13*	*10,97*
5	*1,83*	*–0,18*	*–0,16*	*1,49*

Касательные напряжения на поверхности сдвига зависят от веса грунта оползневого тела и сил инерции от его массы, действующих в вертикальном и горизонтальном направлениях. Касательные напряжения приведены в таблице Л.4.

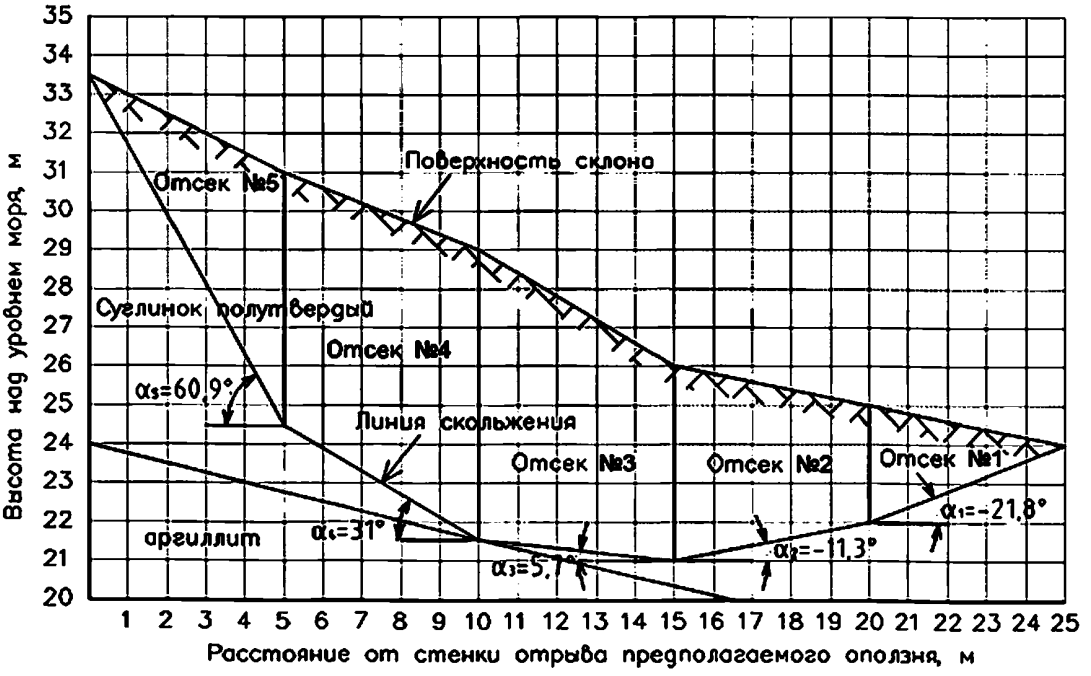


Рисунок Л.2 — Положение предполагаемой поверхности сдвига в слое суглинка

Таблица Л.4 — Касательные напряжения на поверхности сдвига

Номер отсека	*Касательные напряжение от веса грунта* $q_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i$, тс/м^2	*Касательные напряжения от вертикальной составляющей сейсмической нагрузки* $-\frac{a_в}{g} q_i \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i$, тс/м^2	*Касательные напряжения от горизонтальной составляющей сейсмической нагрузки* $s_i \cos^2\alpha_i$, тс/м^2	*Суммарные касательные напряжения сдвига* $\frac{T_i}{bl_i}$, тс/м^2
1	–0,90	0,09	0,11	–0,70
2	–1,34	0,13	0,34	–0,87
3	1,47	–0,15	0,71	2,03
4	7,33	–0,73	0,61	7,21
5	3,28	–0,33	0,09	3,04

Найденные нормальные и касательные напряжения на поверхности сдвига позволяют определить силы, удерживающие и сдвигающие выделенный массив грунта. При определении удерживающих сил угол внутреннего трения $\varphi = 20°$ ***уменьшают на 3°, удельное сцепление снижают на 20 %. При оценке устойчивости склона принимают*** $\varphi_р = 17°$ ***и*** $c_р = 0{,}8 \cdot 2{,}5 = 2{,}0$ **тс/м^2.** ***Расчетные значения удерживающих и сдвигающих сил приведены в таблице Л.5. Сумма удерживающих сил*** $S_{уд} = 119{,}88$ **тс,** ***сумма сдвигающих сил*** $S_{сд} = 76{,}76$ **тс.**

Таблица Л.5 — Распределение сил трения, сцепления и сдвига вдоль линии скольжения при $\varphi = 17°$ ($\operatorname{tg}\varphi = 0{,}306$) *и* $c_р = 2{,}0$ *тс/м^2*

Номер отсека	*Ширина отсека* d_i, м	*Длина отрезка сдвига* l_i, м	Силы трения		Силы сцепления		Силы сдвига	
			Погонные $\frac{N_i}{l_i} \operatorname{tg}\varphi_i$, тс/м	*На отсек* $N_i \operatorname{tg}\varphi_i$, тс	*Погонные* c_i, тс/м	*На отсек* $c_i l_i$, тс	*Погонные* $\frac{T_i}{l_i}$, тс/м	*На отсек* T_i, тс
1	5,0	5,4	0,64	3,46	2,0	10,80	–0,70	–3,78
2	5,0	5,1	1,89	9,64	2,0	10,20	–0,87	–4,44
3	5,0	5,0	3,94	19,70	2,0	10,00	2,03	10,15
4	5,0	5,8	3,36	19,49	2,0	11,60	7,21	41,82
5	5,0	10,2	0,45	4,59	2,0	20,40	3,04	31,01

Коэффициент устойчивости склона при землетрясении силой 8 баллов $K_{уст} = \frac{S_{уд}}{S_{сд}} = \frac{119{,}88}{76{,}76} =$ $= 1{,}56 > 1{,}20$, ***то есть склон в природном состоянии имеет достаточный запас сейсмоустойчивости.***

УДК [69+699.841] ОКС 93.040, 93.060, 93.080, 93.100, 93.120, 93.140

Ключевые слова: транспортные сооружения, сейсмические районы, правила, уточнение исходной сейсмичности, сейсмическое микрорайонирование

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Л.В. Софейчук*

Сдано в набор 31.07.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 5,12.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком свода правил

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

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001, Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru