
ОДМ 218.2.053–2015
ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ
СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ
УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ УЧАСТКОВ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)**

Москва 2017

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН обществом с ограниченной ответственностью «НТЦ ГеоПроект» (ООО «НТЦ ГеоПроект»).

Коллектив авторов: д-р техн. наук, проф. С.И. Маций (руководитель работ), канд. техн. наук Ф.Н. Деревенец, канд. техн. наук Н.Н. Любарский, канд. техн. наук Д.В. Плешаков, инж. С.А. Шелестов.

2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения, Управлением проектирования и строительства автомобильных дорог Федерального дорожного агентства.

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 08.10.2015 № 1866-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Общие положения	5
5 Расчеты устойчивости склона на сейсмическое воздействие	7
5.1 Общие положения	7
5.2 Нагрузки и воздействия	8
5.3 Характеристики грунтов	20
5.4 Расчетные положения	24
5.5 Псевдостатический метод	27
5.6 Метод поворота склона	36
5.7 Динамический метод	39
Приложение А (справочное) Пример расчета устойчивости оползнеопасного склона псевдостатическим методом	46
Приложение Б (справочное) Пример расчета устойчивости оползнеопасного склона динамическим методом	50
Библиография	53

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

**Рекомендации по оценке сейсмического воздействия
при определении устойчивости оползневых участков
автомобильных дорог**

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) распространяется на строительство автомобильных дорог общего пользования I–IV категорий (в соответствии с ГОСТ Р 52398–2005) в районах с расчетной сейсмичностью до 9 баллов включительно по шкале MSK-64.

1.2 Сейсмическое воздействие для автомобильных дорог V категории допускается не учитывать.

1.3 При необходимости строительства автомобильных дорог на территориях с расчетной сейсмичностью более 9 баллов оценку сейсмического воздействия следует выполнять на основании специальных исследований.

Примечание – В настоящем методическом документе понятие «строительство» включает новое строительство, реконструкцию и капитальный ремонт объектов капитального строительства.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12248–2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 20276–2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 20522–2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

ГОСТ 27751–2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования

ГОСТ 32960–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения

ГОСТ Р 52398–2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования

ОДМ 218.2.053–2015

СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах (актуализированная редакция СНиП II–7–81*)

СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия (актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*)

СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*)

СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах (актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88)

СП 35.13330.2011 Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*)

СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 11–02–96)

СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 22–02–2003)

СП 11–103–97 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства

СП 11–104–97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства

СП 11–105–97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ

СП 11–105–97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов

СП 11–105–97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 акселерограмма (велосигграмма, сейсмограмма): Зависимость ускорения (скорости, смещения) точки основания или сооружения в процессе землетрясения от времени.

3.2 акселерограмма синтезированная: Акселерограмма, полученная с помощью расчетных методов, в том числе на основе статистической обработки и анализа ряда акселерограмм и (или) спектров реальных землетрясений с учетом местных сейсмологических условий.

3.3 динамический метод анализа: Метод расчета сооружения или склона на воздействие в виде акселерограмм колебаний грунта путем численного интегрирования уравнений движения.

3.4 инженерно-геологический элемент (ИГЭ): Объем грунта одного возраста, происхождения и вида, характеристики свойств которого в пределах выделенного элемента являются статистически однородными и изменяются случайно (незакономерно) либо если наблюдающейся закономерностью можно пренебречь.

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

3.6 категория грунта по сейсмическим свойствам (I, II, III или IV): Характеристика, выражающая способность грунта ослаблять (или усиливать) интенсивность сейсмических воздействий.

3.7 коэффициент надежности по нагрузке: Коэффициент, учитывающий в условиях нормальной эксплуатации автомобильной дороги возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от нормативных значений.

3.8 коэффициент сочетаний нагрузок: Коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений.

3.9 максимальное расчетное землетрясение (МРЗ): Землетрясение максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 1000 лет; принимают по комплекту карт ОСР-2015-В.

3.10 нагрузки длительные: Нагрузки, изменения расчетных значений которых в течение расчетного срока службы строительного объекта пренебрежимо малы по сравнению с их средними значениями.

3.11 нагрузки кратковременные: Нагрузки, длительность действия расчетных значений которых существенно меньше срока службы строительного объекта.

3.12 нормативное значение нагрузок: Основная базовая характеристика нагрузки, устанавливаемая соответствующими нормами проектирования, техническими условиями или заданием на проектирование.

3.13 нормативные нагрузки от транспортных средств и пешеходов: Временные вертикальные нагрузки от транспортных средств и пешеходов, принимаемые в виде условных нагрузок для проектирования автомобильных дорог общего пользования.

3.14 **общее сейсмическое районирование (ОСР):** Оценка сейсмической опасности на территории всей страны, выполняемая для осуществления рационального землепользования и планирования социально-экономического развития крупных регионов; масштаб карт ОСР 1:2500000–1:8000000.

3.15 **оползень:** Смещение горных пород со склонов, бортов карьеров, строительных выемок под действием веса грунта, объемных и поверхностных сил. Различают оползни скольжения, выдавливания, вязко-пластические, внезапного разжижения, гидродинамического разрушения.

3.16 **ползучесть грунта:** Процесс деформирования скелета грунта во времени под действием неизменной нагрузки.

3.17 **предельное состояние (прочность) грунта:** Состояние грунта в точке, при котором касательные и нормальные напряжения в элементе грунта связаны критерием прочности (Кулона, Кулона – Мора, Мизеса – Шлейхера и т. д.), а деформации сдвига могут развиваться неограниченно.

3.18 **проектное землетрясение (ПЗ):** Землетрясение максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 500 лет.

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

3.20 **расчетное значение нагрузки:** Предельное (максимальное или минимальное) значение нагрузки в течение срока эксплуатации объекта.

3.21 **расчетные сейсмические воздействия:** Сейсмические воздействия, применяемые в расчетах устойчивости склонов (акселерограммы, велосиграммы, сейсмограммы и их основные параметры – амплитуда, длительность, спектральный состав).

3.22 **расчетные ситуации:** Учитываемый при расчете устойчивости склона комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при эксплуатации дорожного объекта и его строительстве.

3.23 **расчетные сочетания нагрузок:** Все возможные неблагоприятные комбинации нагрузок, которые необходимо учитывать при проектировании объекта.

3.24 **сейсмическая (инерционная) сила, сейсмическая нагрузка:** Сила (нагрузка), возникающая в массиве грунта при колебаниях основания во время землетрясения.

3.25 сейсмический район: Район с установленными и возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке строительства сейсмические воздействия интенсивностью 6 баллов и более.

3.26 сейсмическое воздействие: Движение грунта, вызванное природными или техногенными факторами (землетрясениями, взрывами, движением транспортных средств, работой промышленного оборудования), обуславливающее движение, деформации, иногда разрушение сооружений и других объектов.

3.27 сейсмическое микрорайонирование (СМР): Оценка влияния свойств грунтов на сейсмические колебания в пределах площадей расположения конкретных сооружений и на территории населенных пунктов; масштаб карт СМР 1:50000 и крупнее.

3.28 сейсмическое районирование (СР): Картирование сейсмической опасности, основанное на выявлении зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и определении сейсмического эффекта, создаваемого ими на земной поверхности.

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

3.30 сейсмичность территории: Максимальная интенсивность сейсмических воздействий, выраженная в баллах, на рассматриваемой территории для принятого периода повторяемости землетрясения.

3.31 скоростные характеристики грунта: Скорости распространения сейсмических (продольных V_p и поперечных V_s) волн в грунтах оснований, измеряемые в м/с.

3.32 средние грунтовые условия: Грунты категории II по сейсмическим свойствам.

4 Общие положения

4.1 Строительство автомобильных дорог в сейсмических районах на оползнеопасных территориях следует выполнять в соответствии с СП 14.13330.2014 с учетом рекомендаций настоящего методического документа.

4.2 При новом строительстве автомобильных дорог в сейсмических районах в условиях горного и предгорного рельефа на оползневых склонах положение трассы следует выбирать по результатам технико-экономического сравнения вариантов обхода этих участков в плане и профиле, а также варианта инженерной защиты участка (возведения защитных сооружений). Как правило,

предпочтение надлежит отдавать варианту трассы в обход оползнеопасных участков.

4.3 Влияние сейсмических явлений на развитие оползневых процессов определяется:

- приуроченностью оползней к зонам тектонических нарушений;
- силовым воздействием сейсмических сил на неустойчивые

породы.

Кроме того, оползневые процессы могут быть усугублены тем, что сейсмическое воздействие вызывает пльвинунные или тиксотропные процессы в породах, предрасположенных к их развитию, а также вытекание отмеченных пород со склонов и откосов.

4.4 Развитие крупных оползней вблизи зон тектонических нарушений вызвано:

- широким развитием зон смятия и дробления в коренных породах;
- активной сейсмической деятельностью.

4.5 Зоны дробления пород характеризуются повышенной трещиноватостью и обводненностью, что является дополнительным фактором оползнеобразования.

Максимальный эффект от сейсмического воздействия наблюдается при условии совпадения по времени землетрясений силой 6 баллов и более с периодами затяжных или ливневых дождей. При этом отмечается эффект запаздывания между временем проявления оползней и временем действия перечисленных факторов, иногда значительный.

4.6 Сейсмическое воздействие на оползнеопасный склон носит кумулятивный характер и зависит от степени подготовки склона к смещению под действием других факторов. Особенно сильно сказываются землетрясения на устойчивости склонов, в строении которых присутствуют грунты, характеризующиеся резким снижением прочности при вибрации.

4.7 Оползневые процессы, вызванные сейсмическими воздействиями, как правило, интенсивно развиваются в эпицентральных зонах землетрясений на участках распространения песчано-глинистых, выветрелых малоустойчивых пород; наибольшая активность проявляется в период их максимальной увлажненности.

4.8 Расчеты устойчивости оползнеопасных склонов выполняются с целью определения необходимости инженерной защиты автомобильной дороги на основе:

- результатов выполненных и архивных инженерно-геодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства;

- планировочных решений участка и вариантов прокладки трассы (при новом строительстве);
- результатов стационарных наблюдений за автомобильной дорогой и склоном (при реконструкции или капитальном ремонте).

4.9 Оценка влияния сейсмического воздействия на устойчивость оползневых участков автомобильных дорог может быть выполнена различными методами, приведенными в разделе 5 настоящего методического документа, в зависимости от уровня ответственности автомобильной дороги, сложности инженерно-геологических условий участка и наличия необходимых исходных данных.

4.10 Состав и объем работ, выполняемых в рамках инженерных изысканий, для оценки сейсмического воздействия на устойчивость склонов должны соответствовать требованиям СП 47.13330.2016, СП 11–103–97, СП 11–104–97, СП 11–105–97 (части I, II), а также государственных стандартов по инженерным изысканиям и исследованиям грунтов для строительства. При этом в сейсмических районах инженерно-геологические изыскания должны включать сейсмическое микрорайонирование участка.

4.11 Результаты стационарных наблюдений за автомобильной дорогой и склоном позволяют более достоверно оценить устойчивость оползневого массива и сократить материальные затраты на инженерную защиту участка. В рамках стационарных наблюдений следует фиксировать подвижки грунта и поведение грунтовых вод при землетрясениях (в том числе малой интенсивности).

4.12 В проектах строительства автомобильных дорог повышенного уровня ответственности с целью получения достоверной информации о работе конструктивных элементов и колебаниях грунтов при интенсивных землетрясениях следует предусматривать установку станций наблюдения за динамическим поведением конструктивных элементов и прилегающих грунтов.

5 Расчеты устойчивости склона на сейсмическое воздействие

5.1 Общие положения

5.1.1 Расчеты устойчивости оползнеопасных склонов, расположенных в непосредственной близости от автомобильной дороги, должны, как правило, выполняться по первой группе предельных состояний. Если потеря устойчивости таких склонов (участков склона) не приводит

ОДМ 218.2.053–2015

автомобильную дорогу в состояние, непригодное для эксплуатации, то расчеты склонов следует вести по второй группе предельных состояний. Таким образом, расчеты устойчивости оползнеопасных склонов в зависимости от степени влияния оползневых процессов на надежность и безопасность эксплуатации автомобильной дороги могут быть отнесены как к первой, так и ко второй группам предельных состояний:

- к первой:
 - расчеты общей устойчивости системы «автомобильная дорога – склон» (рисунок 1),
 - расчеты местной устойчивости – отдельных морфологических элементов оползневого склона, нарушение устойчивости которых приводит к прекращению эксплуатации автомобильной дороги (рисунок 2а, б);
- ко второй:
 - расчеты устойчивости склонов и их отдельных морфологических элементов, разрушение которых не приводит автомобильную дорогу в непригодное состояние (рисунок 2в).

5.1.2 Расчеты устойчивости оползнеопасных склонов автомобильных дорог, возводимых на территориях с расчетной сейсмичностью 7 баллов и более, следует выполнять на основное и особое сочетание нагрузок.

5.1.3 Расчет устойчивости оползнеопасных склонов и их морфологических элементов на особое сочетание нагрузок (с учетом сейсмического воздействия) следует выполнять только по первой группе предельных состояний (см. рисунки 1; 2а, б).

5.2 Нагрузки и воздействия

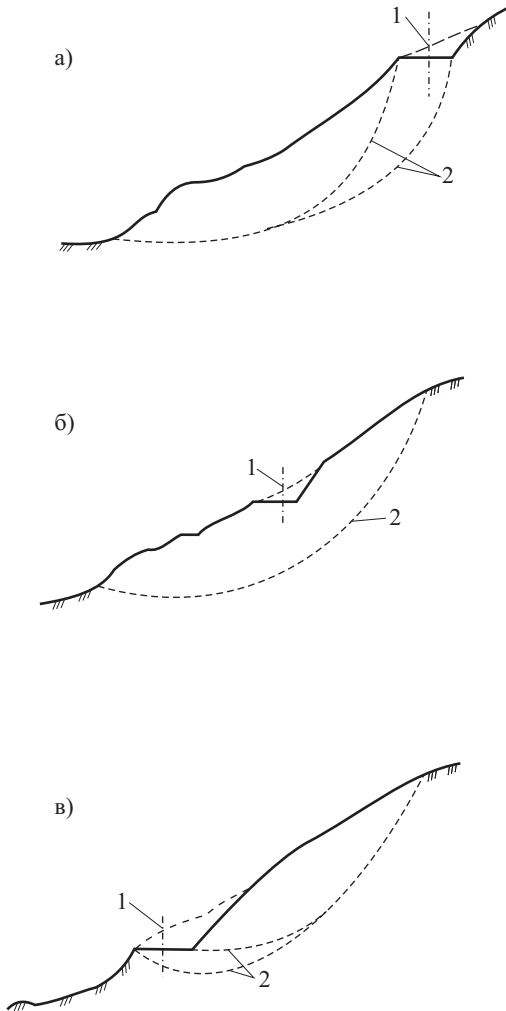
5.2.1 Общие положения, сочетание нагрузок

5.2.1.1 В особое сочетание нагрузок C_s включают постоянные P_d , длительные P_ℓ , кратковременные P_t и особую P_s нагрузки. Нагрузка для особого сочетания определяется по формуле

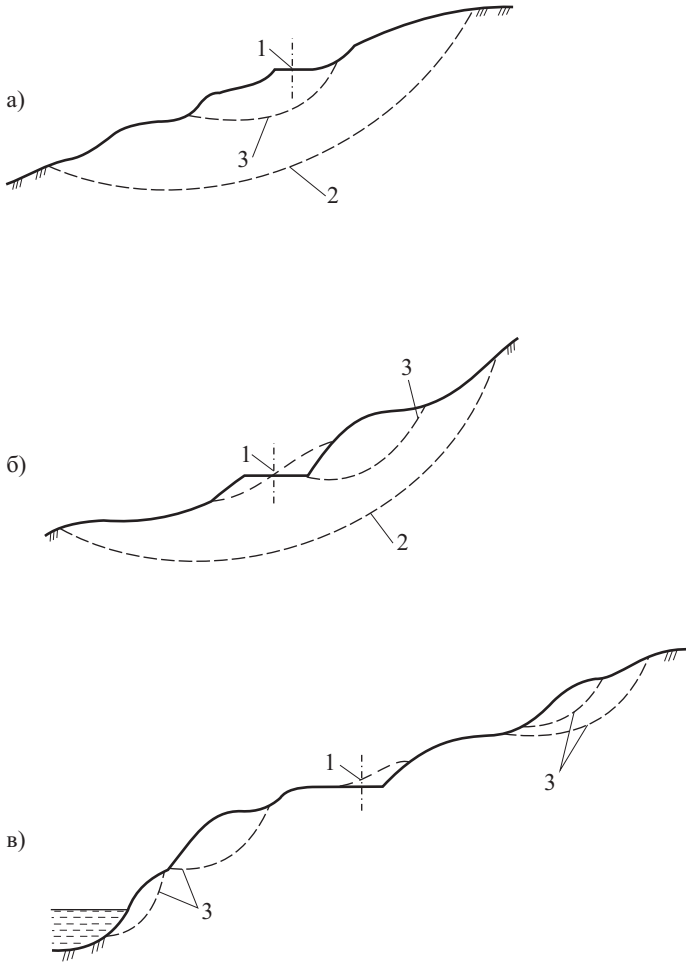
$$C_s = P_d + (P_{\ell_1} + P_{\ell_2} + \dots + P_{\ell_n}) + (P_{t_1} + P_{t_2} + \dots + P_{t_n}) + P_s. \quad (1)$$

5.2.1.2 К постоянным нагрузкам следует относить:

- вес дорожной одежды, земляного полотна и других конструктивных элементов автомобильной дороги;
- вес несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, располагаемых на склоне;
- вес грунтов;
- гидростатическое давление грунтовых вод.



1 – автомобильная дорога; 2 – поверхность скольжения
Рисунок 1 – Схемы (а, б, в) взаимного расположения автомобильной
дороги и оползнеопасного склона (общая устойчивость склона)



1 – автомобильная дорога; 2 – поверхность скольжения общей устойчивости склона; 3 – локальная поверхность скольжения
Рисунок 2 – Схемы (а, б, в) взаимного расположения автомобильной дороги и оползнеопасного склона (местная устойчивость)

5.2.1.3 К длительным нагрузкам относятся:

- воздействия, обусловленные:
 - деформациями основания, не сопровождающимися коренным изменением структуры грунта, а также оттаиванием вечномерзлых грунтов,
 - изменением влажности, усадкой и ползучестью грунтов;
- нагрузки:
 - от складываемого материала, которые равномерно распределены на территории,
 - подвижного состава железных дорог СК (СП 35.13330.2011).

5.2.1.4 К кратковременным нагрузкам следует относить нагрузки:

- от людей;
- от транспортных средств типа НК;
- климатические (снеговые, гололедные).

5.2.1.5 К особым нагрузкам относятся сейсмические воздействия.

5.2.1.6 Температурные климатические воздействия, ветровые нагрузки, динамические воздействия от оборудования и транспортных средств, тормозные усилия от движущейся техники при расчетах устойчивости на сейсмическое воздействие не учитываются.

5.2.1.7 Для каждой расчетной ситуации необходимо учитывать все возможные неблагоприятные расчетные сочетания нагрузок. Эти сочетания устанавливаются из анализа всех возможных реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок, с учетом возможности реализации разных схем приложения кратковременных нагрузок или отсутствия некоторых из них (в том числе от транспортных средств).

5.2.1.8 Вероятность одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений учитывается коэффициентом сочетания нагрузок ψ , вводимым при определении нормируемого коэффициента устойчивости склона. При этом коэффициенты сочетаний для отдельных видов нагрузок в расчет не вводятся.

5.2.1.9 В особых сочетаниях коэффициент надежности по нагрузке γ_f для постоянных, длительных и кратковременных нагрузок следует принимать равным единице, то есть в расчетах используются значения нагрузок, соответствующие их нормативным величинам.

5.2.1.10 В качестве основной характеристики особой нагрузки – сейсмического воздействия – устанавливается его расчетное значение с учетом возможных социальных и материальных потерь в случае разрушения автомобильной дороги и необходимых мер по предотвращению ее разрушения.

5.2.1.11 При наличии на оползнеопасном склоне каких-либо зданий и сооружений (помимо автомобильной дороги) в расчетах устойчивости следует учитывать нагрузки, передаваемые ими на грунтовый массив, в соответствии с СП 14.13330.2014 и СП 20.13330.2016.

5.2.2 Нормативные нагрузки от веса конструктивных элементов автомобильной дороги и грунтов

5.2.2.1 Геометрические параметры конструктивных элементов автомобильной дороги принимают по проектным значениям или результатам изысканий (на существующих автомобильных дорогах).

5.2.2.2 Нормативное значение веса конструктивных элементов автомобильной дороги определяют по проектным размерам и удельному весу материалов и грунтов с учетом их влажности в условиях эксплуатации.

5.2.2.3 Нормативные значения веса грунтов, слагающих оползнеопасный склон, устанавливаются по удельному весу, приводимому в материалах инженерно-геологических изысканий.

5.2.2.4 При определении нагрузок от грунта следует учитывать нагрузки от складированных материалов, оборудования и транспортных средств, передаваемые на грунт.

5.2.3 Нормативные нагрузки от транспортных средств и пешеходов

5.2.3.1 При расчете устойчивости оползнеопасных участков автомобильных дорог нормативная нагрузка от транспортных средств устанавливается в соответствии с ГОСТ Р 32960–2014 в виде нагрузки НК.

5.2.3.2 Нормативная нагрузка НК представлена в виде одиночной четырехосной тележки с нагрузкой на каждую ось 18К (кН). Класс нагрузки К для расчетов устойчивости принимается равным 14.

5.2.3.3 Нагрузку НК приводят к равномерно распределенной нагрузке интенсивностью $q = 5,4К$ на прямоугольной области с размерами 3,8 м вдоль оси проезда и 3,5 м – поперек.

5.2.3.4 Интенсивность нормативной нагрузки от пешеходов на тротуарах (служебных проходах) и пешеходных мостах рекомендуется принимать равной 4 кН/м^2 .

5.2.4 Расчетные сейсмические воздействия

5.2.4.1 Расчетные сейсмические воздействия для оползнеопасного участка автомобильной дороги устанавливаются в зависимости от сейсмичности района или площадки строительства, инженерно-геологических условий и уровня ответственности объекта.

5.2.4.2 Сейсмичность района строительства определяют по картам общего сейсмического районирования (ОСР-2015) или по списку населенных пунктов, расположенных в сейсмических районах и представленных в СП 14.13330.2014. Приведенные в своде правил карты ОСР-2015 отражают вероятности возможного превышения (карта А – 10 %, карта В – 5 %, карта С – 1 %) в течение 50 лет указанных на картах значений сейсмической интенсивности.

5.2.4.3 Выбор карты осуществляется в зависимости от уровня ответственности и категории автомобильной дороги. Решение о ее выборе для оценки сейсмичности района при проектировании автомобильной дороги принимает заказчик по представлению генерального проектировщика. При выборе карты рекомендуется пользоваться таблицей 1.

Таблица 1 – Выбор карты ОСР-2015 для оценки устойчивости склонов в зависимости от уровней ответственности и категории автомобильной дороги

Класс автомобильной дороги по ГОСТ Р 52398–2005	Категория автомобильной дороги	Уровень ответственности	Карта общего сейсмического районирования
Автомагистраль	IA	Повышенный	В
Скоростная дорога	IB		А
Дорога обычного типа	IV		
	II		
	III	Нормальный	
	IV		
	V	Пониженный	-

5.2.4.4 На отдельных участках одного и того же по балльности района фактическая сила землетрясений может отличаться от средней (указанной на картах ОСР) в зависимости от геологических условий. Местные инженерно-геологические и геоморфологические условия должны учитываться при определении расчетной сейсмичности площадки.

5.2.4.5 Расчетную сейсмичность для всех оползнеопасных участков автомобильных дорог следует устанавливать по результатам СМР, выполняемого в составе инженерных изысканий. Сейсмическое микрорайонирование участка строительства осуществляется для учета влияния местных инженерно-геологических и геоморфологических условий на сейсмичность участков строительства в соответствии с рекомендуемыми [1] и другими документами.

5.2.4.6 Сейсмическое микрорайонирование выполняется методом инструментальных измерений амплитуд смещений частиц грунта, амплитуд скоростей и ускорений этих смещений от дозированных стандартных возбуждений. Измерения ведутся с помощью сейсмографов и регистрирующей сейсмической аппаратуры (шлейфовых осциллографов, типовых сейсмостанций). Стандартное возбуждение производится грузом, падающим с дозированной высоты. Помимо перечисленных величин по сейсмограммам могут быть определены преобладающие периоды указанных смещений колебаний грунтов, а также получен полный спектр частот.

5.2.4.7 Материалы работ по сейсмическому микрорайонированию участков должны содержать количественные оценки влияния особенностей залегания слоев и сейсмических свойств грунта расчетной толщи на амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия.

5.2.4.8 Число микрозон различной сейсмической опасности, выделяемых на участке строительства, определяют в зависимости от неоднородности строения исследуемой грунтовой толщи и изменчивости сейсмических свойств грунта.

5.2.4.9 Сейсмичность площадок строительства насыпей земляного полотна автомобильных дорог следует определять в зависимости от сейсмических свойств грунта верхнего 10-метрового слоя основания насыпи.

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

5.2.4.11 При сейсмическом микрорайонировании участков строительства амплитудные характеристики колебаний грунта корректируют с учетом местных инженерно-геологических и геоморфологических условий.

5.2.4.12 Скорости поперечных сейсмических волн в слоях находят по данным сейсморазведки или применяя корреляционные уравнения, связывающие физические, прочностные и деформацион-

ные свойства грунтов со значением скорости поперечных сейсмических волн.

5.2.4.13 При сейсмическом микрорайонировании участков дорог, расположенных на крутых горных склонах, амплитудные характеристики колебаний грунта корректируют в зависимости от рельефа местности.

5.2.4.14 Сейсмичность площадки строительства объектов, использующих карту А, при отсутствии данных СМР допускается предварительно определять в зависимости от грунтовых условий по таблице 2 и рекомендаций подпункта 5.2.4.16.

5.2.4.15 Кроме участков, сложенных грунтами III и IV категорий, неблагоприятными в сейсмическом отношении являются участки автомобильной дороги, на которых выявлены тектонические нарушения или имеет место близкое расположение линий тектонических разрывов, перекрытых чехлом рыхлых отложений мощностью менее 10 м; участки склонов с крутизной более 15°; участки местности с сильно расчлененным рельефом – обрывистые берега, овраги, ущелья; участки при глубине грунтовых вод менее 4 м для уступов, сложенных глинистыми породами и песками.

В неблагоприятных геологических условиях, указанных выше, средняя сейсмическая балльность района должна повышаться на 1 балл; при благоприятных условиях – понижаться на 1 балл.

5.2.4.16 На неблагоприятных в геологическом отношении участках следует принимать дополнительные меры по укреплению оснований автомобильной дороги, усилению конструктивных элементов и инженерной защите.

5.2.4.17 Расчетные сейсмические воздействия при применении динамической теории должны задаваться расчетными акселерограммами, которые при необходимости масштабируют. Расчетные акселерограммы должны подбираться с учетом данных о скоростных, частотных и резонансных характеристиках грунтов, залегающих в основании сооружения.

Должны применяться следующие расчетные акселерограммы:

- из числа записей, произведенных на площадке или в районе сооружения;

- аналоговые из числа записей, сделанных в районах, сходных с районом площадки строительства по сеймотектоническим, геологическим и другим сейсмологическим условиям;

- синтезированные, сформированные в соответствии с расчетными параметрами сейсмического воздействия.

Т а б л и ц а 2 – Расчетная сейсмичность площадки строительства (СП 14.13330.2014)

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Описание грунта	Характеристика сейсмических свойств грунтов			Сейсмичность района, балл			
		Сейсмическая жесткость, $T/(M^2 \cdot c)$	V_s , м/с	V_p / V_s	Расчетная сейсмичность площадки, балл			9
					6	7	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Скальные грунты (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие) невяветрелые и слабобыветрелые Крупнообломочные грунты плотные, маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя Выветрелые и сильновыветрелые скальные и дисперсные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре -2 °С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии)	> 1500	> 700	1,7–2,2	-	6	7	8

II	<p>Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к категории I</p> <p>Крупнообломочные грунты, за исключением грунтов, отнесенных к категории I</p> <p>Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные</p> <p>Пески мелкие, пылеватые плотные и средней плотности маловлажные</p> <p>Глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глин и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей</p> <p>Вечномерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше -2 °С при строительстве и эксплуатации по принципу I</p>	350–1500	250–700	<p>1,7–2,2 (неводонасыщенные)</p> <p>2,2–3,5 (водонасыщенные)</p>	-	7	8	9
----	---	----------	---------	---	---	---	---	---

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
III	<p>Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности</p> <p>Пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности водонасыщенные</p> <p>Пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные</p> <p>Глинистые грунты с показателем консистенции $I_L > 0,5$</p> <p>Глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ для глини и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей</p> <p>Вечномерзлые дисперсные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания)</p>	200–350	150–250	3,5–7,0	7	8	9	> 9

IV	Наиболее динамически неустойчивые разновидности песчано-глинистых грунтов, указанные в категории III, склонные к разжижению при сейсмических воздействиях	< 200	60–150	7,0–15,0	7*	8*	9*	> 9*
----	---	-------	--------	----------	----	----	----	------

П р и м е ч а н и я

- 1* Грунты с большей вероятностью склонны к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях силой более 6 баллов.
- 2 Скорости V_p и V_s , а также значение сейсмической жесткости грунта являются средневзвешенными значениями для 30-метровой толщи, считая от планировочной отметки.
- 3 В случае многослойного строения грунтовой толщи грунтовые условия участка относят к более неблагоприятной категории, если в пределах верхней 30-метровой толщи (считая от планировочной отметки) слои, относящиеся к этой категории, имеют суммарную мощность более 10 м.
- 4 При отсутствии данных о консолидации, влажности, сейсмической жесткости, скоростях V_p и V_s глинистые и песчаные грунты при положении уровня грунтовых вод выше 5 м относятся к категории III или IV по сейсмическим свойствам.
- 5 При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе просадочных) их категорию необходимо определять в зависимости от свойств в замоченном состоянии.
- 6 При строительстве на вечномерзлых грунтах по принципу II грунты основания следует рассматривать по их фактическому состоянию после оттаивания.
- 7 При выполнении специальных инженерных мероприятий по укреплению грунтов оползневого массива его категория по сейсмическим свойствам должна быть определена по результатам СМР.

5.2.4.18 Амплитудные характеристики колебаний грунта в горизонтальной плоскости для площадок с расчетной сейсмичностью 7, 8, 9 баллов, расположенных на относительно ровных участках местности и сложенных средними по сейсмическим свойствам грунтами, принимаются следующими:

- при сейсмичности 7 баллов: 100 см/с² – ускорения; 8 см/с – скорости; 4 см – перемещения;
- сейсмичности 8 баллов: 200 см/с² – ускорения; 16 см/с – скорости; 8 см – перемещения;
- сейсмичности 9 баллов: 400 см/с² – ускорения; 32 см/с – скорости; 16 см – перемещения.

Примечание – К средним по сейсмическим свойствам грунтам относят песчано-глинистые отложения с сейсмической жесткостью $\rho \cdot V_s = 655 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, где ρ – плотность грунта, т/м³.

5.2.4.19 Для автомагистралей (см. таблицу 1) с целью определения силы максимального землетрясения по комплексу геологических, геофизических и геохимических данных составляют карты опасных сейсмогенерирующих структур в радиусе 100 км от объекта. На этой основе с учетом сейсмологических сведений выделяются зоны возможных очагов землетрясений и от этих зон рассчитывают сейсмические воздействия для средних по сейсмическим свойствам грунтов и ровных площадок на участке строительства.

5.2.4.20 При выполнении геофизических исследований для обеспечения строительства объекта особой сейсмостойкости, как правило, следует проводить сейсмологические наблюдения сетью временных станций с целью подтверждения данных о выделенных по фондовым и справочным материалам активным очагам землетрясений по инструментально зафиксированным слабым толчкам и получения информации о распределении их эпицентров по глубине.

5.3 Характеристики грунтов

5.3.1 В качестве основных параметров механических свойств грунтов необходимо устанавливать нормативные и расчетные значения прочностных, деформационных и других физико-механических характеристик, определяемых на основе данных инженерно-геологических изысканий участка строительства.

5.3.2 Нормативные значения характеристик грунта следует принимать равными их математическим ожиданиям, полученным по

результатам обработки проведенных испытаний, если не оговорены иные условия, определяющие их значения.

5.3.3 Возможные отклонения в неблагоприятную сторону прочностных и других характеристик грунтов от их нормативных значений следует учитывать коэффициентами надежности по грунту.

5.3.4 Расчетные значения характеристик грунтов X определяют по формуле

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}, \quad (2)$$

где X_n – нормативное значение данной характеристики;

γ_g – коэффициент надежности по грунту.

5.3.5 Коэффициент надежности по грунту при вычислении расчетных значений прочностных характеристик угла внутреннего трения φ , град, и удельного сцепления «с», кПа, а также плотности грунта ρ , кг/м³, устанавливаются в зависимости от изменчивости этих характеристик, количества определений и значения доверительной вероятности α (ГОСТ 20522–2012).

5.3.6 Основными параметрами механических свойств грунтов, определяющими устойчивость оползневых склонов и их деформации, являются прочностные и деформационные характеристики грунтов (φ и «с», предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов R_c , модуль деформации E и коэффициент поперечной деформации грунтов ν).

5.3.7 Для определения прочностных характеристик φ и «с» грунтов, для которых прогнозируется повышение влажности, образцы предварительно насыщают водой до значений влажности, соответствующих прогнозу.

5.3.8 Прочностные характеристики дисперсных грунтов φ и «с» могут быть получены путем испытаний грунтов лабораторными методами на срез или трехосное сжатие (ГОСТ 12248–2010). В полевых условиях значения φ и «с» могут быть получены испытаниями на срез целиков грунта в шурфах или котлованах (ГОСТ 20276–2012).

5.3.9 Для предварительных расчетов устойчивости склонов при отсутствии сформировавшейся поверхности скольжения допускается определять нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов по таблицам СП 22.13330.2016 в зависимости от их физических характеристик. Для отдельных районов допускается пользоваться региональными

ОДМ 218.2.053–2015

таблицами характеристик грунтов, специфических для этих районов, приведенными в территориальных строительных нормах.

5.3.10 Динамические характеристики грунтов рекомендуется использовать для автомобильных дорог I категории. При этом динамические испытания в соответствии с СП 11–105–97 (часть V) могут не проводиться, если расчетные динамические нагрузки не превышают статические более чем на 5 %.

5.3.11 Характер динамических нагрузок, режимы испытаний грунтов задаются в задании заказчика и применяются при проведении лабораторных испытаний. Заданные режимы испытаний должны соответствовать реальным условиям статического и динамического нагружений грунта с учетом глубины его залегания.

5.3.12 В программе лабораторных испытаний для каждого инженерно-геологического элемента должны быть указаны режимы нагружения, полученные в результате предварительных расчетов напряженного состояния грунта в массиве основания от действия статических и динамических нагрузок.

5.3.13 По каждому инженерно-геологическому элементу, определенному программой работ, выполняется не менее трех динамических испытаний.

5.3.14 Динамические испытания грунтов проводятся на специальных приборах, позволяющих передавать на исследуемые образцы грунта наряду со статическими нагрузками динамические нагрузки, изменяющиеся по частоте и амплитуде. Прочностные и деформационные свойства грунтов в условиях динамического нагружения определяются в стабилометрах в условиях трехосного сжатия с динамическим характером нагружения. Деформационные свойства грунтов в условиях динамического нагружения допускается определять в одометрах.

5.3.15 Определение прочностных свойств грунтов при действии динамических нагрузок выполняется по консолидированно-недренированной (закрытой) схеме с контролем давления поровой воды, позволяющим найти эффективное напряжение.

5.3.16 Определение величин прочностных и деформационных характеристик грунтов с учетом динамических нагрузок проводится в соответствии с действующими нормативными документами. При расчете характеристик действующая на образец нагрузка принимается как сумма статической нагрузки и амплитуды динамической нагрузки.

5.3.17 По результатам испытаний определяются величины динамических коэффициентов как отношение расчетных характеристик,

полученных в условиях статического нагружения, к таким же характеристикам, полученным в условиях динамического нагружения.

5.3.18 В случаях отсутствия соответствующих экспериментальных данных допускается применять корреляционные связи между значениями статического модуля общей деформации E_0 (или статического модуля упругости E_{st}) и динамического модуля упругости $E_{дуп}$, получаемого геофизическими методами. Допускается также использование статических прочностных характеристик материалов сооружения и грунтов основания; при этом следует вводить дополнительные коэффициенты условий работы для учета влияния на эти характеристики кратковременных динамических воздействий.

5.3.19 При наличии в оползневом теле водонасыщенных несвязных или слабосвязных грунтов необходимо учитывать влияние возможности их разжижения, локальных разуплотнений и разрушений грунта в результате сейсмических воздействий.

5.3.20 Для оценки способности грунта к разжижению используют метод экспериментального определения пороговых или критических ускорений колебаний, который основан на выполнении тренования

$$\alpha_{\text{действ}} \leq \eta_{\text{кр}}, \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{действ}}$ – максимальное действующее ускорение колебаний, $\text{м}/\text{с}^2$;
 $\eta_{\text{кр}}$ – критическое ускорение колебаний, $\text{м}/\text{с}^2$.

5.3.21 Критическое ускорение колебаний является природным свойством грунта и определяется по результатам его испытаний на вибростоле как ускорение, при котором не возникает дополнительных поровых давлений или деформаций грунта. При выполнении указанного условия дальнейшие исследования динамической устойчивости грунта не требуются. Для более точной оценки опасности разжижения используются экспериментальные методы определения устойчивости грунта в динамических приборах трехосного сжатия, в условиях природного напряженно-деформированного состояния и его изменения при пульсациях давления, моделирующих динамические воздействия. Прибор позволяет создать различные комбинации осевых и объемных нагрузок при заданных условиях дренирования. В процессе лабораторных динамических исследований на разжижение следует определять критический порог, свидетельствующий о начале разжижения грунта – достижение относительной осевой деформации образца 5 %; критическую относительную амплитуду воздействий (динамической нагрузки) – величину относительной ам-

плитуды напряжения, при превышении которой образец выдерживает менее 10000 циклов нагрузки.

5.3.22 Подробное изложение методики динамических испытаний грунтов содержится в работе [2].

5.4 Расчетные положения

5.4.1 В общем случае расчеты устойчивости выполняются при произвольных формах поверхности скольжения. Возможные поверхности скольжения, отделяющие сдвигаемый массив грунта от неподвижного, могут быть приняты круглоцилиндрическими, ломаными, в виде логарифмической спирали и другой формы. Они могут полностью или частично совпадать с выраженными ослабленными поверхностями в грунтовом массиве или пересекать слои слабых грунтов. Коэффициент устойчивости оползнеопасного склона находят как минимальное значение k_{st} по всем возможным поверхностям скольжения.

5.4.2 Для обеспечения безопасной эксплуатации автомобильной дороги устойчивость оползнеопасных естественных и искусственных склонов должна удовлетворять следующему условию:

$$k_{st} \geq [k_{st}], \quad (4)$$

где k_{st} , $[k_{st}]$ – соответственно расчетный и нормированный коэффициенты устойчивости оползнеопасного склона.

5.4.3 Определение расчетного значения коэффициента устойчивости склона может производиться как с использованием традиционных методов теории предельного равновесия (с разбиением оползневого массива на отсеки), так и упругопластическими расчетами численными методами с применением метода снижения прочностных характеристик.

Псевдостатический метод расчета устойчивости склона, основанный на отсековой модели оползневого склона и описанный в подразделе 5.5, рекомендуется для большинства встречающихся на практике случаев. Метод поворота склона, представленный в подразделе 5.6, допускается для оценки устойчивости наиболее простых по геологическому строению и морфологии склонов. Динамический метод, основанный на методе конечных элементов, описанный в подразделе 5.7, можно применить для наиболее сложных оползнеопасных участков, а при наличии необходимых исходных данных – в виде акселерограмм для рассматриваемого района строительства.

При определении расчетного значения коэффициента устойчивости рекомендуется учитывать тип оползня и характер поверхности скольжения.

5.4.4 Нормированное значение коэффициента устойчивости оползнеопасного склона согласно СП 116.13330.2012 определяется по формуле

$$[k_{st}] = \frac{\gamma_n \cdot \Psi}{\gamma_d}, \quad (5)$$

где γ_n – коэффициент надежности по ответственности автомобильной дороги;

γ_d – коэффициент условий работы.

При предварительных расчетах с использованием табличных данных (см. пункт 5.3.9) нормированное значение коэффициента устойчивости следует повышать не менее чем на 10 % по сравнению с величиной, полученной по формуле (5).

5.4.5 Коэффициент надежности по ответственности автомобильной дороги устанавливается в зависимости от ее класса и категории (или уровня ответственности) согласно ГОСТ 27751–2014, ГОСТ Р 52398–2005 и СП 14.13330.2014 и принимается по таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Коэффициент надежности по ответственности автомобильной дороги для расчетов устойчивости оползнеопасных склонов

Класс автомобильной дороги по ГОСТ Р 52398–2005	Категория автомобильной дороги	Уровень ответственности	Коэффициент надежности по ответственности
Автомагистраль	IA	Повышенный	1,25
Скоростная дорога	IB		1,20
	IV		
Дорога обычного типа	II	Нормальный	1,15
	III		
	IV	Пониженный	1,10
	V		

Класс, категория и уровень ответственности автомобильной дороги устанавливаются генпроектировщиком по согласованию с заказчиком в задании на проектирование или в специальных технических условиях (СТУ).

При расчетах устойчивости склонов, сохраняемых в естественном состоянии, или проектируемых откосов γ_n принимается как для автомобильной дороги, которая может перейти в непригодное состояние при разрушении склона.

При расчетах природных склонов следует принимать $\gamma_n = 1,0$ (например, при выполнении обратных расчетов с учетом сейсмической нагрузки).

5.4.6 Коэффициент сочетания нагрузок ψ при расчетах устойчивости оползнеопасных склонов при сейсмической нагрузке принимают равным 0,95 на уровне ПЗ и 0,9 на уровне МРЗ.

5.4.7 Коэффициент условий работы вводится для учета:

- динамического характера воздействий;
- возможности изменения свойств материалов со временем;
- степени точности исходных данных;
- приближенности расчетных схем и метода расчета устойчивости;
- видов грунтов, слагающих склон, и других факторов.

Значение коэффициента устанавливается в диапазоне $0,90 \leq \gamma_d \leq 1,00$ на усмотрение организации, выполняющей расчет устойчивости оползнеопасного склона на основе экспериментальных и теоретических данных, а также опыта подобных работ.

5.4.8 Сейсмические воздействия вызывают ускорения и силы инерции в грунтовом массиве и конструктивных элементах автомобильной дороги и относятся к динамическим воздействиям.

5.4.9 Для оценки реакции элементов автомобильной дороги и грунтов оползнеопасного склона при динамических воздействиях необходимо использовать соответствующие динамические модели. В этом случае параметры напряженно-деформированного состояния определяют динамическим расчетом. Динамические воздействия допускается приводить к эквивалентным статическим нагрузкам, учитывающим возникающие в сооружениях силы инерции.

5.4.10 Расчетные схемы оползнеопасных склонов должны отражать действительные условия их работы и соответствовать рассматриваемой расчетной ситуации.

5.4.11 Расчетная схема включает:

- расчетные модели нагрузок и воздействий;
- расчетные модели, описывающие напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов автомобильной дороги, оснований и оползневого массива;
- расчетные модели сопротивления.

5.4.12 Эти модели должны включать интенсивность (величину), место приложения, направление и продолжительность действия. Для динамических воздействий, кроме того, должны быть заданы характерные частоты и при необходимости фазовые углы и спек-

тральные характеристики (энергетический спектр, взаимные и автокорреляционные функции).

5.4.13 Расчетные модели напряженно-деформированного состояния должны включать определяющие соотношения, описывающие:

- реакцию сооружений (при их наличии) и их конструктивных элементов при динамических и статических нагрузках;
- условия взаимодействия конструктивных элементов между собой и с основанием.

При этом должны быть установлены:

- упругие или неупругие характеристики конструктивных элементов и основания;
- параметры, характеризующие геометрически линейную или нелинейную работу конструкций;
- физические и реологические свойства, эффекты деградации.

5.4.14 Расчетная схема должна выбираться с учетом наиболее существенных факторов, определяющих устойчивость склона (особенностей геологического строения и свойств грунтов основания, возможностей их изменения в процессе строительства и эксплуатации автомобильной дороги и т. д.). В необходимых случаях и при наличии соответствующих данных рекомендуется учитывать анизотропию, пластические и реологические свойства грунтов.

5.4.15 Инженерно-геологическая модель (схема) оползнеопасного склона – совокупность ИГЭ, каждый из которых должен быть охарактеризован инженерно-геологическими и гидрогеологическими признаками и наделен постоянными во всех направлениях нормативными и расчетными значениями физико-механических показателей грунтов.

5.5 Псевдостатический метод

5.5.1 Псевдостатический подход в оценке и прогнозе степени устойчивости оползнеопасных склонов автомобильных дорог основывается на применении теории предельного равновесия, рассматривающей предельное напряженное состояние грунтового массива. Расчет ведется в предположении статического действия сейсмических сил.

5.5.2 В расчетной модели учитывается ряд условных допущений:

- используется гипотеза затвердевшего тела (призма возможно смещения принимается в виде затвердевшего клина);
- рассматривается узкая полоса склона шириной 1 м; условия ее работы сохраняются для всего склона;

- задается определенная форма поверхности скольжения;
- в некоторых методах силы взаимодействия между отсеками, на которые разбивается оползневой блок, не учитываются;
- в отдельных случаях теория предельного равновесия применяется к грунтовому массиву, находящемуся в запредельном состоянии (при $k_{st} < 1$).

5.5.3 Для определения минимального значения коэффициента k_{st} должны быть рассмотрены все вероятные поверхности скольжения в зависимости от вида грунтов, слагающих массив, наличия зон ослабления и других факторов.

5.5.4 Массив грунта, ограниченный линией рельефа и поверхностью скольжения (оползневой блок или оползневой массив) разбивается вертикальными линиями на отсеки (рисунок 3). Отсеки выполняются такими, чтобы без потери точности можно было в их пределах принимать поверхность за плоскость, а состояние грунта, очертание склона, действие внешних сил и т. п. – практически однородными. При круглоцилиндрической поверхности скольжения количество отсеков и расстояния между их боковыми гранями выбираются таким образом, чтобы образованная подошвами отсеков ломаная линия достаточно близко соответствовала дуге окружности. В подошве отсека дуга линии скольжения при этом заменяется отрезком прямой. Как правило, ширина отсеков не должна превышать 5–6 м.

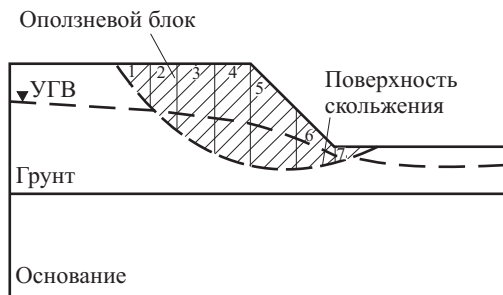
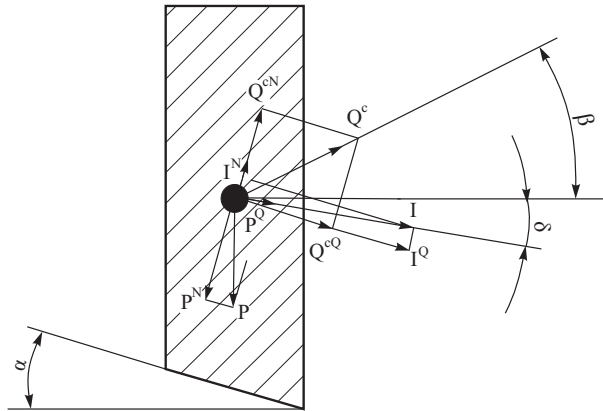


Рисунок 3 – Разбивка оползневого блока на отсеки (цифры соответствуют номерам отсеков)

5.5.5 Для каждого отсека рассматриваются действующие в нем силы (рисунок 4) в зависимости от метода расчета (в некоторых методах пренебрегают отдельными силами).

5.5.6 В общем случае сейсмическая сила Q_c может иметь любое направление в пространстве. Направление сейсмического воздействия

должно быть единым по длине всего оползневого блока (соответствующим направлению ускорения сейсмической волны). Рекомендуется принимать ее направление наиболее неблагоприятным.



Q_c – сейсмическая сила, кН; Q^{cN} – проекция сейсмической силы на ось, перпендикулярную подошве отсека, кН; Q^{cQ} – проекция сейсмической силы на ось, параллельную подошве отсека, кН; P – вес отсека, кН; P^N – проекция веса отсека на ось, перпендикулярную подошве отсека, кН; P^Q – проекция веса отсека на ось, параллельную подошве отсека, кН; I – фильтрационная сила, кН; I^N – проекция фильтрационной силы на ось, перпендикулярную подошве отсека, кН; I^Q – проекция фильтрационной силы на ось, параллельную подошве отсека, кН; α – угол наклона подошвы отсека к горизонтали, град; β , δ – углы наклона к горизонтали соответственно сейсмической и фильтрационной сил, град

Рисунок 4 – Схема сил, действующих в оползневом отсеке

Сейсмическое воздействие вызывает дополнительные вертикальные и горизонтальные силы в оползневом массиве. В большинстве случаев роль вертикальной составляющей сейсмической силы сравнительно мала и может не учитываться при оценке устойчивости. Поэтому, как правило, направление сейсмических сил принимается горизонтальным.

Для упрощения расчетов в запас прочности допускается принимать, что сейсмические силы в каждом отсеке оползневого блока направлены параллельно его основанию, т. е. совпадают с направлением сдвигающей силы в нем. В этом случае при разбивке оползне-

ОДМ 218.2.053–2015

вого блока на отсеки сейсмические силы учитываются в отдельности при рассмотрении каждого отсека (складывают их со сдвигающими силами).

5.5.7 При сплошном водонасыщении оползневого массива сейсмические силы следует учитывать не только от веса грунта, но аналогичным образом и от веса воды.

5.5.8 Величина результирующей сейсмической силы определяется по формуле

$$Q_i^c = \mu \cdot P_i, \quad (6)$$

где μ – коэффициент сейсмичности;

P_i – вес отсека, кН.

5.5.9 Коэффициент μ при расчете естественных склонов определяется по таблице 4 в зависимости от расчетной сейсмичности участка, а при расчете искусственных откосов (насыпи дорог) значения коэффициента из таблицы 4 следует (приближенно) увеличивать в 1,5 раза.

Т а б л и ц а 4 – Коэффициент сейсмичности

Расчетная сейсмичность, баллы	7	8	9
Коэффициент сейсмичности	0,025	0,050	0,100

5.5.10 Для обводненных пород вес отсека принимается без поправки на гидростатическое взвешивание.

5.5.11 Коэффициент устойчивости k_{st} с учетом сейсмического воздействия при отсутствии водоносных горизонтов в массиве пород определяется по формуле

$$k_{st} = \frac{\sum P_i (\cos \alpha_i - \mu \sin \alpha_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \ell_i \cdot 1m + \sum P_i \sin \alpha_i''}{\sum P_i \sin \alpha_i' + \sum P_i \mu \cos \alpha_i}, \quad (7)$$

где α_i' – угол наклона подошвы отсека для участков, где линия скольжения направлена в сторону падения поверхности уступа, град;

α_i'' – угол наклона подошвы отсека для участков, где линия скольжения имеет уклон, обратный падению поверхности уступа, град;

ℓ_i – длина подошвы отсека, м.

Примечания

1 Для непригруженных отсеков вес отсека

$$P_i = S_i \gamma_i \cdot 1\text{м}, \quad (8)$$

где S_i – площадь сечения отсека, м²;

γ_i – средний удельный вес в пределах отсека, кН/м³.

2 При наличии на поверхности отсека сооружений, оборудования, насыпей и других нагрузок их вес при определении суммируется с весом пород, слагающих отсек.

3 Величины α'_i и α''_i принимаются положительными; величина α_i при уклоне подошвы отсека в сторону падения уступа считается положительной, при обратном уклоне – отрицательной.

4 Множитель 1м введен в формулу в связи с тем, что рассматривается узкая полоса склона шириной 1 м.

5.5.12 В расчетах устойчивости оползнеопасных склонов, насыщенных полностью или частично грунтовыми водами, необходимо учитывать дополнительное воздействие вод. Вода оказывает взвешивающее воздействие на слагающие склон породы, изменяет физико-механические характеристики, уменьшая величину сопротивления сдвигу. При движении грунтовых вод проявляется фильтрационное давление. При наличии градиента (если наблюдается уклон поверхности свободного подземного потока или линии пьезометрического уровня для напорных вод) появляется падение напора, которое вызывается преодолением сопротивления течению воды в грунте. Это сопротивление в виде реакции создает фильтрационное давление.

5.5.13 Коэффициент устойчивости оползнеопасного склона автомобильной дороги с учетом сейсмического воздействия (вектор сейсмической силы принят направленным горизонтально) при наличии водоносных горизонтов в массиве пород, пересекаемых линией скольжения, следует определять по формуле

$$k_{st} = \frac{\sum [P'_i \cos \alpha_i + \gamma_B S_i^B k_i \sin(\delta_i - \alpha_i) \cdot 1\text{м} - P_i \mu \sin \alpha_i] \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i \ell_i \cdot 1\text{м} + \sum P'_i \sin \alpha''_i}{\sum P'_i \sin \alpha'_i + \sum \gamma_B S_i^B k_i \cos(\delta_i - \alpha_i) \cdot 1\text{м} + P_i \mu \cos \alpha_i}, \quad (9)$$

где P'_i – вес отсека с учетом гидростатического взвешивания (для отсеков, подошва которых находится в пределах водоносного горизонта), кН,

$$P'_i = (P_i - \gamma_B S_i^B \cdot 1\text{м});$$

γ_B – удельный вес воды, равный 10 кН/м³;

S_i^B – площадь сечения обводненной части отсека, м²;

k_i – гидравлический градиент в пределах отсека;

δ_i – угол наклона фильтрационной силы, град (величины δ_i при направлении фильтрационного потока в сторону падения уступа принимаются положительными, при обратном направлении потока – отрицательными).

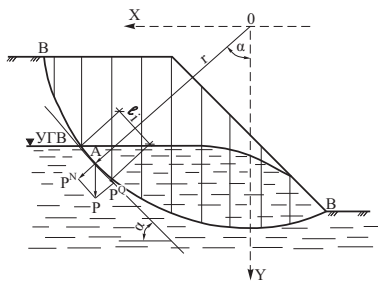
Примечания

1 Для отсеков, подошва которых залегает выше или ниже водоносного горизонта, в формуле (9) вместо значений P_i' следует подставлять величины P_i ; при этом $S_i^B = 0$.

2 Величина α_1 при уклоне подошвы отсека в сторону падения уступа принимается положительной, при обратном уклоне – отрицательной.

5.5.14 Пример расчета оползнеопасного склона по приведенному методу представлен в приложении А.

5.5.15 При круглоцилиндрической поверхности скольжения, кроме вышеуказанного метода сил, может быть использован метод моментов, в котором рассматривается вращение оползающего массива вокруг центра 0 (рисунок 5).



r – радиус вращения оползневого массива, м

Рисунок 5 – Схема оползневого массива для расчета по методу моментов

5.5.16 Координаты центра вращения 0 и радиус r определяются такими, чтобы отразить в расчете наиболее невыгодное положение принимаемой поверхности скольжения, при котором коэффициент устойчивости является минимальным. Положение центра 0 может быть установлено подбором путем проведения нескольких расчетов.

5.5.17 Расчетное значение коэффициента устойчивости k_{st} при этом определяется по формуле

$$k_{st} = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{вр}}, \quad (10)$$

ОДМ 218.2.053–2015

- соотношение нормальной и касательной межотсековых сил подчиняется функции $f(x)$, где x – относительная координата грани отсека.

5.5.21 Для расчета устойчивости оползнеопасного склона следует определить:

- коэффициент устойчивости из условия равновесия сил k_{st}^f

$$k_{st}^f = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i \ell_i + (N_i - u_i \ell_i) \operatorname{tg} \varphi_i] \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n N_i \sin \alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{i=1}^n D_i \sin \omega_i}; \quad (11)$$

- коэффициент устойчивости из условия равновесия моментов сил k_{st}^m

$$k_{st}^m = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i \ell_i + (N_i - u_i \ell_i) \operatorname{tg} \varphi_i] R_i'}{\sum_{i=1}^n N_i f_i + \sum_{i=1}^n P_i x_i + \mu_v \sum_{i=1}^n P_i x_i + \mu_h \sum_{i=1}^n P_i e_i + \sum_{i=1}^n D_i d_i}; \quad (12)$$

- силу нормальной реакции в основании отсеков N_i , кН,

$$N_i = \frac{P_i + \mu_v P_i - (V_i^R - V_i^L) + \frac{u_i \operatorname{tg} \varphi_i - c_i}{k_{st}^{f(m)}} \ell_i \sin \alpha_i + D_i \cos \omega_i}{\cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i}{k_{st}^{f(m)}}}; \quad (13)$$

- силу нормальной реакции в основании отсеков (без учета межотсековых сил) N_i^{yup} , кН,

$$N_i^{yup} = P_i \cos \alpha_i + \mu_v P_i \cos \alpha_i - \mu_h P_i \sin \alpha_i + D_i \cos(\alpha_i + \omega_i); \quad (14)$$

- касательную межотсековую силу по граням отсеков V , кН,

$$V = H \lambda f(x); \quad (15)$$

- нормальную межотсековую силу по граням отсеков H_i^R , кН,

$$H_i^R = H_i^L + N_i \left(\sin \alpha_i - \frac{\operatorname{tg} \varphi_i \cos \alpha_i}{k_{st}^{f(m)}} \right) + \frac{u_i \operatorname{tg} \varphi_i - c_i}{k_{st}^{f(m)}} \ell_i \cos \alpha_i + \mu_h P_i + D_i \sin \omega_i; \quad (16)$$

- сдвигающее усилие по поверхности S_m , кН,

$$S_m = [(N - u \ell_i) \operatorname{tg} \varphi + c \ell_i] / k_{st}^{f(m)}, \quad (17)$$

где i – номер рассматриваемого отсека;

n – общее количество отсеков;

Постоянную функцию рекомендуется применять для протяженных оползней, функцию полусинусоиды – для оползней с поверхностью скольжения круглоцилиндрической (близкой к круглоцилиндрической) формы.

5.5.25 Допускается использовать иные общепринятые методы расчета коэффициента устойчивости склона с псевдостатическим заданием сейсмического воздействия, описанные, например, в СП 11–105–97 (часть II), рекомендациях [3].

5.6 Метод поворота склона

5.6.1 К инженерным методам расчета устойчивости оползнеопасных склонов на основании псевдостатического подхода к заданию сейсмического воздействия, кроме непосредственно псевдостатического метода, рассмотренного в подразделе 5.5, относится метод поворота склона или метод Р.Р. Чугаева.

5.6.2 Для учета сейсмического воздействия по методу Р.Р. Чугаева рассчитываемый оползневой блок целиком поворачивают на угол отклонения результирующей объемной силы (равной равнодействующей веса отсека и силы сейсмического воздействия) от вертикали. При этом результирующая объемная сила становится вертикальной. Таким образом, поверхность склона DC (рисунок 7) вместе с заданной дугой обрушения AB (и границами ab , cd и т. д., разделяющими инженерно-геологические элементы, если таковые границы в пределах оползневой блока имеются) необходимо повернуть относительно точки C на величину сейсмического угла θ_c .

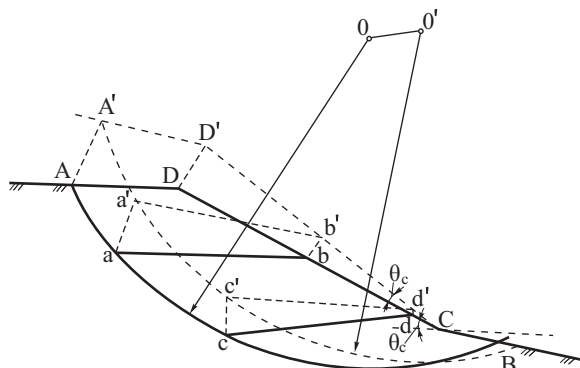
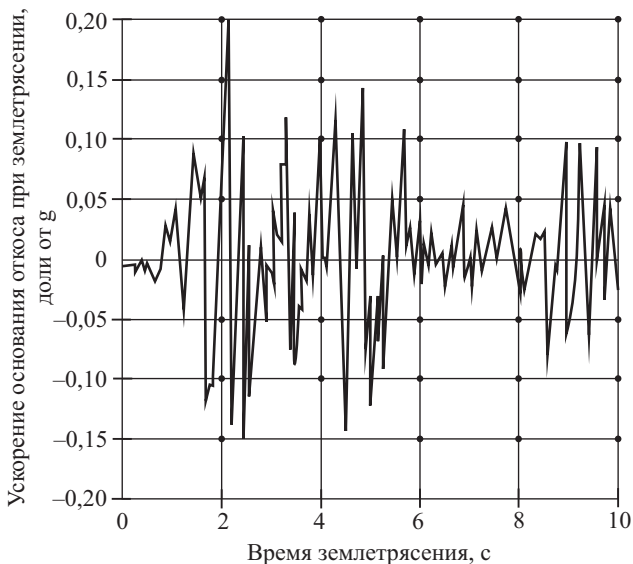


Рисунок 7 – Схема поворота оползневой склона (при отсутствии грунтовых вод)



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

Рисунок 10 – Пример акселерограммы для расчета устойчивости оползнеопасного склона динамическим методом

5.7.3 Шаг времени акселерограммы должен быть таким, чтобы включать время пиковых и внезапных изменений. Для особо ответственных участков автомобильных дорог рекомендуется выполнять расчет несколько раз для разных интервалов временного шага, чтобы определить влияние временных интервалов на устойчивость склона.

5.7.4 Динамический анализ базируется на конечно-элементном решении уравнения движения следующего вида:

$$[K] \, d + [D] \, v + [M] \, a = F, \quad (23)$$

где $[K]$ – матрица жесткости;

$\{d\}$ – вектор узловых перемещений;

$[D]$ – матрица затухания колебаний;

$\{v\}$ – вектор узловых скоростей;

$[M]$ – матрица масс (распределенных и сосредоточенных);

$\{a\}$ – вектор узловых ускорений;

$\{F\}$ – вектор узловых сил.

5.7.5 Динамические усилия прикладываются ко всем узлам в сетке конечных элементов, т. е. ускорение прикладывается ко всем массам области грунта.

5.7.6 Расчет устойчивости склона на основе динамического анализа выполняется в следующей последовательности:

- на первом шаге (статическом анализе) решается задача определения напряжений и деформаций, действующих в массиве грунтов в естественном состоянии;

- на втором шаге (динамическом анализе) решается задача определения напряжений и деформаций при прохождении в массиве грунтов сейсмических волн; расчет, полученный в результате статического анализа, является начальным условием для проведения динамического анализа.

Полученные результаты используются при расчете коэффициента устойчивости склона.

5.7.7 При расчете устойчивости склонов динамическим методом рекомендуется учитывать влияние разжижения грунта.

5.7.8 При численном моделировании нижняя граница расчетной области, как правило, ограничивается скальным основанием, а боковые границы требуют принятия специальных ограничений перемещений.

5.7.9 Вектор узловых сил может быть составлен из различных сил

$$\{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} + \{F_g\}, \quad (24)$$

где $\{F_b\}$ – собственный вес грунта;

$\{F_s\}$ – силы поверхностного давления;

$\{F_n\}$ – сосредоточенная узловая сила;

$\{F_g\}$ – нагрузка от сейсмических колебаний.

5.7.10 Матрица масс $[M]$ может быть определена в виде матрицы распределенных масс

$$M] = \int_v \rho [\psi] dV, \quad (25)$$

или матрицы сосредоточенных масс

$$[M] = \int_v \rho \langle N \rangle^T \langle N \rangle dV, \quad (26)$$

где $\langle N \rangle$ – вектор функции формы для элемента;

$[\psi]$ – диагональная матрица коэффициентов распределения массы;

T– математическая функция транспонирования матрицы;

dV – объем элемента.

5.7.11 Матрица затухания колебаний $[D]$ определяется как сумма линейной матрицы массы $[M]$ и матрицы жесткости $[K]$

$$[D] = \alpha'''[M] + \beta'[K], \quad (27)$$

где α''' и β' – Рэлеевские коэффициенты демпфирования, величины скалярные, связаны с коэффициентом демпфирования η соотношением

$$\eta = \frac{\alpha + \beta(\omega')^2}{2\omega'}, \quad (28)$$

где ω' – частота колебаний, рад/с.

5.7.12 Матрица жесткости определяется следующим образом:

$$[K] = \int_V [B]^T [C] [B] dV, \quad (29)$$

где $[B]$ – матрица деформаций;

$[C]$ – матрица упругости.

5.7.13 Вектор деформаций $\{\varepsilon\}$ определяется из следующего выражения:

$$\{\varepsilon\} = [B] \begin{Bmatrix} u' \\ v' \end{Bmatrix}, \quad (30)$$

где u' , v' – узловые перемещения соответственно в направлениях по оси X и Y.

Вектор деформации также определяется составляющими

$$\varepsilon \} = \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{array} \right\}, \quad (31)$$

где ε_x , ε_y , ε_z – относительные линейные деформации;

γ_{xy} – угловые сдвиги деформации.

5.7.14 Для задачи плоской деформации ε_z равен нулю, и матрица деформаций имеет вид

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \end{bmatrix}. \quad (32)$$

5.7.15 В соответствии с теорией упругости основная формула зависимости напряжений и деформаций приведена ниже

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}, \quad (33)$$

$$\text{где } [C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}; \quad (34)$$

E – модуль Юнга (модуль упругости при растяжении), МПа;
 ν – коэффициент Пуассона.

5.7.16 Напряжения вычисляются в каждой точке сетки конечных элементов с помощью матрицы $[C]$ следующим образом:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (35)$$

где τ_{xy} – касательное напряжение в плоскости XOY в центре основания отсека, кПа, (рисунок 11).

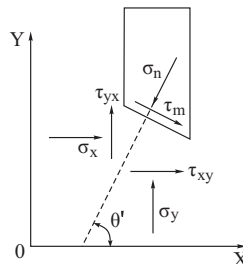


Рисунок 11 – Напряжения в основании отсека ($\tau_{xy} = \tau_{yx}$)

5.7.17 В результате преобразования формул (34) и (35) формула для определения напряжений и деформаций имеет вид

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (36)$$

5.7.18 Коэффициент устойчивости k_{st} определяется в каждый момент времени землетрясения по формуле

$$k_{st} = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}, \quad (37)$$

где $\sum S_r$ – суммарная сдвиговая прочность грунта по поверхности скольжения, кН;

$\sum S_m$ – сумма сдвигающих усилий по поверхности скольжения, кН.

5.7.19 Расчет сдвигающей S_m и удерживающей S_r сил в каждом отсеке производится по формулам

$$S_r = \tau_r l_i; \quad (38)$$

$$S_m = \tau_m l_i, \quad (39)$$

где τ_r – сдвиговая прочность грунта, кПа;

τ_m – касательное напряжение в середине основания отсека, кПа.

5.7.20 Расчет τ_r в середине основания отсека производится с использованием критерия прочности Кулона – Мора

$$\tau_r = (\sigma_n - u) \operatorname{tg} \phi + c, \quad (40)$$

где σ_n – нормальное напряжение в середине основания отсека, кПа.

5.7.21 Расчет нормального σ_n и касательного τ_m напряжений в середине основания каждого отсека производится с использованием следующих формул:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta' + \tau_{xy} \sin 2\theta'; \quad (41)$$

$$\tau_m = \tau_{xy} \cos 2\theta' - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta', \quad (42)$$

где σ_x – полное напряжение в направлении оси X в середине основания отсека, кПа;

σ_y – полное напряжение в направлении оси Y в середине основания отсека, кПа;

θ' – угол между положительным направлением оси X и направлением приложения нормального напряжения, град.

Допускается также определять коэффициент устойчивости склона с учетом сейсмического воздействия без разбиения оползневого массива на отсеки исходя из величин нормального и касательного напряжений на элементарных площадках вдоль потенциальной кривой скольжения или методом снижения прочностных характеристик.

Приложение А (справочное)

Пример расчета устойчивости оползнеопасного склона псевдостатическим методом

А.1 Оценку устойчивости оползнеопасного склона автомобильной дороги выполняем псевдостатическим методом в соответствии с подразделом 5.5.

А.2 Исходные данные. Склон сложен оползневыми накоплениями, а его подошва (плоскость скольжения, рисунок А.1) является поверхностью ослабления. Угол внутреннего трения по поверхности ослабления составляет $\varphi = 10^\circ$ ($\operatorname{tg}\varphi = 0,176$), а сцепление «с» = 10 кПа. В оползневых накоплениях имеется безнапорный водоносный горизонт; уровень подземных вод, подошва горизонта находятся на больших глубинах ниже подошвы оползневых накоплений. Удельный вес оползневых накоплений составляет $\gamma = 17,2 \text{ кН/м}^3$ как в пределах водоносного горизонта, так и выше уровня подземных вод. Склон находится в районе с сейсмичностью 9 баллов.

А.3 Расчет коэффициента устойчивости оползнеопасного склона псевдостатическим методом осуществляется следующим образом. Разбиваем массив оползневых накоплений на пятнадцать отсеков № 1–15, отличающихся по значению угла наклона своей подошвы к горизонтали α_i и углу наклона фильтрационной силы к горизонтали δ_i (см. рисунок А.1). Для каждого отсека определяем площадь сечения S_i , площадь обводненной части S_i^b и длину

подошвы l_i . Полученные данные сводим в таблицу А.1. Вычисляем полный вес отсека $P_i = S_i \gamma$ и вес отсека с учетом гидростатического взвешивания $P_i' = P_i - \gamma_b S_i^b \cdot l_i$ (где $\gamma_b = 10 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес воды), а также величины сдвигающих $P_i' \sin \alpha_i$ и нормальных усилий $P_i' \cos \alpha_i$, создаваемых по подошве отсека весом вышележающих пород.

Поскольку оползневые накопления попадают в самую верхнюю часть водоносного горизонта, принимаем, что для всех обводненных отсеков уклон равнодействующей фильтрационного давления равен уклону уровня подземных вод, а величина гидравлического градиента равна $k_i = \sin \delta_i$. В соответствии с формулой (9) находим для каждого обводненного отсека нормальную I_i^N и тангенциальную I_i^Q составляющие фильтрационного давления, где $I_i^N = \gamma_b S_i^b k_i \sin(\delta_i - \alpha_i) \cdot l_i$ и $I_i^Q = \gamma_b S_i^b k_i \cos(\delta_i - \alpha_i) \cdot l_i$.

Сейсмические силы вычисляем в соответствии с формулой (9). При этом вес отсеков P_i определяется без учета гидростатического взвешивания, а коэффициент сейсмичности μ для расчетной сейсмичности 9 баллов по таблице 4 равен 0,1.

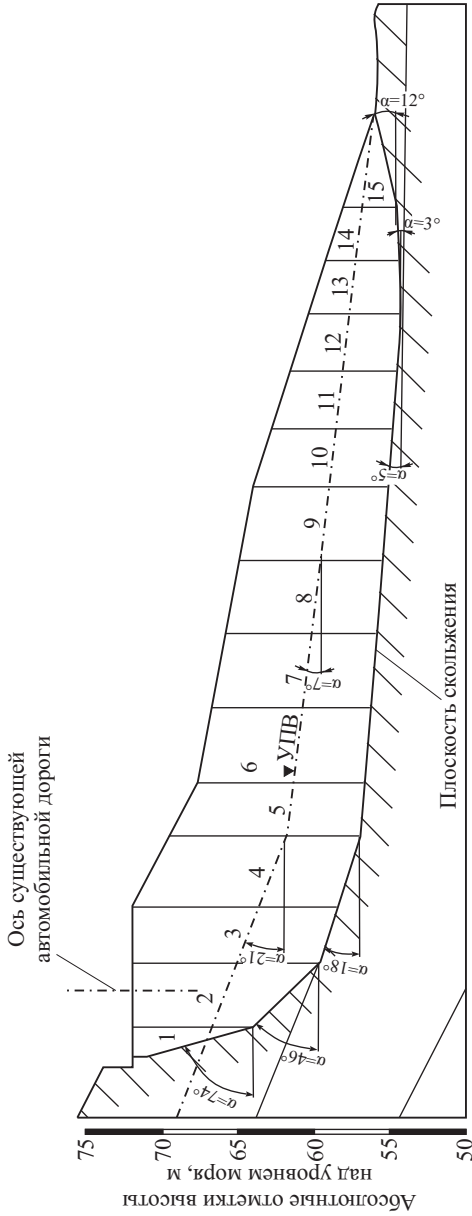


Рисунок А.1 – Схема к расчету устойчивости оползнеопасного склона псевдостатическим методом (цифры соответствуют номерам отсеков)

Таблица А.1 – Результаты расчета устойчивости оползнеопасного склона в сейсмическом районе

№ отсеска	α_i , град	β_i , град	S_i , м ²	S_i^b , м ²	P_i^b , кН	P_i , кН	ℓ_i , м	$(\beta_i - \alpha_i)$, град	$P_i^b \sin \alpha_i$ ($P_i^b \sin \alpha_i^b$), кН	$P_i^b \cos \alpha_i$, кН	Γ_i^N , кН	Γ_i^D , кН	$P_i \sin \alpha_i$, кН	$P_i \cos \alpha_i$, кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	74	21	8,80	1,09	148,2	137,3	7,4	-53	132,0	37,9	-3,07	2,31	14,25	4,09
2	46	21	42,43	16,66	715,2	548,6	6,0	-25	394,6	381,1	-24,73	53,03	51,45	49,68
3	18	21	47,55	19,19	801,5	609,6	3,89	3	188,4	579,7	3,53	67,31	24,77	76,22
4	18	21	60,97	23,15	1027,7	796,2	4,94	3	246,0	757,2	4,25	81,18	31,76	97,74
5	5	7	40,97	16,48	690,5	525,8	3,52	2	45,8	523,8	0,69	19,67	6,02	68,79
6	5	7	52,22	22,23	880,3	658,0	4,92	2	57,3	655,5	0,93	26,53	7,67	87,69
7	5	7	49,68	21,25	837,3	624,8	4,92	2	54,5	622,5	0,89	25,36	7,30	83,41
8	5	7	46,79	20,13	788,7	587,4	4,88	2	51,2	585,2	0,84	24,02	6,87	78,57
9	5	7	44,31	19,18	746,8	555,1	4,88	2	48,4	553,0	0,80	22,89	6,51	74,40
10	5	7	31,84	14,28	536,7	393,9	3,81	2	34,3	392,4	0,60	17,04	4,68	53,47
11	5	7	28,37	13,71	478,2	341,1	3,81	2	29,7	339,8	0,57	16,36	4,17	47,64
12	5	7	24,87	13,12	419,2	288,0	3,81	2	25,1	286,9	0,55	15,66	3,65	41,76

13	-3	7	19,01	10,76	320,4	212,9	3,51	10	(-11,1)	212,6	2,23	12,65	-1,68	32,00
14	-3	7	14,44	8,32	243,3	160,2	3,51	10	(-8,4)	159,9	1,72	9,78	-1,27	24,30
15	-12	7	11,28	7,04	190,2	119,7	6,65	19	(-24,9)	117,1	2,74	7,95	3,95	18,60
		Сумма					70,42	$\sum P'_i \sin \alpha'_i$	1307,4	6204,5	-7,49	401,8	162,2	838,4
								$\sum P'_i \sin \alpha''_i$	44,42					

Определяем коэффициент устойчивости k_{st} в соответствии с формулой (9)

$$k_{st} = \frac{\sum [P'_i \cos \alpha_i + I_i^N - P_{i,\mu} \sin \alpha_i] \operatorname{tg} \varphi + \sum c_i \cdot \ell_i \cdot 1m + \sum P'_i \sin \alpha''_i}{\sum P'_i \sin \alpha'_i + I_i^Q + \sum P_{i,\mu} \cos \alpha_i} =$$

$$= \frac{(6204,5 + (-7,49) - 162,2) \cdot 0,176 + 10 \cdot 70,42 + 44,42}{1307,4 + 401,8 + 838,4} = 0,713.$$

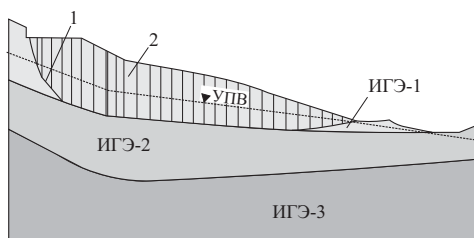
А.4 Таким образом, в результате получен расчетный коэффициент устойчивости оползнеопасного склона k_{st} для условий сейсмического воздействия по псевдостатическому методу. Данный коэффициент свидетельствует о необходимости укрепления рассматриваемого склона.

Приложение Б (справочное)

Пример расчета устойчивости оползнеопасного склона динамическим методом

Б.1 Оценку устойчивости оползнеопасного склона автомобильной дороги выполняем динамическим методом в соответствии с подразделом 5.7.

Б.2 Исходные данные. Склон сложен оползневыми накоплениями, а их подошва (плоскость скольжения, рисунок Б.1) является поверхностью ослабления. Физико-механические характеристики грунтов, слагающих склон, представлены в таблице Б.1. В оползневых накоплениях имеется безнапорный водоносный горизонт; уровень подземных вод, подошва горизонта находятся на больших глубинах ниже подошвы оползневых накоплений. Удельный вес оползневых накоплений постоянен как в пределах водоносного горизонта, так и выше уровня подземных вод. Склон находится в районе с сейсмичностью 9 баллов.



1 – поверхность скольжения; 2 – оползневой блок

Рисунок Б.1 – Схема к расчету устойчивости оползнеопасного склона
динамическим методом

Т а б л и ц а Б.1 – Физико-механические характеристики грунтов

Наименования показателя	Условное обозначение	Единица измерения	Величина показателя		
			ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3
Удельный вес грунта	γ	кН/м ³	17,2	19,2	20,9
Угол внутреннего трения	φ	град	10	16	27
Удельное сцепление	«с»	кПа	10	25	430
Модуль Юнга	E	МПа	9,6	10,7	64
Коэффициент Пуассона	μ	-	0,452	0,42	0,353
Модуль сдвига максимальный	G_{\max}	кПа	5000	5000	5000
Коэффициент демпфирования	ξ	-	0,1	0,1	0,1

Б.3 Расчет производился по заданной поверхности скольжения в программе GeoStudio в модуле SLOPE/W на основании данных из модулей SIGMA/W и QUAKE/W без учета влияния разжижения грунтов. Сейсмические влияния разжижения грунтов. Сейсмические силы вычислены в соответствии с заданной акселерограммой (рисунок Б.2), отмасштабированной по пиковому значению ускорения до значений, соответствующих расчетной сейсмичности.

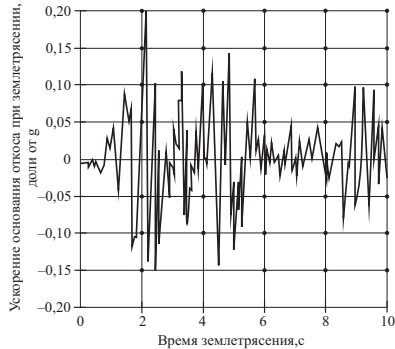
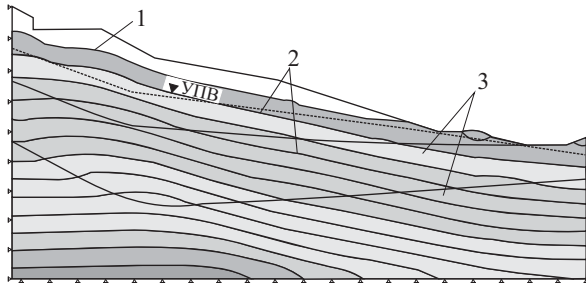


Рисунок Б.2 – Акселерограмма, использованная при расчете устойчивости оползнеопасного склона динамическим методом

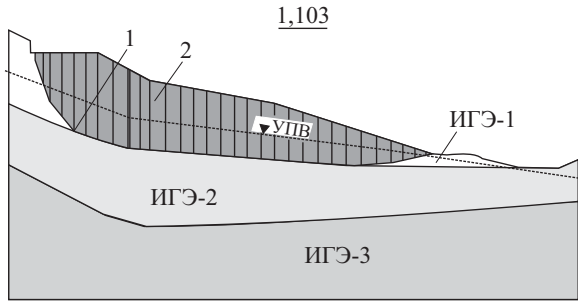
Б.4 В соответствии с пунктом 5.7.6 был произведен статический расчет склона, получены начальные напряжения (рисунок Б.3), которые использовались для последующего динамического расчета.



- 1 – поверхность земли;
- 2 – изолинии полных напряжений;
- 3 – границы ИГЭ

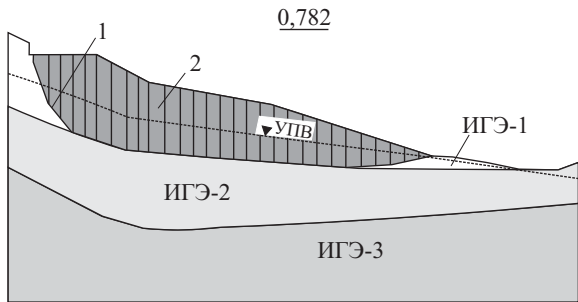
Рисунок Б.3 – Эпюра максимальных полных напряжений в грунтовом массиве при статическом расчете

Коэффициент устойчивости склона на основании статического расчета составил 1,103 (рисунок Б.4).



1 – поверхность скольжения; 2 – оползневой блок
Рисунок Б.4 – Призма обрушения при потере устойчивости оползнеопасного склона ($k_{st} = 1,103$). Статический расчет

Б.5 Минимальный коэффициент устойчивости был достигнут на временной отметке 5,8 с во время динамического расчета и составил 0,782 (рисунок Б.5).



1 – поверхность скольжения; 2 – оползневой блок
Рисунок Б.5 – Призма обрушения при потере устойчивости оползнеопасного склона ($k_{st} = 0,782$). Динамический расчет

Б.6 Таким образом, при динамическом воздействии рассматриваемый склон «перешел» в неустойчивое состояние. Для обеспечения безопасности эксплуатации автомобильной дороги необходимо укрепление оползнеопасного склона посредством устройства противооползневых сооружений.

Библиография

- [1] МДС 22–1.2004 Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений

- [2] Метод лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости немерзлых песчаных и глинистых грунтов при динамических нагрузках. Метод. пособие, 1992

- [3] ОДМ 218.2.006–2010 Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог

ОКС 93.080.99

Ключевые слова: сейсмическая устойчивость склона, коэффициент устойчивости, оползень, сейсмичность, коэффициент сейсмичности, псевдостатический метод расчета, динамический метод расчета, акселерограмма, динамические свойства грунтов

Руководитель организации-разработчика
ООО «НТЦ ГеоПроект»

Директор _____ С.И. Маций

Редактор *М.Н. Захарова*
Корректор *О.П. Вьюнова*
Компьютерная верстка *Е.Н. Муροхина*
Компьютерная графика *Т.Б. Рябинкина*

Подписано в печать 24.11.2017 г. Формат бумаги 60x84 1/16.
Уч.-изд. л. 3,6. Печ. л. 4,0. Тираж 300.

Адрес ФГБУ «ИНФОРМАВТОДОР»:
129085, г. Москва, Звёздный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел.: +7 (495) 747-91-00, 747-91-05
E-mail: sif@infad.ru
Сайт: информавтодор.рф