Московский государственный университет путей сообщения
(МИИТ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЮ УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

МДС 22-1.2004

Москва 2004

gost.e-ecolog.ru

Московский государственный университет путей сообщения
(МИИТ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЮ УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

МДС 22-1.2004

Москва 2004

УДК [69+699.841]

Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений МДС 22-1.2004/МИИТ. — М.. ФГУП ЦПП. 2004 — 48 с

Даны рекомендации для проведения работ по сейсмическому микрорайонированию участков нового строительства, капитального ремонта, реконструкции и восстановления транспортных объектов, в том числе объектов особои и повышенной ответственности.

Приведены примеры сеисмического микрораионирования для сооружений с малыми, средними и большими пролетами (для лавинозащитных галерей на автомагистрали в Северноп Осетии, вблизи Рокского перевала и на железнои дороге Чара—Чина, для виадука на Черноморском побережье Кавказа через долину р. Чемитоквадже и для эстакады у г Горячии Ключ).

Составитель — д-р геол.-минер. наук, проф. Г.С. Шестоперов.

ISBN 5-9685-0004-2

© МИИТ, ФГУП ЦПП, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 4

1 Основные положения методики сейсмического микрорайонирования 5

2 Уточнение исходной сейсмичности участка строительства 6

3 Учет инженерно-геологических и геоморфологических условий при сейсмическом микрорайонировании 8

4 Примеры сейсмического микрорайонирования для сооружений с малыми пролетами 12

5 Примеры сейсмического микрорайонирования для сооружений с большими и средними пролетами 19

Приложение 1 Пояснения специальных терминов 27

Приложение 2 Условные сопротивления сжатию песчано-глинистых грунтов 29

Приложение 3 Синтезированные акселерограммы колебаний грунта категории II и спектры их деиствия 30

Приложение 4 Конструктивные формы транспортных сооружений и геоморфологические условия их строительства 33

Приложение 5 Обоснование основных рекомендаций 41

Приложение 6 Источники дополнительнои информации 48

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические рекомендации обобщают опыт специальных инженерно-сейсмологических работ, выполнявшихся в порядке научного сопровождения многих транспортных строек в сейсмических районах К числу таких строек относятся реконструкция железнодорожного вокзала в г Сочи, строительство причала морского порта в г Темрюке, строительство виадука через долину р Чемитоквадже, городского моста в г Иркутске, мостов на обходе г Сочи и т п объектов (всего более 20 крупных сооружении) Активное участие в этих работах принимали д-р геол -минер наук Е А Рогожин, д-р физ -мат наук В И Уломов и ряд других ведущих специалистов нашей страны по сейсмотектонике и сейсмичности

При разработке Методических рекомендаций использовались научные публикации по инженерной сейсмологии, нормативные документы по сейсмостоикому строительству, а также проектные материалы и отчеты о научно-исследовательских работах Основные источники информации приводятся в приложении 6

На содержание работы несомненно повлияло обсуждение различных аспектов инженерной сейсмологии применительно к строительству Байкало-Амурской магистрали с выдающимися учеными — Ю В Ризниченко, Ш Г Напетваридзе, О В Павловым, блестяще сочетавшими в себе таланты естествоиспытателя, инженера и организатора науки Авторы отмечают также плодотворное сотрудничество с фирмами «Armtec» (Канада) и «Maurer Sohne» (Германия) по проблеме обеспечения сейсмостойкости транспортных сооружений

Примеры выполнения сейсмического микрорайонирования (СМР) на участках строительства транспортных сооружений составлены д-ром геол -минер наук, проф Г С Шестоперовым совместно с аспирантом В Г Шестоперовым Следует отметить, что при составлении примеров преследовалась цель продемонстрировать некоторые новые приемы СМР Таким образом, приведенныи материал не охватывает весь объем работ, выполнявшихся при СМР участков строительства рассмотренных объектов Однако можно надеяться, что нетрадиционные особенности СМР участков строительства транспортных сооружений представлены достаточно полно

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

1 1 Настоящие рекомендации предназначены для проведения работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) участков нового строительства, капитального ремонта, реконструкции и восстановления транспортных объектов, в том числе объектов особой и повышенной ответственности Действие рекомендаций не распространяется на сейсмическое микрорайонирование территорий городов и других населенных пунктов, промышленных, энергетических и сельскохозяйственных сооружений

1 2 Сейсмическое микрорайонирование выполняется с целью уточнения характеристик сейсмической опасности на основании данных инженерно-сейсмологических работ об очагах землетрясении с эпицентрами, удаленными на расстояние до 100 км от участка строительства, о сеисмическом режиме строительных площадок, о сейсмических свойствах изучаемой толщи грунта, о геоморфологических условиях участка строительства и влиянии погребенных разрывных тектонических структур на сейсмическое воздействие

1 3 Задача инженерно-сейсмологических работ в целом заключается в количественной оценке параметров движений грунта на участке строительства при тектоническом землетрясении, а именно характеристик

- колебаний грунта при распространении сеисмических волн от их источника (микрорайонирование сейсмического воздействия),

- движений в форме обвалов, оползней, селеи, лавин, разжижения грунта с последующей осадкой, обусловленных и сопровождаемых подземными толчками (микрорайонирование сеисмогравитационного воздеиствия),

- движении, вызванных выходом из недр на земную поверхность тектонического разрыва горных пород, а также опускания, наклона или горизонтального перемещения земной поверхности (микрораионирование сеисмотектонического воздеиствия)

1 4 Сейсмическое микрораионирование проводится на участках строительства транспортных сооружении в районах сеисмичностью 7 баллов и выше, а при строительстве объектов особои ответственности — 6 баллов и выше Сеисмичность раиона строительства определяется по картам ОСР-97

1 5 Работы по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений выполняются организациями, которым в установленном порядке предоставлено право на проведение этого рода деятельности

1 6 Сейсмическое микрорайонирование включает следующие виды работ

- изучение материалов ранее выполненных исследований по инженерной геологии, сейсмотектонике и сейсмичности региона, 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,

- комплексный анализ всей совокупности полученных данных, оформленный в виде сводного отчета, включающего карту (схему) сейсмического микрорайонирования участка строительства

1 7 При планировании состава, объема и методов выполнения работ по сейсмическому микрорайонированию рекомендуется учитывать возможный социальный, экономический и экологический ущерб, обусловленныи прекращением функционирования транспортных систем и авариями транспортных средств в результате землетрясения

1 8 По негативным последствиям землетрясений транспортные объекты делятся на три категории согласно табл 1 1 Решение о выборе категории конкретных сооружений, не указанных в табл 1 1, принимается генеральным проектировщиком по согласованию с заказчиком

Таблица 1 1

Категория ответственности объекта	Характеристика объекта
I	Объекты особой ответственности (внеклассные мосты, тоннели, виадуки, галереи, эстакады на железных и автомобильных дорогах, линиях метрополитена, на скоростных городских дорогах, мосты и тоннели для пропуска магистральных трубопроводов, транспортные здания и сооружения, относящиеся к выдающимся памятникам архитектуры, а также здания, в которых размещаются службы и средства управления работои крупных транспортных узлов и сети дорог в регионах)
II	Объекты повышенной ответственности (мосты, тоннели, галереи, виадуки, путепроводы, эстакады, подпорные стены, опоры контактнои сети, здания тяговых подстанции, здания вокзалов на железных и автомобильных дорогах общей сети категории I и II)

Окончание таблицы 1 1

Категория ответственности объекта	Характеристика объекта
III	Объекты массового строительства (искусственные сооружения и здания транспортного назначения на железных дорогах III — V категорий, на железнодорожных путях промышленных предприятий и на автомобильных дорогах III, IV, V, IIIп, IVп категории, а также насыпи высотой менее 10 м, выемки, вентиляционные и дренажные тоннели, водопропускные трубы, пассажирские платформы на дорогах всех категорий)

1 9 Изучение сейсмотектоники и сейсмичности района по фондовым материалам, а также визуальные сейсмотектонические и макросейсмические обследования проводятся при сейсмическом микрорайонировании участков строительства объектов всех категорий ответственности На этой основе с учетом данных общих инженерно-геологических изысканий упрощенными методами оценивается сейсмичность строительных площадок объектов третьей категории ответственности и планируются специальные исследования для объектов первой и второй категории ответственности

1 10 При сейсмическом микрорайонировании участков строительства объектов первой и второй категорий ответственности рекомендуется использовать корреляционные уравнения инженерной сейсмологии (уравнение макросейсмического поля, уравнение метода сейсмических жесткостей, уравнение сейсмического режима и др), а также методы расчета, учитывающие влияние неровностей местности на характеристики колебаний грунтов

1 11 При сейсмическом микрорайонировании участков строительства объектов первой категории ответственности характеристики сейсмических движении грунта, полученные расчетными методами, следует проверять с применением инструментальных методов инженерной сейсмологии

1 12 Результаты работ по сейсмическому микрорайонированию оформляются в виде сводного отчета по сейсмотектонике и сейсмической опасности изучаемой территории с оценкой интенсивности колебании грунта на изучаемом участке в виде карты (схемы) сейсмического микрорайонирования в масштабе, определяемом особенностями инженерно-геологической обстановки и размерами участка работ

1 13 Материалы исследования по сейсмотектонике должны включать сведения о положении возможных очагов землетрясений в радиусе до 100 км от пункта строительства, о типе разломов и характеристиках разрывных движении, о максимальных зарегистрированных и прогнозных значениях магнитуд, о наблюдаемых и наиболее вероятных глубинах очагов, о сейсмодислокациях в кровле коренных пород и в слоях покровных отложении, а также о других проявлениях современной сейсмотектонической активности Следы разломов на земной поверхности, а также их современная сейсмическая активность должны быть подтверждены данными дистанционных съемок, материалами единой сети сейсмических наблюдений и полевых инженерно-геологических работ

1 14 Материалы работ по сейсмичности района и сейсмическому микрорайонированию должны содержать сведения о землетрясениях максимально возможной силы на участке строительства, сейсмическом режиме на непосредственно прилегающеи к объекту территории, о скоростях сейсмических волн обычно на глубинах до 25 — 30 м от поверхности строительной площадки, о величинах динамических модулей деформации и других своиствах грунтов в пределах расчетной толщи, о положении границ микрозон участка строительства с различной интенсивностью сейсмического воздействия Изолинии сейсмического воздействия (границы микрозон) маркируются в физических единицах измерения картируемого параметра колебаний с приемлемым для практических целей округлением его величины При построении карт ускорении грунта с поправками на сейсмотектонические условия, сейсмический режим, инженерно-геологические и геоморфологические условия изолинии ускорений могут строиться с интервалом 5 % ускорения силы тяжести

1 15 Для участков с искусственным преобразованием сейсмических свойств расчетной толщи грунта (например, с помощью цементации) или изменением ее свойств в результате деградации многолетней мерзлоты при строительстве и эксплуатации объекта в криолитозоне дополнительно составляются прогнозные карты сейсмического микрорайонирования, учитывающие техногенные воздействия на инженерно-геологическую среду

2. УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ УЧАСТКА СТРОИТЕЛЬСТВА

2 1 Напряженно-деформированное состояние объекта во время землетрясения следует

определять исходя из расчетных значений амплитудных и спектральных характеристик колебаний грунта, которые в общем случае полагают равными соответствующим нормальным характеристикам колебаний грунта с поправками на сейсмотектоническую обстановку и особенности сейсмического режима в пункте строительства, инженерно-геологические и геоморфологические условия местности, а также с поправками на направление колебаний и на учет временных эксплуатационных нагрузок, статистически не связанных с силой землетрясения

2 2 Обобщенную характеристику (силу) разрушительного эффекта землетрясения в заданной географической точке учитывают в баллах сейсмической шкалы MSK-64 Для площадок, расположенных на ровных участках местности и сложенных средними по сейсмическим свойствам грунтами, исходную сейсмическую опасность участка строительства следует определять по одной из карт ОСР-97, выбираемой в зависимости от категории ответственности объекта по табл 1 1, а именно

- при проектировании объектов третьей категории ответственности следует использовать карту ОСР-97-А исходя из необходимости обеспечить вероятность непревышения силы расчетного землетрясения 90 % за интервал времени 50 лет или математическое ожидание интервала времени между толчками расчетной силы — 500 лет,

- при проектировании объектов второй категории ответственности следует обеспечивать вероятность непревышения силы расчетного землетрясения 95 % за интервал времени 50 лет (математическое ожидание интервала времени между толчками расчетной силы — 1000 лет) и определять сейсмическое воздействие по карте ОСР-97-В,

- решение о допустимой вероятности непревышения силы расчетного землетрясения (95 % или 99 %) за интервал времени 50 лет и выборе карты ОСР (В или С) для объектов первой категории ответственности принимается заказчиком по представлению генерального проектировщика и по согласованию с Минтрансом России

2 3 Нормальные амплитудные характеристики колебаний грунтов в районах сейсмичностью 7, 8, 9 и 10 баллов принимаются следующими

- при сейсмичности 7 баллов нормальные амплитуды ускорения — 100 см/с^2, скорости — 8,0 см/с, перемещения — 4,0 см,

- при сейсмичности 8 баллов нормальные амплитуды ускорения — 200 см/с^2, скорости — 16,0 см/с, перемещения — 8,0 см,

- при сейсмичности 9 баллов нормальные амплитуды ускорения — 400 см/с^2, скорости — 32,0 см/с, перемещения — 16,0 см,

- при сейсмичности 10 баллов нормальные амплитуды ускорения — 800 см/с^2, скорости — 64,0 см/с, перемещения — 32,0 см

2 4 Нормальные амплитудные характеристики колебаний грунта корректируются по данным расчета максимальных возможных сотрясений и сейсмического режима (сотрясаемости) в пункте строительства Для уточнения исходной сейсмичности используется уравнение сейсмического режима в пункте строительства

2 5 При составлении уравнения сейсмического режима находят промежутки времени (периоды повторяемости) T_i, соответствующие сейсмическим событиям целочисленной силы I_i в пункте строительства При выполнении расчета сотрясаемости используются модели очагов землетрясений, принятые при разработке карт ОСР-97, или другие модели, обоснованные геолого-геофизическими и сейсмотектоническими исследованиями в районе строительства

2 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

$$I = a + b\lg T, \qquad (2\ 1)$$

где a, b — эмпирические коэффициенты уравнения сейсмического режима,

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

2 7 По зависимости (2 1) находят уточненную силу землетрясения I, соответствующую заданному промежутку времени T = 500, 1000 или 5000 лет между толчками расчетной силы или допустимому риску в размере 90 %, 95 % или 99 % непревышения расчетного сейсмического воздействия за 50 лет эксплуатации сооружения (здания)

2 8 Уточненная по уравнению (2 1) сила землетрясения отличается от сейсмичности района по выбранной карте ОСР-97 на положительную или отрицательную величину δI В любом случае для дальнейшего расчета принимают, что модуль δI не должен превышать 1,0

2 9 По приращению балльности δI определяется поправка на сейсмический режим в виде множителя к нормальным амплитудным характеристикам колебаний грунта при толчке, сила которого указана на выбранной карте ОСР-97

Поправочный коэффициент находят по формуле

$$K_{с\,р} = 2^{\delta I}, \qquad (2\,2)$$

где δI — приращение балльности в десятых долях целого балла

2 10 При уточнении представлений о сейсмотектонической обстановке в регионе с целью определения максимальных возможных сотрясений и составления уравнений сейсмического режима для заданных пунктов строительства рекомендуется следующая схема исследовании

2 11 По комплексу геологических, геоморфологических, геофизических, геохимических и других признаков картируются потенциально опасные сейсмогенерирующие структуры (СГС) На этой основе с учетом сейсмологических данных (наблюдаемая и историческая сейсмичность) выделяются зоны возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ) и от этих зон производится расчет сейсмических воздействий для средних по сейсмическим свойствам грунтов и ровных площадок на участке строительства

2 12 Для характеристики сейсмогенерирующих структур проводится анализ фондовых и литературных источников геолого-геофизического и сейсмологического содержания При этом рассматриваются древние и новейшие разрывные структуры с выявлением наиболее подвижных региональных и локальных разломов, глубинное строение и современные движения земной коры, сейсмический режим региона, магнитуды и глубины очагов, параметры макросейсмического поля и др Предварительный анализ комплекса данных дополняется полевыми наблюдениями на ключевых участках и материалами дешифрирования аэро- и космоснимков

2 13 При уточнении представлений о сейсмотектонической обстановке обычно принимаются два масштаба исследований — 1 500 000 и 1 100 000 Более детальный масштаб используется при анализе сейсмотектонической обстановки в ближней зоне к объекту (в радиусе до 50 км), более мелкий масштаб — в дальней зоне (в радиусе от 50 до 100 км)

2 14 При уточнении сейсмичности для объектов первой категории рекомендуется проведение инженерно-сейсмологических наблюдений сетью временных станций с целью подтверждения данных о предварительно выделенных активных очагах землетрясений по фиксируемым инструментально слабым толчкам и получения информации о распределении их гипоцентров по глубине

3. УЧЕТ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ

3 1 В пределах участка строительства сейсмичность микрозон определяется в результате выполнения работ по сейсмическому микрорайонированию Материалы работ по СМР должны содержать количественные оценки влияния характера залегания слоев, сейсмических свойств грунта расчетной толщи и рельефа земной поверхности (последнее в случае сильно пересеченной местности), а также погребенных разломов на амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия

3 2 При выборе характеристик расчетной толщи (положения ее границ, внутреннего строения) 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

3 3 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 Мощности слоев грунта в пределах расчетной толщи определяют по данным инженерно-геологических разрезов, соответствующих центральным осям фундамента

3 4 Для мостовых опор с фундаментами из свай положение верхней границы расчетной толщи грунта устанавливают с учетом устойчивого уширения подмостового русла (срезки), общего размыва грунта у опоры, требований планировки набережных и технологии сооружения фундаментов 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 консистенций

3 5 Для мостовых опор с фундаментами из свай-стоек нижняя граница расчетной толщи грунта принимается в уровне кровли скальной породы или другого малосжимаемого грунта крупнообломочного с песчаным заполнителем

средней плотности или плотным, а также глины твердой консистенции со статическим модулем деформации $E > 50$ МПа (500 кгс/см^2), на который опираются гибкие сваи-стойки Если мощность неконсолидированного слоя оказывается меньше 10 м, то в состав расчетной толщи включают часть скального массива с тем, чтобы общая мощность расчетной толщи была не менее 10 м

3 6 Для мостовых опор с фундаментами из висячих свай нижняя граница расчетной толщи грунта может приниматься в уровне подошвы слоя, в который заложены нижние концы свай, но не менее 10 м от верхней границы расчетной толщи При этом предполагается, что в инженерно-геологическом разрезе стройплощадки ниже отметки заложения фундамента отсутствуют менее прочные слои грунта, чем слои, в который погружены нижние концы свай В противном случае нужно считать, что нижняя граница расчетной толщи проходит по подошве наиболее заглубленного слабого слоя инженерно-геологического разреза

3 7 Для мостовых опор с массивными фундаментами глубокого заложения (опускных колодцев), опирающихся на скальную породу, твердую глину или плотные гравийно-галечниковые отложения, рекомендуется в качестве расчетной толщи принимать малосжимаемый грунт мощностью 10 м, считая вниз от его кровли (отметки подошвы опускного колодца) При расчете на сейсмостойкость таких опор необходимо учитывать силы инерции в неконсолидированном слое и сейсмическое давление грунта этого слоя на боковые грани фундаментов

3 8 Для сооружений II и III категорий ответственности сейсмичность площадок строительства опор с массивными фундаментами глубокого заложения допускается устанавливать в зависимости от сейсмических свойств массива, расположенного сбоку от фундамента, принимая мощность расчетной толщи грунта от ее верхней границы не менее 10 м В этом случае сейсмическое давление грунта на боковые грани фундамента не учитывается

3 9 Сейсмичность припортальных и заглубленных участков тоннелей следует находить в зависимости от сейсмических свойств массива, в котором ведут проходку горных выработок и сооружают обделку тоннеля

3 10 Сейсмичность площадок строительства насыпей и труб под насыпями следует определять в зависимости от сейсмических свойств грунта верхнего 10-метрового слоя основания насыпи

3 11 Сейсмичность площадок строительства выемок определяют в зависимости от сейсмических свойств грунта 10-метрового слоя, считая от контура откосов выемки

3 12 Для опор контактной сети, расположенных на насыпи, сейсмичность стройплощадки находят в зависимости от сейсмических свойств грунта насыпи, для опор контактной сети в выемках учитывают сейсмические свойства грунта основания дороги на глубину до 10 м от уровня основной площадки земляного полотна

3 13 При определении сейсмичности площадок строительства секций подпорной стены, разделенных деформационными швами, используют те же правила выделения расчетной толщи грунта, что и для мостовых опор

3 14 При определении сейсмичности площадок строительства вокзалов и других зданий транспортного назначения сейсмические свойства грунта расчетной толщи рекомендуется принимать осредненными по территории стройплощадки

3 15 При расчете сейсмоустойчивости склонов сейсмичность площадки относят к массиву породы, относительно которого возможно скольжение вышележащих отложений

3 16 При сейсмическом микрорайонировании участков строительства транспортных сооружений нормальные амплитудные характеристики колебаний грунта, уточненные за счет данных о сейсмотектонической обстановке и сейсмическом режиме в пункте строительства, дополнительно корректируются с учетом местных инженерно-геологических условий Поправка задается в форме коэффициента, модифицирующего расчетные значения амплитуд перемещений, скоростей и ускорений грунтовой толщи, определяющей сейсмическое воздействие на сооружение

3 17 Коэффициент на динамические свойства грунтовой толщи (ее сейсмическую жесткость) рекомендуется определять по формуле

$$K_{\text{гр}} = 2^{1\,67\,\lg\left(\frac{655}{\rho V_s}\right)}, \qquad (3\,1)$$

где ρV_s — сейсмическая жесткость грунта расчетной толщи, т/м^2 с,

ρ — плотность грунта, т/м^3,

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

3 18 Если расчетная толща грунта состоит из нескольких слоев, то в этом случае принимается во внимание средневзвешенная сейсмическая жесткость пачки слоев, определяемая по формуле

$$\rho V_s = \frac{\sum(\rho_i V_{si})h_i}{\sum h_i}, \qquad (3\,2)$$

где h_i — толщина i-го слоя пачки, м,

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

3 19 Плотность грунтов инженерно-геологического разреза устанавливается при общих инженерно-геологических изысканиях Скорости поперечных волн в слоях находят по данным сейсморазведки или используя корреляционные уравнения, связывающие физические свойства грунтов и глубину расположения слоя с величинои скорости поперечных сейсмических волн

3 20 Для предварительной оценки влияния грунтовых условий на сейсмичность участков строительства сооружений повышенной ответственности поправочный коэффициент на динамические свойства однородной толщи грунта $K_{гр}$ допускается принимать равным

0,5 — для скальных пород невыветрелых и слабовыветрелых,

1,0 — для скальных пород выветрелых и сильновыветрелых, крупнообломочных отложений, песчаных и глинистых грунтов с условным сопротивлением осевому сжатию $R_o > 0{,}25$ МПа (2,5 кгс/см^2),

2,0 — для песчано-глинистых грунтов с условным сопротивлением осевому сжатию $R_o \le 0{,}25$ МПа (2,5 кгс/см^2)

3 21 В тех случаях, когда расчетная толща грунта неоднородна по структуре, коэффициент $K_{гр}$ находят как среднее значение случайной величины по формуле

$$K_{гр} = \frac{\sum K_{гр\,i} h_i}{\sum h_i}, \qquad (3\,3)$$

где h_i — толщина i-го слоя неоднородной расчетной толщи грунта,

$K_{гр\,i}$ — коэффициент, учитывающий сейсмические свойства i-го слоя грунта

3 22 Условное сопротивление сжатию песчаных и глинистых грунтов находят по приложению 2 в зависимости от показателеи их физических свойств (гранулометрического состава, влажности и плотности для песчаных грунтов, числа пластичности I_p, коэффициента пористости e и показателя консистенции J_L для глинистых грунтов)

3 23 Нормальная спектральная характеристика горизонтальных колебаний грунта определяется по табл 3 1 в зависимости от его категории по сейсмическим свойствам Рекомендуемые графики спектров показаны на рис 3 1 Спектральная характеристика β_{hi} может быть уточнена на основании анализа сейсмограмм, записанных временной сетью регистрации землетрясений на участке строительства

Таблица 3 1

Категория грунта расчетнои толщи по сеисмическим своиствам	Сеисмическая жесткость расчетнои толщи грунта ρV т/м^2 с	Нормализованныи спектр воздеиствия β_{hi}
I	Более 2570	$\beta_{hi} = 1 + 15\,T_i$ при $T_i \le 0{,}1$ с, $\beta_{hi} = 2{,}5$ при $0{,}1 < T_i \le 0{,}3$ с, $\beta_{hi} = \frac{0\,75}{T_i}$, но не менее 1,0 при $T_i > 0{,}3$ с
II	От 655 до 2570	$\beta_{hi} = 1 + 15T_i$ при $T_i \le 0{,}1$ с, $\beta_{hi} = 2{,}5$ при $0{,}1$ с $< T_i \le 0{,}5$ с, $\beta_{hi} = \frac{1{,}25}{T_i}$, но не менее 1,0 при $T_i > 0{,}5$ с
III	Менее 655	$\beta_{hi} = 1 + 15T_i$ при $T_i \le 0{,}1$ с, $\beta_{hi} = 2{,}5$ при $0{,}1$ с $< T_i \le 0{,}7$ с, $\beta_{hi} = \frac{1{,}75}{T_i}$, но не менее 1,0 при $T_i > 0{,}7$с

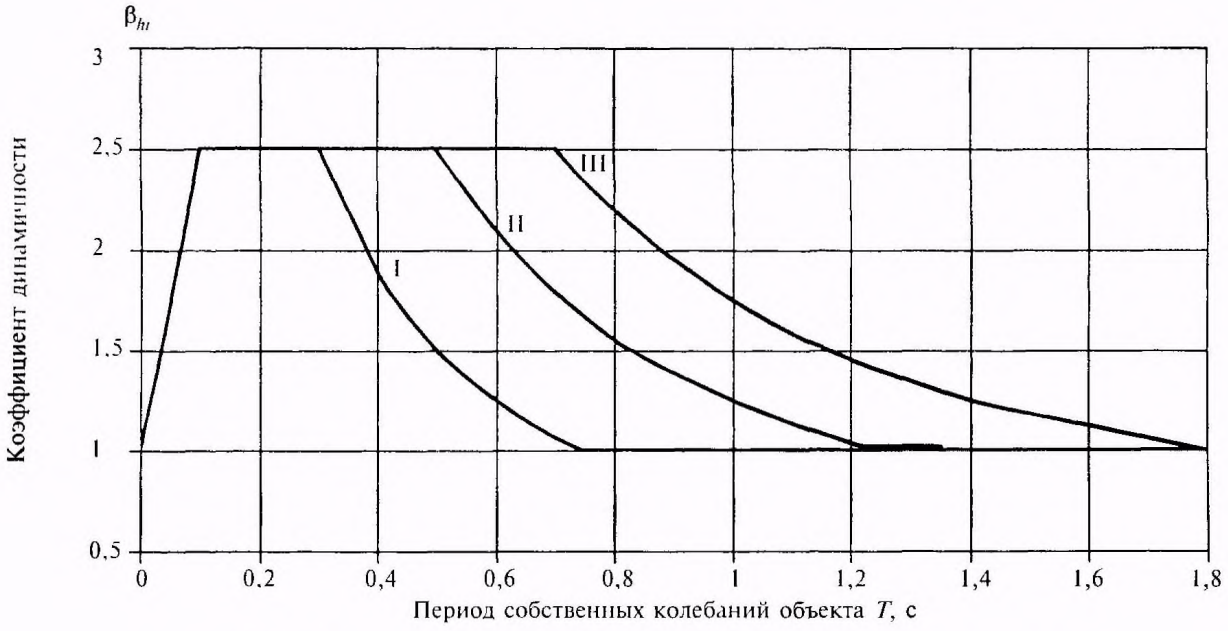
3 24 Спектральную характеристику вертикальной составляющей колебаний грунта в общем случае рекомендуется определять по формуле

$$\beta_{vi} = m_{vh}\beta_{hi}, \qquad (3\,4)$$

где m_{vh} — отношение спектров действия вертикальнои и горизонтальнои составляющих колебаний грунта

3 25 Коэффициент m_{vh} определяют по данным временной сети регистрации землетрясений на участке строительства При сейсмическом микрорайонировании участков сооружений третьей категории ответственности, а также при разработке ТЭО и технического проекта сооружений повышенной и особой ответственности допускается принимать $m_{vh} = 0{,}5$

3 26 При сейсмическом микрорайонировании участков дорог и магистральных трубопроводов, расположенных на горных склонах, нормальные амплитудные характеристики колебаний грунта, уточненные за счет данных о сейсмотектонической обстановке, сеисмическом



I, II, III — категория грунта расчетной толщи по сейсмическим свойствам

Рис. 3.1. Графики коэффициента динамичности β_{hi}

режиме в пункте строительства и о местных грунтовых условиях, дополнительно корректируются в зависимости от рельефа местности. Поправка определяется в форме коэффициента рельефа местности $K_{р\,м}$, на который умножают расчетные амплитуды колебаний грунта.

3.27. Для каньонов (ущелий) с произвольной формой поперечного сечения задача расчета колебаний склона формулируется в виде интегральных уравнений Фредгольма. Уравнения решаются численными методами с построением акселерограмм для различных точек поперечного сечения каньона при произвольном угле падения сейсмической волны.

3.28. Для случая вертикального распространения горизонтально поляризованной поперечной волны рекомендуется использовать приближенные решения, позволяющие найти интенсивность колебаний на дне и в верхних частях склонов долин, используя простые алгебраические формулы.

3 29. Отношение амплитуд колебаний грунта на дне долины и на плоских горизонтальных участках местности, удаленных от долины, при равных грунтовых условиях определяется формулой

$$\frac{A_{низ}}{A_{пл}} = \frac{1}{1 + B^{-x}}, \qquad (3.5)$$

где B — характеристика формы поперечного сечения долины;

x — отношение длины сейсмической волны λ к глубине долины.

3.30. Отношение амплитуд колебаний грунта для площадок, расположенных в самых верхних частях склонов и на плоских горизонтальных участках местности, удаленных от долины, при равных грунтовых условиях находят по формуле

$$\frac{A_{верх}}{A_{пл}} = 1 + \frac{0,5}{1 + B^{x}}, \qquad (3.6)$$

где B — характеристика формы поперечного сечения долины;

x — отношение длины гармонической волны λ к глубине долины.

3.31. Для вычисления характеристики формы поперечного сечения долины используется формула

$$B = \frac{\sqrt{0,25L^2 + H^2}}{H}, \qquad (3.7)$$

где H — глубина долины;

L — ширина долины поверху.

3.32. Длина гармонической волны определяется из соотношения

$$\lambda = V_s T, \qquad (3.8)$$

где V_s — скорость волны;

T — основной период колебаний грунта склонов при землетрясении.

3.33. Коэффициент $K_{р\,м}$, учитывающий влияние рельефа местности на интенсивность сейсмического воздействия, находят линейной интерполяцией между величинами $\frac{A_{верх}}{A_{пл}}$ и $\frac{A_{низ}}{A_{пл}}$ в зависимости от высоты стройплощадки над дном долины.

4. ПРИМЕРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ С МАЛЫМИ ПРОЛЕТАМИ

Малые мосты, водопропускные трубы, лавинозащитные галереи, транспортные и пешеходные тоннели составляют большую часть парка искусственных дорожных сооружений При малых отверстиях в свету водопропускные трубы под высокими насыпями и галереи достигают в длину 100 м и более, а тоннели — более 10 км Восстановление таких объектов после разрушительных землетрясении требует выполнения значительного объема строительно-монтажных работ, а ущерб от нарушения движения транспорта приводит к невосполнимым социальным потерям Далее рассмотрим работы по СМР для участков строительства дорожных сооружении из гофрированной стали, имеющих определенные преимущества перед массивными сооружениями при строительстве в сейсмических районах

4.1. Конструкции транспортных сооружений из гофрированных стальных элементов

Замена в транспортных сооружениях железобетона стальными гофрированными конструкциями позволяет получить существенный экономическии эффект, обусловленный небольшим весом сборных гофрированных элементов, возможностью складирования их в пачки и доставки на стройплощадку наземным, воздушным или водным транспортом, высокими темпами постройки сооружений в любое время года, достаточной долговечностью, в том числе при эксплуатации в местах с неблагоприятными воздействиями на объект окружающей среды Поэтому область применения гофрированных конструкций постоянно расширяется, охватывая такие сооружения, как водопропускные трубы большого диаметра, мосты через водотоки, тоннели в дорожных насыпях, лавинозащитные галереи и др

Одновременно существенно изменяются конструктивные формы сооружений из гофрированных элементов и сортамент последних Использование более мощного сортамента стальных листов, применение разнообразных приемов усиления сводов увеличивают способность гофрированных конструкции выдерживать эксплуатационные нагрузки без значительной поддержки со стороны грунтовой засыпки Эти обстоятельства необходимо принимать во внимание при проектировании сооружения Не менее важно правильно учитывать величину, направление действия и сочетание нагрузок, а также физический износ рассчитываемого для работы в экстремальных условиях сооружения

В России водопропускные гофрированные трубы начали применять в 80-х годах XIX столетия После 1896 г аналогичные конструкции появились в США и Канаде В настоящее время сборные металлические трубы из гофрированных листов (секций) используются во многих странах мира

В XIX веке металлические трубы на железных дорогах России, в том числе в Средней Азии и Закавказье, строили круглого поперечного сечения с диаметрами 0,64—1,07 м При этом использовали сортаменты 37×15 мм и 68×34 мм (длина волны × высоту гофра) с толщиной листа 1,0 мм и 1,2 мм Позже для труб тех же диаметров применялся металл с увеличенными размерами сортамента 60×16 мм и 100×50 мм с толщиной листа 1,2 мм и 1,6 мм

С 1903 г в России строились трубы с диаметром 1,49 и 2,13 м при высоте насыпи до 5—6 м При постройке этих труб использовался сортамент 100×50 мм с толщиной листа 1,5 мм Всего за период с 1887 г по 1914 г на железных дорогах России было уложено около 64000 м оцинкованных металлических труб (примерно 5000 сооружений) диаметром от 0,64 до 2,13 м

Массовые и выборочные обследования труб проводились в 1913, 1941, 1953 и 1967—1969 гг Возраст обследованных в 60-е годы труб составлял 60—80 лет Примерно половина из них находилась в удовлетворительном состоянии и могла далее успешно эксплуатироваться

Выход из строя за упомянутый срок около 50 % построенных сооружений объясняется недостаточной защитой металла от коррозии в условиях агрессивной среды, а также применением сортамента с малой высотой гофра и недостаточной толщиной листа

Данных о текущем состоянии металлических труб постройки конца XIX и начала XX вв у нас не имеется К настоящему времени прошло 100 лет и более с момента их постройки Сбор данных об остающихся в эксплуатации трубах представляет большой интерес, поскольку позволит определить фактический ресурс долговечности упомянутых объектов

В 1971 г Ленгипротрансмост выпустил проект металлических гофрированных водопропускных труб диаметром от 1,0 до 3,0 м, сортаментом 130×32,5 мм при толщине листа от 1,5 до 2,5 мм Трубы предназначены для применения под насыпями железных дорог высотои до 8,5 м и автомобильных дорог высотой до 9,5 м

В последние годы в строительстве транспортных сооружений в России участвуют зарубежные фирмы Сборочные элементы гофрированных труб поставляются из Финляндии (фирма

«Геотерра») и Канады (фирма «Армтек») Из этих элементов можно собирать разнообразные дорожные сооружения, аналогичные зарубежным

В Канаде применяют трубы с разнообразными формами и размерами поперечных сечении Трубы собираются из листов Hel-Cor 68×13 мм, Multi-Plate 152×51 мм и Bridge-Plate 400×150 мм Толщина листов Multi-Plate и Bridge-Plate изменяется от 3,0 до 7,0 мм Листы Bridge-Plate в 3,5 раза прочнее при изгибе и в 10 раз жестче по сравнению с листами Multi-Plate

По величине наибольшего горизонтального размера в свету трубы условно подразделяют на малые с величиной пролета до 1,0 м и большие с пролетом от 1 до 7 м (фото 1 прилож 4) В отдельных случаях применяются трубы с пролетом более 7,0 м, сооружаемые по технологии Super-Span

Наиболее распространены водопропускные трубы круглого поперечного сечения В меньшем количестве строятся трубы эллиптические и со специальной формой поперечного сечения Грушевидная форма последних несимметрична относительно главной горизонтальной оси инерции сечения При использовании листов Multi-Plate наибольший пролет эллиптических и грушевидных труб немного превышает 6 м

Фактических данных об уязвимости стальных гофрированных конструкций при землетрясениях крайне мало Упомянем здесь о раздавливании гофрированной трубы при землетрясении на Аляске (1964 г), а также о нескольких случаях серьезных повреждений гофрированных труб с малой и средней высотой гофра при землетрясении Northridge (1994 г)

В последнем случае обследовали 61 трубу в эпицентральнои зоне землетрясения Среди них было 29 труб небольшого диаметра и 32 трубы большого диаметра Почти все трубы малого диаметра выдержали сеисмическое воздействие без повреждений Напротив, большие трубы получили деформации вплоть до полного разрушения

Основные причины повреждения больших труб — значительное давление на них засыпки при проходе сеисмических волн, оползание откосов насыпей и разжижение водонасыщенного грунта

За рубежом из гофрированных металлических конструкций (ГМК) построено также значительное число транспортных (железнодорожных, автодорожных и пешеходных) тоннелей в насыпях

Для железнодорожных тоннелей под один путь форма поперечного сечения стальной гофрированнои обделки принимается в виде эллипса с большои осью, расположенной вертикально Порталы тоннеля могут иметь боковые стенки, обрезанные по линиям сопряжения с откосом насыпи (фото 2 прилож 4) Сооружаются также тоннели с выдвинутыми порталами

В зависимости от требуемого габарита приближения строений и высоты насыпи автодорожные тоннели могут иметь свод, соответствующий дуге окружности (на узких дорогах) или эллипса с большои осью, расположеннои горизонтально Обделки тоннелей могут иметь также специальную (грушевидную) форму

Для пропуска автомобилей по двум полосам, размещения двух тротуаров и полос безопасности внутри тоннеля требуется обделка с размером в свету около 11,5 м (фото 3 прилож 4) При использовании обделки с эллиптическим или грушевидным контуром такой пролет можно перекрыть листами Multi-Plate с усилением обделки по технологии Super-Span

Технология Super-Span позволяет повысить устойчивость гибкой обделки за счет устройства двух жестких железобетонных балок, размещаемых вдоль оси тоннеля рядом с обделкой в месте возможного выпучивания гофрированных листов Под балками и сбоку от них грунт засыпки должен хорошо уплотняться Значительная жесткость упорных балок при изгибе и уплотнение грунта засыпки обеспечивают устойчивость обделки при действии нагрузок от веса насыпи и транспортных средств

В рамках технологии Super-Span используются также другие приемы усиления обделок К ним относятся, например, применение сводов с покрытием двумя слоями листов (гребни волны нижнего ряда листов соединяются болтами с впадинами верхнего ряда) Устойчивость сводов может быть также увеличена за счет включения в работу гнутых двутавров, заделанных концами в железобетонные упорные балки, расположенные с внешней стороны свода

По сравнению с путепроводами обычного типа транспортные тоннели имеют ряд преимуществ, среди которых отметим низкую стоимость и небольшой срок постройки, отсутствие фундаментов и связанных с их возведением работ, лучшие условия для движения транспорта над тоннелем в связи с отсутствием деформационных швов, высокую долговечность конструкции

Собираемые по технологии Super-Span мосты через водотоки перекрывают пролеты до 18 м Такие мосты состоят из арочного свода из стальных гофрированных листов, железобетонных фундаментов, в которые заделывают пяты арки и элементов усиления В зависимости от высоты насыпи и данных гидравлического расчета применяют низкие или высокие арочные своды

Для повышения устоичивости свода могут использоваться те же приемы, что и при строительстве транспортных тоннелей, т е упорные железобетонные балки, гнутые двутавры, покрытия с двумя рядами листов или замена листов типа Multi-Plate на более жесткие листы типа Bridge-Plate

Сравнительно недавно (1986 г) в Канаде стала применяться новая технология строительства мостов из гофрированных листов — Concrete Arch Buried Bridge (CABB) По этой технологии мост состоит из жесткого арочного свода и гибкой арки, защищающей дно водотока от размыва Жесткий свод собирается из стальных гофрированных листов и уложенного поверх листов монолитного бетонного покрытия, объединенного с листами штырями диаметром 12 мм и высотой 100 мм Обратныи свод выполняется гибким из стальных гофрированных листов, укладывается на песчаную подушку и закрепляется в массивных пятах верхнего свода

При необходимости построики моста длинои более 25 м можно использовать арочную систему, состоящую из нескольких арочных сводов Одно- и многопролетные арочные мосты отличают экономическая эффективность, простота проектирования и постройки, значительные межремонтные сроки, легкость замены при необходимости гибкого нижнего свода, долговечность жесткого верхнего свода, привлекательный внешний вид сооружения

Для защиты дорог от лавин применяются различные превентивные и инженерные мероприятия, в том числе лавинозащитные галереи Впервые стальные гофрированные листы для строительства одной из галерей были применены в Канаде в 1960 г Галерея (фото 4 прилож 4) обеспечивает проезд автотранспорта по двум коридорам, разделенным рядом железобетонных стоек, поддерживающих свод из стальных гофрированных листов В коридорах размещаются служебные проходы, полосы безопасности и проезжая часть дороги Свод галереи прикрыт сверху слоем грунта, по которому движется снежная масса лавины Галерея успешно эксплуатируется более 40 лет, получив за это время некоторые повреждения, вызванные коррозиеи оцинкованных листов заборнои стенки в местах попадания грязи из-под колес движущегося транспорта

В России построены две лавинозащитные галереи Первая галерея длинои 35 м сооружена в экспериментальном порядке на железнодорожном подъездном пути к Чинеискому месторождению руд в Восточной Сибири Строительство галереи выполнено в 2000—2001 гг по проекту института «Проектгрансстрои» с участием фирмы «Геотерра», принявшей на себя поставку металлоконструкций Вторая галерея длиной 440 м находится в Северной Осетии, вблизи Рокского перевала через Главный Кавказский хребет Галерея сооружена из гофрированных стальных элементов производства канадской фирмы «Армтек»

4.2. Работы по СМР для галереи на дороге Чара—Чина

Галерея располагается на полке склона Вдоль оси галереи разрабатываются две траншеи для устройства в них железобетонных ленточных фундаментов из блоков, омоноличиваемых цементно-песчаным раствором в стыках Под подошвой блоков залегают крупнообломочные многолетнемерзлые грунты Расстояние между осями фундаментов принято равным 7,68 м

Свод галереи собирается из стальных гофрированных листов толщиной 7,0 мм при длине волны гофра около 150 мм, высоте волны — 50 мм Высота конструкции галереи от основной площадки до замка арки равна 7,71 м Нижние концы свода заделываются в фундаментные блоки

Для обеспечения общей устойчивости свода и возможности качественного уплотнения грунта засыпки со стороны низового откоса устраивается подпорная стенка из габионов, заполняемых скальным грунтом

Засыпка галереи производится равномерно по всей длине и на одинаковую высоту с обеих сторон песчано-гравийной смесью с уплотнением виброплощадками Грунт засыпки армируется геосеткои, укладываемой через каждые 0,5 м по высоте конструкции

Объект располагается в 30 км к югу и 15 км к востоку от железнодорожной станции Чара в верховьях р Нижний Ингамакит, т е находится в центральнои 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 125 лет относительно слабой местнои сейсмичностью Это подчеркивает особую опасность центральной части зоны, где за это время накопился значительный сейсмическии потенциал, который в любое время может высвободиться в виде землетрясения силой 9—10 баллов Таким образом, участок строительства относится к наиболее опасным в сейсмическом отношении на территории России и существует значительная вероятность разрушения объекта при ожидаемом землетрясении

Категория ответственности объекта определяется социально-экономическими последстви-

ями его отказа во время землетрясения. При рассмотрении последствий отказа нужно учитывать также утраченные выгоды применения новых экономически выгодных конструкций в случае использования недостаточно проработанных решений при опытном строительстве и эксплуатации.

При проектировании объект рассматривался как сооружение повышенной ответственности на основании данных об ущербе, связанном с разрушением искусственных сооружений в зонах стихийных бедствий, что влечет за собой не только тяжелые экономические потери, но и в решающей степени затрудняет проведение аварийно-спасательных и восстановительных работ, особенно при отсутствии резервных путей сообщения.

В связи с повышенной ответственностью объекта, а также необычностью галереи по конструкции и материалу для определения сейсмичности района ее строительства использована карта ОСР-97 с индексом В, соответствующая тысячелетнему среднему интервалу времени между землетрясениями расчетной силы (или вероятности непревышения расчетного воздействия 95 % за 50 лет эксплуатации сооружения). Согласно упомянутой карте сейсмичность района строительства равна 9 баллам по шкале MSK-64.

Найдем поправку, учитывающую особенности сейсмического режима в пункте строительства. По данным В.И. Уломова, в интересующем нас пункте землетрясения силой 6 баллов происходят в среднем с интервалом 16 лет, 7 баллов — 50 лет, 8 баллов — 190 лет, 9 баллов — 680 лет. Соотношение между десятичным логарифмом промежутка времени T между землетрясениями и силой толчка I в баллах можно аналитически представить в виде зависимости $I = 3{,}83 + 1{,}82\lg T$. График этой зависимости показан на рис. 4.1.

Подставляя в уравнение сейсмического режима значение интервала времени $T = 1000$ лет, находим $I = 9{,}3$ балла. Следовательно, с заданной вероятностью непревышения (95 % за 50 лет эксплуатации) в пункте строительства происходят толчки силой 9,3 балла по шкале MSK-64. Эта оценка относится к участкам, сложенным средними по сейсмическим свойствам грунтами.

Найдем поправку на сейсмический режим в виде множителя $K_{с\,р}$ к ускорению колебаний грунта $A = 0{,}4g$ (g — ускорение силы тяжести) при толчке силой 9 баллов. По формуле (2.2) при $\delta I = 0{,}3$ находим $K_{с\,р} = 1{,}23$. Таким образом, поправка на сейсмический режим в нашем случае увеличивает исходное сейсмическое воздействие на 23 %.

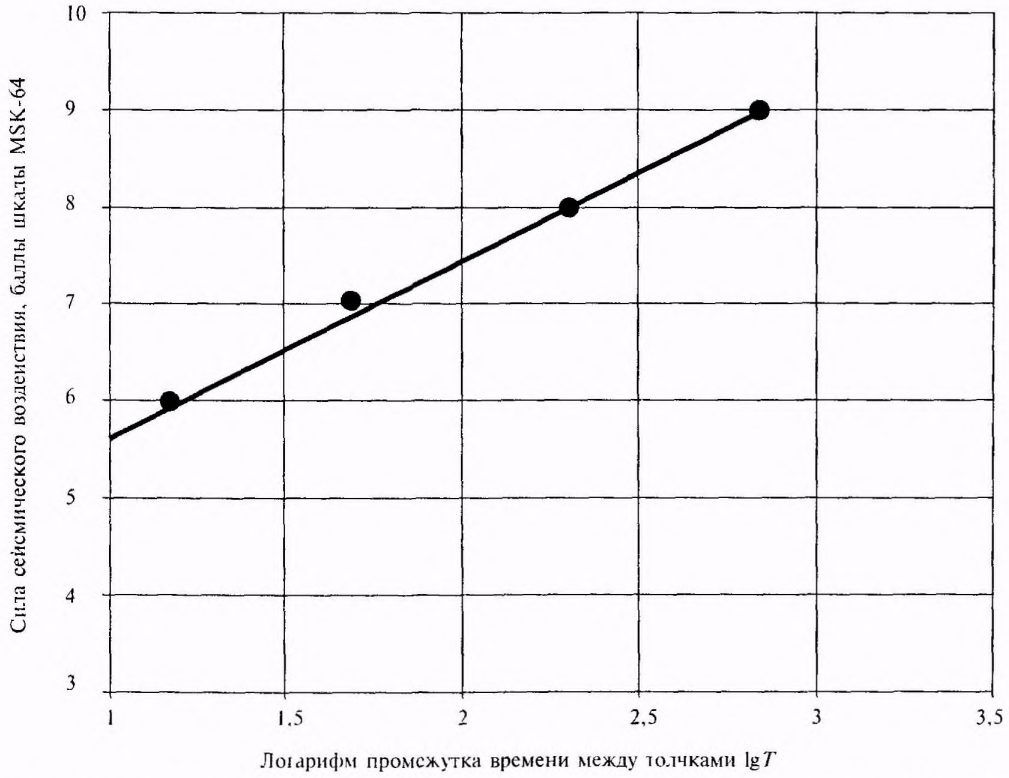


Рис. 4.1. График сейсмического режима в пункте строительства галереи на дороге Чара—Чина

Для определения влияния формы поперечного сечения долины р Нижний Ингамакит на интенсивность сейсмического воздействия использовались топографическая карта масштаба 1 100000 и поперечные профили на участке строительства галереи Согласно 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

Согласно проектным материалам площадка строительства галереи располагается на склоне долины Отметка стройплощадки на 220 м превышает отметку дна долины Таким образом, в месте строительства галереи трасса дороги проложена в средней части склона

Характеристику формы поперечного сечения долины определяем по формуле (3 7)

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

Скорость поперечных сейсмических волн V_s в коренной породе склонов (прочном песчанике) принимаем равной 2050 м/с, период колебаний грунта $T = 0,3$ с Находим длину волны $\lambda = V_s T = 2050\ \ 0,3 = 615$ м Определяем отношение x длины волны λ к глубине долины H

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

Отношение амплитуд колебаний грунта на дне долины и на плоской горизонтальной площадке вне долины $\frac{A_{низ}}{A_{пл}} = \frac{1}{1 + 2,24^{\ 1\ 23}} = 0,73$

Отношение амплитуд колебаний грунта в верхней части склонов и на плоской горизонтальной площадке вне долины $\frac{A_{верх}}{A_{пл}} = 1 + \frac{0,5}{1 + 2,24^{1\ 23}} = 1,13$

Принимаем, что искомый коэффициент $K_{р\ м}$ изменяется линеино между найденными значениями 0,73 (на дне долины) и 1,13 (на отметке верха бортов долины) Тогда для отметки площадки строительства галереи $K_{р\ м} = 0,91$ Для меньших значений периода волны 0,2 и 0,1 с коэффициент $K_{р\ м}$ несколько уменьшается (до 0,88 и 0,86 соответственно)

Расчет галереи, подпорной стены и прилегающего массива грунта выполнен по сейсмограмме с максимальным ускорением горизонтальных колебании 460 см/с^2 Расчет потребовал выполнения значительного объема вычислений для учета взаимодействия оболочки с массивом окружающего грунта Время расчета одного варианта с учетом сейсмического воздействия составило 150 маш -ч работы компьютера, используемого для решения сложных научных задач

На сейсмическое воздействие галерея рассчитывалась специалистами фирмы «Остсейсм» с учетом взаимодействия стальной оболочки с грунтом засыпки, подпорной стеной, основанием полки и верховым откосом выемки Грунтовый массив рассматривался состоящим из трех типов грунта (грунт основания, засыпки и заполнения габионов) Конечно-элементная модель грунтового массива принята с использованием плоских четырехугольных элементов, входящих в стандартную библиотеку конечных элементов программы «Ansys»

При выполнении расчетов учитывались неупругие деформации грунта Свод галереи рассматривался как тонкая упругая оболочка Граничные условия по краям оболочки задавались в виде шарнирного опирания, т е исключались перемещения краев свода относительно фундаментов, но допускались повороты в граничных узлах модели Последнее предположение является спорным, поскольку гофрированные листы по проекту должны заделываться сваркой опорных пластин и заложенных в фундаментные блоки швеллеров с последующим заполнением бетоном узлов объединения нижних гофрированных листов арки с фундаментными блоками

Следует отметить также, что в расчетной схеме не учитывалась возможность отрыва грунта засыпки от поверхности верхового откоса Для обеспечения совместности деформаций верхового откоса и грунта засыпки при сейсмическом воздействии необходимо в скальный откос заложить горизонтальные анкеры с достаточным выпуском их в массив насыпного грунта, армированного геосетками В противном случае в результате отрыва засыпки от верхового откоса сильно возрастут горизонтальные перемещения в системе насыпной грунт—галерея—подпорная стенка и напряжения в своде

4.3. Работы по СМР для галереи в Северной Осетии

Наиболее крупное дорожное сооружение из гофрированных стальных элементов на территории нашеи страны — лавинозащитная галерея в Северной Осетии, построенная вблизи от Рокского перевала в 2002 г (фото 5 прилож 4) Галерея запроектирована в виде полуциркульной арки радиусом 5,55 м, собираемой из сегментов с размерами гофра 400×150 мм при толщине листов 7 мм Опорные сегменты заделаны в монолитные ленточные фундаменты из железобетона Глубина заложения подошвы фундаментов 1,2 м (рис 4 2)

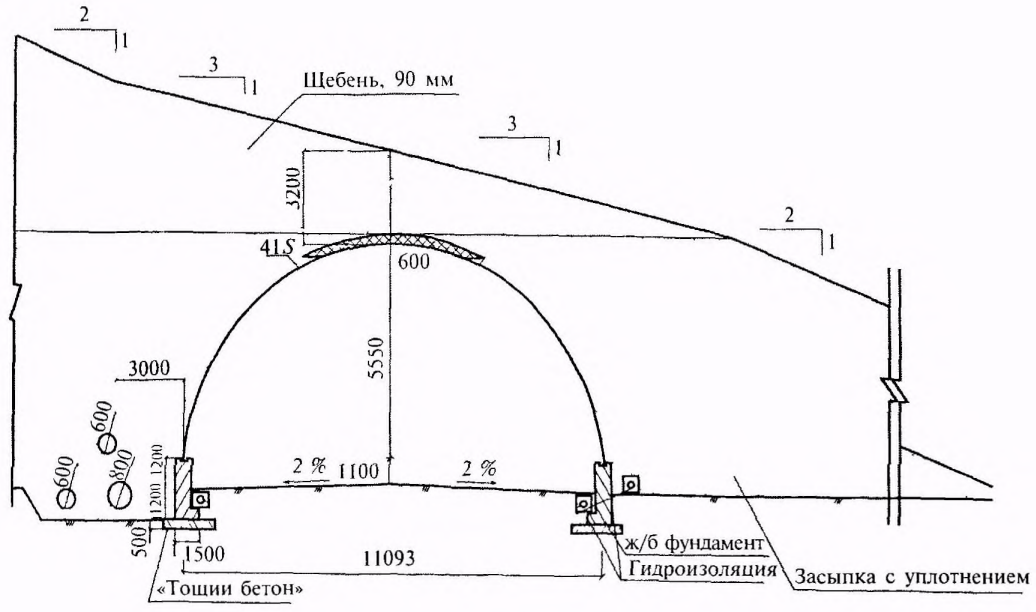


Рис. 4.2. Лавинозащитная галерея вблизи Рокского перевала

После монтажа конструкция обсыпалась дренирующим грунтом с послойным уплотнением последнего виброкатком. Поверх уплотненной засыпки отсыпался щебень, непосредственно воспринимающий удары лавин. Высота щебеночного покрытия над замком свода 320 см. Крутизна откоса покрытия от 1:2 до 1:3.

По данным Е.А. Рогожина, Г.И. Рейснера и А.И. Лутикова, на расстоянии до 120 км от участка строительства выделяется 13 зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ). Для объекта значительную сейсмическую опасность представляют зоны ВОЗ с максимальными магнитудами $M_{макс}$ от 6,2 до 7,1, расположенные в радиусе до 50 км от галереи (табл. 4.1).

Из восьми опасных зон ВОЗ две зоны (Владикавказкая и Душетская) имеют потенциал, достаточный для создания восьмибального воздействия на галерею, три зоны (Адайком-Казбекская, Пассанаурская и Рача-Лечхумская) могут инициировать сотрясения силой около 9 баллов. Последние две зоны (Южно-Казбекская и Тибская) наиболее опасны. Максимальный разрушительный эффект на участке стро-

Таблица 4.1

Зоны ВОЗ в районе Рокского перевала

№ п п	Название зон	$M_{макс}$	Длина, км	Ширина, км	Глубина очагов, км	Расстояние до объекта, км	Кинематика подвижек
1	Владикавказская	6,5	100	10	10	35	Взброс
2	Адайком-Казбекская	6,5	200	10	10	17	»
3	Южно-Казбекская	6,5	200	15	10	5	»
4	Тибская	7,1	200	20	15	20	»
5	Пассанаурская	7,1	300	20	15	30	»
6	Рача-Лечхумская	7,0	1000	25	15	30	»
7	Душетская	6,2	300	10	10	30	»
8	Дзирульская	6,9	100	12	15	30	»

ительства галереи, создаваемый очагами этих зон, достигает 10 баллов Такие события далее не рассматриваются, так как происходят крайне редко (реже, чем один раз за 1000 лет)

В пределах Рача-Лечхумской зоны ВОЗ в 1991 г произошло одно из сильнеиших землетрясений Кавказа (Рачинское), магнитуда главного толчка которого достигла 6,9, глубина центра очага находилась в пределах от 6 до 14 км При землетрясении в плейстосеистовой зоне появились многочисленные поверхностные деформации грунтов в основном сеисмогравитационного происхождения, общие и местные деформации дорожных сооружений

По данным В И Уломова, район Рокского перевала характеризуется высокой сейсмической активностью Средние интервалы времени между землетрясениями силой от 6 до 9 баллов по шкале MSK-64 для средних грунтовых условий составляют 6 баллов — 13 лет, 7 баллов — 48 лет, 8 баллов — 200 лет, 9 баллов — 1000 лет

Галереи на автомобильных дорогах категории II относятся к объектам повышенной ответственности При определении сейсмичности района строительства таких сооружений исходят из тысячелетнего среднего интервала времени между землетрясениями, т е в данном случае в качестве исходной сейсмичности следует принять силу землетрясения 9 баллов по шкале MSK-64

Для землетрясения силой 9 баллов нормальные амплитудные характеристики колебаний среднего по сейсмическим свойствам грунта принимаются ускорения — 400 см/с^2, скорости — 32,0 см/с, перемещения — 16,0 см К этим характеристикам следует ввести коэффициент на местные грунтовые условия

Инженерно-геологические исследования на участке строительства галереи выполнены специалистами центра «Технориск» МГУ им М В Ломоносова

Ими получены данные о залегании грунтов и их свойствах в разрезах, ориентированных вдоль оси дороги

Массив грунтов в основании галереи включает три основных слоя 1) насыпнои грунт, состоящий из гравия и щебня аргиллита, алевролита, песчаника и известняка с большим содержанием супесчано-суглинистого заполнителя, 2) делювиально-эллювиальные отложения, переходящие в сильно трещиноватые известняки, песчаники, мергели, 3) плотные скальные грунты ниже зоны интенсивного выветривания

На расстоянии 20—30 м от горного склона насыпнои слой имеет мощность от 8 до 11 м, зона интенсивного выветривания распространяется до глубины 19—20 м от поверхности земляного полотна, ниже залегают плотные трещиноватые скальные грунты По данным изысканий, плотность слоев равна $\rho_1 = 1{,}95$ т/м^3— для насыпного грунта, $\rho_2 = 2{,}35$ т/м^3 — для разрушенной скалы, $\rho_3 = 2{,}4$ т/м^3 — для плотной скальной породы

Мощность насыпных грунтов из делювиальных отложений уменьшается по направлению от кромки полунасыпи к горному склону В среднем по ширине основной площадки земляного полотна мощность изученных слоев основания равна для гравийно-щебенистого грунта — 3,8 м, для сильно выветрелой скалы — 10 м, для нижележащей плотной кореннои породы — 13,2 м

Скорости продольных и поперечных сейсмических волн в грунтах определены с помощью цифровой станции «Диоген» Для упомянутых слоев получены следующие значения скорости волн для первого слоя $V_p = 525$ м/с, $V_s = 275$ м/с, для второго слоя $V_p = 1125$ м/с, $V_s = 485$ м/с, для третьего слоя $V_p = 1825$ м/с, $V_s = 800$ м/с

Сейсмичность участка строительства галереи устанавливается в зависимости от сейсмических свойств грунта расчетной толщи мощностью 10 м, расположенной ниже отметок заложения фундаментов В состав расчетной толщи входят слой гравийно-щебенистого грунта мощностью $h_1 = 2{,}6$ м и слой выветрелой скальной породы мощностью $h_2 = 7{,}4$ м

Сейсмические жесткости слоев расчетной толщи равны соответственно $\rho_1 V_{s1} = 1{,}9 \quad 275 = 536$ т/м^2 с и $\rho_2 V_{s2} = 2{,}35 \quad 485 = 1140$ т/м^2 с Первый слой относится к грунтам третьей категории по сейсмическим свойствам ($\rho_1 V_{s1} < 655$ т/м^2 с), второй слой — к грунтам второй категории (655 т/м^2 с $< \rho_2 V_{s2} < 2570$ т/м^2 с)

По формуле (3 2) вычисляем средневзвешенную сейсмическую жесткость пачки из двух слоев $\rho V_s = 983$ т/м^2 с По сейсмической жесткости расчетная толща относится к основаниям второй категории

С округлением до второй значащей цифры после десятичной запятой по формуле (3 1) находим коэффициент на сейсмическую жесткость грунта расчетной толщи $K_{гр} = 0{,}82$

С учетом поправки на грунтовые условия амплитудные характеристики колебании грунта уменьшаются на 18 %, т е принимаются равными ускорение — 328 см/с^2, скорость — 26,2 см/с, перемещение — 13,1 см Эти характеристики рекомендованы для расчета галереи на сейсмостойкость

Размещение фундаментов галереи частично на врезанной в склон полке и частью на полунасыпи неблагоприятно для эксплуатации сооружения в сейсмическом районе Ввиду раз-

личия сейсмических свойств грунта колебания обочин дороги будут происходить с разной интенсивностью При толчке силой 9 баллов разность амплитуд смещений скального и насыпного грунтов может достигнуть нескольких сантиметров Это обстоятельство рекомендуется учесть при конструировании и расчете галереи

Для обеспечения надежности галереи нужно выполнить расчет сооружения с использованием инструментальных записеи ускорений грунта при землетрясениях с магнитудами 7,0, 6,5 и 6,0, глубиной очагов 10—15 км и эпицентральными расстояниями 30, 15 и 5 км соответственно Эти землетрясения примерно равноценны по степени сейсмической опасности для галереи (9 баллов по шкале MSK-64) Таким образом, при расчете галереи требуется рассмотреть три варианта расположения и мощности источника сейсмических волн

Подбор акселерограмм, соответствующих определенным выше характеристикам очагов и эпицентральным расстояниям, относится к компетенции организации, выполняющей расчет сооружения При подборе акселерограмм могут быть использованы многочисленные публикации, содержащие сведения об инструментальных записях колебаний грунта при отдельных землетрясениях, а также работы, обобщающие и классифицирующие записи землетрясений

К работам такого рода относится монография американских специалистов F Naeim и J C Anderson [23] В ней проанализированы 1545 записей движения грунта при землетрясениях, происшедших главным образом в США за период с 1933 по 1992 г Классификация записей выполнена по следующим основным признакам магнитуда, эпицентральное расстояние, глубина очага, наибольшие ускорение, скорость и перемещение грунта, продолжительность сильных колебании (с ускорением более 0,05g) и ряду других атрибутов Наибольшие значения параметров колебаний грунта для данной выборки составляют vскорение — примерно 1,5g, скорость — 126 см/с, перемещение — около 104 см

Наиболее близкими к ожидаемым в районе Рокского перевала толчкам из Пассанаурской и Рача-Лечхумскои зон были толчки при землетрясении 17 10 1989 г в Лома-Приета с магнитудои 7,1 и глубиной очага 18 км Акселерограмма горизонтального движения на станции Gilroy №1, расположенной на расстоянии 30 км от эпицентра, имела пик ускорения 434 см/с^2, пик скорости — 33,8 см/с, пик смещения — 6,3 см, продолжительность сильной фазы — 9,7 с Запись вертикальных движений грунта имела следующие параметры пик ускорения — 206 см/с^2, пик скорости — 14,5 см/с, пик смещения — 5,1 см Таким же образом можно подобрать аналоги толчков из Адайком-Казбекской зоны

Строительные нормы допускают выполнять расчет на сейсмостойкость зданий и сооружений с использованием синтезированных акселерограмм

Акселерограммы, использовавшиеся при контрольных расчетах некоторых мостов на Кавказе, приводятся в прилож 3 Продолжительность воздействия равна 20 с Пиковое значение ускорения — 120 см/с^2 Погрешность спектра действия синтезированных акселерограмм по сравнению со спектром, используемым при расчете мостов спектрально-модальным методом, не превышает 10 %

Данные акселерограммы могут быть использованы при контрольном расчете галереи с учетом поправок на региональные тектонические и местные инженерно-геологические условия, т е с увеличением их пиковых значений до 328 см/с^2 для горизонтальных движений и до 0,5 328 = 164 см/с^2 для вертикальных движений (коэффициент 0,5 может быть скорректирован по данным станций регистрации землетрясений в районе строительства)

Расчет галереи на сейсмическое воздействие с использованием акселерограмм должен учитывать возможность развития ограниченных повреждений сооружения, обусловленных неупругими деформациями грунта и конструкций

5. ПРИМЕРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ С БОЛЬШИМИ И СРЕДНИМИ ПРОЛЕТАМИ

В результате выполнения работ по сейсмическому микрорайонированию определяют коэффициенты к параметрам колебаний грунта (ускорению, скорости, перемещению), соответствующим исходной сейсмичности района строительства Эти коэффициенты учитывают сеисмотектоническую обстановку в районе строительства ($K_{с\,т}$), сейсмический режим ($K_{с\,р}$), местные инженерно-геологические условия ($K_{гр}$) и рельеф местности ($K_{р\,м}$)

Коэффициенты находят с использованием известных зависимостей инженерной сейсмологии (уравнения макросейсмического поля, формул метода сеисмических жесткостей и др) с некоторыми модификациями, учитывающими особые инженерно-геологические условия площадок строительства транспортных сооружений и опыт их обследования после землетрясений Следует подчеркнуть, что использование коэффициентов к параметрам колебаний

грунта позволяет гибко корректировать сейсмичность строиплощадок, что нельзя сделать, оценивая приращение сейсмичности в целых баллах шкалы MSK-64

Рассмотрим определение коэффициента $K_{гр}$ для мостового перехода через долину р Чемитоквадже, коэффициентов $K_{с\,т}$ и $K_{гр}$ для эстакады у г Горячий Ключ

5.1. Сейсмическое микрорайонирование мостового перехода через долину р.Чемитоквадже

Виадук Чемитоквадже (фото 6 прилож 4) на автомагистрали Новороссийск—Тбилиси—Баку сдан в эксплуатацию в конце 1999 г Длина мостового перехода 577 м Верхние части бортов долины перекрыты разрезными пролетными строениями Над дном долины, нижними и средними частями бортов дорога проходит по сталежелезобетонному неразрезному пролетному строению со схемой разбивки на пролеты 63,3 + 4×84,0 + 63,3 м

По своим размерам, конструктивным решениям и архитектурному облику виадук Чемитоквадже относится к новому поколению европейских мостов, представленных за рубежом рядом выдающихся сооружений на трансальпийских международных автострадах, а в сейсмических районах России виадуками на автодорожном обходе г Сочи (фото 7, 8 прилож 4)

Приустьевая часть долины р Чемитоквадже врезана в подстилающие коренные породы примерно на 110 м Древнее дно долины перекрыто аллювиальными отложениями мощностью до 33 м Абсолютные отметки поверхности грунта в пределах современного дна долины изменяются от 0,3 до 3,0 м, на подходе со стороны Сочи — 75,3 м, на подходе со стороны Туапсе — 68,9 м Крутизна склонов долины достигает 30—35° Сейсмичность района строительства — 9 баллов для сооружений повышенной ответственности

В створе мостового перехода коренные породы представлены окремнелым мергелем, известняком, алевролитом и песчаником Верхние слои коренных пород трещиноватые, малопрочные Ниже зоны интенсивного выветривания прочность мергеля на сжатие возрастает до 27,5 МПа (275 кгс/см^2) и выше Плотность грунта 2,50 т/м^3 Поверхность скального ложа сильно наклонена по направлениям от гор к морю и от бортов долины к ее тальвегу В связи с этим перепад высотных отметок кровли скальных грунтов в пределах площадок строительства некоторых опор достигает нескольких метров

На крутых склонах долины коренные породы перекрыты маломощным слоем щебенистого суглинка твердой (полутвердои) консистенции В средней части мостового перехода скальные грунты погружаются на глубину около 30 м ниже современного дна долины

Геофизические исследования в створе мостового перехода выполнялись в соответствии с требованиями к работам по сейсморазведке Целью работ было определение скорости распространения упругих продольных и поперечных волн в коренных породах и покровных отложениях Для этого выполнено непрерывное сейсмопрофилирование методом продольных и поперечных преломленных волн Работы осуществлялись на сейсмопрофиле длиной 276 м при наибольшей глубине зондирования до 35 м

Продольные и поперечные волны возбуждались ударами кувалды по вкопанной в грунт доске Расстояние между пунктами ударов составляло 46 м, шаг сейсмоприемников по профилю — 2 м Общий объем работ — 84 физических наблюдения по продольным и 88 наблюдений по поперечным волнам Регистрация колебаний грунта проводилась на цифровой сейсмостанции «S-2 Echo»

Обработка полевых геофизических данных позволила найти глубины залегания разных по сейсмическим свойствам слоев грунта и определить скорость распространения в них продольных и поперечных сейсмических волн Средние значения скорости в коренных породах на участке сейсмопрофилирования составили для продольных волн 2723 м/с, для поперечных волн — 1077 м/с Эти величины значительно больше скоростей продольных и поперечных волн в покровных отложениях

По скоростям поперечных волн в аллювиальной толще уверенно прослеживается граница, разделяющая грунты со скоростями V_s от 300—360 м/с до 590—680 м/с Более низкие значения скоростеи относятся к слоям отложений суммарной мощностью 10—12 м, включающим галечник с суглинистым заполнителем и тугопластичный суглинок Повышенные скорости относятся к более древним отложениям, залегающим на глубинах от 10 до 30 м Эти отложения представлены гравием (галькой) с суглинистым заполнителем

Геофизические данные позволили найти сейсмические жесткости слоев грунта, приращение сейсмичности в микрозонах мостового перехода и коэффициенты на грунтовые условия Рассмотрим процедуру СМР на примере расчета сейсмичности площадок под опоры № 1,7 и 9

Расчет поправок на грунтовые условия сводится к определению сейсмической жесткости расчетной толщи грунта в основании каждои опоры и к вычислению коэффициентов $K_{гр}$

Опора № 1 устроена в виде плоской рамы, шесть стоек которой погружены в грунт С риге-

лем рамы соединяется шкафной блок, служащий для опирания балочного разрезного пролетного строения из железобетона длиной 21 м. Стойки рамы выполнены в виде буронабивных свай, сооружаемых без извлечения стальных обсадных труб диаметром 0,72 м. Длина свай от низа фундаментной плиты (ригеля опоры) — 18,0 м, длина обсадных труб — 13,5 м.

На площадке строительства опоры № 1, находящейся на пологом участке правобережного склона, вблизи его вершины, с поверхности лежит насыпной грунт. Ниже залегает слой твердого (полутвердого) щебенистого суглинка мощностью h_1 = 8,0 м, подстилаемый слоем галечника осадочных пород с глинистым заполнителем до 20—40 % мощностью около 2,0 м. Еще ниже начинается массив скальных пород, представленных средней прочности трещиноватым мергелем с прослоями песчаника и алевролита (10—15 %). Угол падения кровли скальных пород поперек оси моста около 30°, вдоль оси моста — менее 5°.

Для целей СМР основание опоры № 1 принимаем состоящим из двух слоев (рис. 5.1). Залегающий с поверхности насыпной грунт из расчетной толщи исключается. Таким образом, верхняя граница расчетной толщи (ВГРТ) проходит в уровне кровли суглинка.

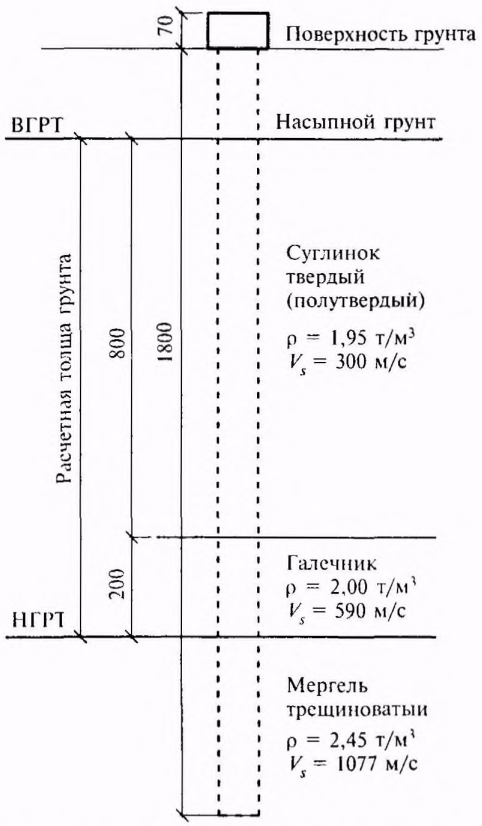


Рис. 5.1. Схема грунтового основания опоры № 1

Сейсмические свойства глинистого слоя характеризуются плотностью ρ_1 = 1,95 т/м³, скоростью сейсмических волн V_{s1} = 300 м/с, сейсмической жесткостью $\rho_1 V_{s1}$ = 1,95 · 300 = = 585 т/м²·с. Для нижнего слоя (галечника) принимаем ρ_2 = 2,0 т/м³, скорость сейсмических волн V_{s2} = 590 м/с, сейсмическую жесткость $\rho_2 V_{s2}$ = 2,0 · 590 = 1180 т/м²·с.

Средневзвешенную сейсмическую жесткость расчетной толщи мощностью 10 м определяем по формуле (3.2)

$$\rho V_s = \frac{\sum(\rho_i V_{si})h_i}{\sum h_i} = \frac{585 \cdot 8 + 1180 \cdot 2}{10} = 704 \text{ т/м}^2\text{·с},$$

что соответствует толщам категории II по сейсмическим свойствам.

Согласно формуле (3.1) коэффициент на сейсмическую жесткость основания будет

$$K_{гр} = 2^{1,67 \lg\left(\frac{655}{\rho V_s}\right)} = 2^{1,67 \lg\left(\frac{655}{704}\right)} = 0,96.$$

Опора № 7 расположена в средней части речной долины. Фундамент опоры запроектирован в виде ростверка из вертикальных буронабивных свай диаметром 0,72 м, объединенных железобетонной плитой. Длина свай ниже подошвы фундаментной плиты равна 30 м. Нижние концы свай заделаны в коренную породу, верхние концы заведены в плиту ростверка.

Сваи устраиваются без извлечения обсадных труб, имеющих диаметр 0,72 м при толщине стенки 10 мм. Потребность обсадных труб на опору 1404 м или 244 т. Таким образом, расход стали на сооружение свайного фундамента одной опоры составляет 284 т, из которых на арматурные каркасы свай приходится только 15 %.

Оголовок свайного ростверка состоит из фундаментной плиты толщиной 3,25 м с размерами в плане 10×15,5 м и цоколя. Последний имеет форму усеченной пирамиды со сторонами основания 10×15,5 м и размерами по обрезу 5,1×10,6 м. Высота цоколя 4,0 м, его боковые грани наклонены к вертикали под углом 31,5°.

Над цоколем опора имеет форму пустотелого многогранника с толщиной стенок 30 см. Объем бетонной кладки этой части опоры — 643 м³, класс бетона В 25. Стенки коробки армируют со стороны наружных и внутренних граней вертикальной арматурой периодического профиля и горизонтальной гладкой арматурой. Высота опоры от цоколя до низа ригеля 62,5 м.

Сдвигу пролетного строения относительно опоры в поперечном к оси моста направлении препятствует антисейсмическое устройство,

спроектированное Севкавгипродорнии. Устройство выполнено в виде сварной раскосной фермы, прикрепленной к домкратной балке между домкратными тумбами.

Литологический разрез по оси опоры № 7 включает слой галечника мощностью 8,5 м, слой тугопластичного суглинка мощностью 4 м и слой гравийно-галечниковых отложений мощностью 16 м. Условные сопротивления сжатию суглинка и гравийно-галечниковых отложений составляют соответственно 0,15 МПа (1,5 кгс/см^2) и 0,5—1 МПа (5—10 кгс/см^2), плотность — 1,97 и 2,30 т/м^3.

Поскольку фундаменты высоких опор сооружались в котлованах, огражденных стальным шпунтом, можно считать, что свойства грунта в уровне фундаментных плит не были нарушены в строительный период. Поэтому для этих опор верхняя граница расчетной толщи грунта расположена в уровне верха фундаментных плит. Нижняя граница расчетной толщи совпадает с кровлей скального грунта (рис. 5.2).

Под опорой № 7 расчетная толща грунта состоит из трех слоев. Для верхнего слоя мощностью $h_1 = 8$ м плотность $\rho_1 = 2{,}30$ т/м^3, скорость поперечных волн $V_{s1} = 300$ м/с, сейсмическая жесткость $\rho_1 V_{s1} = 2{,}30 \cdot 300 = 690$ т/м^2·с. Для среднего слоя мощностью $h_2 = 4$ м эти характеристики будут: $\rho_2 = 1{,}97$ т/м^3, $V_{s2} = 300$ м/с, $\rho_2 V_{s2} = 1{,}97 \cdot 300 = 591$ т/м^2·с. Для нижнего слоя мощностью 16 м плотность грунта, скорость поперечных волн и сейсмическая жесткость увеличиваются до $\rho_3 = 2{,}30$ т/м^3 , $V_{s3} = 590$ м/с и $\rho_3 V_{s3} = 2{,}30 \cdot 590 = 1357$ т/м^2·с.

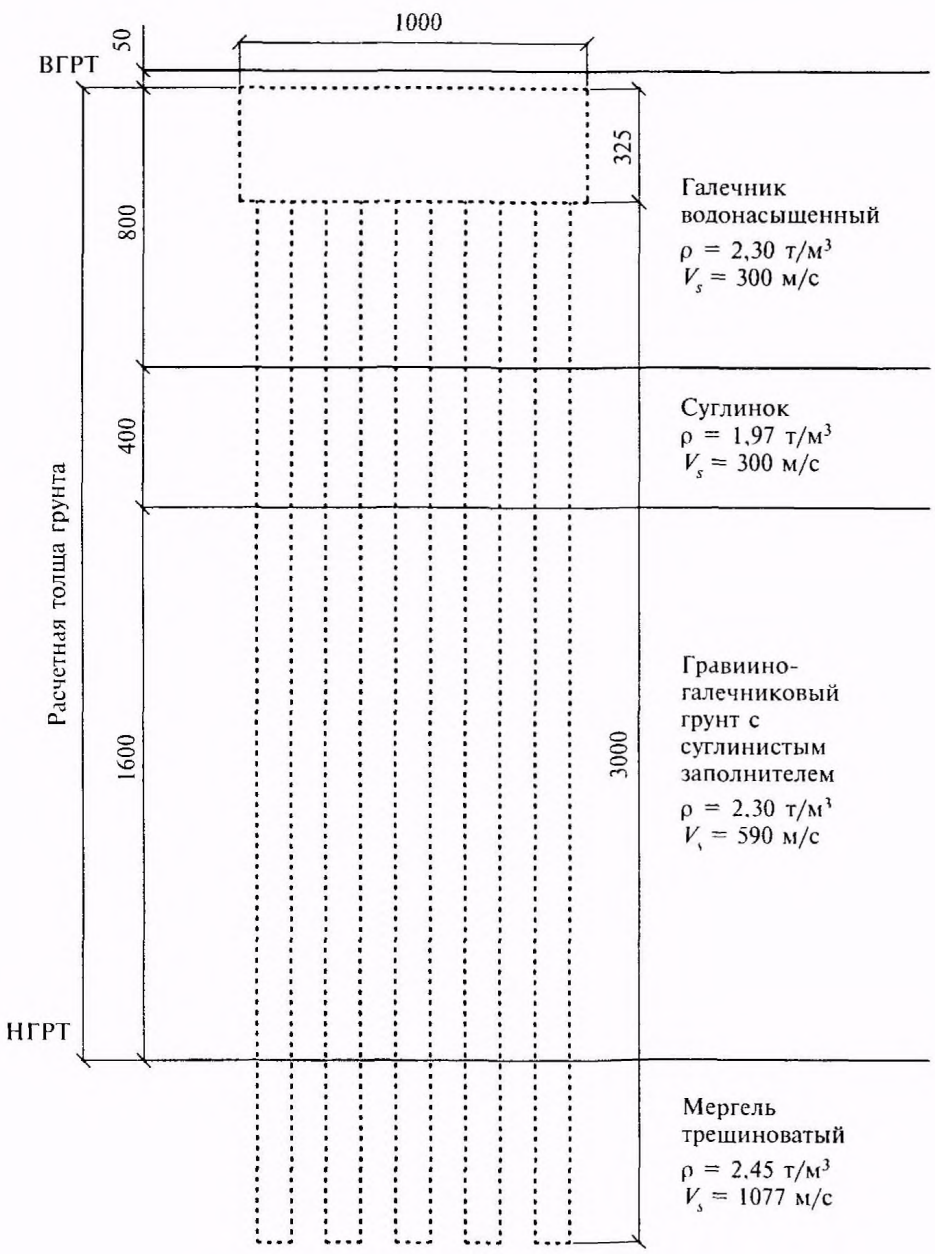


Рис. 5.2. Схема грунтового основания опоры № 7

Средневзвешенную сейсмическую жесткость трехслоинои толщи находим по формуле (3 2)

$$\rho V_s = \frac{\sum(\rho_i V_{si})h_i}{\sum h_i} =$$

$$= \frac{690\ \ 8 + 591\ \ 4 + 1357\ \ 16}{8 + 4 + 16} = 1057\ \text{т/м}^2\ \ \text{с}$$

Поскольку $655 < \rho V_s < 2570$ т/м^2 с , основание опоры № 7 относится к толщам категории II по сеисмическим свойствам Коэффициент на сейсмическую жесткость основания определяем по формуле (3 1)

$$K_{\text{гр}} = 2^{1\,67\,\lg\left(\frac{655}{\rho V_s}\right)} = 2^{1\,67\,\lg\left(\frac{655}{1057}\right)} = 0,79$$

Фундамент опоры № 9 запроектирован в виде высокого свайного ростверка Оголовок фундамента состоит из двух ступеней Нижняя ступень выполнена в форме прямоугольной плиты с размерами в плане 8,6×12,2 м Верхняя ступень имеет наклонные боковые грани, т е имеет форму усеченнои пирамиды

Оголовок фундамента опирается на четыре ряда буронабивных свай диаметром 0,72 м по семь свай в каждом ряду Длина свай ниже подошвы плиты 14,0 м, длина обсадных труб — 12,5 м

С поверхности площадка строительства опоры № 9 сложена щебнем, дресвой и глыбами мергеля Содержание заполнителя (полутвердой глины) составляет 30—50 % По оси опоры мощность крупнообломочных отложений — примерно 6,0 м ВГРТ принимаем в уровне низа фундаментнои плиты, так как самый верхний слой щебня удаляется при планировке строительной площадки

Щебенистый грунт залегает на крутопадающей к дну долины кровле трещиноватого мергеля выветрелого до глубины 7,0 м от его поверхности Зона разбитого на блоки массива имеет мощность от 3 до 7 м Ниже этои зоны мергель залегает в виде сплошнои массива (рис 5 3)

В данном случае особенность инженерно-геологических условий заключается в малой мощности (менее 10 м) слоя щебенистых отложений Поэтому в состав расчетной толщи нужно включить часть массива трещиноватого мергеля с тем, чтобы общая мощность толщи была не менее 10 м Исходя из физических соображений в расчетную толщу включаем слой выветривания мощностью 5 м

Таким образом, расчетная толща состоит из двух слоев Для верхнего слоя (щебенистого грунта) принимаем $\rho_1 = 2,0$ т/м^3, $V_{s1} = 260$ м/с, $\rho_1 V_{s1} = 2,0\ \ 260 = 520$ т/м^2 с Для нижнего слоя (трещиноватый мергель) эти характеристики будут $\rho_2 = 2,45$ т/м^3, $V_{s2} = 1120$ м/с, $\rho_2 V_{s2} = 2,45\ \ 1120 = 2744$ т/м^2 с

Средневзвешенная сейсмическая жесткость основания опоры

$$\rho V_s = \frac{\sum(\rho_i V_{si})h_i}{\sum h_i} = \frac{520\ \ 6 + 2744\ \ 5}{6 + 5} = 1531\ \text{т/м}^2\ \text{с}$$

Коэффициент на грунтовые условия

$$K_{\text{гр}} = 2^{1\,67\,\lg\left(\frac{655}{\rho V_s}\right)} = 2^{1\,67\,\lg\left(\frac{655}{1531}\right)} = 0,65$$

По данным расчета, грунтовые условия оказывают существенное влияние на параметры колебаний грунта по длине мостового перехода На площадках, сложенных с поверхности суглинком значительной мощности, интенсивность колебаний близка к регламентируемой строительными нормами для средних грунтовых условий В местах выхода на поверхность скальных грунтов (мергелей) амплитудные характеристики колебаний уменьшаются на 35 %

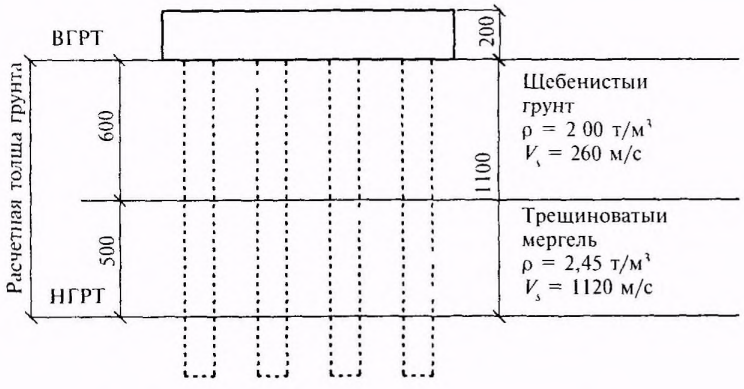


Рис 5 3 Схема грунтового основания опоры № 9

5.2. Сейсмическое микрорайонирование автодорожной развязки у г. Горячий Ключ

Эстакада на пересечении автомобильной дороги Краснодар—Джубга (участок автомагистрали «Дон») с подъездами к г. Горячий Ключ и железнодорожному вокзалу имеет общую длину около 300 м при ширине проезжей части, тротуаров и других элементов мостового полотна 24,2 м. По своим размерам и категории дороги эстакада относится к сооружениям повышенной ответственности, для которых сейсмичность пункта строительства принимается 8 баллов.

Для уточнения исходной сейсмичности участка строительства эстакады у г. Горячий Ключ сейсмотектоническая и сейсмологическая информация подготовлена ИФЗ РАН (Е.А. Рогожин, В.И. Уломов). Согласно расчетам В.И. Уломова в пункте Горячий Ключ землетрясения силой 7, 8 и 9 баллов происходят в среднем один раз в 160, 500 и 2000 лет.

Соотношение между десятичным логарифмом промежутка времени между главными сейсмическими толчками $\lg T$ и силой толчка в баллах I можно записать в виде корреляционного уравнения $I = 1{,}87\lg T + 2{,}87$, график которого показан на рис. 5.4. Подставляя в уравнение сейсмического режима значение интервала времени $T = 1000$ лет, находим уточненную сейсмичность района для г. Горячий Ключ: $I = 1{,}87\times$ $\times 3 + 2{,}87 = 8{,}5$ балла. Уточненная сейсмичность относится к участкам категории II по сейсмическим свойствам, предназначенным для проектирования сооружений повышенной ответственности.

Далее определяем поправку на сейсмический режим в виде множителя $K_{c\,p}$ к параметрам колебаний грунта при толчке силой 8 баллов, принятой в качестве нормативной сейсмичности г. Горячий Ключ по карте ОСР-97-В. Ускорение колебаний грунта, соответствующее силе толчка $I = 8$ баллов, равно $0{,}2g$, где g — ускорение силы тяжести.

Коэффициент $K_{c\,p}$ равен отношению ускорений колебаний грунта при толчке расчетной силы 8,5 балла и при толчке нормативной силы 8 баллов. Как известно, ускорения горизонтальных колебаний грунта при толчках разной силы образуют возрастающую геометрическую прогрессию со знаменателем 2. Таким образом, искомый коэффициент вычисляется по формуле $K_{c\,p} = 2^{\delta I}$, где $\delta I = 0{,}5$ — изменение балльности за счет уточненных данных о сейсмическом режиме пункта строительства.

По формуле $K_{c\,p} = 2^{0{,}5}$ находим величину коэффициента к ускорению $0{,}2g$. Этот коэффициент с округлением до первой значащей цифры после десятичной запятой равен 1,4. Следовательно, в данном случае поправка на сейсмический режим требует увеличения расчетного ускорения колебаний грунта на 40 % по сравнению с его нормативным значением. В такой же пропорции увеличиваются другие параметры колебаний грунта (скорость и перемещение).

Территория вокруг г. Горячий Ключ слабо изучена по сравнению с другими сейсмоактивными районами Северного Кавказа. В связи с этим при выполнении работ по СМР для эстакады были предприняты дополнительные сейсмотектонические исследования в данном районе, в том числе привлечены данные полевых работ по выявлению активных тектонических разломов по трассе магистрального газопрово-

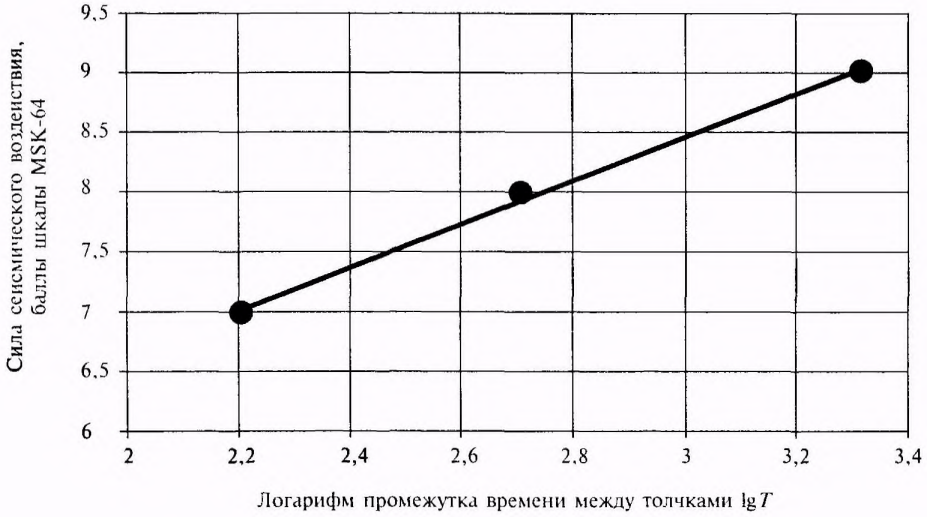


Рис. 5.4. График сейсмического режима в г. Горячий Ключ

да «Голубой поток» и определению их сейсмологических характеристик

По данным Е А Рогожина, из пяти рассмотренных зон ВОЗ наиболее опасна для объекта Майкопская сейсмотектоническая зона, расположенная на расстоянии 23 км от эстакады Максимальная магнитуда землетрясений в этой зоне 6,8, средняя глубина очагов h = 12 км

Наибольшая сила сотрясений среднего по сейсмическим свойствам грунта вблизи эстакады определяется уравнением макросейсмического поля

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

где I — сила землетрясения по шкале MSK-64 на расстоянии Δ, км, от эпицентра, баллы,

M — магнитуда землетрясения,

h — глубина очага, км,

b, s, c — региональные коэффициенты, принимаемые для данного района b = = 1,5, s = 3,6, c = 3,1

Подставляя в приведенное выше уравнение значения M, h, Δ, b, s, c, находим I = 1,5 6,8 – $-3,6 \lg \sqrt{23^2 + 12^2} + 3,1 = 8,2$ балла

Найдем коэффициент на сейсмотектоническую обстановку $K_{с\,т}$, равный отношению ускорений колебаний грунта при максимальной силе землетрясения I = 8,2 балла к ускорению колебаний грунта при нормативной силе землетрясения I = 8,0 баллов

$$K_{с\,р} = 2^{\delta I} = 2^{0\,2} = 1,15$$

Таким образом, наибольшее ускорение колебаний среднего по сейсмическим свойствам грунта на 15 % больше нормативного значения ускорения 0,2g, где g — ускорение силы тяжести В такои же пропорции увеличиваются другие параметры колебаний грунта (скорость и перемещение)

По физическому смыслу определяемых величин вероятностная оценка силы землетрясения повторяемостью раз в 1000 лет (8,5 балла) не может быть больше силы максимального землетрясения (8,2 балла) Поэтому для проверки конструкций эстакады на сеисмостоикость рекомендован коэффициент $K_{с\,т}$ = 1,15

Далее рассмотрим приближенный способ оценки влияния грунтовых условий на сейсмичность площадок строительства опор эстакады

Промежуточные опоры сооружены на свайных фундаментах из забивных железобетонных сваи сечением 35×35 см, длинои 8 м Сваи расположены в три ряда под каждой опорои с шагом 105 см в рядах

Инженерно-геологические условия в разрезе вдоль оси эстакады более или менее однородны На площадке опоры № 5 от ее поверхности до уровня подошвы фундаментной плиты располагается слой насыпного грунта, подстилаемый твердым суглинком с коэффициентом пористости e = 0,81 На глубине 3,5 м этот слой сменяется слоем пылеватого суглинка полутвердой консистенции (коэффициент пористости e = 0,69, показатель текучести J_L = 0,13) Ниже уровня грунтовои воды суглинок имеет мягкопластичную консистенцию (показатель текучести J_L = 0,67, коэффициент пористости e = 0,76) Ниже отметки 6,3 м суглинок сменяется аллювиальными отложениями (водонасыщенным галечником с супесчаным заполнителем) Плотность галечникового грунта 2,22 т/м^3, модуль деформации при сжатии E = 33 МПа (330 кгс/см^2) Отметка подошвы галечника 13,2 м Галечник подстилается твердой опесчаненной глиной с модулем E = 48 МПа (480 кгс/см^2)

Нижние концы свай заглублены примерно на 3 м в слой галечника По модулю деформации E = 33 МПа (330 кгс/см^2) этот слой следует рассматривать как сжимаемый, а сваи — как висячие

При СМР верхняя граница расчетной толщи грунта устанавливается с учетом планировки строительной площадки Из состава расчетной толщи исключаются залегающие с поверхности неуплотненные насыпные грунты, слои ила, торфа, склонные к разжижению водонасыщенные песчаные и очень слабые глинистые грунты Нижняя граница расчетной толщи принимается в уровне подошвы слоя, в котором заложены нижние концы свай

В данном случае из расчетной толщи следует исключить слой насыпного грунта толщиной 2,2 м, а нижнюю границу расчетнои толщи принять на отметке 13,2 м в уровне подошвы слоя галечника (кровли твердой глины, близкой по свойствам к малосжимаемым грунтам) Общая мощность расчетной толщи равна 11,0 м

Условное сопротивление R_0 грунтов в пределах расчетной толщи находим в зависимости от коэффициента пористости e и показателя текучести J_L для глинистых грунтов, от гранулометрического состава и данных о происхождении обломков породы для крупнообломочных грунтов

Для твердого суглинка (e = 0,81, J_L = 0) имеем R_0 = 0,33 МПа (3,3 кгс/см^2), для пылеватого суглинка (e = 0,69, J_L = 0,13) R_0 = 0,28 МПа (2,8 кгс/см^2), для мягкопластичного суглинка (e = 0,76, J_L = 0,67) R_0 = 0,1 МПа (1 кгс/см^2)

По данным изысканий, в составе галечника имеется 73,8 % крупнообломочного материа-

ла, 14,7 % песчаных зерен, 8,9 % пылеватых частиц и 2,5 % глинистых частиц. Сведения о происхождении гравийного материала (обломки кристаллических или осадочных пород) отсутствуют. Далее принимаем, что гравий состоит из обломков осадочных пород. При этом его условное сопротивление сжатию будет 0,5 МПа (5,0 кгс/см^2).

Коэффициент $K_{гр}$ на грунтовые условия неоднородной толщи найдем с учетом того, что для составляющих слоев значения коэффициента $K_{гр}$ равны: 1,0 — для твердого и полутвердого суглинка; 2,0 — для мягкопластичного суглинка; 1,0 — для водонасыщенного галечника.

По формуле (3.3) вычисляем искомый коэффициент

$$K_{гр} = \frac{\sum K_{гр,i} h_i}{\sum h_i} =$$

$$= \frac{1,0 \cdot 1,3 + 1,0 \cdot 2,3 + 2,0 \cdot 0,5 + 1,0 \cdot 6,9}{11} = 1,04,$$

т.е. расчетная толща приближается по сейсмическим свойствам к толщам категории II. Колебания неоднородной толщи близки к колебаниям грунтов со средними сейсмическими свойствами.

ПОЯСНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

Активный разлом — разрывное нарушение в земной коре, по которому происходили относительные перемещения горных пород и возникали очаги землетрясений за голоценовое время (последние 10 тысяч лет).

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 в несейсмостойком исполнении.

Величина (амплитуда) разрыва — относительное смещение в плоскости разрыва двух смежных точек, находящихся на противоположных крыльях разлома.

Гипоцентр землетрясения — отправная точка разрыва горных пород, завершающегося образованием (обновлением) тектонического разлома.

Зона дробления — дезинтегрированный массив твердых горных пород, слагающих стенки разлома.

Карты ОСР-97 — комплект из трех карт, показывающих распределение сейсмической опасности на территории России с различной вероятностью непревышения картируемой балльности.

Коэффициент сейсмотектонической обстановки ($K_{с.т}$) — поправочный множитель к нормальным амплитудным характеристикам колебаний грунта, учитывающий новые данные о сейсмогенерирующих структурах, существенно дополняющие представления о зонах очагов землетрясений, использованные при разработке карт ОСР-97.

Коэффициент сейсмического режима ($K_{с.р}$) — поправочный множитель к нормальным амплитудным характеристикам колебаний грунта, учитывающий отклонение математического ожидания интервала времени между сейсмическими толчками заданной силы от значений среднего периода, указанных на выбранной для проектирования карте ОСР-97.

Коэффициент грунтовых условий ($K_{гр}$) — коэффициент, учитывающий влияние сейсмических свойств расчетной толщи грунта на интенсивность сейсмического воздействия.

Коэффициент рельефа местности ($K_{р.м}$) — поправочный множитель, учитывающий влияние геоморфологических условий на интенсивность сейсмического воздействия.

Крылья разлома — блоки горных пород, разделенные разломом.

Линия (след) разлома — линия пересечения земной поверхности плоскостью разрыва.

Магнитуда — используемая в сейсмологии мера землетрясения, опосредованно характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в форме сейсмических волн.

Надвиг — разрыв со смещением висячего крыла разлома вверх по плоскости разрыва.

Нормальные амплитуды колебаний грунта — амплитуды перемещений, скоростей и ускорений горизонтальных колебаний средних по сейсмическим свойствам грунтов на ровных участках местности, соответствующие силе землетрясения на нормативной карте общего сейсмического районирования.

Общее сейсмическое районирование — процедура составления карт сейсмической опасности в баллах шкалы MSK-64 для ровных участков местности, сложенных средними по сейсмическим свойствам грунтами.

Очаг землетрясения — область разрыва земной коры, сопровождаемого быстрой подвижкой контактирующих твердых горных пород.

Плейстосейстовая зона — место наиболее сильных сотрясений грунта при землетрясении.

Разлом — трещина в земной коре, образовавшаяся в процессе тектонических деформаций твердых горных пород.

Сброс — разрыв со смещением висячего крыла разлома вниз по плоскости разрыва.

Сбросо-сдвиг — разрыв, включающий сбросовую и сдвиговую составляющие относительного смещения крыльев разлома.

Сдвиг — разрыв с относительным смещением крыльев разлома в направлении его простирания.

Сейсмические волны — процесс распространения возмущений напряженно-деформированного состояния земной коры из очага землетрясения на сопредельные участки недр и поверхности Земли.

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) — комплекс геофизических, инженерно-геологических и инженерно-сейсмологических работ, имеющих целью выделение на территории объекта микрозон, существенно различающихся по параметрам колебаний грунта при землетрясениях.

Средние по сейсмическим свойствам грунты — покровные отложения, сейсмическая жесткость ρV которых по скорости поперечных волн составляет 655 т/м^2·с.

Тектоническое землетрясение — колебания грунта, вызванные упругой отдачей горных пород при их разрыве в процессе тектонических деформаций земной коры.

Угол падения разлома — острый угол между горизонтальной плоскостью и плоскостью разрыва. Измеряется в вертикальной плоскости, перпендикулярной линии простирания разлома, вниз от горизонтальной плоскости.

Уравнение макросейсмического поля — математическое соотношение, позволяющее определить силу землетрясения в заданном пункте равнинной местности для средних по сейсмическим свойствам грунтов по магнитуде землетрясения, глубине очага, эпицентральному расстоянию и региональным коэффициентам.

Уравнение сейсмического режима — математическое соотношение между силой землетрясения и средним промежутком времени, измеряемым в годах, между землетрясениями этой силы в месте строительства.

Уточнение исходной сейсмичности (УИС) — процедура корректировки сейсмической опасности, установленной картами общего сейсмического районирования, и нормальных параметров колебаний грунта на основании новых данных о сейсмотектонической обстановке в районе строительства и расчета сейсмического режима (сотрясаемости) в данном пункте.

Шкала MSK-64 — сейсмическая шкала, служащая для оценки опасности землетрясений. Шкала разработана С.В. Медведевым (Москва), В. Шпонхойером (Иена), В. Карником (Прага).

Эпицентр — проекция гипоцентра на земную поверхность.

Эпицентральное расстояние — расстояние между некоторой точкой на земной поверхности и эпицентром землетрясения.

Приложение 2

УСЛОВНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Таблица 1

Глинистые грунты	Коэффициент пористости e	Условное сопротивление сжатию R_0 глинистых грунтов, МПа (кгс/см²), при J_L, равном					
		0	0,1	0,2	0 3	0 4	0,5
Супеси при $I_p \le 5$	0,5 0,7	0,35(3,5) 0,30(3,0)	0,30(3,0) 0,25(2,5)	0,25(2,5) 0,20(2,0)	0,20(2,0) 0,15(1,5)	0,15(1,5) 0,10(1,0)	0,10(1,0) —
Суглинки при $10 \le I_p \le 15$	0,5 0,7 1,0	0,40(4,0) 0,35(3,5) 0,30(3,0)	0,35(3,5) 0,30(3,0) 0,25(2,5)	0,30(3,0) 0,25(2,5) 0,20(2,0)	0,25(2,5) 0,20(2,0) 0,15(1,5)	0,20(2,0) 0,15(1,5) 0,10(1,0)	0,15(1,5) 0,10(1,0) —
Глины при $I_p \ge 20$	0,5 0,6 0,8 1,1	0,60(6,0) 0,50(5,0) 0,40(4,0) 0,30(3,0)	0,45(4,5) 0,35(3,5) 0,30(3,0) 0,25(2,5)	0,35(3,5) 0,30(3,0) 0,25(2,5) 0,20(2,0)	0,30(3,0) 0,25(2,5) 0,20(2,0) 0,15(1,5)	0,25(2,5) 0,20(2,0) 0,15(1,5) 0,10(1,0)	0,20(2,0) 0,15(1,5) 0,10(1,0) —

Примечания 1 Для промежуточных значений J_L и e условное сопротивление R_0 определяют по интерполяции

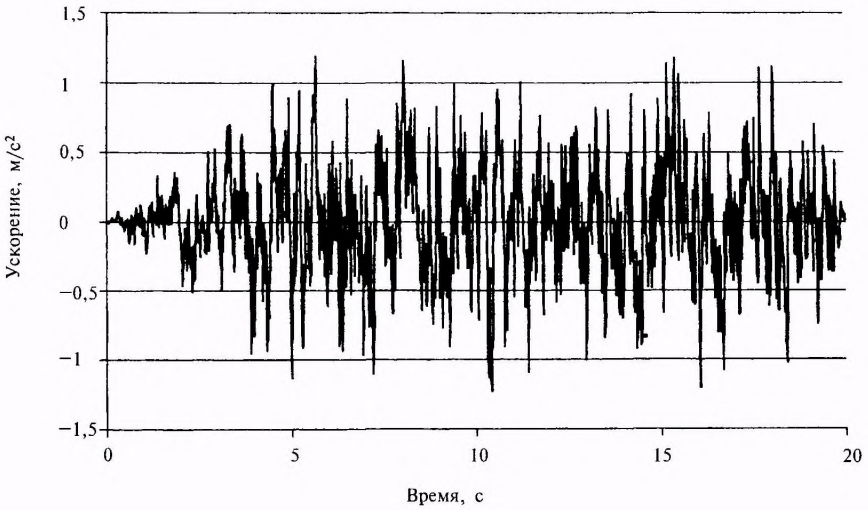
2 При значении числа пластичности I_p в интервале 5—10 и 15—20 следует принимать средние значения R_0, приведенные в табл 1 соответственно для супесеи и суглинков, суглинков и глин

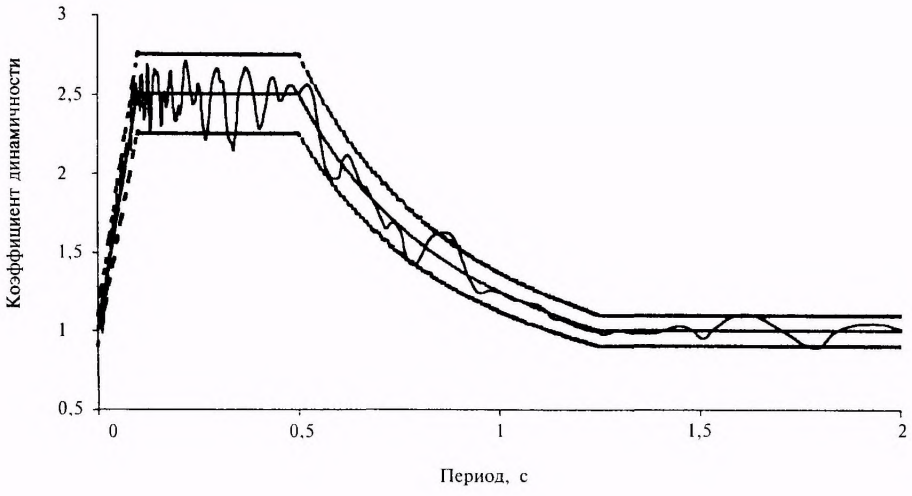
Таблица 2

Песчаные грунты	Условное сопротивление R_0 песчаных грунтов, МПа (кгс/см²)	
	средней плотности	плотных
Гравелистые и крупные независимо от их влажности	0,35(3,5)	0,56(5,6)
Средней крупности маловлажные То же, влажные и насыщенные водой	0,30(3,0) 0,25(2,5)	0,48(4,8) 0,37(4,0)
Мелкие маловлажные То же, влажные и насыщенные водой	0,20(2,0) 0,15(1,5)	0,32(3,2) 0,24(2,4)
Пылеватые маловлажные То же, влажные То же, насыщенные водои	0,20(2,0) 0,15(1,5) 0,10(1,0)	0,32(3,2) 0,24(2,4) 0,16(1,6)

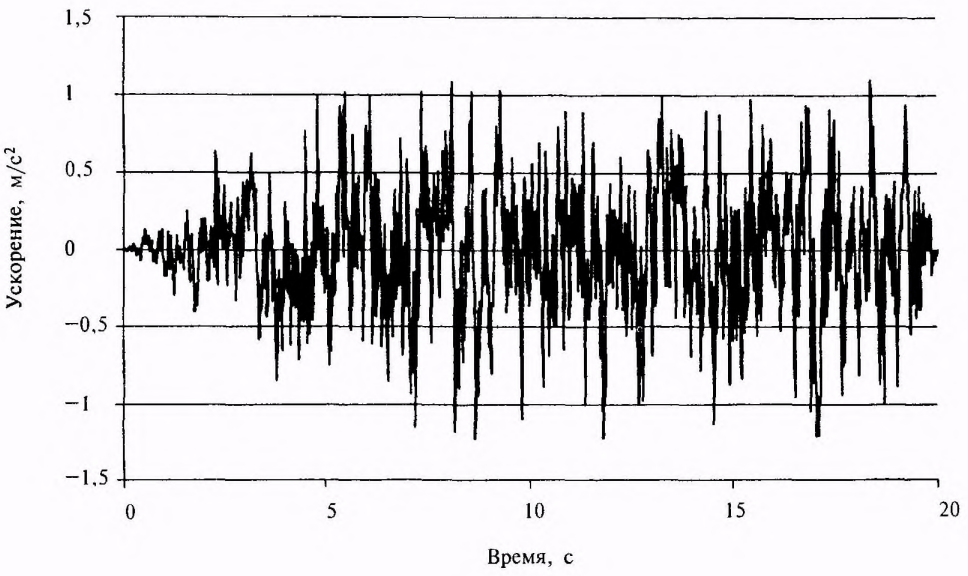
СИНТЕЗИРОВАННЫЕ АКСЕЛЕРОГРАММЫ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА КАТЕГОРИИ II И СПЕКТРЫ ИХ ДЕЙСТВИЯ

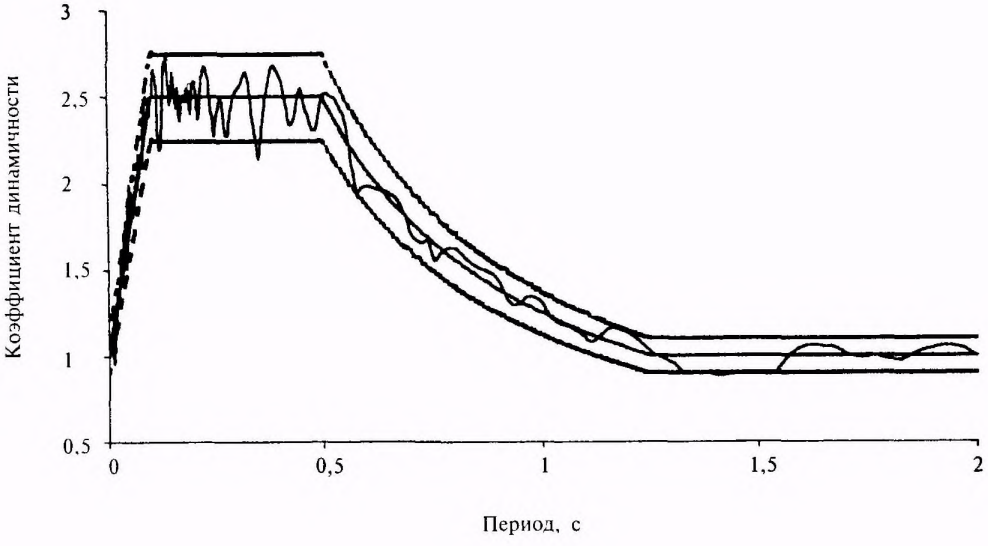
а) горизонтальные колебания





а) вертикальные колебания





КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВА



Фото 1. Труба большого диаметра под насыпью автомобильной дороги



Фото 2. Железнодорожный тоннель из ГМК



Фото 3. Тоннель для пропуска автомобилей и пешеходов под дорожной насыпью



Фото 4. Лавинозащитная галерея со сводом из ГМК



Фото 5. Строительство лавинозащитной галереи вблизи Рокского перевала (фото А.А. Махорина)



Фото 6. Виадук через долину р. Чемитоквадже



Фото 7. Виадук через долину р. Мацеста



Фото 8. Виадук на ПК36 обхода г. Сочи

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Детальное изучение сейсмичности проводится применительно к участкам строительства крупных сооружений. Такие работы получили название уточнение исходной сейсмичности (УИС). По своим методам работы по УИС близки к работам по ДСР (детальное сейсмическое районирование). Однако объем работ по УИС и соответственно сроки их выполнения значительно меньше, чем работ по ДСР региона. Заказчиком таких работ обычно выступает будущий владелец объекта в лице государственной организации, акционерного общества и т.п. или проектная организация.

Работы по УИС осуществляются с привлечением разработчиков карт общего сейсмического районирования. Материалы, полученные в результате выполнения этих работ, должны содержать информацию о максимально возможной силе землетрясений в пункте строительства, а также о средних интервалах времени между землетрясениями разной силы (сейсмическом режиме) на прилегающей к объекту территории. Выполнение работ по УИС позволяет использовать при проектировании сооружения новые данные по сейсмотектонике и сейсмичности района строительства, не отраженные на картах ОСР-97 или неизвестные при их составлении.

В инженерном плане сущность методики УИС, применяемой в транспортном строительстве, заключается в преобразовании информации об ожидаемом сейсмическом воздействии в баллах шкалы MSK-64 к естественной форме (к параметрам колебаний грунта в единицах одной из систем измерения физических величин) с введением к последним корректирующих множителей, детально учитывающих сейсмотектоническую обстановку в районе строительства и сейсмический режим на прилегающей к стройплощадке территории [18]. Рассмотрим основные положения методики по определению поправки на сейсмический режим.

В России районы сейсмичностью 7 баллов и более принадлежат как к внутренним, так и к окраинным частям Евро-Азиатского материка. Районы имеют сложно очерченные границы. В целом они вытянуты вдоль планетарных и региональных литосферных структур, выраженных на земной поверхности в виде рифтовых долин (Байкальский рифт), островных дуг (Курилы) и горных хребтов. Например, на Северном Кавказе 9-балльные районы протянулись вдоль главного Кавказского хребта на 1000 км от Керченского пролива на западе до Махачкалы на востоке. В районе Анапы их ширина составляет около 40 км, увеличиваясь до 160 км на территории Дагестана.

При значительных размерах и принципиальном различии тектонической обстановки в сейсмически опасных районах (например, на Кавказе, в Прибайкалье и на Камчатке) естественно ожидать, что поток сейсмических событий в разных пунктах будет иметь различные статистические характеристики. Это положение подтверждается сейсмологическими расчетами, выполненными специалистами, принимавшими участие в работах по научному сопровождению изысканий, проектирования и строительства крупных транспортных объектов на Северном Кавказе, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (табл.).

Таблица

Средний интервал времени между землетрясениями в некоторых пунктах Северного Кавказа, Восточной Сибири и Дальнего Востока

Название региона	Название пункта	Сила землетрясения по карте ОСР-97-В, баллы	Средний интервал времени между толчками T, лет
Северный Кавказ	Горячий Ключ	8	500
	Мацеста	9	3500
	Головинка	9	3500
	Рокский перевал	9	1000
	Владикавказ	9	2000
Восточная Сибирь	Улан-Удэ	8	650
	Новоселенгинск	8	880
	Кяхта	8	930
	Иркутск	9	2940

Продолжение таблицы

Название региона	Название пункта	Сила землетрясения по карте ОСР-97-В, баллы	Средний интервал времени между толчками T, лет
Восточная Сибирь	Чара	9	725
	Чина	9	685
	50 км к югу от Чины	9	2500
Дальний Восток	Пролив Невельского	9	2500

Данные таблицы показывают, что расчетные значения среднего интервала времени между землетрясениями, как правило, отличаются от нормативной величины 1000 лет, регламентированной для проектирования сооружений повышенной ответственности. Причем в одних пунктах (Чара, Чина, Горячий Ключ и др.) расчетная частота сейсмических событий оказывается больше, а в других пунктах (Мацеста, Иркутск, Владикавказ и др.) — существенно меньше нормативной. Таким образом, вариации сейсмического режима по площади сейсмических районов не позволяют обеспечить одинаковую сейсмостойкость объектов одного класса ответственности без специальных исследований этого фактора и учета его при проектировании сооружений.

Для приведения параметров расчетного сейсмического воздействия к предписанной нормами частоте расчетных событий при проектировании транспортных сооружений применяется разработанная авторами процедура.

На первом этапе работы с привлечением сейсмологов расчетным путем определяют средние промежутки времени T_i между сейсмическими сотрясениями разной силы I_i применительно к относительно ровным участкам местности, сложенным грунтами со средними сейсмическими свойствами. Затем по найденным парам чисел (I_i, T_i), с использованием известных приемов обработки экспериментальных данных, находят коэффициенты корреляционного уравнения логарифмического типа $I = a + b\lg T$. Полученная таким образом зависимость позволяет найти уточненную силу землетрясения I, соответствующую заданному промежутку времени $T = 1000$ лет между толчками расчетной силы или вероятности 95 % непревышения расчетного сейсмического воздействия за 50 лет эксплуатации сооружения. В общем случае уточненная сила землетрясения отличается от сейсмичности района по карте ОСР-97-В на положительную или отрицательную величину ΔI.

Рассмотрим уточнение сейсмичности на примере створа предполагаемого транспортного перехода через пролив Невельского. Согласно расчетам промежутки времени между землетрясениями силой 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64 составляют $T_7 = 70$ лет, $T_8 = 350$ лет и $T_9 = 2500$ лет.

Соотношение между десятичным логарифмом промежутка времени T и силой толчка в баллах I можно приближенно представить в виде показанной на графике корреляционной зависимости $I = 1{,}36\lg T + 4{,}50$. Подставляя в найденное уравнение сейсмического режима значение интервала времени 1000 лет, находим уточненную сейсмичность створа транспортного перехода $I = 8{,}6$ балла. Уточненная сейсмичность относится к участкам, сложенным средними по сейсмическим свойствам грунтами.

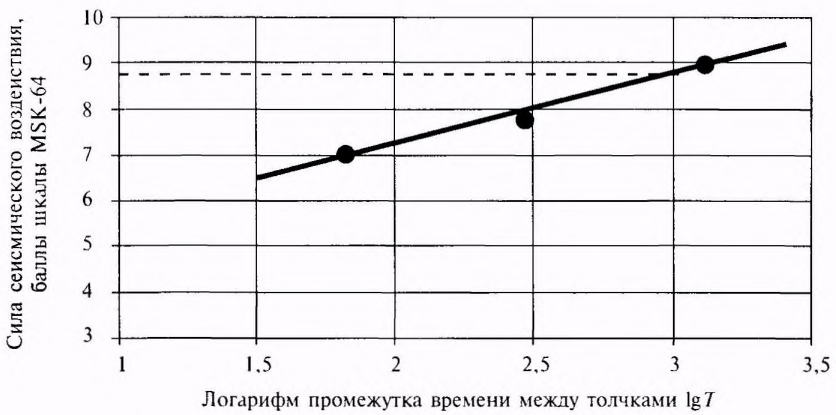


График сейсмического режима

Далее определяем поправку на сейсмический режим в виде множителя $K_{с\,р}$ к параметрам колебаний грунта при толчке силой 9 баллов При этом будем считать, что при сейсмическом воздействии силой 9 баллов ускорение колебании среднего по сеисмическим свойствам грунта вблизи створа достигает 0,4g, где g — ускорение силы тяжести

Коэффициент $K_{с\,р}$ равен отношению ускорений колебаний грунта при толчке силой 8,6 балла и при толчке силой 9 баллов, указанной на карте ОСР-97-В как сейсмичность района транспортного перехода

Как известно, нормативные величины ускорения горизонтальных колебаний грунта образуют возрастающую геометрическую прогрессию со знаменателем 2 Таким образом, искомый коэффициент вычисляется по формуле

$$K_{с\,р} = 2^{\delta I},$$

где $\delta I = -0{,}4$ балла — изменение балльности за счет использования расчетных данных о сейсмическом режиме места перехода

По формуле $K_{с\,р} = 2^{-0\,4}$ находим величину коэффициента к ускорению 0,4g, которая с округлением до первой значащей цифры равна 0,8 Следовательно, поправка на сеисмический режим позволяет в данном случае уменьшить расчетное ускорение грунта на 20 % В таком же размере уменьшаются другие параметры колебаний грунта (скорость и перемещение)

Применение изложенной процедуры УИС позволяет рассчитывать сооружения одного класса ответственности с одинаковой обеспеченностью по отношению к сейсмическому воздействию Это позволяет в одних случаях существенно уменьшить стоимость антисейсмических мероприятий, в других — повысить сейсмостойкость строящихся (реконструируемых) сооружений до требуемого уровня и избежать тяжелых социально-экономических потерь от предстоящих землетрясений

При выполнении работ по сейсмическому микрораионированию участков строительства транспортных сооружении в части учета местных инженерно-геологических условий наиболее широко применяется метод сейсмических (акустических) жесткостей, принципиальные основы которого разработаны С В Медведевым [13, 14]

Метод основан на эмпирически установленном факте влияния сейсмической жесткости грунтов на интенсивность их колебаний при землетрясениях и на степень повреждения зданий С В Медведев принимал, что за счет различия сейсмической жесткости наиболее прочных невыветрелых скальных пород и самых слабых насыпных грунтов, расположенных выше УГВ, приращение силы землетрясения составляет 3 балла по шкале MSK-64

Согласно упомянутой предпосылке приращение балльности на исследуемой площадке, сложенной грунтом естественной влажности, по отношению к наиболее прочному скальному (эталонному) грунту определяется по формуле

$$\delta I = 1{,}67[\lg(\rho_{эт} V_{эт}) - \lg(\rho_{ис} V_{ис})],$$

где δI — приращение силы сейсмического воздействия, баллы шкалы MSK-64, на исследуемой площадке по отношению к наиболее безопасному в сейсмическом отношении участку за счет различия сейсмической жесткости грунтов,

$V_{эт}$ и $V_{ис}$ — скорости продольных сейсмических волн, км/с, в граните и в исследуемом грунте,

$\rho_{эт}$ и $\rho_{ис}$ — плотности гранита и исследуемого грунта, т/м^3

В дальнейшем методика СМР по способу сейсмических жесткостей была существенно дополнена на основании данных многих теоретических и экспериментальных исследований В частности, Н Д Красников [12] предложил для оценки сейсмичности строительных площадок дополнительно использовать скорости поперечных волн

Для оценки влияния уровня воды в грунте h на интенсивность колебаний песчаных, супесчаных, суглинистых и крупнообломочных отложений С В Медведев дал формулу приращения балльности, основанную на данных о повреждениях зданий при сильных землетрясениях Согласно этой оценке при $h \geq 10$ м изменением сеисмичности площадки можно пренебречь, при $h = 4$ м сейсмичность площадки повышается на 0,5 балла, при $h = 1$ м увеличение сейсмичности приближается к 1 баллу

Исследованиями влияния воды в грунте на интенсивность сейсмических колебаний занимались многие специалисты Еще в 1896 г И К Ивановский в докладе [10] о повреждениях на бывшей Закаспийской железной дороге, причиненных Красноводским землетрясением, обращал внимание на повышенную опасность низин староречья Аму-Дарьи Им же высказывалась совершенно правильная мысль о том, что причина повреждений железнодорожного пути на низменных участках заключалась в слабости водонасыщенных грунтов

Ш Г Напетваридзе [15], используя метод многократно отраженных волн, рассмотрел горизонтальные колебания грунтовой толщи, состоящей из слоя галечника мощностью 5 м и

вышележащего слоя суглинка или песка мощностью от 5 до 20 м Расчетное сейсмическое воздеиствие принято в виде акселерограммы землетрясения в Эль-Центро В результате расчета выяснилось, что вода в грунте практически не влияет на интенсивность землетрясения (на ускорения колебаний поверхности грунта), за исключением песчаных и глинистых слоев малой мощности, когда возможно приращение интенсивности, выражаемое в долях балла Вместе с тем им было отмечено увеличение преобладающего периода сейсмических колебаний (примерно вдвое для суглинка и на 20 % для песка), а также амплитуд сейсмических перемещений частиц грунта Это явление автор объяснил увеличением массы слоя и уменьшением его сдвиговой жесткости при насыщении грунта водой В итоге Ш Г Напетваридзе пришел к выводу о необходимости исключения из норм требования о повышении сейсмичности площадок при высоком уровне воды в грунте Предлагалось также внести исправления в график нормативной кривой коэффициента динамичности

Д Д Баркан, Ю Г Трофименков и М Н Голубцова [7] выполнили экспериментальное исследование влияния уровня воды в грунте на величину амплитуды колебаний на его поверхности Волны в грунте возбуждались вибратором, совершавшим вертикальные колебания Искусственное изменение уровня воды производилось на площадке, имевшей в плане размеры 50×30 м Колебания измерялись при понижении уровня воды с 0,9 до 3,5 м через каждые 0,5—0,7 м Опыт не выявил изменения амплитуды колебаний на поверхности грунта

После землетрясения 1971 г в Калифорнии, вызвавшего значительные разрушения автодорожных мостов, американские инженеры [21] провели специальные работы с целью уточнения нормативных требований к проектированию мостов Влияние инженерно-геологических условий, характерных для строительства в Калифорнии, на интенсивность сейсмических воздействий исследовалось по программе расчета колебании многослойной грунтовой толщи В результате расчета большого числа вариантов, отличавшихся мощностью и составом грунтовои толщи (рассматривались плотные и средней плотности пески различного гранулометрического состава), было установлено, что в основном интенсивность сейсмического воздействия определяется полной мощностью покровных отложений и величиной максимального ускорения скального основания Влиянием воды в грунте на интенсивность колебаний его поверхности можно пренебречь

Принимая во внимание изложенные результаты натурных, теоретических и экспериментальных исследований, можно полагать, что повышенныи процент разрушенных и поврежденных построек при высоком уровне воды в грунте является следствием главным образом меньшей прочности и устойчивости водонасыщенных грунтов по сравнению с маловлажными грунтами Последнее имеет место и при статических нагрузках, но особенно заметно при сильных землетрясениях

Строительными нормами предусмотрен ряд конструктивных и расчетных требований, учитывающих снижение прочности грунта при землетрясениях При строительстве мостов подошвы массивных фундаментов, а также нижние концы свай, столбов и оболочек стремятся заглубить до скального массива, крупнообломочного грунта, гравелистого плотного песка или глинистого грунта твердой (полутвердой) консистенции При расчете фундаментов мелкого заложения, опирающихся на водонасыщенные пески, вводится коэффициент условий работы $m_c = 0{,}7$, понижающий расчетную несущую способность фундаментов по грунту При проектировании фундаментов из висячих свай в сейсмических районах сопротивление грунта по боковым поверхностям свай от поверхности грунта до некоторой отметки, определяемой расчетом, принимается равным нулю Несущая способность свай на оставшейся части боковой поверхности и под нижними концами определяется с учетом уменьшенного сопротивления песчаных и глинистых грунтов, зависящего от вида грунта и расчетной интенсивности землетрясения

Принимая во внимание вышеизложенное, авторы настоящих Рекомендаций считают возможным отказаться от учета воды в грунте при оценке сейсмичности строительных площадок по методу сейсмических жесткостей При расчете приращения балльности за основу принята приведенная выше формула С В Медведева с заменой скоростей продольных волн на скорости поперечных волн

Вычислять приращение балльности по этой формуле не совсем удобно, так как задача сейсмического микрорайонирования заключается в оценке влияния ряда факторов на сейсмичность данной площадки по отношению к площадкам, сложенным средним по сейсмическим своиствам грунтом, а не монолитным гранитом

Средними по сейсмическим свойствам считаются грунты второй категории по табл 1 СНиП II-7-81* [1] К этой обширной по составу категории относятся грунты, наиболее часто служащие основанием для фундаментов

гражданских и промышленных зданий, в том числе скальные выветрелые и сильновыветрелые грунты, пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности, маловлажные и влажные, глины твердой и полутвердой консистенции при коэффициенте пористости менее 0,9.

Согласно РСН-60-86 [5] плотность средних грунтов составляет 1,7—1,8 т/м^3, скорости поперечных сейсмических волн лежат в диапазоне 250—350 м/с. Фактически плотность и скорость поперечных волн для грунтов второй категории изменяются в более широких пределах. Это вносит существенную неопределенность в основную характеристику сейсмических свойств грунта второй категории — его расчетную сейсмическую жесткость. Для определения последней нужно обратиться к экспериментальным данным.

Исследования иркутских геологов [9] основных типов изверженных и метаморфических пород, выполненные в связи со строительством Байкало-Амурской магистрали, позволили определить диапазоны изменения плотности и скорости сейсмических волн в этих грунтах. Наибольшее значение плотности образцов из монолитного базальта равно 2,95 т/м^3, максимальная скорость поперечных волн $V_s = 3500$ м/с. Следовательно, наибольшая сейсмическая жесткость скальных пород по скоростям поперечных волн $(\rho V_s)_{max} = 2{,}95 \cdot 3500 = 10325$ т/м^2·с.

Наименьшие значения сейсмической жесткости присущи насыпным неуплотненным грунтам, а также рыхлым мелким пескам и илистым грунтам в устьях рек и морских проливах (заливах). Скорость поперечных сейсмических волн в таких грунтах может упасть до 110 м/с при их плотности в водонасыщенном состоянии примерно 1,5 т/м^3. Таким образом, сейсмическая жесткость самых слабых грунтов составляет $(\rho V_s)_{min} = 1{,}5 \cdot 110 = 165$ т/м^2·с. Приращение балльности для площадки, сложеннои такими грунтами, по отношению к монолитному базальту будет $\delta I = 1{,}67 \lg \dfrac{10325}{165} = 1{,}67 \cdot 1{,}796 = 3$ балла.

Найдем значения жесткости ρV_s, соответствующие границам между грунтами различных категорий по сейсмическим свойствам.

К грунтам первой категории будем относить все грунты, для которых приращение балльности по отношению к монолитному базальту не превышает одного балла. Из условия $1{,}67[\lg(\rho V_s)_{max} - \lg(\rho V_s)] = 1{,}0$ находим искомую жесткость для грунтов, лежащих на границе между грунтами первой и второй категорий. Эта жесткость равна 2570 т/м^2·с, что соответствует плотности $\rho = 2{,}4$ т/м^3 и скорости $V_s \cong 1000$—1100 м/с, которые характерны для осадочных трещиноватых горных пород типа песчаника или мергеля за пределами зоны наибольшего выветривания.

Сейсмическую жесткость ρV_s, соответствующую грунтам на границе между второй и третьей категориями, находим из условия $1{,}67[\lg(\rho V_s)_{max} - \lg(\rho V_s)] = 2{,}0$. Этому условию удовлетворяют, в частности, пески и глинистые грунты при плотности $\rho = 1{,}9$ т/м^3 и скорости поперечных волн $V_s = 350$ м/с, т.е. покровные отложения, имеющие сейсмическую жесткость $\rho V_s = 655$ т/м^2·с.

Выбор расчетной жесткости для эталонного среднего грунта по сейсмическим свойствам из допустимых значений ρV_s от 655 до 2570 т/м^2·с диктуется экономическими соображениями, а также традиционным для сейсмического районирования представлением о среднем грунте как о типичным грунте селитебных территорий. Исходя из этого принимаем сейсмическую жесткость ρV_s для среднего по сейсмическим свойствам грунта равной 655 т/м^2·с. Это условие является определяющим для эталонного (среднего по сейсмическим свойствам) грунта.

Предлагаемый порядок определения приращения балльности отличается от принятого в гражданском строительстве порядка величиной жесткости эталонного грунта, зависимостью геометрических параметров расчетной толщи от свойств грунта и конструкции фундаментов, а также неучетом поправок на воду в грунте и на резонансные явления. Последние поправки исключены из-за несоответствия получаемых при этом дополнительных приращений балльности данным инструментальных наблюдений и оценкам «эффекта площадки» в строительных нормах разных стран [27, 28].

Согласно преобразованной формуле $\delta I = 1{,}67 \lg \dfrac{655}{\rho V_s}$ приращение силы землетрясения для площадок, сложенных выветрелыми скальными грунтами, составляет минус один балл, а для самых слабых грунтов — плюс один балл шкалы MSK-64, т.е. интенсивность колебаний ровных участков земной поверхности за счет различия инженерно-геологических условий изменяется в четыре раза по величине ускорения. Сопоставим эту расчетную оценку с данными инструментальных измерений колебаний грунтов при землетрясениях.

Во время землетрясения Лома-Приета в Калифорнии (США) американские сейсмологи получили несколько десятков записей колебаний грунта [23, 26]. Вблизи эпицентра ускорения колебаний скальных обнажений равнялись приблизительно 0,65g. На удалении около 100 км от эпицентра ускорения колебаний коренных пород уменьшались до 0,07—0,10g, на

слабых и насыпных грунтах — до 0,16—0,24*g*. Таким образом, на слабых и насыпных грунтах наблюдалось увеличение интенсивности колебаний в 2—3 раза по сравнению с обнажениями коренных пород.

Землетрясение в районе японского г. Кобе имело магнитуду M = 7,2 при глубине очага 14 км. Вблизи проекции тектонического разрыва на поверхность о.Хонсю акселерометры записали ускорения колебаний грунта в диапазоне от 0,31 до 0,84*g*. На территории г. Осака, расположенного в 40 км от эпицентра, ускорения колебаний грунта уменьшились до 0,08—0,29*g* [22]. Следовательно, для площадок, равноудаленных от источника сейсмических волн, интенсивность сейсмического воздействия изменялась в среднем в 3—4 раза за счет различия свойств грунтов в местах установки сейсмометров.

Приведенные примеры показывают, что принятая в настоящих Методических рекомендациях формула для определения δI позволяет в основном правильно оценивать влияние инженерно-геологических условий на сейсмичность участков для более или менее ровной местности.

Формула позволяет также достаточно верно оценивать приращение балльности для прочных и очень прочных горных пород, обычно залегающих на глубине не менее нескольких десятков метров от земной поверхности и служащих средой для проходки горных выработок при строительстве тоннелей глубокого заложения. Для наиболее прочных магматитов и метаморфитов приращение балльности относительно эталонного (среднего по сейсмическим свойствам) грунта получается близким к минус двум баллам. Эта оценка соответствует известным данным об уменьшении интенсивности колебаний грунта по мере увеличения прочности горной породы и мощности перекрывающей толщи осадочных отложений.

В условиях глубоко расчлененного рельефа сотрясения грунта на склонах долины могут сильно отличаться от сотрясений на ее дне и ровных участках местности за ее пределами. До середины 60-х годов прошлого века этот вопрос количественно был мало исследован. В последующие годы, в основном в связи с крупным гидротехническим строительством, были выполнены необходимые теоретические и экспериментальные работы, позволившие во многих случаях количественно оценить влияние неровностей рельефа на интенсивность сейсмического воздействия.

Обширные натурные наблюдения колебаний склонов ущелий в Средней Азии проведены сейсмологической экспедицией Института физики Земли. Основной эксперимент поставлен в створе плотины Токтогульской ГЭС до начала строительства плотины. Приборы помещались в штольни, расположенные на левом борту каньона на высоте 10 и 90 м от уреза воды в р. Нарын, на правом борту — на высоте 85 м. Анализ записей колебаний бортов при землетрясениях и взрывах показал увеличение амплитуд колебаний в верхних частях бортов. Наиболее сильно (в три раза) возрастало горизонтальное смещение поперек каньона. При переходе сейсмической волны через долину наблюдались существенный сдвиг фазы и некоторое уменьшение амплитуды колебаний. Эти результаты опубликованы И.Л. Нерсесовым и др. в статье [16].

В Туркмении исследовались колебания склонов Бикровинского массива, расположенного на юго-западе республики. Высота склонов на экспериментальном участке достигала 45—50 м, угол наклона изменялся в пределах от 15 до 65°. Склоны сложены глиной, включающей линзы сцементированного крупнообломочного материала. Колебания возбуждались ударами груза массой 2,5 т, сбрасываемого с высоты 20 м. Приборы устанавливались на зацементированные площадки, расположенные в четырех точках по высоте склона. Б.И. Ильясов и Ш.Ш. Саидова в статье [11] сообщили, что обработка записей колебаний показала увеличение амплитуд колебаний в верхней части склона примерно в два раза по отношению к его подножию.

Для случая вертикального распространения горизонтально поляризованной поперечной сейсмической волны Е.Г. Бугаевым [8] предложены полуэмпирические формулы, позволяющие вычислять интенсивность колебаний грунта на дне и в верхних частях бортов каньонов (склонов долин). Согласно этим формулам интенсивность колебаний изменяется в следующих пределах: на дне каньона от 1 до 0,5 и у бровки бортов от 1 до 1,25 от уровня амплитуд колебаний горизонтальных участков местности, удаленных от долины. При переходе от дна к бровке склона долины отношение амплитуд изменяется от 1 до 2,5 в зависимости от соотношения между длиной падающей волны и глубиной долины. Данные инструментальных наблюдений и численные решения задач дифракции подтверждают возможность использования приближенных формул для оценки изменения интенсивности колебаний грунта на склонах речных долин.

За рубежом разработаны точные методы расчета дифракции сейсмических волн в каньонах. Для полуцилиндрического каньона получено решение в замкнутой форме, использу-

ющее функции Бесселя и Ханкеля. Приведенный в статье [25] анализ этого решения показывает, что влияние каньона на интенсивность колебаний довольно значительно, если длина падающей волны близка к радиусу каньона. В этом случае амплитуда колебаний грунта вблизи каньона быстро изменяется от точки к точке, но увеличение амплитуды не превышает двух раз.

Для каньонов с произвольной формой поперечного сечения задача формулируется в виде интегральных уравнений Фредгольма [24]. Уравнения решаются численным методом с построением акселерограмм для различных точек поперечного сечения каньона при произвольном угле падения сейсмической волны. В случае треугольного выреза в упругом полупространстве амплитуды колебаний по сравнению с горизонтальной поверхностью увеличиваются на 10—30 % у кромки выреза и уменьшаются на 50—70 % в нижней точке.

Таким образом, на участках с неровной поверхностью интенсивность колебаний меняется в зависимости от рельефа. По отношению к ровным площадкам для сильно неровных участков местности в одних точках теория и наблюдения предсказывают понижение, в других точках — повышение интенсивности колебаний примерно до двух раз. Для учета этого фактора в данных рекомендациях предлагается корректировать нормальные амплитуды колебаний грунта с помощью коэффициента $K_{\text{р м}}$.

С помощью коэффициентов, учитывающих сейсмотектоническую обстановку, сейсмический режим, местные инженерно-геологические условия и рельеф местности вдоль трасс железных (автомобильных) дорог, метрополитенов, магистральных трубопроводов, а также на территориях железнодорожных станций, морских, речных и аэропортов выделяются микрозоны с различной интенсивностью сейсмического воздействия. Изолинии воздействия (границы микрозон) маркируются в физических единицах измерения картируемого параметра колебаний с приемлемым округлением его величины. Например, при построении карт максимальных ускорений грунта изолинии ускорений могут строиться с интервалом 0,05g, что существенно улучшает представление о распределении на местности параметров сейсмического воздействия по сравнению с его картированием в баллах шкалы MSK-64.

ИСТОЧНИКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

1. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах/Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2000. — 44 с.

2. Проектирование автодорожных мостов в сейсмических районах. ОДН 218.1.021-2003. — М.: Росавтодор, 2003. — 24 с.

3. Рекомендации по изучению разрывных и складчатых структур для сейсмического микрорайонирования/ПНИИИС. — М.: Стройиздат, 1984. — 20 с.

4. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства/ПНИИИС. — М., 1985, — 73 с.

5. РСН-60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ/Госстрой РСФСР. — М.: МосТИСИЗ Госстроя СССР, 1986. — 32 с.

6. Алешин А.С., Бархатов И.И., Несмеянов С.А. и др. Тектонические разрывы на участках сейсмического микрорайонирования. — М.: Наука, 1982. — 134 с.

7. Баркан Д.Д., Трофименков Ю.Г., Голубцова М.Н. Влияние свойств грунта оснований при расчете сооружений на сейсмическое воздействие//Свойства грунтов при вибрациях. — Ташкент: ФаН, 1975. — С. 55—69.

8. Бугаев Е.Г. Приближенная оценка влияния рельефа местности на амплитуду сейсмических волн//Сейсмостойкое строительство. — М.: Стройиздат, 1976, вып.2. — С. 25—30.

9. Джурик В.И. и др. Сейсмические свойства скальных грунтов — Новосибирск: Наука, 1986. — 133 с.

10. Ивановский И.К. О землетрясении и песчаных заносах на Закаспийской железной дороге//Ж-д дело. — 1896. — № 40. — С. 327—334.

11. Ильясов Б.И., Саидова Ш.Ш. Исследование влияния рельефа местности на колебания грунтов при землетрясениях//Совершенствование методов расчета и проектирования гидротехнических сооружений, возводимых в сейсмических районах. — Л.: Энергия, 1976. — С. 227—228.

12. Красников Н.Д. Об использовании значений скоростей поперечных волн для сейсмического микрорайонирования//Труды Института физики Земли. — М.: ИФЗ. — № 36(203). С. 99—104.

13. Медведев С.В. Оценка сейсмической балльности в зависимости от грунтовых условий//Тр. Геофиз. ин-та. — М., 1952. — №14. — С. 29—52.

14. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. — М.: Госстройиздат, 1962. — 234 с.

15. Напетваридзе Ш.Г. Некоторые задачи инженерной сейсмологии. — Тбилиси: Мецниереба, 1973. — 162 с.

16. Нерсесов И.Л., Николаев А.В., Павлов В.Д. и др. Динамические характеристики колебаний склонов каньонов при землетрясениях//Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. — Л.: Энергия. — 1969. — С. 63—77.

17. Севостьянов В.В., Бархатов И.И., Миндель И.Г. Современный опыт комплексной оценки сейсмической опасности при проектировании линейных сооружений/Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2004. — № 2. — С. 21—24.

18. Шестоперов Г.С. Корректировка параметров колебаний грунта стройплощадки по данным расчета сейсмического режима в пункте строительства//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2002. — № 3. — С. 5—6.

19. Шестоперов Г.С., Шестоперов В.Г. Сейсмическое микрорайонирование участков строительства транспортных сооружений//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2004. — № 2. — С. 17—20.

20. Y.Bozorgnia, S.A.Mahin, A.G.Brady. Vertical responses of twelve instrumented structures recorded during the Northridge earthquake. — EERI, 1995.

21. Gates I.H. California's seismic design criteria for bridges. G.Struct. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 1976, ol.102, ST12, p. 2301—2312.

22. Iwasaki T. Perspectives of seismic design criteria for highway bridges in Japan. — Mexico, 1996. — 8p.

23. Naeim F., Anderson J.C. Classifications and evaluation of earthquake records for design. — EERJ, 1993. — 288 p.

24. Sanchez-Sesmo F.G., Rosenblueth E., Ground motion at canyons of arbitrary shape under incident SH waves//Earthquake Eng. and Struct. Dyn. — 1979. — vol.7. — p. 441—450.

25. Trifunac M.D. Scattering of plane SH waves by a semicylindrical canyon//Earthquake Eng. and Struct. Dyn. — 1973. — vol.1. — p. 267—281.

26. Practical lessons from the Loma Prieta earthquake. — Washington, 1994. — 273p.

27. Specifications for highway bridges. Part 5:Seismic design. Feb.1990. Japan Road Association. — 275 p.

28. Seismic Retrofitting Manual for Highway Bridges. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. May 1995. — 309 p.

29. Earthquake-Resistant Design Standard for Railway Structures. Japanese National Railways. Sept.1979. — 63 p.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЮ УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

МДС 22-1.2004

Зав изд отд *Л Ф Калинина*
Редактор *Л Н Кузьмина*
Технический редактор *Т М Борисова*
Корректор *В В Ковачевич*
Компьютерная верстка *Е А Прокофьева*

Подписано в печать 10 11 2004. Формат 60×84 1/8
Печать офсетная Усл печ л 5,6
Тираж 100 экз Заказ № 2568

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центр проектной продукции в строительстве» (ФГУП ЦПП)
127238, Москва, Дмитровское ш , 46, корп 2
Тел/факс (095) 482-42-65 — приемная
Тел (095) 482-42-94 — отдел заказов,
(095) 482-41-12 — проектный отдел,
(095) 482-42-97 — проектный кабинет

ВНИМАНИЕ!

**Письмом Госстроя России от 15 апреля 2003 г.
№ НК-2268/23 сообщается следующее.**

Официальными изданиями Госстроя России, распространяемыми через розничную сеть на бумажном носителе и имеющими на обложке издания соответствующий голографический знак, являются:

справочно-информационные издания: «Информационный бюллетень о нормативной, методической и типовой проектной документации» и Перечень «Нормативные и методические документы по строительству», издаваемые Государственным унитарным предприятием — Центр проектной продукции в строительстве (ГУП ЦПП), а также научно-технический, производственный иллюстрированный журнал «Бюллетень строительной техники» издательства «БСТ», в которых публикуется информация о введении в действие, изменении и отмене федеральных и территориальных нормативных документов;

нормативная и методическая документация, утвержденная, согласованная, одобренная или введенная в действие Госстроем России, издаваемая ГУП ЦПП.

gost.e-ecolog.ru