ОДМ 218.2.006-2010

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ (ОТКОСОВ) И ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2010

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

30.03.2011 г. Москва № 249-р

Об издании и применении ОДМ 218.2.006-2010 «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог»

В целях реализации в дорожном хозяйстве основных положений Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и обеспечения дорожных организаций методическими рекомендациями по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог:

1. Структурным подразделениям центрального аппарата Росавтодора, федеральным управлениям автомобильных дорог, управлениям автомобильных магистралей, межрегиональным дирекциям по строительству автомобильных дорог федерального значения, территориальным органам управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации рекомендовать к применению с 01.04.2011 ОДМ 218.2.006-2010 «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог» (далее – ОДМ 218.2.006-2010).

2. Управлению научно-технических исследований, информационного обеспечения и ценообразования (В.А. Попов) в установленном порядке обеспечить издание и направление ОДМ 218.2.006-2010 в подразделения и организации, указанные в п.1 настоящего распоряжения.

3. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на заместителя руководителя Н.В. Быстрова.

Руководитель А.М. Чабунин

Пустынный А.А. 687-88-43

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. РАЗРАБОТАН обществом с ограниченной ответственностью «*ГеоПроект*» (ООО «*ГеоПроект*»). Руководитель работ – Маций С.И., доктор техн. наук, профессор. Документ разработан кандидатами техн. наук Деревенцом Ф.Н. и Безугловой Е.В. с учетом замечаний и предложений кандидата техн. наук, доцента Ещенко О.Ю.

2. ВНЕСЕН Управлением строительства и проектирования автомобильных дорог Федерального дорожного агентства (РОСАВТОДОР).

3. ИЗДАН на основании _____.

4. ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5. ВВОДИТСЯ ВПЕРВЫЕ.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Отраслевой дорожный методический документ «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог» (далее – методический документ) является актом рекомендательного характера.

Настоящий методический документ распространяется на расчеты устойчивости оползневых и оползнеопасных склонов, а также расчеты оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог с учетом многоярусного расположения конструкций, инженерно-геологических особенностей региона Северного Кавказа, а также высокой сейсмичности силой до 10 баллов.

В методическом документе приведены указания по выбору исходных данных, методике и оценке результатов расчетов устойчивости и оползневых давлений.

Методический документ предназначен для применения в области проектирования, обследования и экспертной оценки устойчивости оползневых и оползнеопасных откосов и склонов, а также оползневых давлений на существующие и проектируемые конструкции инженерной защиты автодорог.

2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем методическом документе применяются следующие термины с соответствующими определениями, обозначениями и сокращениями:

Склон – наклонный участок поверхности земли, сформированный в результате действия рельефообразующих процессов или инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Откос – вертикальный или круто-наклонный участок поверхности земли, сформированный в результате рельефообразующих процессов или инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Оползневой склон – склон, на котором происходят или происходили в недавнем прошлом оползневые деформации пород.

Оползнеопасный (потенциально оползневой) склон – склон, на котором оползневые деформации на момент обследования отсутствуют и отсутствовали в прошлом, но могут проявиться под воздействием естественных или техногенных факторов.

Однородный склон – склон, сложенный однородной грунтовой толщей или состоящий из одного инженерно-геологического элемента.

Неоднородный склон – склон, сложенный несколькими слоями различных по свойствам грунтов или состоящий из нескольких инженерно-геологических элементов

Инженерно-геологический элемент – некоторый объем грунта одного и того же происхождения и вида при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно), либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь.

Опасные инженерно-геологические процессы – геологические и инженерно-геологические процессы, представляющие опасность для объектов хозяйственной деятельности и жизни человека (оплывины, оползни, осыпи, обвалы, линейная и поверхностная эрозия склонов, сейсмические явления и т. д).

Оползень – масса горных пород, сползшая или сползающая вниз по склону или откосу под влиянием гравитационных сил, гидродинамического давления, а также в результате дополнительных силовых воздействий (сейсмические ускорения, пригрузка склона или бровки откоса и т. п.).

Голова оползня – верхняя по склону часть оползневого грунтового массива.

Язык оползня – нижняя по склону часть оползневого грунтового массива.

Поверхность скольжения – поверхность, по которой смещается оползневой грунтовый массив.

Предоползневая стадия – стадия подготовки оползня, накапливание условий, достаточных для свершения оползневой подвижки образующих склон пород.

Оползневая стадия – стадия активного смещения пород склона (откоса) и постепенного затухания подвижек.

Временная стабилизация – стадия приостановки оползневых смещений в результате вновь приобретенной устойчивости оползневого склона.

Коэффициент устойчивости (запаса устойчивости) – числовая величина, отражающая степень устойчивости склона. Если коэффициент больше единицы, склон (откос) считается устойчивым. Величина коэффициента меньше единицы соответствует нарушению устойчивого состояния склона и наступлению оползневой стадии. Коэффициент приблизительно равный единице означает состояние предельного равновесия грунтового массива, как правило, предшествующего оползневой стадии.

Нормативный коэффициент устойчивости (требуемый, допустимый) – минимальный допустимый коэффициент устойчивости склона (откоса) с учетом всех возможных погрешностей исходных данных и средств математической их обработки для оценки степени устойчивости склонов.

Оползневое давление – результирующая сила давления грунтов (распределенного по глубине оползневого или оползнеопасного массива) на удерживающее сооружение, определяемая как погонная нагрузка по ширине оползня (*кН/пог. м*).

Поровое давление – гидростатическое давление подземных вод в порах грунта в условиях его полного дренирования.

Метод «обратных» расчетов – способ уточнения или получения характеристик грунтов на основе предполагаемой величины степени устойчивости откоса или склона.

Противооползневые мероприятия – комплекс мер по повышению степени устойчивости и защите склонов и расположенных на них объектов от существующих и/или прогнозируемых оползневых явлений, включающий следующие сооружения и работы:

- регулирование баланса земляных масс на склоне,
- регулирование поверхностного и подземного стока посредством устройства водоотводных и дренажных и противофильтрующих конструкций,
- устройство противоэрозионных конструкций,
- возведение удерживающих сооружений глубокого заложения, подпорных и подпорно-планировочных стен и др.

Удерживающие сооружения (конструкции) глубокого заложения – свайные, свайно-анкерные и анкерные сооружения, предназначенные для компенсации недостатка удерживающих и/или избытка сдвигающих усилий в оползневом массиве с учетом всех существующих и прогнозируемых неблагоприятных условий и их сочетаний.

Подпорные стены – стены, предназначенные для удержания вертикальных или незначительно наклонных уступов на склоне.

Противооползневые подпорные стены – подпорные стены, предназначенные для восприятия откосного и незначительного оползневого давления. Применяются как правило в сочетании с другими видами удерживающих сооружений.

Подпорно-планировочные стены – подпорные стены, преимущественно предназначенные для защиты поверхности уступов на склоне от выветривания и осыпания и/или архитектурного оформления.

Противоэрозионные мероприятия – материалы, конструкции и работы, направленные на защиту грунтов склона от поверхностной (смыв и размыв грунта, образование промоин) и глубинной эрозии.

3. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем методическом документе использованы ссылки на следующие документы:

1. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы, габариты приближения. – Введ. 2007-09-24 – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.
2. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. – М.: Госстрой России, 2000.
3. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: Минстрой России, 1996.
4. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. – М.: Росстрой, 2004.
5. СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы. – М.: Минстрой России, 1996.
6. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. – М.: Минстрой России, 1996.
7. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. – Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.
8. Инструкция по проектированию защиты от оползней населенных пунктов, зданий и сооружений / Министерство ЖКХ РСФСР. – М.: 1976.
9. Методические рекомендации по проектированию и строительству поддерживающих сооружений земляного полотна автомобильных дорог в оползневых районах на базе буронабивных свай и анкерных креплений / СоюзДорНИИ. – М.: 1988 – 72 с. – УДК 624.159.2.001.24:624.21 (083.171).
10. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления / Министерство монтажных и специальных строительных работ УССР. – М.: Центральное бюро научно-технической информации, 1986.
11. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984.
12. Krahn, J. Stability modeling with Slope/W. An engineering methodology. First Edition. Revision 1 / J. Krahn // Calgary, Alta: Geo-Slope International Ltd., 2004.

4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. Основные указания

4.1.1. Анализ устойчивости оползневого склона с привлечением расчетных методов должен выполняться как составной элемент комплексной инженерно-геологической оценки и прогноза устойчивости оползневого склона в естественных условиях и с учетом намечаемого его использования.

4.1.2. При недостаточной инженерно-геологической обоснованности расчетных схем и без исчерпывающего предоставления о достоверности использованных в расчете величин расчетных параметров прочностных и деформационных свойств грунтов, выполнять расчеты устойчивости оползневого склона не следует.

4.1.3. Оценка устойчивости склона (откоса), а также защищаемых объектов на склоне или в его среде должна включать:

- сбор исходных данных;
- выбор расчетных створов;
- составление расчетной схемы;
- определение (уточнение) расчетных параметров грунтов;
- выбор метода расчета в соответствии с зафиксированным (предполагаемым) механизмом оползня, природными и техногенными условиями;
- выполнение и анализ результатов расчетов устойчивости;
- определение и построение эпюр оползневого давления;
- рекомендации по мероприятиям инженерной защиты.

4.2. Требования к составу, объему и качеству изысканий

4.2.1. Объем, содержание и сроки инженерных изысканий зависят от стадии проектирования, сложности природных условий, категории дороги.

4.2.2. Инженерные изыскания выполняются с соблюдением требований СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»; СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».

4.2.3. Основные виды инженерных изысканий включают: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические.

4.2.4. Инженерно-геодезические изыскания должны содержать:

- топографические планы;
- продольные и поперечные профили проектируемых и существующих трасс автомобильных дорог; направление поперечников должно сов-

падать с направлением наибольшего падения уклона рельефа местности.

Рекомендуемые параметры инженерно-геодезических работ приведены в таблице. 1.

4.2.5. Инженерно-геологические изыскания должны содержать:

- анализ архивных материалов с целью рассмотрения вариантов прокладки трассы (обход существующих оползневых зон, возможность строительства тоннелей, галерей, эстакад), а также учета опыта эксплуатации автомобильных дорог в аналогичных инженерно-геологических условиях;

Таблица 1 – Основные значения параметров по видам изыскательских работ

Вид изыскательских работ	Стадия проектирования								
	Обоснование инвестиций (ОИ)			Проектная документация (ПД)			Рабочая документация (РД)		
	Категория дороги			Категория дороги			Категория дороги		
	IA…IB, II	III-IV	V	IA…IB, II	III-IV	V	IA…IB, II	III-IV	V
1	2			3			4		
Масштаб топографической съемки	1:1000			1:500			1:200	1:500	1:500
Количество створов вдоль направления смещения оползня	На наиболее характерных формах рельефа оползня и за его пределами			1 по оси оползня			3 – по оси оползня, вдоль правого и левого бортов; или с расстоянием между створами 30-50 м		1 – по оси оползня, 1 – по борту оползня
Поперечные створы (по ширине оползня): количество на оползне	–			–			1-3 – в головной, средней и языковой частях оползня		–

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Количество выработок в створе	По СНиП 11-02-96	Не менее одного на каждом крупном (более 30 м) элементе оползневого рельефа (оползневых ступенях, понижениях и т. п.), включая устойчивые части – выше бровки срыва и ниже языка оползня	1-2 на каждом крупном (более 30 м) элементе оползневого рельефа (оползневых ступенях, понижениях и т. п.), включая устойчивые части – выше бровки срыва и ниже языка оползня
Глубина выработок для определения мощности оползня	По СНиП 11-02-96	Не менее, чем на 5 м глубже мощности оползневых накоплений или оползнеопасных пород	Глубже не менее, чем на ¾ мощности оползневых накоплений (оползнеопасных (выветрелых) пород)
Преимущественный вид исследования (в порядке предпочтения)	1) архивные материалы; 2) геофизические исследования; 3) полевые исследования; 4) лабораторные испытания отдельных монолитов	1) полевые исследования; 2) архивные материалы; 3) геофизические исследования; 4) лабораторные испытания грунтов	1) полевые исследования; 2) лабораторные испытания грунтов; 3) архивные материалы; 4) геофизические исследования

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	
Величины нагрузок при испытаниях на срез	По СНиП 11-02-96	Бытовое давление ± 0,5 кг/см^2	Бытовое давление ± 0,5 кг/см^2	
Метод исследований свойств в зависимости от преобладающего типа грунта (получение механических показателей)	Глинистые грунты – на срез: неконсолидированный при водонасыщении образцов, по подготовленной и смоченной поверхности («плашка по плашке»); при необходимости – метод шариковой пробы с получением параметров длительной прочности; с учетом изменений температурно-влажностного режима; трехосные (стабилометрические) испытания. Песчаные грунты – статическое и динамическое зондирование. Крупнообломочные грунты с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватые и глинистые грунты с крупнообломочными включениями – методика, разработанная в Дальневосточном научно-исследовательском институте по строительству (*ДальНИИС*). Скальные и полускальные грунты – геофизические методы, позволяющие выделить в толще зоны различной степени трещиноватости и выветрелости; Участки активных оползневых процессов – обратные расчеты устойчивости.			
Количество определений физико-механических свойств грунтов	По СНиП 11-02-96	Не менее 6 для каждого ИГЭ	10-20 для каждого ИГЭ	Не менее 6 для каждого ИГЭ

- оценку геоморфологических условий территории с отображением отличительных особенностей оползней, форм микрорельефа, морфоэлементов внеоползневой зоны рельефа на морфологических картах; данные о наличии и типе растительности, положении стволов деревьев («пьяный лес») и других признаков наличия оползней;
- определение геологического строения территории с выделением инженерно-геологических элементов;

оценку гидрогеологических условий – строительство автомобильных дорог ведется с созданием искусственных насыпей и срезок, следствием чего является нарушение естественного режима стока поверхностных и подземных вод; в связи с этим необходимо выявлять источники замачивания (природные и техногенные) грунтов склона и основания земляного полотна, места выхода струйных течений, наличие водоносных горизонтов (включая «верховодку»), источники и режимы их питания, прогнозируемый уровень грунтовых вод (УГВ); для склонов – модуль стока для расчетов эрозионной площади; при наличии в подножии откоса водотока – скорость боковой и глубинной эрозии (фактическую и прогнозную); агрессивность к бетонам;

- определение физико-механических свойств грунтов (в соответствии с ГОСТ 12248-96, ГОСТ 20522-96): удельного веса ($кН/м^3$), сцепления ($кПа$), угла внутреннего трения (град.), а также предела прочности на одноосное сжатие и растяжения ($МПа$) (для полускальных и скальных пород); так как большая протяженность дорог предполагает прокладку по территориям с самыми различными инженерно-геологическими условиями необходимо производить статистическую обработку данных с определением показателей, характеризующих изменчивость свойств грунтов (среднеарифметическое, наибольшее и наименьшее значения, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрию, эксцесс); прогнозирование изменения прочностных показателей по мере выветривания полускальных пород; выявление чувствительности грунтов к динамическим нагрузкам; определение диапазона колебаний влажности и плотности для набухающих грунтов;
- выявление неблагоприятных инженерно-геологических процессов: области распространения, размеров, мощности, активности, причин, факторов и повода их развития; определение сейсмичности участка;
- оценку состояния (эффективности работы) существующих сооружений, включая защитные;
- оценку оползневой опасности и оползневого риска на основе качественного, полуколичественного и количественного подходов, в зависимости от стадийности проектирования и объема исходных данных;
- районирование (картирование) территории по степени проявления опасных склоновых процессов; классификация участков по очередности проведения мероприятий инженерной защиты;

- разработку рекомендаций по инженерной защите трассы.

Рекомендуемые параметры для оценки инженерно-геологических условий принимать по таблице 1.

4.2.6. Инженерно-гидрометеорологические должны содержать анализ климатических условий территории, включая таблицу с распределением средних месячных осадков и испарения за годы 5%, 50% и 95% обеспеченности.

4.3. Требования к объему и составу расчетов устойчивости склонов и оползневых давлений

4.3.1. Объем расчетов устойчивости и оползневых давлений должен определяться с учетом стадии разработки проекта инженерной защиты территорий:

- «Обоснование инвестиций». Расчетные створы следует располагать выборочно на наиболее типичных по природным условиям участках, преимущественно в местах возможного возникновения крупных оползней.
- «Проектная документация». В пределах защищаемой территории рекомендуется выполнять типизацию склонов по инженерно-геологическим условиям развития оползней. Расчетные створы следует предусматривать минимум по одному для каждого типа склонов и не менее одного на каждом из участков защищаемых (существующих и проектируемых) сооружений.
- «Рабочая документация». Расчетные створы, как правило, следует предусматривать в пределах всех существующих и прогнозируемых оползней, а также на участках защищаемых (существующих и проектируемых) сооружений.

4.3.2. Состав расчетов устойчивости должен включать анализ фактического состояния склонов на защищаемой территории, а также прогнозного его состояния с учетом всех реально возможных неблагоприятных факторов и изменений инженерно-геологической обстановки:

- изменение рельефа в процессе освоения (реорганизации) склона;
- изменение гидрогеологических условий (поверхностного и подземного стока);
- изменение прочностных и деформационных характеристик горных пород;
- изменение и появление дополнительных внешних нагрузок и воздействий;
- активизацию и развитие опасных инженерно–геологических процессов (эрозии и оползней);
- развитие зон выветривания горных пород;

- активизацию сейсмических воздействий и др.

4.3.3. Прогноз устойчивости склонов в условиях изменения инженерно-геологической обстановки должен учитывать влияние намечаемой проектом инженерно-хозяйственной деятельности в период эксплуатации склона, а также результаты продолжающегося воздействия природных экзогенных геодинамических процессов (эрозионных, абразионных, оползневых, выветривания и др.) на рассматриваемый склон.

4.3.4. Прогноз устойчивости склонов должен выполняться на весь срок эксплуатации сооружений, имеющихся и проектируемых на склоне, а также на период временного изменения инженерно-геологических условий, внешних воздействий и нагрузок в течение строительных и земляных работ по осуществлению проекта хозяйственного освоения склона.

4.3.5. Объем расчетов оползневых давлений должен обеспечивать анализ давлений на проектируемые удерживающие сооружения с учетом всех вариантов их конструкции, а также всех сочетаний наиболее неблагоприятных условий их работы.

4.4. Классификация методов расчета устойчивости (оползневых давлений)

4.4.1. В настоящем методическом документе приведены классификация и описание наиболее распространенных в геотехнической области методов расчета устойчивости склонов (откосов) и оползневых давлений.

4.4.2. Вместе с тем, документ не исключает использование иных методик расчета при соответствующем и достаточном теоретическом и практическом обосновании. С целью использования методик, не приведенных в настоящем методическом документе, следует обратиться к соответствующим геотехническим научным источникам.

4.4.3. Наиболее распространенные в инженерной практике методы расчета устойчивости и оползневых давлений делятся на три основных группы:

- методы предельного (пластического) равновесия (см. п. 5.2);
- методы конечных элементов (см. п. 5.3);
- комбинированные методы (см. п. 5.4).

5. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

5.1. Основные предпосылки

5.1.1. Степень устойчивости склона (откоса) оценивается величиной коэффициента устойчивости (запаса устойчивости, безопасности).

Склон, откос или его морфологический элемент считается устойчивым, если его коэффициент устойчивости выше единицы ($K > 1$). Величина коэффициента устойчивости склона (откоса) приблизительно равная единице ($K \approx 1$) соответствует состоянию предельного равновесия, наблюдающемуся в моменты начала и завершения оползневого смещения.

5.1.2. С учетом теоретических допусков применяемых методов расчета и практических погрешностей получения исходных данных посредством инженерно-геодезических, инженерно-геологических и геофизических изысканий, расчетные величины коэффициентов устойчивости и задаваемых коэффициентов запаса устойчивости откосов и склонов должны отвечать условию:

$$K_{y(з)} \geq [K_{y(з)}], \qquad (1)$$

где $K_{y(з)}$ – расчетный коэффициент устойчивости (запаса устойчивости);

$[K_{y(з)}]$ – нормативный (минимально требуемый) коэффициент устойчивости (запаса устойчивости).

5.1.3. Оценка устойчивости откосов и склонов заключается, как правило, в решении плоской задачи: рассматриваются условия равновесия массива горных пород шириной 1 *м* (с вертикальными, боковыми гранями), условно «вырезанного» из массива склона по направлению ожидаемого оползневого смещения (силы, действующие по боковым граням, при этом не учитываются).

5.1.4. Расчеты устойчивости в трехмерной постановке следует осуществлять, как правило, в сложных инженерно-геологических условиях при высокой степени их изученности, достоверном определении положения поверхности скольжения для инженерных защиты наиболее ответственных объектов.

5.2. Метод предельного равновесия

5.2.1. Методы оценки устойчивости откосов и склонов, основанные на теории предельного равновесия, рассматривают только напряженное состояние грунтового массива в предельном равновесии. Деформации грунтов склона при этом не учитываются.

5.2.2. Количественным показателем степени устойчивости откосов и склонов в методах предельного равновесия является коэффициент устойчиво-

сти (коэффициент запаса устойчивости), равный соотношению сумм всех удерживающих и сдвигающих сил (моментов):

$$K_{f(m)} = \frac{\sum R_{f(m)}}{\sum T_{f(m)}}, \qquad (2)$$

где $\Sigma R_{f(m)}$ – сумма удерживающих сил (моментов) в смещающемся массиве грунтов;

$\Sigma T_{f(m)}$ – сумма сдвигающих сил (моментов);

$K_{f(m)}$ – коэффициент устойчивости склона.

5.2.3. Оценку устойчивости откосов и склонов методами предельного равновесия рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) выбор расчетного створа(ов);
2) составление расчетной схемы;
3) генерализация расчетной схемы;
4) определение внешних дополнительных нагрузок;
5) выбор поверхности скольжения;
6) составление отсековой модели оползня;
7) вычисление коэффициента устойчивости по формулам предельного равновесия;

5.2.4. Выбор расчетного створа(ов) осуществляется в соответствии с рекомендациями п. 7.2.

5.2.5. Требования к составлению расчетной схемы изложены в п. 7.3.

5.2.6. Для выполнения генерализации расчетной схемы необходимо упростить геометрию склона:

- объединить в одну группу грунты с одинаковыми или достаточно близкими (с инженерным допуском) физико-механическими характеристиками;
- удалить не существенные формы рельефа;
- удалить не существенные геологические элементы – пренебрежимо тонкие прослои и линзы грунта;
- криволинейные участки границ литологических разностей, поверхности земли и кривых депрессии на участках, достаточно близких к прямым, заменить прямыми отрезками.

5.2.7. Для выполнения расчетов устойчивости необходимо выполнить сбор внешних дополнительных нагрузок на склон (от зданий, сооружений и др. объектов). Для этого необходимо определить:

- величины и направление (вектора) внешних дополнительных нагрузок,
- для сосредоточенных нагрузок – точки приложения;
- для распределенных нагрузок – границы и характер распределения; произвольно распределенная нагрузка должна быть заменена серией линейно распределенных нагрузок.

5.2.8. Линия поверхности скольжения (или семейство таких линий) может быть принята по результатам инженерно-геологических изысканий. В случае если такая поверхность не зафиксирована, ее поиск осуществляется в соответствии с указаниями параграфа 7.9.

При выборе поверхности скольжения необходимо учитывать следующее:

- линия скольжения должна ограничивать единое (без сплошных разрывов) грунтовое тело;
- линия скольжения не должна иметь вертикальных или обратно-наклонных участков.

5.2.9. С целью составления расчетной модели оползня, оползневой (потенциально оползневой) массив грунта делится вертикальными сечениями на ряд отсеков. Вертикальные сечения проводятся в следующих местах:

- пересечения поверхности скольжения и границ литологических разностей;
- пересечения поверхности скольжения и пьезометрических линий;
- границ приложения каждой из внешних распределенных нагрузок;
- точек перегибов границ литологических разностей, пьезометрических линий, поверхности скольжения и поверхности земли.

При составлении отсековой модели необходимо учитывать следующее:

- поверхность земли в пределах отсековой модели не должна иметь обратно-наклонных («нависающих») участков;
- массив грунтов в пределах отсековой модели не должен иметь внутренних пустот и разрывов сплошности;

Далее оценивается средняя ширина отсеков. Отсеки, ширина которых значительно отличается от средней величины, разбиваются дополнительными вертикальными сечениями. Ширина каждого из отсеков, как правило, не должна превышать половины его средней высоты.

5.2.10. В случае поверхности скольжения круглоцилиндрической или криволинейной формы, линия поверхности скольжения в подошве отсека заменяется отрезком прямой линии. Поэтому ширина отсеков должна выбираться так, чтобы образованная подошвами отсеков ломаная линия достаточно близко соответствовала исходной лини скольжения.

5.2.11. Для расчетов с учетом всех условий статического равновесия (включая равновесие моментов) необходимо выбрать точку вращения отсековой модели оползня. Точка выбирается на равном удалении от всех точек поверхности скольжения. Если поверхность скольжения нельзя аппроксимировать участком дуги, во внимание следует принять точки начала и конца поверхности скольжения, а также максимально удаленную от соединяющего их отрезка.

5.2.12. Определение коэффициента устойчивости рекомендуется выполнять с использованием формул метода общего предельного равновесия, поскольку он учитывает все условия статического равновесия (соотношение

удерживающих и сдвигающих как сил, так и моментов). Основные допущения метода:

- прочность грунта на сдвиг подчиняется критерию Кулона–Мора;
- локальные коэффициенты устойчивости всех отсеков равны;
- оползневое смещение происходит по схеме сдвига с опрокидыванием относительно единого центра вращения;
- сила нормальной реакции по подошве отсека приложена к ее середине;
- результирующая силы тяжести отсека, горизонтальная и вертикальная составляющие результирующей силы сейсмической нагрузки приложены к центру тяжести отсека;
- соотношение нормальной и касательной межотсековых сил подчиняется функции $f(x)$, где x –относительная координата грани отсека (см. п. 5.2.21).

5.2.13. Основные формулы для расчета коэффициента устойчивости оползня методом общего предельного равновесия приведены ниже. Поясняющая схема приведена на рисунке 1.

Коэффициент устойчивости из условия равновесия сил:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[c_i l_i + \left(N_i - u_i l_i\right)\mathrm{tg}\varphi_i\right]\cos\alpha_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i \sin\alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^{n} W_i + \sum_{i=1}^{n} D_i \sin\beta_i}; \qquad (3)$$

коэффициент устойчивости из условия равновесия моментов сил:

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[c_i l_i + \left(N_i - u_i l_i\right)\mathrm{tg}\varphi_i\right]R_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i f_i + \sum_{i=1}^{n} W_i x_i + \mu_v \sum_{i=1}^{n} W_i x_i + \mu_h \sum_{i=1}^{n} W_i e_i + \sum_{i=1}^{n} D_i d_i}; \qquad (4)$$

сила нормальной реакции в основании отсеков:

$$N_i = \frac{W_i + \mu_v W_i - \left(X_i^R - X_i^L\right) + \dfrac{u_i \mathrm{tg}\varphi_i - c_i}{F_j} l_i \sin\alpha_i + D_i \cos\beta_i}{\cos\alpha_i + \dfrac{\sin\alpha_i \mathrm{tg}\varphi_i}{K_{f(m)}}}; \qquad (5)$$

сила нормальной реакции в основании отсеков (без учета межотсековых сил):

$$N_i^{упр} = W_i \cos\alpha_i + \mu_v W_i \cos\alpha_i - \mu_h W_i \sin\alpha_i + D_i \cos\left(\alpha_i + \beta_i\right); \qquad (6)$$

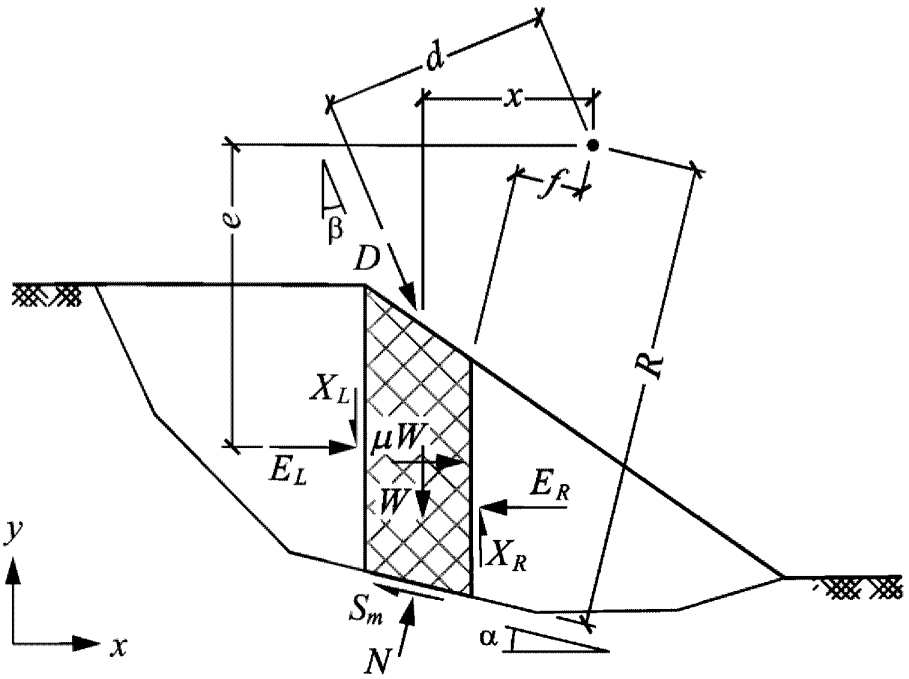


Рисунок 1 – Расчетная схема метода общего предельного равновесия

касательная межотсековая сила по граням отсеков:

$$X = E \cdot \lambda \cdot f(x); \tag{7}$$

нормальная межотсековая сила по граням отсеков:

$$E_i^R = E_i^L + N_i\left(\sin\alpha_i - \frac{\operatorname{tg}\varphi_i \cos\alpha_i}{K_{f(m)}}\right) + \frac{u_i \operatorname{tg}\varphi_i - c_i}{K_{f(m)}} l_i \cos\alpha_i + \tag{8}$$

$$+ \mu_h W_i + D_i \sin\beta_i ,$$

где i – номер рассматриваемого отсека;

n – общее количество отсеков;

α – угол наклона основания отсека к горизонту, *град*;

l – длина основания отсека, *м*;

c – удельное сцепление в грунте в основании отсека, *кПа*;

φ – угол внутреннего трения грунта в основании отсека, *град*;

W – вес грунта в отсеке, *кН*;

N – нормальная реакция в основании отсека, *кН*;

E – нормальная составляющая межотсековых сил, *кН*;

X – касательная составляющая межотсековых сил, *кН*;

D – результирующая сила внешней нагрузки, *кН*;

u – величина порового давления, *кПа*;

μ – коэффициент сейсмичности;

f – плечо силы нормальной реакции в основании отсека N, *м*;

R – плечо силы сопротивления грунта сдвигу, *м*;

$$S_m = \left[(N - ul)\operatorname{tg}\varphi + cl\right] / K_{f(m)}$$

x – плечо силы тяжести отсека W, *м*;

e – плечо горизонтальной составляющей сейсмической нагрузки, *м*;

d – плечо результирующей внешней нагрузки D, *м*;

β – угол наклона результирующей внешней нагрузки D, *град*;

λ – коэффициент межотсековой функции (в долях от единицы);

$f(x)$ – функция межотсековых сил.

ПРИМЕЧАНИЯ:

1. Индекс L означает сечение с меньшей координатой x, индекс R соответственно относится к сечению с большей координатой x;
2. Индексы h и v означают горизонтальную и вертикальную составляющие соответственно;
3. Указания по применению коэффициента λ и функции межотсековых сил $f(x)$ см. п. 5.2.21-5.2.22.
4. Указания по расчету величины порового давления u см. п. 5.2.24.
5. Указания по применению коэффициента сейсмичности μ см. п. 5.2.27.

5.2.14. В приведенных формулах и расчетной схеме приняты следующие правила знаков:

- положительное направление оси абсцисс принято горизонтально в сторону низового склона;
- положительное направление оси ординат принято вверх;
- угол наклона основания отсека считается положительным, если поверхность скольжения на этом участке наклонена в сторону низового склона;
- угол наклона вектора внешних нагрузок считается положительным, если отсчитывается от отрицательного направления оси ординат в сторону низового склона;
- момент сил считается положительным, если стремится сместить расчетную модель относительно точки вращения в сторону низового склона.

5.2.15. Вычисление коэффициента устойчивости по методу общего предельного равновесия рекомендуется выполнять в следующей последовательности (рисунки 2-3):

1) вычисление геометрических параметров отсеков (п. 5.2.16);
2) определение постоянных усилий в отсеках (п. 5.2.17);
3) предварительный расчет коэффициентов устойчивости $K_{f(m)}$ без учета межотсековых сил (п. 5.2.18);

4) расчет коэффициентов устойчивости $K_{f(m)}$ с учетом нормальных межотсековых сил E. Касательные межотсековые силы X не учитываются (п.5.2.19);
5) расчет коэффициентов устойчивости $K_{f(m)}$ с учетом нормальных E и касательных X межотсековых сил (п. 5.2.20).

5.2.16. Вычисление геометрических параметров отсеков расчетной модели оползня должно включать:

- длины подошвы и ширины (в горизонтальном проложении) отсеков;
- высоты отсеков с каждой стороны и их среднее значение;
- углы наклона подошвы отсеков к горизонту;
- координаты центров тяжести отсеков;
- средние высоты пьезометрических уровней в отсеках;
- величины плеч всех усилий (кроме межотсековых) относительно центра вращения отсековой модели (рисунок 1).

5.2.17. Напряжения по граням отсеков заменяются соответствующими результирующими силами. В каждом отсеке расчетной модели оползня должны быть вычислены постоянные усилия:

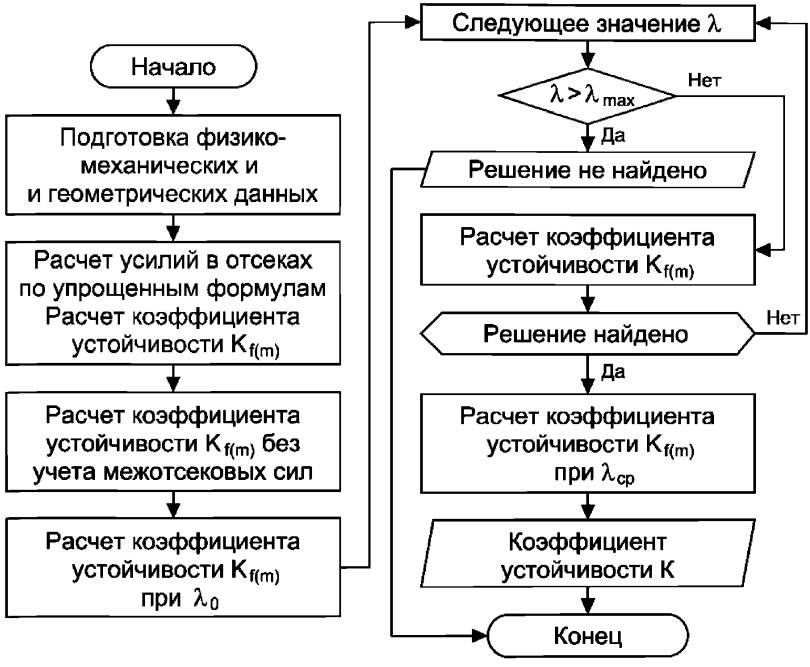


Рисунок 2 – Блок-схема вычисления коэффициента устойчивости с учетом всех условий статического равновесия

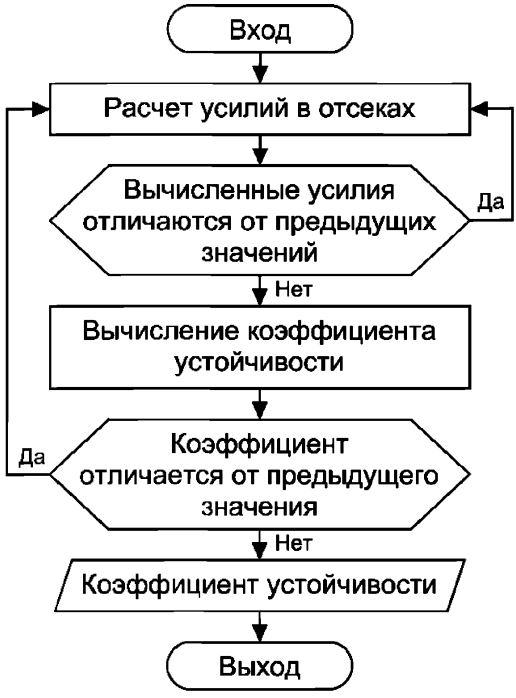


Рисунок 3 – Блок-схема вычисления коэффициента устойчивости из условия равновесия сил (моментов)

- результирующая сила от веса отсека;
- результирующей сила от внешних дополнительных нагрузок в пределах отсека;
- горизонтальная и вертикальная проекции результирующей от сейсмических воздействий в пределах отсека;
- величины поровых давлений по подошве отсека;
- прочностные характеристики грунтов по подошве отсека.

ПРИМЕЧАНИЯ:

Указания по учету сейсмических воздействий в расчетах методами предельного равновесия см. п. 5.2.25 – 5.2.30. Указания по расчету поровых давлений см. п. 5.2.24.

5.2.18. Предварительный расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m производится в следующей последовательности:

1) в каждом отсеке производится расчет силы нормальной реакции N по подошве отсека с использованием упрощенной формулы (6);

2) выполняется расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m по формулам (3) и (4) соответственно.

5.2.19. Расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m с учетом только нормальных межотсековых сил E производится в следующем порядке:

1) в каждом отсеке вычисляются силы нормальной реакции N по подошве с использованием формулы (5). Касательные межотсековые силы X не учитываются;
2) выполняется расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m по формулам (3) и (4) соответственно;
3) сравниваются значения коэффициентов устойчивости K_f (K_m) в начале и конце расчета. Если разница ΔK_f (ΔK_m) превышает требуемый минимум, расчет повторяется, начиная с пункта (1).

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Вычисление усилий в отсеках для расчетов коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m производятся ***раздельно***.
2. Расчеты выполняются методом последовательных приближений (итераций).
3. На первой итерации используется коэффициент устойчивости K_f (K_m), найденный предварительным расчетом согласно п. 5.2.18.
4. На практике достаточно достигнуть разницы ΔK_f (ΔK_m) не более 0,0001.

5.2.20. Расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m с учетом нормальных E и касательных X межотсековых сил производится в следующем порядке:

1) Принимается очередное значение λ.
2) В каждом отсеке выполняется расчет межотсековых сил E и X, а также силы нормальной реакции N по подошве в следующей последовательности:
   а) Расчет нормальных межотсековых сил E по формуле (8).
   б) Определение касательных межотсековых сил X по формуле (7).
   в) Вычисление силы нормальной реакции N по подошве с использованием формулы (5) с учетом касательных межотсековых сил X.
   г) Сравниваются значения силы нормальной реакции N по подошве на предыдущем и последнем шаге вычислений. Если разница ΔN превышает требуемый минимум, расчет повторяется, начиная с пункта (а).
3) Выполняется расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m по формулам (3) и (4) соответственно;

4) Сравниваются значения коэффициентов устойчивости K_f (K_m) на предыдущем и последнем шаге вычислений. Если разница ΔK_f (ΔK_m) превышает требуемый минимум, расчет повторяется, начиная с пункта (2).
5) Сравниваются между собой значения коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m. Если разница $\Delta K_{f\text{-}m}$ превышает необходимый минимум, расчет повторяется, начиная с пункта (1).

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. См. примечания 1-2 и 4 к п. 5.2.19.
2. На первой итерации используются значения коэффициентов устойчивости K_f (K_m) и сил нормальной реакции N по подошве отсеков, найденные расчетом согласно п. 5.2.19.
3. На практике достаточно достигнуть разницы ΔN не более 0,1 H и $\Delta K_{f\text{-}m}$ – не более 0,0001.
4. Сходимость коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m обеспечивается за счет подбора соответствующего значения коэффициента λ.
5. Значения коэффициента λ принимаются в долях от единицы. На практике интервал значений λ рекомендуется принять от 0 до 1,25.
6. Указания по расчету значения функции межотсековых сил *f(x)* приведены в п. 5.2.21.

5.2.21. Функция межотсековых сил *f(x)* представляет собой зависимость наклона результирующей межотсековой силы от положения расчетного сечения по длине оползня. В качестве аргумента функции используется относительная координата x_{rel} рассматриваемого сечения:

$$x_{rel} = \frac{x - x_0}{x_n - x_0}, \qquad (9)$$

где x – координата расчетного сечения, *м*;
x_0 – координата первого сечения (в голове оползня), *м*;
x_n – координата последнего сечения (в языке оползня), *м*;

5.2.22. В качестве функции межотсековых сил *f*(*x*) может приниматься любая зависимость в функциональной или табличной форме. Наиболее распространенные зависимости:

- постоянная $f(x) = const$;
- полусинусоида $f(x) = \sin(\pi \cdot x)$.

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

Учет влияния грунтовых вод методом «взвешивания»

5.2.23. Расчеты устойчивости методом общего предельного равновесия с учетом действия грунтовых вод следует производить способом «взвешивания», который заключается в следующем:

- прочностные характеристики обводненного грунта в уровне поверхности скольжения принимаются для состояния полного водонасыщения (c_{sat}, φ_{sat});
- расчет усилий, сдвигающих оползневой массив, производится без учета взвешивающего действия грунтовых вод:
  - для необводненных грунтов принимается удельный вес при естественной влажности;
  - для водовмещающих грунтов удельный вес в состоянии полного водонасыщения;
- определение усилий, удерживающих оползневой массив производится с учетом гидростатического взвешивающего действия грунтовых вод для обводненной части грунтов, пересекаемых поверхностью скольжения.

5.2.24. Гидростатическое взвешивание уменьшает вертикальные напряжения в скелете обводненной породы и численно равно величине порового давления. Поровое давление u рассчитывается по формуле:

$$u = \gamma_W \cdot H_W \qquad (10)$$

где γ_W – удельный вес воды, $кН/м^3$;
H_W – средняя высота пьезометрического уровня в отсеке, $м$;

Учет сейсмических воздействий

5.2.25. При определении коэффициента устойчивости сейсмические силы учитываются для сейсмически активных районов (с землетрясениями 6 баллов и более).

5.2.26. Расчеты устойчивости методом общего предельного равновесия с учетом сейсмических воздействий следует производить псевдостатическим способом.

5.2.27. Сейсмические воздействия рассматриваются псевдостатическим способом как дополнительные горизонтальные и вертикальные нагрузки в оползневом массиве. Величина сейсмической нагрузки для каждого отсека принимается равной произведению веса отсека (для обводненных пород без поправки на гидростатическое взвешивание) на коэффициент сейсмичности μ (см. таблицу 2) в зависимости от расчетной сейсмичности района проектирования.

5.2.28. Величина расчетной сейсмичности площадки проектирования определяется по данным инженерно-геологических изысканий.

Таблица 2 – Коэффициент динамической сейсмичности μ

Расчетная сейсмичность в баллах	1-5	6	7	8	9	10
Коэффициент динамической сейсмичности μ	0,00	0,01	0,025	0,05	0,10	0,25

ПРИМЕЧАНИЕ.

Для искусственных склонов (откосов, насыпей, дамб, выемок, бортов карьеров и др.) значения коэффициента сейсмичности μ увеличивают в 1,5 раза.

5.2.29. Для предварительных расчетов расчетная сейсмичность может определяться по карте-схеме, помещенной в главе СНиП по проектированию строительства в сейсмических районах.

В неблагоприятных геологических условиях при этом средняя сейсмическая балльность района проектирования должна повышаться на один балл, при благоприятных условиях – понижаться на один балл.

5.2.30. Неблагоприятными в сейсмическом отношении геологическими условиями следует считать:

- насыщенные водой гравийные, песчаные и лессовидные грунты;
- мягкопластичные и текучие глинистые грунты;
- участки местности с сильно расчлененным рельефом - обрывистые берега, овраги, ущелья;
- выветрелые и сильно нарушенные породы;
- участки с близким расположением линий тектонических разрывов.

Благоприятными в сейсмическом отношении следует считать невыветрелые скальные грунты, а также плотные и маловлажные крупнообломочные грунты.

ПРИМЕЧАНИЕ.

При глубине грунтовых вод менее 4 *м* для уступов (откосов), сложенных глинистыми породами и песками, геологические условия следует отнести к неблагоприятным.

5.3. Метод конечных элементов

5.3.1. Метод конечных элементов рассматривает напряженно-деформированное состояние грунтового массива с учетом упругого и упруго-пластического поведения грунтов и наличия строительных сооружений и конструкций в массиве горных пород.

5.3.2. Количественным показателем степени устойчивости откосов и склонов в методе конечных элементов является коэффициент безопасности (надежности):

$$K = \frac{c_{исх}}{c_{крит}} = \frac{\mathrm{tg}\varphi_{исх}}{\mathrm{tg}\varphi_{крит}}, \qquad (11)$$

где $c_{исх}$, $\varphi_{исх}$ – исходные прочностные характеристики;

$c_{крит}$, $\varphi_{крит}$ – критические прочностные характеристики, соответствующие пластическому течению грунта в рассматриваемой области (см. п. 1.3.);

5.3.3. Оценку устойчивости откосов и склонов методом конечных элементов рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) выбор расчетного створа(ов), см. п. 7.2;
2) составление расчетной схемы, см. п. 7.3;
3) генерализация расчетной схемы, см. п. 5.2.6;
4) определение внешних дополнительных нагрузок, см. п. 5.2.7;
5) расчет давлений подземных вод;
6) расчет начальных бытовых напряжений в грунте;
7) вычисление коэффициента безопасности методом «снижения *c* и *φ*».

5.3.4. Расчет давлений подземных вод, как правило, производится на основании уровня грунтовых вод (или пъезометрического уровня подземных вод) с учетом гидростатического распределения давлений по глубине.

Для этого в каждой точке водонасыщенного и водопроницаемого грунта в соответствии с п. 5.2.24, формула (10) должна быть рассчитана величина начального порового давления.

5.3.5. Расчет начальных бытовых напряжений в грунте может производится с помощью процедуры K_0 (см. п. 5.3.6) или процедуры гравитационного нагружения (см. п. 5.3.8). Процедуру K_0, как правило, следует использовать только в задачах с горизонтальной поверхностью земли и параллельными ей слоями грунтов и уровней подземных вод. Во всех остальных случаях должна использоваться процедура гравитационного нагружения.

5.3.6. Процедура K_0 заключается в определении вертикальных и горизонтальных эффективных напряжений в грунтовом массиве, связанных коэффициентом бокового давления K_0:

$$\sigma_{h0} = K_0 \sigma_{v0}. \qquad (12)$$

Вертикальные эффективные напряжения определяются весом перекрывающих сверху грунтов:

$$\sigma_{v0} = \sum \gamma_i \cdot h_i - u_0, \qquad (12а)$$

где γ_i – удельный вес отдельного слоя грунта, *кН/м*^{3};

h_i – мощность отдельного слоя грунта, *м*;

u_0 – начальное поровое давление в рассматриваемой точке, *кПа*;

5.3.1. Величина коэффициента бокового давления должна приниматься таким образом, что бы в каждой точке модели не нарушалось условие прочно-

сти грунта Кулона–Мора. Для несвязного грунта во избежание пластичности грунта значение K_0 должно быть ограничено соотношением:

$$\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} < K_0 < \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}. \qquad (13)$$

Для нормально уплотненных грунтов величина коэффициента бокового давления K_0 определяется соотношением:

$$K_0 = 1-\sin\varphi. \qquad (14)$$

В переуплотненных грунтах величина коэффициента бокового давления может достигать 2 и более.

5.3.2. Процедура гравитационного нагружения заключается в последовательном увеличении веса первоначально невесомого грунтового массива с использованием итеративной процедуры уравновешивания напряженного состояния конечно-элементной модели.

Соотношение вертикальных и горизонтальных составляющих эффективных напряжений при этом в значительной степени определяются принятыми величинами коэффициента Пуассона ν. Необходимо выбирать такие значения коэффициента Пуассона ν, которые не приведут к образованию значительных зон пластических деформаций. В частности, для несвязных грунтов должно выполняться условие:

$$\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} < \frac{\nu}{1-\nu}, \qquad (15)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

5.3.3. Определение величины коэффициента безопасности K в рамках метода конечных элементов осуществляется из соотношения исходных и критических прочностных характеристик грунтов, получаемых в результате применения процедуры «снижения c и φ».

Процедура «снижения c и φ» заключается в последовательном снижении исходных прочностных показателей грунта до критических величин, соответствующих моменту образования областей пластического течения и разрушения грунта.

Значения исходных прочностных характеристик грунтов соответствуют показателям, задаваемым перед началом процедуры «снижения c и φ».

5.4. Комбинированный метод

5.4.1. Комбинированный метод оценки степени устойчивости склонов заключается в совместном использовании средств метода конечных элементов и теории предельного равновесия.

5.4.2. Количественным показателем степени устойчивости откосов и склонов в комбинированном методе является коэффициент устойчивости, равный соотношению суммы сдвиговой прочности грунта и сдвигающих усилий по поверхности скольжения:

$$K = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}, \qquad (16)$$

где ΣS_r – суммарная сдвиговая прочность грунта по поверхности скольжения;

ΣS_m – сумма сдвигающих усилий по поверхности скольжения;

ПРИМЕЧАНИЕ.

Расчет коэффициента устойчивости по формуле (16) производится алгебраическим суммированием значений усилий, получаемых по формулам (19) и (19а).

5.4.3. Оценку устойчивости откосов и склонов комбинированным методом рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) выбор расчетного створа(ов), см. п. 7.2;
2) составление расчетной схемы, см. п. 7.3;
3) генерализация расчетной схемы, см. п. 5.2.6;
4) определение внешних дополнительных нагрузок, см. п. 5.2.7;
5) расчет напряженно-деформированного состояния грунтового массива методом конечных элементов (см. п. 5.3.3 – 5.3.8);
6) выбор поверхности скольжения, см. п. 5.2.8;
7) составление отсековой модели оползня, см. п. 5.2.9 – 5.2.11;
8) вычисление коэффициента устойчивости по формулам предельного равновесия для комбинированного метода, см. п. 5.4.4.

5.4.4. Вычисление коэффициента устойчивости комбинированным методом рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) Значения напряжений σ_x, σ_y и τ_{xy} в каждой гауссовской точке (точке напряжений) проецируются в ближайшие узлы конечных элементов с последующим их усреднением.
2) В каждом отсеке производится расчет сдвигающей и удерживающей сил по основанию отсека в следующей последовательности:
   а) поиск элемента, перекрывающего точку в середине основания отсека;
   б) расчет значений нормальных и касательных напряжений σ_x, σ_y и τ_{xy} в середине основания отсека;
   в) расчет нормального σ_n и касательного τ_n напряжений по наклонной площадке в середине основания каждого отсека (см. п. 5.4.5);
   г) определение сдвиговой прочности грунта τ_r в середине основания отсека (см. п. 5.4.6);

д) расчет сдвигающей S_m и удерживающей S_r сил по основанию отсека (см. п. 5.4.7).

3) Выполняется расчет коэффициента устойчивости K с использованием формулы (16).

5.4.5. Расчет нормального σ_n и касательного τ_m напряжений в середине основания каждого отсека производится с использованием формул

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta\,; \tag{17}$$

$$\tau_m = \tau_{xy}\cos 2\theta - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\sin 2\theta\,; \tag{17а}$$

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*

τ_{xy} – касательное напряжение в плоскости XOY в центре основания отсека, *кПа*;

θ – угол между положительным направлением оси X и направлением приложения нормального напряжения

5.4.6. Расчет сдвиговой прочности грунта τ_r в середине основания отсека производится с использованием критерия прочности Кулона–Мора:

$$\tau_r = (\sigma_n - u)\,\mathrm{tg}\,\varphi + c, \tag{18}$$

где σ_n – нормальное напряжение в середине основания отсека, *кПа*;

u – поровое давление в середине основания отсека, *кПа*

5.4.7. Расчет сдвигающей S_m и удерживающей S_r сил в каждом отсеке производится с учетом длин его основания:

$$S_r = \tau_r l; \tag{19}$$

$$S_m = \tau_m l. \tag{19а}$$

5.5. Метод пространственных колонок

5.5.1. Метод пространственных колонок заключается в оценке объемной устойчивости склонов и откосов в рамках теории предельного равновесия. Основные формулы для определения объемного коэффициента устойчивости и поясняющая схема приведены ниже.

5.5.2. Коэффициент устойчивости из условия равновесия моментов K_m определяется суммированием моментов всех сил относительно оси вращения:

$$K_m = \frac{\sum\left(A\,c - N\ \mathrm{tg}\varphi - u\ \mathrm{tg}\varphi\right)\left(\cos\alpha_x\ d_y + \sin\alpha_x\ d_x\right)}{\sum\left(N\cos\theta_x\ d_y - N\cos\theta_y\ d_x + W\ d_x + \mu\ W\ d_e\right)}. \qquad (20)$$

5.5.3. Коэффициент F_f определяется проецированием всех сил на ось x для всего оползня:

$$K_f = \frac{\sum\left(A\,c + N\ \mathrm{tg}\varphi - u\ \mathrm{tg}\varphi\right)\cos\alpha_x}{\sum\left(N\cos\theta_x + \mu\ W\right)}, \qquad (21)$$

где d_x – плечо проекций сил на ось x;
d_y – плечо проекций сил на ось y;
d_z – расстояние между центром масс колонки и осью вращения оползневого тела;
θ_x – угол между горизонталью в направлении перемещения и нормальной силой в основании колонки;
θ_y – угол между горизонталью в направлении, перпендикулярном перемещению, и нормальной силой в основании колонки;
θ_z – угол между вертикалью и нормальной силой в основании колонки,
μ – коэффициент сейсмичности;
W – вес колонки грунта;
u – силы порового давления в основании колонки;
c – эффективное сцепление грунта;
φ – эффективный угол внутреннего трения;
A – площадь основания колонки.

5.5.4. Сила N, перпендикулярная основанию колонки, определяется проецированием всех сил на ось y:

$$N = \frac{W - \left(X_L - X_R\right) - \left(V_L - V_R\right)}{m_\alpha} - \frac{\dfrac{A\ c\sin\alpha_x}{K} + \dfrac{u\ \mathrm{tg}\varphi\sin\alpha_x}{K}}{m_\alpha}; \qquad (22)$$

$$m_\alpha = \cos\theta_y + \frac{\mathrm{tg}\varphi\sin\alpha_x}{K}, \qquad (22a)$$

где X_L – межколонковые касательные усилия на левой (со стороны низа откоса) грани колонки;
X_R – межколонковые касательные усилия на правой (со стороны верха откоса) грани колонки;
V_L – межколонковые касательные усилия на левой боковой грани;
V_R – межколонковые касательные усилия на правой боковой грани;
α_x – угол между горизонтом и касательной силой в основании отсека, в направлении перемещения.

5.5.5. Межколонковые касательные силовые функции связаны с нормальными зависимостями, аналогичными функциям *Моргенштерна-Прайса*:

$$X / E = \lambda_1 \cdot f(1); \tag{23}$$

$$V / P = \lambda_3 \cdot f(3). \tag{23а}$$

5.5.6. Оценку устойчивости откосов и склонов методом пространственных колонок рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

4) задание дневной поверхности массива. Выполняется в одной из программ визуализации поверхностей, типа *Surfer*;
5) задание поверхности скольжения теми же способами по данным инженерно-геологических изысканий (рисунок 4);

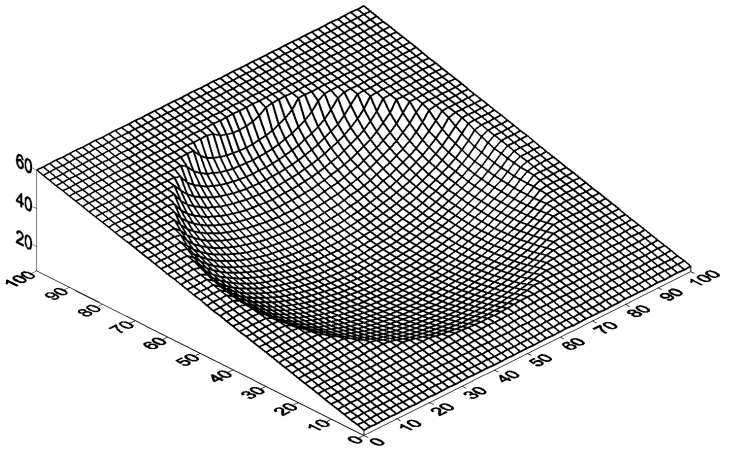


Рисунок 4 – Пример задания поверхности скольжения

6) задание координат центра вращения оползневого блока;
7) задание размеров колонок (призм) грунта в плане;
8) определение расчетных характеристик оползневых грунтов – удельный вес γ, сцепление c, угол внутреннего трения φ;
9) задание коэффициента динамической сейсмичности согласно таблице 2;
10) выбор функции межколонковых сил.

5.5.7. Расчет пространственного коэффициента устойчивости выполняется в следующем порядке (см. рисунок 5):

11) расчет для каждой колонки начальных значений $N_f = N_m = N$, не зависящих ни от каких сил, кроме W:

$$N = W \cdot \cos\theta_y - k \cdot W \cdot \sin\theta_y; \tag{24}$$

12) расчет коэффициентов устойчивости K_f и K_m. Суммирование производится по всем колонкам массива, согласно формулам (20) и (21);

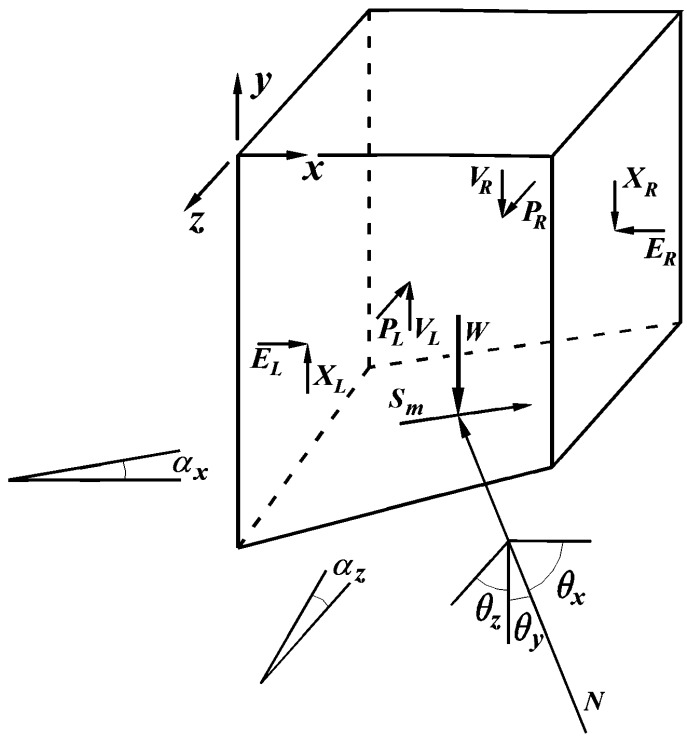


Рисунок 5 – Расчетная схема колонки грунта с приложенными усилиями

13) расчет для каждой колонки значений N_f и N_m, зависящих от K_f и K_m соответственно:

$$N_f = \frac{W - \left(A \cdot c \cdot \sin\alpha_x + U \cdot \mathrm{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_f}{\cos\theta_y + \left(\mathrm{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_f}; \tag{25}$$

$$N_m = \frac{W - \left(A \cdot c \cdot \sin\alpha_x + U \cdot \mathrm{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_m}{\cos\theta_y + \left(\mathrm{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_m}; \tag{26}$$

14) расчет межколонковых сил E и P. Для каждой колонки рассчитываются силы E_f, E_m, P_f и P_m, зависящие от K_f и K_m соответственно. Межколонковые силы E рассчитываются по оси x, силы P – по оси z. В крайней точке для каждой колонки силы E_L и P_L принимаются равными нулю. Затем последовательно рассчитываются силы E_R и P_R по следующим формулам:

$$E_R = E_L + \left(c \cdot A - U \cdot \operatorname{tg}\varphi\right) \cdot \cos\alpha_x / K_{соотв.} + \\ + N \cdot \left(\operatorname{tg}\varphi \cdot \cos\alpha_x / K_{соотв.} - \cos\theta_x\right) + \mu \cdot W; \quad (27)$$

$$P_R = P_L - \left(c \cdot A - U \cdot \operatorname{tg}\varphi\right) \cdot \cos\alpha_z / K_{соотв.} - \\ - N \cdot \left(\operatorname{tg}\varphi \cdot \cos\alpha_z / K_{соотв.} - \cos\theta_z\right); \quad (28)$$

15) расчет для каждой колонки значений N_f и N_m, зависящих не только от коэффициентов K_f и K_m, но и от межколонковых сил E и P соответственно:

$$N_f = \frac{W - \left(X_L - X_R\right) - \left(V_L - V_R\right)}{\cos\theta_y + \left(\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_f} - \\ - \frac{\left(A \cdot c \cdot \sin\alpha_x + U \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_f}{\cos\theta_y + \left(\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_f}; \quad (29)$$

$$N_m = \frac{W - \left(X_L - X_R\right) - \left(V_L - V_R\right)}{\cos\theta_y + \left(\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_m} - \\ - \frac{\left(A \cdot c \cdot \sin\alpha_x + U \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_m}{\cos\theta_y + \left(\operatorname{tg}\varphi \cdot \sin\alpha_x\right)/K_m}; \quad (30)$$

$$X_{соотв.} = \lambda \cdot f_1(x) \cdot E_{соотв.}; \quad (31)$$

$$V_{соотв.} = \lambda \cdot f_2(z) \cdot P_{соотв.}. \quad (32)$$

6. РАСЧЕТ ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ

6.1. Метод предельного равновесия

6.1.1. В рамках теории предельного равновесия, оползневое давление на сооружение P определяется разностью удерживающих и сдвигающих сил (моментов), действующих вдоль поверхности скольжения с учетом обеспечения необходимого коэффициента запаса K. Величина оползневого давления P при этом определяется разностью давления грунта P_a со стороны верхового склона и отпора грунта P_b ниже расчетного сечения по склону (рисунок 6):

$$P = P_a - P_b. \tag{33}$$

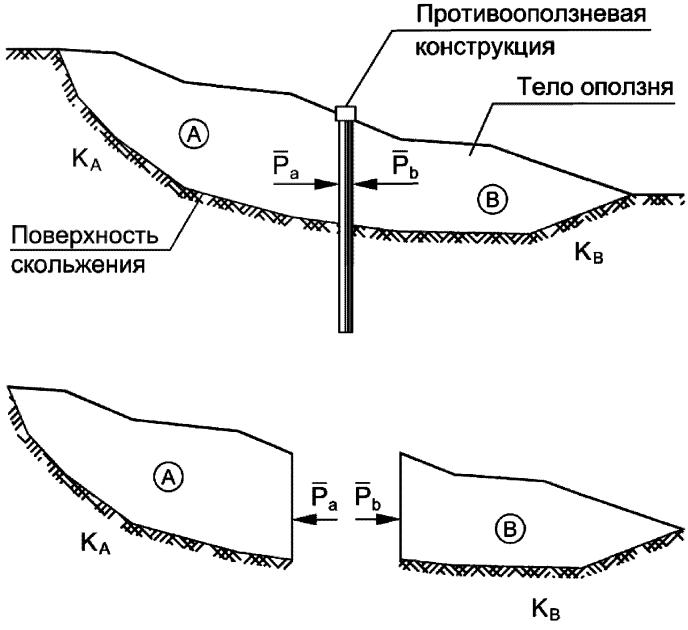


Рисунок 6 – Принципиальная схема расчета оползневых давлений с учетом отпора грунта

6.1.2. В случае если ниже сооружения не имеется грунтовой призмы, способной оказывать реактивное давление или по оползневым условиям ожидается полное или частичное отслоение пород от низовой части сооружений, отпор грунта P_b не учитывается:

$$P = P_a. \tag{33а}$$

Оползневое давление P, так же, как и его составляющие P_a и P_b, в каждом расчетном сечении не должны иметь отрицательных значений:

$$P_a \geq 0,\ P_b \geq 0,\ P \geq 0 \tag{34}$$

6.1.3. Точка приложения силы оползневого давления по глубине оползневого (оползнеопасного) массива определяется формой эпюры давления грунтов. В случае отсутствия специальных исследований, обычно принимают гидростатическую (треугольную) форму эпюры распределения оползневого давления по глубине.

6.1.4. Оценка оползневых давлений методами предельного равновесия выполняется с использованием отсековой модели оползня. Указания по составлению расчетной отсековой модели приведены в параграфе 5.2 (п. 5.2.3-5.2.11).

6.1.5. Давление грунта со стороны верхового склона P_a в сооружении компенсируется равной по величине реакцией и рассматривается как удерживающая сила (рисунок 6):

из условия равновесия сил

$$P_{af} = K_a \sum_{i=1}^{j-1} T_f - \sum_{i=1}^{j-1} R_f; \tag{35}$$

из условия равновесия моментов сил

$$P_{am} = \frac{1}{y}\left[K_a \sum_{i=1}^{j-1} T_m - \sum_{i=1}^{j-1} R_m \right], \tag{36}$$

где K_a – коэффициент запаса для верхней части оползня;

$\Sigma R_{f(m)}$ – сумма удерживающих сил (моментов) в смещающемся массиве грунтов;

$\Sigma T_{f(m)}$ – сумма сдвигающих сил (моментов);

j – номер отсека выше расчетного сечения по склону;

n – общее количество отсеков расчетной схемы;

y – плечо составляющей оползневого давления в расчетном сечении (см. рисунок 7).

6.1.1. Отпор грунта P_b ниже расчетного сечения по склону в сооружении компенсируется равной по величине реакцией и рассматривается как сдвигающая сила (рисунок 6):

из условия равновесия сил

$$P_b = \frac{1}{K_b} \sum_{i=j}^{n} R_f - \sum_{i=j}^{n} T_f; \tag{37}$$

из условия равновесия моментов сил

$$P_b = \frac{1}{y}\left[\frac{1}{K_b}\sum_{i=j+1}^{n} R_m - \sum_{i=j+1}^{n} T_m\right], \tag{38}$$

где K_b – коэффициент запаса для нижележащей части оползня;

6.1.2. Расчет оползневых давлений рекомендуется выполнять с использованием формул метода общего предельного равновесия. Основные допущения метода см. п. 5.2.12.

6.1.3. Основные формулы для расчета оползневых давлений методом общего предельного равновесия приведены ниже. Поясняющие схемы приведены на рисунках 1, 6…7.

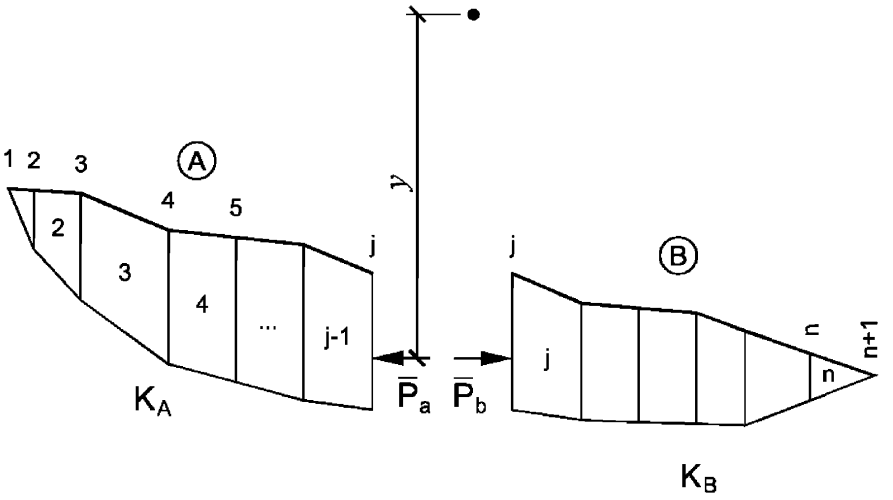


Рисунок 7 – Расчетная схема отсекового метода для вычисления оползневого давления

Давление грунта P_a со стороны верхового склона из условия равновесия ***сил***:

$$P_{af} = K_a\left(\sum_{i=1}^{j-1} N_i \sin\alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^{j-1} W_i + \sum_{i=1}^{j-1} D_i \sin\beta_i\right) -$$
$$-\sum_{i=1}^{j-1}\left[c_i l_i + \left(N_i - u_i l_i\right)\operatorname{tg}\varphi_i\right]\cos\alpha_i; \tag{39}$$

давление грунта P_a со стороны верхового склона из условия равновесия ***моментов***:

$$P_{am} = \frac{1}{y}\left\{ K_a \left(\sum_{i=1}^{j-1} N_i f_i + \sum_{i=1}^{j-1} W_i x_i + \mu_v \sum_{i=1}^{j-1} W_i x_i + \mu_h \sum_{i=1}^{j-1} W_i e_i + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \sum_{i=1}^{j-1} D_i d_i \right) - \sum_{i=1}^{j-1} \left[c_i l_i + (N_i - u_i l_i) \operatorname{tg} \varphi_i \right] R_i \right\}; \qquad (40)$$

отпор грунта P_b со стороны низового склона из условия равновесия ***сил***:

$$P_{bf} = \frac{\sum_{i=j}^{n} \left[c_i l_i + (N_i - u_i l_i) \operatorname{tg} \varphi_i \right] \cos \alpha_i}{K_b} -$$
$$- \left(\sum_{i=j}^{n} N_i \sin \alpha_i + \mu_h \sum_{i=j}^{n} W_i + \sum_{i=j}^{n} D_i \sin \beta_i \right); \qquad (41)$$

отпор грунта P_b со стороны низового склона из условия равновесия ***моментов***:

$$P_{bm} = \frac{1}{y}\left\{ \frac{\sum_{i=j}^{n} \left[c_i l_i + (N_i - u_i l_i) \operatorname{tg} \varphi_i \right] R_i}{K_b} - \right.$$
$$\left. - \left(\sum_{i=j}^{n} N_i f_i + \sum_{i=j}^{n} W_i x_i + \mu_v \sum_{i=j}^{n} W_i x_i + \mu_h \sum_{i=j}^{n} W_i e_i + \sum_{i=j}^{n} D_i d_i \right) \right\}; \qquad (42)$$

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Расшифровку обозначений, входящих в формулы см. в п. 5.2.13.
2. Указания по выбору коэффициента запаса K см. в п. 7.5.

6.1.4. Правила знаков аналогичны принятым для расчета коэффициента устойчивости методом общего предельного равновесия (см. п. 5.2.14).

6.1.5. Вычисление оползневых давлений по методу общего предельного равновесия рекомендуется выполнять в следующей последовательности (рисунки 8-9):

1) вычисление геометрических параметров отсеков (п. 5.2.16);

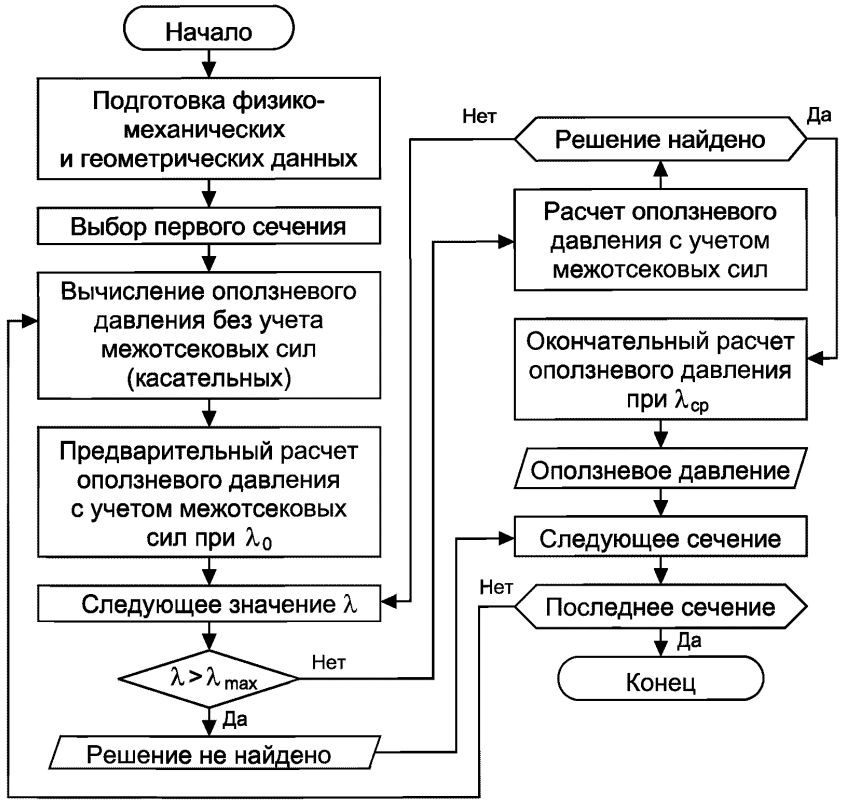


Рисунок 8 – Блок-схема расчета оползневых давлений с учетом всех условий статического равновесия

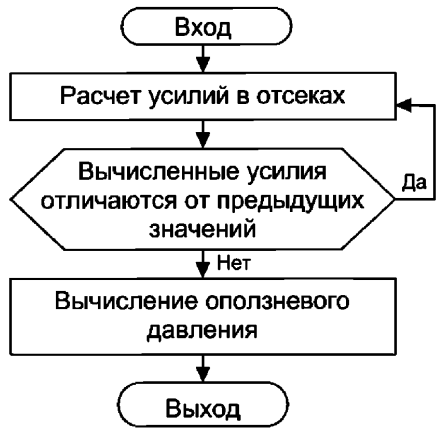


Рисунок 9 – Блок-схема расчета составляющих оползневого давления из условия равновесия сил (моментов)

2) определение постоянных усилий в отсеках (п. 5.2.17);
3) расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил без учета касательные межотсековых сил X (п. 6.1.11);
4) расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил с учетом нормальных E и касательных X межотсековых сил (п. 6.1.12);
5) расчет оползневых давлений P с использованием формулы (33).

ПРИМЕЧАНИЕ.

Расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b производится: из условия равновесия сил по формулам (39) и (41), моментов сил – с использованием формул (40) и (42).

6.1.6. Расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил без учета касательные межотсековых сил X производится в следующем порядке:

1) В каждом отсеке вычисляются силы нормальной реакции N по подошве с использованием формулы (5). Касательные межотсековые силы X не учитываются.
2) В соответствии с выбранным расчетным сечением, выполняется расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил.

6.1.7. Расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил с учетом нормальных E и касательных X межотсековых сил производится в следующем порядке:

1) Принимается очередное значение λ.
2) В каждом отсеке выполняется расчет межотсековых сил E и X, а также силы нормальной реакции N по подошве в следующей последовательности:
   а) Расчет нормальных межотсековых сил E по формуле (8).
   б) Определение касательных межотсековых сил X по формуле (7).
   в) Вычисление силы нормальной реакции N по подошве с использованием формулы (5) с учетом касательных межотсековых сил X.
   г) Сравниваются значения силы нормальной реакции N по подошве на предыдущем и последнем шаге вычислений. Если разница ΔN превышает требуемый минимум, расчет повторяется, начиная с пункта (а).
3) Выполняется корректировка модели путем исключения отсеков в верхней части оползня с отрицательными величинами межотсековых усилий.
4) В соответствии с выбранным расчетным сечением, выполняется расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил;

5) Сравниваются между собой значения составляющих оползневого давления P_a (P_b) из условия равновесия сил и моментов сил. Если разница $\Delta P_{a\,f\text{-}m}$ ($\Delta P_{b\,f\text{-}m}$) превышает необходимый минимум, расчет повторяется, начиная с пункта (1).

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Вычисление усилий в отсеках для расчетов составляющих оползневого давления из условия равновесия сил P_f и моментов сил P_m производятся ***раздельно***.
2. Расчеты выполняются методом последовательных приближений (итераций).
3. На практике достаточно достигнуть разницы $\Delta P_{a\,f\text{-}m}$ ($\Delta P_{b\,f\text{-}m}$) не более 0,1 H.
4. Сходимость составляющих оползневого давления P_a (P_b) из условия равновесия сил и моментов сил обеспечивается за счет подбора соответствующего значения коэффициента λ.
5. Значения коэффициента λ принимаются в долях от единицы. На практике интервал значений λ рекомендуется принять от 0 до 1,25.
6. Указания по расчету значения функции межотсековых сил $f(x)$ приведены в п. 5.2.21.

6.1.8. Указания по учету действия грунтовых вод см. п. 5.2.23-5.2.24.

6.1.9. Указания по учету сейсмических воздействий см. п. 5.2.25-5.2.30.

Учет многоярусного расположения удерживающих сооружений

6.1.10. Основные формулы для расчета оползневых давлений методом общего предельного равновесия с учетом многоярусного расположения удерживающих сооружений приведены ниже. Поясняющие схемы приведены на рисунках 1, 10-11.

Давление грунта P_a со стороны верхового склона из условия равновесия ***сил***:

$$P_{af}^{j} = F_j\left(\sum_{i=a}^{b} N_i \sin\alpha_i + \mu_h \sum_{i=a}^{b} W_i + \sum_{i=a}^{b} D_i \sin\beta_i + P_{bf}^{j-1}\right) - \\ - \sum_{i=a}^{b}\left[c_i l_i + \left(N_i - u_i l_i\right)\mathrm{tg}\varphi_i\right]\cos\alpha_i; \qquad (43)$$

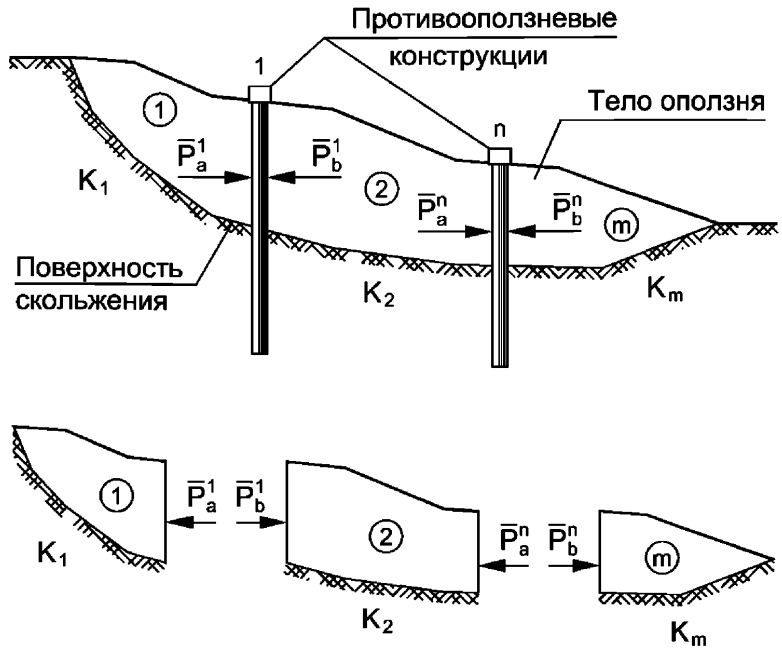


Рисунок 10 – Принципиальная схема расчета оползневых давлений на ярусы свайных сооружений с учетом отпора грунта

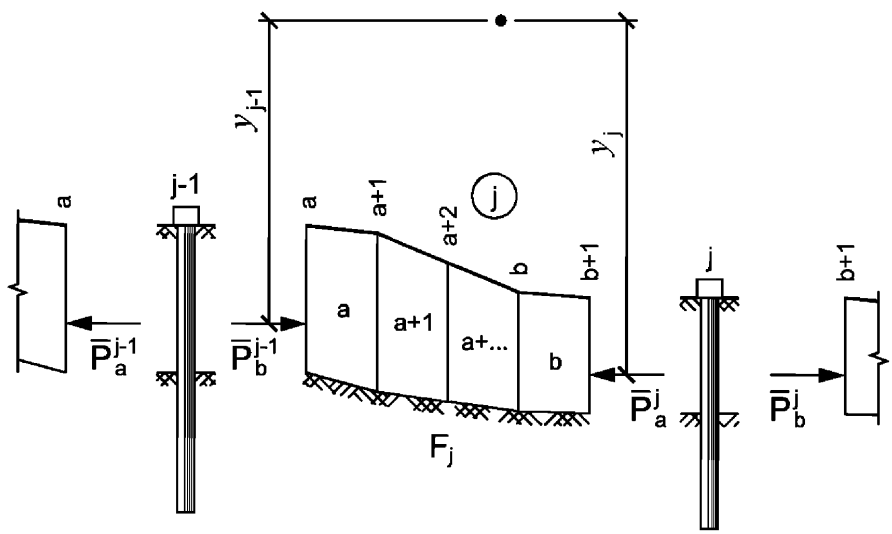


Рисунок 11 – Расчетная схема отсекового метода для вычисления оползневых давлений на многоярусные свайные сооружения

давление грунта P_a со стороны верхового склона из условия равновесия ***моментов***:

$$P_{am}^{j}=\frac{1}{y_j}\left\{K_j\left(\sum_{i=a}^{b}N_i f_i+(1+\mu_v)\sum_{i=a}^{b}W_i x_i+\mu_h\sum_{i=a}^{b}W_i e_i+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\sum_{i=a}^{b}D_i d_i+P_{bm}^{j-1}y_{j-1}\right)-\sum_{i=a}^{b}\left[c_i l_i+(N_i-u_i l_i)\mathrm{tg}\varphi_i\right]R_i\right\}; \qquad (44)$$

отпор грунта P_b со стороны низового склона из условия равновесия ***сил***:

$$P_{bf}^{j-1}=\frac{\sum_{i=a}^{b}\left[c_i l_i+(N_i-u_i l_i)\mathrm{tg}\varphi_i\right]\cos\alpha_i+P_{af}^{j}}{K_j}-$$
$$-\left(\sum_{i=a}^{b}N_i\sin\alpha_i+\mu_h\sum_{i=a}^{b}W_i+\sum_{i=a}^{b}D_i\sin\beta_i\right); \qquad (45)$$

отпор грунта P_b со стороны низового склона из условия равновесия ***моментов***:

$$P_{bm}^{j-1}=\frac{1}{y_{j-1}}\left\{\frac{\sum_{i=a}^{b}\left[c_i l_i+(N_i-u_i l_i)\mathrm{tg}\varphi_i\right]R_i+P_{am}^{j}y_j}{K_j}-\right.$$
$$\left.\left(\sum_{i=a}^{b}N_i f_i+(1+\mu_v)\sum_{i=a}^{b}W_i x_i+\mu_h\sum_{i=a}^{b}W_i e_i+\sum_{i=a}^{b}D_i d_i\right)\right\}. \qquad (46)$$

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Расшифровку обозначений, входящих в формулы см. в п. 5.2.13.
2. Указания по выбору коэффициента запаса K см. п. 7.5.

6.1.11. Правила знаков аналогичны принятым для расчета коэффициента устойчивости методом общего предельного равновесия (см. п. 5.2.14).

6.1.12. Вычисление оползневых давлений по методу общего предельного равновесия с учетом многорусного расположения удерживающих сооружений рекомендуется выполнять в следующей последовательности (рисунки 9, 12-13):

1) Вычисление геометрических параметров отсеков (п. 5.2.16).
2) Определение постоянных усилий в отсеках (п. 5.2.17).

3) Для каждой части оползня (верхней, между ярусами конструкций и нижней):
   а) расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил без учета касательных межотсековых сил X (п. 6.1.11);
   б) Расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b из условия равновесия сил и моментов сил с учетом нормальных E и касательных X межотсековых сил (п. 6.1.12).
4) Расчет оползневых давлений P между каждыми двумя смежными частями оползня с использованием формулы (33).

ПРИМЕЧАНИЕ.

Расчет составляющих оползневого давления P_a и P_b производится: из условия равновесия сил по формулам (43) и (45), моментов сил – с использованием формул (44) и (46).

6.1.13. В общем случае, каждая из частей оползневого тела между ярусами сооружений может быть в целом неустойчивой, устойчивой или устойчивой в верхней части и неустойчивой – в нижней:

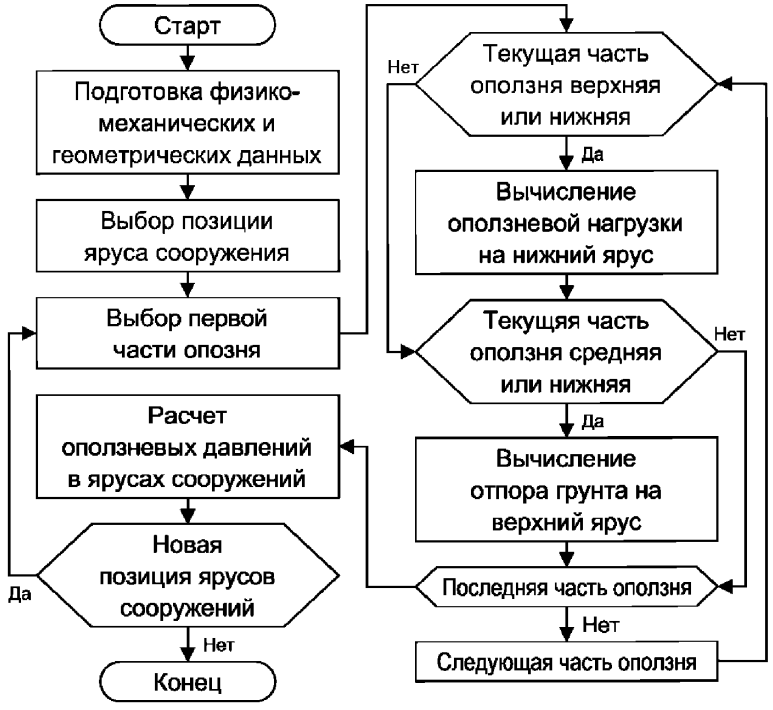


Рисунок 12 – Блок-схема расчета оползневых давлений на многоярусные свайные сооружения

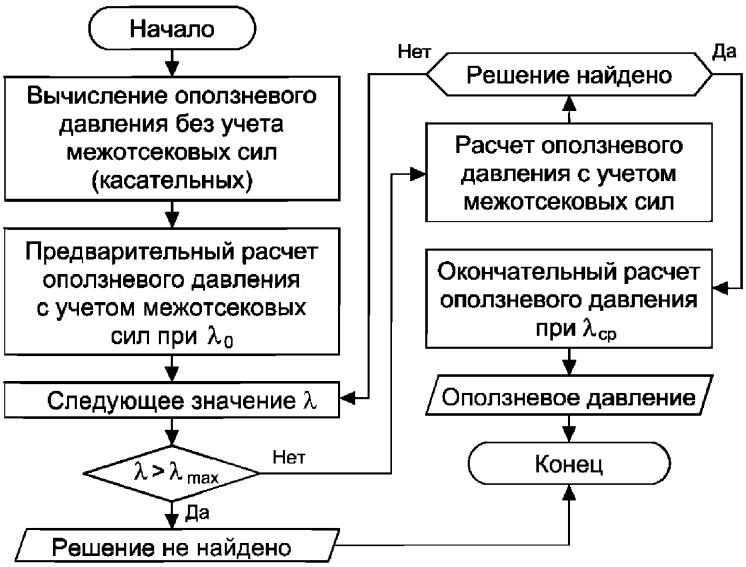


Рисунок 13 – Блок-схема расчета оползневого давления выше (или отпора грунта ниже) яруса сооружений

- в первом случае рассматриваемая часть оползня создает давление на нижестоящий ярус удерживающих сооружений:

$$P_a^j > 0,\ P_b^{j-1} = 0;$$

- во втором случае – создает отпор для вышестоящей конструкции и не оказывает давления на нижестоящий ярус:

$$P_a^j = 0,\ P_b^{j-1} > 0;$$

- в последнем случае рассматриваемая часть оползня делится на две, которые относятся соответственно ко второй и первой расчетным схемам.

Поэтому решение систем уравнений для таких частей оползня производится два раза. Для расчета составляющей оползневого давления P_a, величина P_b принимается равной нулю. Соответственно, для определения P_b, значение $P_a = 0$.

6.1.14. Указания по учету действия грунтовых вод см. п. 5.2.23-5.2.24.

6.1.15. Указания по учету сейсмических воздействий см. п. 5.2.25-5.2.30.

6.2. Метод конечных элементов

6.2.1. В рамках метода конечных элементов, оползневое давление на сооружение обуславливается разностью напряжений в грунте в плоскостях по контакту с сооружением со стороны верхового и низового склона (рисунок 14). Для расчета оползневых давлений, как правило, принимаются горизонтальные составляющие напряжений в грунте в вертикальной плоскости.

Оползневое давление на сооружение P при этом определяется разностью результирующих эпюр оползневого давления грунта p_a со стороны верхового и отпора грунта p_b

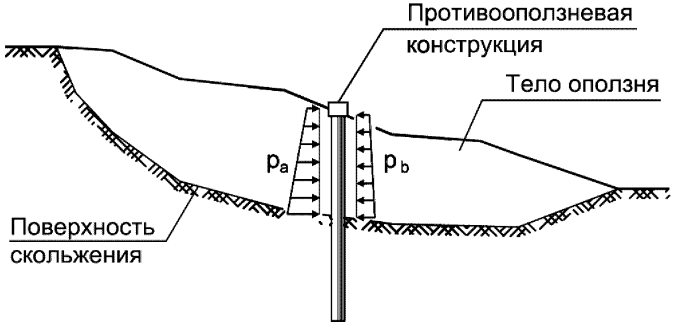


Рисунок 14 - Принципиальная схема расчета оползневых давлений с учетом отпора грунта

ниже расчетного сечения по склону, с учетом обеспечения необходимого коэффициента запаса K:

$$P = K\int_0^h p_a dz - \int_0^h p_b dz, \tag{47}$$

где $p_a(p_b)$ – давление грунта на сооружение со стороны верхового (низового) склона на глубине z от поверхности земли, *кПа*;

z – глубина точки определения давления от поверхности земли, *м*;

K – коэффициент запаса.

6.2.2. В случае если ниже сооружения не имеется грунтовой призмы, способной оказывать реактивное давление или по оползневым условиям ожидается полное или частичное отслоение пород от низовой части сооружений, давление отпора грунта p_b не учитывается:

$$P = K\int_0^h p_a dz. \tag{47а}$$

6.2.3. В случае определения давления на конструкцию, не препятствующую фильтрации подземных вод, расчет производят с использованием эффективных напряжений. В противном случае следует учитывать гидростатическое давление воды.

6.2.4. Оценка оползневых давлений методом конечных элементов выполняется с использованием конечно-элементной модели. Указания по составлению расчетной конечно-элементной модели приведены в параграфе 5.3 (п. 5.3.3-5.3.8).

6.2.5. Необходимо учитывать, что наличие строительных конструкций в пределах расчетной модели влияет на напряженно-деформированное состояние грунтового массива. Для расчета оползневого давления на проектируемую конструкцию при изменении ее положения следует провести новый расчет напряженно-деформированного состояния модели.

6.3. Комбинированный метод

6.3.1. В рамках комбинированного метода, оползневое давление на сооружение P определяется разностью сдвигающих и удерживающих сил, действующих вдоль поверхности скольжения с учетом обеспечения необходимого коэффициента запаса K. Величина оползневого давления P при этом определяется разностью давления грунта P_a со стороны верхового склона и отпора грунта P_b ниже расчетного сечения по склону (см. формулу (33) и рисунок 6).

6.3.2. Расчет оползневого давления P, а также его составляющих P_a и P_b следует производить с учетом указаний п. 6.1.2-6.1.3.

6.3.3. Оценка оползневых давлений комбинированным методом выполняется посредством совместного использования конечно-элементной модели грунтового массива и отсековой модели оползня с учетом указаний параграфа 5.4 (п. 5.4.3-5.4.7).

6.3.4. Давление грунта со стороны верхового склона P_a в сооружении компенсируется равной по величине реакцией и рассматривается как удерживающая сила – из условия равновесия моментов согласно указаниям п. 6.1.5.

6.3.5. Отпор грунта P_b ниже расчетного сечения по склону в сооружении компенсируется равной по величине реакцией и рассматривается как сдвигающая сила – из условия равновесия моментов согласно указаниям п. 6.1.6.

6.3.6. Расчет сумм сдвигающих и удерживающих усилий по поверхности скольжения в каждом отсеке производится с учетом указаний п. 5.4.4.-5.4.7.

7. УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ И ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ

7.1. Исходные данные для расчета

7.1.1. Для проведения фактической и прогнозной оценки степени устойчивости откосов и склонов, а также расчета оползневых давлений необходимы следующие исходные данные:

- топографический план защищаемого участка в масштабе 1:200 – 1:1000;
- характерные инженерно–геологические разрезы защищаемого участка, отражающие максимально достоверные особенности геологического строения склона;
- положение существующих и проектируемых зданий, сооружений, автодорог и различных проездов, а также любых других объектов, создающих дополнительную нагрузку на склон;
- величины статических и динамических техногенных нагрузок от существующих и проектируемых на склоне объектов;
- положение и параметры существующих удерживающих сооружений (подпорных, подпорно-планировочных стен, свайных, свайно-анкерных и анкерных удерживающих сооружений);
- гидрогеологические условия участка инженерной защиты (данные об уровнях грунтовых вод или пьезометрических уровнях напорных подземных вод и водовмещающих породах);
- существующие и прогнозируемые области распространения опасных инженерно–геологических процессов:
  - типы оползней по механизму оползневого процесса, границы оползневых тел в плане и по глубине;
  - положение в массиве склона поверхностей ослабления: трещин различного происхождения, старых и свежих поверхностей оползневых смещений, контактов слоев, прослоев и зон малопрочных пород, зон тектонического дробления;
  - положение промоин, областей плоскостной эрозии (размыва и смыва грунтов);
  - глубины зон выветривания горных пород;
- расчетные величины прочностных и деформационных свойств пород ненарушенной структуры, а также по поверхностям и зонам ослабления (смещения) с учетом ожидаемых изменений этих показателей по сезонным периодам и за многолетний срок.
- расчетная величина сейсмичности защищаемого склона;
- классы капитальности и категории защищаемых зданий и сооружений.

7.1.2. Класс капитальности противооползневых сооружений устанавливается и утверждается на стадии «Проектная документация» или «Рабо-

чая документация» в зависимости от назначения, класса капитальности и категории защищаемых зданий, сооружений и коммуникаций:

- для всех видов противооползневых сооружений следует назначать III класс капитальности;
- допускается повышение класса капитальности отдельных противооползневых сооружений до II класса, если в зоне защиты расположены крупные промышленные предприятия, многоэтажная застройка, магистральные дороги или трубопроводы;
- класс капитальности удерживающих сооружений повышается до I класса, если перечисленные объекты или их части размещаются непосредственно на противооползневых сооружениях или создаваемом ими контрбанкете;
- для противооползневых конструкций назначается IV класс капитальности, если сооружение предназначено для инженерной защиты садов, парков или сельскохозяйственные угодий.

7.1.3. Расчетные величины прочностных и деформационных свойств грунтов следует принимать соответствующими наименее благоприятным, но реально возможным условиям устойчивости оползневого склона в годовом и многолетнем циклах, и отвечающими вероятности, назначаемой проектом в зависимости от класса капитальности защищаемых зданий и сооружений:

Класс	Вероятность
I	0,99
II	0,95
III	0,95
IV	0,80

7.1.4. Расчетные величины прочностных характеристик грунтов должны уточняться с использованием «обратных» расчетов устойчивости в случаях, оговоренных в п.7.7.3. Указания по применению метода «обратных» расчетов см. п. 7.7.1., 7.7.4-7.7.5.

7.2. Выбор положения и количества расчетных створов

7.2.1. Количество расчетных створов и их положение в плане зависит от конкретных инженерно-геологических условий и от местоположения существующих и проектируемых на склоне сооружений, а также от стадии проектирования и задач, поставленных проектом освоения рассматриваемого склона.

7.2.2. Количество расчетных створов определяется необходимостью как можно полнее охватить все разнообразие инженерно-геологических условий площадки, конфигураций поверхности склона и поверхности скольжения, возможное изменение контуров оползня в плане (на перспективу) и т. д.

7.2.3. Расчетные створы необходимо выбирать в пределах сферы взаимодействия оползневой или потенциально оползневой территории с за-

щищаемым участком на основе анализа результатов инженерно-геологических изысканий, в том числе и стационарных наблюдений.

7.2.4. В первую очередь для оценки устойчивости следует принимать расчетные створы, наименее благоприятные по условиям устойчивости

7.2.5. На участках склонов, где наличие оползней не зафиксировано, но их вероятность обусловлена строительством проектируемых объектов, расчетные створы назначают на основе геоморфологического анализа участка склона в зоне влияния проектируемых зданий и/или сооружений.

7.2.6. На каждом оползне рекомендуется назначать как минимум один расчетный створ, приуроченный к оси оползня. Для оползней значительной ширины задаются дополнительные створы – на участках с инженерно-геологическими условиями, отличными от осевого створа (по рельефу, геологическому строению, гидрогеологическим условиям, физико-механическим свойствам пород, мощности оползневого тела и протяженности линии оползневого смещения).

7.2.7. Направление основного расчетного створа на участках оползневых склонов должно совпадать с главным направлением существующего или прогнозируемого движения оползня по линии самых низких гипсометрических отметок ложа оползня (как правило, в направлении наибольшей крутизны падения земной поверхности).

7.2.8. На крупных оползневых участках расчетные створы намечают по нескольким направлениям, учитывая возможность изменения условий их устойчивости и стадий развития.

7.2.9. Расчетные створы необходимо предусматривать во всех вариантах защищаемых объектов.

7.2.10. Наиболее опасными являются участки склона на которых:

- делювиальные или элювиальные отложения расположены на толще выветрелых размягчаемых скальных пород с крутым падением трещиноватых пластов в сторону склона;
- возможно смещение выветрелых размягчаемых пород по внутренним межпластовым поверхностям (в результате увлажнения этих пород и падения прочности на контактах напластований);
- есть вероятность смещения всей толщи по контакту выветрелой зоны и устойчивыми коренными (невыветрелыми) породами.

7.2.11. Построение основных расчетных створов должно по возможности осуществляться в комплексе инженерно-геологических изысканий силами изыскательской организации. Построение дополнительных створов может выполняться проектировщиками на основе данных инженерно–геологических изысканий: отметок поверхности склона, геологических выработок, расположения литологических слоев, уровня подземных вод и т. д.

7.2.12. Итоги расчета допускается экстраполировать на участки склона, аналогичные по рельефу и инженерно-геологическим условиям.

7.3. Требования к составлению расчетной схемы

7.3.1. Расчетные схемы для каждого расчетного створа склона следует составлять на основе выбранных расчетных створов и анализа инженерно-геологических разрезов по их направлениям.

7.3.2. Разрабатывать расчетные схемы следует с учетом наиболее реального отражения фактического состояния устойчивости склона (откоса), а также изменений в период строительства и эксплуатации защищаемых объектов и удерживающих сооружений.

7.3.3. Основой для построения расчетной схемы является инженерно-геологический разрез, выполненный в неискаженном масштабе (горизонтальный, вертикальный и грунтовый масштабы должны быть одинаковыми) с учетом требований п. 7.1.1.

7.3.4. Рельеф расчетной схемы должен быть построен на точной геодезической основе с показанием всех современных элементов поверхности склона: зон выпора, заколов, трещин и других признаков членения оползня, отметок характерных точек (бровок и подошвы осыпей и обвалов, верхней и нижней отметок стенок и ступеней срыва и проч.).

7.3.5. Построение рельефа для расчетной схемы на основе на основе топографических планов съемок прошлых лет допускается только для ориентировочных (приближенных) расчетов.

7.3.6. Расчетная схема должна охватывать весь оползневой или оползнеопасный массив горных пород как по простиранию, так и по глубине.

7.3.7. Для расчетов на основе метода конечных элементов назначаемые размеры расчетной схемы должны обеспечивать отсутствие влияния границ модели на результаты расчетов.

7.3.8. Расчеты методами, предусматривающими возможность учета истории нагружения, должны проводиться на основе расчетных схем, учитывающих последовательность изменений рельефа, нагрузок на склон, гидрогеологических условий, а также прочностных и деформационных свойств горных пород.

7.3.9. Выбор расчетной схемы и параметров, характеризующих прочностные и деформационные свойства пород, не обоснованный изысканиями и исследованиями, не может приниматься в обоснование проекта.

7.4. Определение необходимого состава расчетов

7.4.1. Состав расчетов в каждом конкретном случае должен назначаться индивидуально на основе тщательного анализа особенностей существующей (прогнозируемой) ситуации на склоне:

- состава смещающихся или потенциально оползневых пород;

- расположения и размеров оползневых смещений по длине и глубине расчетного сечения;
- расположения защищаемого объекта;
- расположения существующих и проектируемых удерживающих сооружений;
- величин и характера статических и динамических техногенных нагрузок на склон и прогноз их изменения с течением времени;
- развития процессов эрозии и глубинного выветривания при нарушении элювиально-делювиального покрова и разгрузки нижележащих пород в результате природных процессов (оползни) или вертикальной планировки (расчистка строительной площадки, устройство глубоких выемок и т. д.);
- изменения прочностных и деформационных характеристик пород склона в результате природных процессов и/или инженерно-хозяйственной деятельности человека;
- сейсмичности защищаемого участка склона (откоса) и т. д.

А также поставленных целей и задач:

- оценки степени устойчивости стабилизированных или активных оползневых участков;
- прогноза изменения степени устойчивости оползневых участков с учетом природных факторов и инженерно-хозяйственной деятельности человека;
- оценки влияния существующих и проектируемых объектов на устойчивость оползневых (оползнеопасных) откосов и склонов;
- проектирования инженерной защиты существующих и проектируемых объектов от оползневых явлений и т. д.

7.4.2. Общая стратегия обоснования проекта противооползневой защиты должна предусматривать:

- гипотезу о механизме и причинах оползней (с учетом всего их многообразия), разработанную и подтвержденную в процессе инженерно-геологических изысканий и исследований;
- оценку устойчивости оползневого склона в естественном его состоянии;
- уточнение прочностных характеристик грунтов методом «обратных» расчетов в случаях, предусмотренных п. 7.7.3.;
- прогноз устойчивости оползневого (оползнеопасного) склона на всех этапах освоения (строительный и эксплуатационный периоды) с учетом искусственной нагрузки, подтверждающий достаточность запроектированных противооползневых сооружений и работ и их соответствие классу капитальности защищаемых зданий и сооружений.

7.4.3. Оценку устойчивости оползневых и оползнеопасных откосов и склонов следует производить исходя из наиболее неблагоприятных условий,

но реально возможных для данного участка на каждом этапе освоения (инженерной защиты) склона, с учетом возможных сочетаний нагрузок.

ПРИМЕЧАНИЕ.

В случае если выбрать наиболее неблагоприятное сочетание условий не представляется возможным, следует выполнять варианты расчетов с последующим выбором варианта, наименее благоприятного для данного участка откоса или склона по степени его устойчивости.

7.4.4. В расчетах устойчивости оползневых склонов учитываются следующие нагрузки и воздействия:

Постоянные нагрузки:

- расчетный объемный вес грунта;
- вес расположенных на склоне зданий и постоянных сооружений.

Временные:

- гидростатическое взвешивание;
- вес водонасыщенного грунта обводненной части;
- вес расположенных на склоне временных зданий и сооружений;
- транспортная и строительная нагрузка.

Особые:

- действие грунтовых вод, отвечающее катастрофическому режиму уровня подземных вод редкой повторяемости;
- сейсмическая нагрузка (для районов с интенсивностью сейсмических воздействий 6 баллов или более).

7.4.5. При расчете устойчивости оползневых склонов следует различать основное и особое сочетание нагрузок и воздействий. Основное сочетание нагрузок включает постоянные и временные нагрузки, особое сочетание – постоянные, временные и особые.

Одновременное действие различных нагрузок и их сочетания устанавливаются, исходя из физически реальных вариантов их одновременного действия и с учетом СНиП «Нагрузки и воздействия». Величины транспортных нагрузок рекомендуется определять с учетом СНиП «Мосты и трубы», а также ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы, габариты приближения».

7.5. Выбор нормативных коэффициентов устойчивости (коэффициентов запаса)

7.5.1. Задаваемые проектом величины нормативных коэффициентов устойчивости (коэффициентов запаса) должны:

- гарантировать устойчивость оползневого склона с запасом, соответствующим назначенному проектом классу капитальности защищаемых зданий и сооружений;

- учитывать степень соответствия расчетной схемы действительным условиям оползневого склона, степень точности примененного метода расчета и достоверности расчетных прочностных и деформационных параметров грунтов, участвующих в оползневом процессе.

7.5.2. Величина нормативного коэффициента запаса определяется соотношением (см. п. 7.1.2):

$$K = \frac{\psi \gamma_n}{\gamma_c}, \qquad (48)$$

где ψ – коэффициент учета расчетного периода (для эксплуатационного периода $\psi = 1$, для строительного периода $\psi = 0{,}95$);

γ_c – коэффициент условий работы, учитывающий вид предельного состояния, степень точности исходных данных, приближенность расчетных схем, тип сооружения, конструкции или основания, вид материала и другие факторы;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый в зависимости от класса капитальности защищаемых зданий и сооружений (см. таблицу 3);

7.5.3. При высокой точности расчетов, выполненных на основе подробных инженерно-геологических изысканий и анализов грунтов, учитывающих все геотехнические требования и обработанных современными методами математической статистики, могут приниматься минимальные величины нормативного коэффициента устойчивости (коэффициента запаса) оползневого склона, согласно формуле (48).

7.5.4. Для особо ответственных сооружений, а также при недостаточной полноте исходных данных, отсутствии инженерно-геологического анализа устойчивости оползневого склона и неполном соответствии расчетной схемы действительному механизму оползней, выбранные согласно формуле (48) нормативные коэффициенты устойчивости (коэффициенты запаса) должны повышаться до величины высшего порядка класса капитальности сооружений, но не более 1,5 для I класса.

Таблица 3 – Коэффициент надежности по назначению сооружения γ_n

Сочетания нагрузок и воздействий	Класс капитальности защищаемых зданий и сооружений			
	I	II	III	IV
Основное	1,35	1,25	1,20	1,15
Особое	1,15	1,15	1,10	1,10

7.6. Выбор методов расчета

7.6.1. Выбор методов расчета устойчивости склонов и оползневых давлений следует осуществлять с учетом их ограничений и областей применения на основе тщательного анализа особенностей расчетных схем:

- выраженность и крутизна рельефа;
- наличие значительных по величине местных и динамических нагрузок;
- наличие областей местной концентрации напряжений;
- наличие и тип строительных конструкций;
- наличие и тип удерживающих сооружений;
- необходимость учета последовательности хозяйственного освоения склона.

7.6.2. Основные методы, рекомендованные для расчета устойчивости и оползневых давлений включают:

- метод предельного равновесия;
- метод конечных элементов;
- комбинированный метод;
- метод пространственных колонок.

7.6.3. Метод предельного равновесия обладает следующими ограничениями:

- не позволяет учитывать:
  - местные концентрации напряжений;
  - нагрузки и реакции вне тела оползня;
  - взаимодействие грунта со строительными конструкциями;
  - жесткость и характер влияния строительных конструкций;
  - историю нагружения склона;
- для применения метода необходимы допущения:
  - о распределении нормальных и касательных межотсековых сил по длине оползня;
  - о влиянии и распределении реакций от подпорных и анкерных конструкций;
- сходимость решения уравнений метода значительно затруднена для крутых и укрепленных откосов.

7.6.4. **Метод предельного равновесия** рекомендуется применять в следующих условиях:

- протяженный склон незначительной или средней крутизны (до 30-45 град) со спокойным, плавным рельефом;
- мощность смещаемых отложений значительно меньше длины оползневого или оползнеопасного массива;
- поверхность скольжения не имеет значительных переломов;
- поверхность скольжения не пересекает строительных конструкций;
- локальные формы рельефа укреплены подпорными или подпорно-планировочными стенами массивного или уголкового типа;

- значительные местные и динамические нагрузки отсутствуют;
- рельеф склона в процессе хозяйственного освоения не претерпевает значительных изменений;

ПРИМЕЧАНИЕ.

В случае склонов укрепленных свайными и анкерными конструкциями применение метода предельного равновесия рекомендуется только для получения коэффициента устойчивости. Анализ распределения усилий внутри оползневого массива рекомендуется с применением комбинированного метода или метода конечных элементов.

7.6.5. **Метод конечных элементов** обладает следующими ограничениями:

- не позволяет оценивать степень устойчивости конкретной локальной области расчетной схемы;
- не позволяет провести расчет неуравновешенного грунтового массива (с коэффициентом устойчивости значительно меньше единицы);
- учет больших перемещений требует применения специального математического аппарата в сочетании с расчетом по изменяемой сетке;
- границы расчетной схемы могут влиять на внутреннее напряженно-деформированное состояние грунтового массива;
- протяженные расчетные схемы приводят к значительным затратам машинного времени за счет значительного количества конечных элементов.

7.6.6. **Метод конечных элементов** рекомендуется применять в следующих условиях:

- откосы и склоны любой крутизны и конфигурации;
- мощность смещаемых отложений сопоставима с длиной оползневого или оползнеопасного массива;
- поверхность скольжения может пересекать строительные конструкции;
- локальные формы рельефа укреплены сооружениями любого типа (подпорные стены, свайные, свайно-анкерные и анкерные сооружения);
- присутствуют значительные местные и динамические нагрузки;
- рельеф склона в процессе хозяйственного освоения изменяется глубокими выемками и/или высокими насыпями;

7.6.7. **Комбинированный метод** обладает теми же ограничениями, что и метод конечных элементов за исключением п. 1.

7.6.8. Область **комбинированного метода** аналогична методу конечных элементов (см. п. 7.6.6).

7.6.9. **Метод пространственных колонок** основан на методе предельного равновесия и обладает теми же ограничениями, см. п. 7.6.3.

7.6.10. Оценку устойчивости методом пространственных колонок рекомендуется выполнять:

- для несимметричных в плане и по глубине массивов;
- когда мощность оползня значительно отличается в середине массива и на бортах;
- когда ширина оползневого тела превышает его длину в два или больше раз;
- когда в сечениях массива имеются изменения в геологическом строении или в условиях распространения подземных вод;
- при локальных пригрузках в голове оползня и при локальных разгрузках в языке;
- при возможных локальных изменениях порового давления грунта.

7.7. Уточнение характеристик методом переходных коэффициентов

7.7.1. Метод переходных коэффициентов применяется с целью уточнения расчетных значений прочностных показателей оползневых глинистых (суглинистых) отложений, а также для приближенной детерминированной и вероятностной оценки устойчивости склонов (откосов) в случаях недостаточного объема данных инженерных изысканий.

7.7.2. Переходные коэффициенты K_n являются осредненными величинами, полученными с применением метода «обратных расчетов устойчивости» оползнеопасных склонов и откосов в процессе статистической обработки результатов, и позволяют определять значения сцепления c и угла внутреннего трения φ, приближенно соответствующих моменту оползневого смещения, а также наиболее вероятный диапазон их изменения.

7.7.3. Величины сцепления c_t и угла внутреннего трения φ_t, ориентировочно соответствующие моменту оползневого смещения, определяются в зависимости от нормативных значений $c_н$ и $\varphi_н$ на основе фактических или архивных данных испытаний монолитов по двум схемам ускоренного среза:

- неконсолидированный срез при водонасыщении:

$$c_t = c_н \cdot 0{,}24;$$

$$\varphi_t = \varphi_н \cdot 0{,}34;$$

- срез по подготовленной и смоченной поверхности:

$$c_t = c_н \cdot 0{,}68;$$

$$\varphi_t = \varphi_н \cdot 0{,}79.$$

7.7.4. Наиболее вероятный диапазон изменчивости значений сцепления и угла внутреннего трения оползневых глинистых грунтов, при недостаточном объеме данных инженерных изысканий, определяется, исходя из следующего соотношения, полученного методами статистической обработки результатов испытаний на срез и линейной интерполяции:

$$SD/c_t = 0{,}184;$$

$$SD/\varphi_t = 0{,}141,$$

где SD – стандартная девиация, определяющая диапазон изменчивости (разброса) значений сцепления и угла внутреннего трения;

7.7.5. Величины SD используются при выполнении вероятностных расчетов устойчивости склонов (откосов) методом Монте-Карло.

7.7.6. В случае недостаточности информации о колебаниях уровня грунтовых вод, рекомендуется принять допущение, что коэффициент устойчивости глинистых отложений на склоне (откосе) при повышенном уровне K_y^w уменьшается приблизительно на 16%:

$$K_y^W = K_y \cdot 0{,}84,$$

где K_y – расчетная величина коэффициента устойчивости при обычном уровне грунтовых вод.

7.7.7. Метод переходных коэффициентов рекомендован к применению на стадиях обоснования инвестиций и разработки проектной документации, а при необходимости – и на стадии разработки рабочей документации.

7.8. Уточнение характеристик методом «обратных» расчетов

7.8.1. Обратные расчеты устойчивости заключаются в определении таких величин сопротивления сдвигу, которые соответствуют предельному равновесию сил для конкретных рассматриваемых оползней, склонов или уступов с заданным коэффициентом запаса.

Величины коэффициента устойчивости при указанных условиях принимаются равными:

- единице – для откосов и склонов, находящихся по данным изысканий или визуальных наблюдений в предоползневом состоянии (наблюдаются трещины, заколы, беспорядочный наклон деревьев в сторону падения склона), а также для активных оползневых участков;
- незначительно выше единицы ($K_y \geq 1{,}1$) – для откосов и склонов, не проявляющих признаки предоползневой стадии, но подверженных активному глубинному выветриванию и/или техногенным воздействиям, способствующим снижению прочностных характеристик грунтов, а также для недавно стабилизированных оползневых участков.

7.8.2. Необходимость уточнения прочностных характеристик грунтов методом «обратных» расчетов в ряде конкретных случаев может быть обусловлена:

- недостоверностью прочностных характеристик грунтов вследствие недостаточного объема инженерно–геологических изысканий или качества их обработки;
- несоответствием результатов расчета фактической ситуации;
- изменчивостью свойств грунтов в пространстве и во времени (особенно в горной местности);
- погрешностью и допусками теоретических и программных средств, применяемых для оценки степени устойчивости и расчета оползневых давлений т.д.

7.8.3. Уточнение прочностных характеристик грунтов методом «обратных» расчетов следует применять в следующих случаях:

- материалы инженерно-геологических изысканий определяют только причины образования оползней их механизм, но прочностные и деформационные параметры пород с достаточной достоверностью не определены;
- результаты расчета противоречат фактически наблюдаемой ситуации[1]:
  - расчетный коэффициент устойчивости $K_y > 1$ для активного оползня;
  - расчетный коэффициент устойчивости $K_y < 1$ для стабильного по наблюдениям участка;
- характеристики грунтов получены:
  - для смежного участка с аналогичными геологическими, морфологическими, гидрогеологическими и техногенными условиями;
  - в целом для протяженного или значительного по площади участка в горной местности;
  - по архивным данным или по статистически недостоверным результатам изысканий;
  - в более благоприятный период года относительно гидрогеологических и др. условий;
- на смежных участках в аналогичных инженерно–геологических условиях наблюдается развитие оползневых явлений;
- прогнозируется захват оползневыми подвижками участков, примыкающих к действующим оползням.

[1] При условии достаточного обоснования принятых расчетных схем и методов расчета

- при «реконструкции» инженерно-геологических условий проявления оползневых подвижек.

7.8.4. На протяженных или значительных по площади участках, метод «обратных» расчетов может применяться индивидуально для каждого расчетного створа.

7.8.5. В процессе выполнения «обратных» расчетов, прочностные (сдвиговые) характеристики грунтов должны подбираться в диапазоне:

$$c_{\min} \le c_{back} \le c_{fact}, \tag{49}$$

$$\varphi_{\min} \le \varphi_{back} \le \varphi_{fact}, \tag{50}$$

где c_{min}, φ_{min} – минимальные прочностные характеристики грунтов в уровне поверхности скольжения, определенные по схеме сдвига грунта по подготовленной и смоченной поверхности («плашка по плашке»);

c_{back}, φ_{back} – прочностные характеристики по данным «обратных» расчетов устойчивости;

c_{fact}, φ_{fact} – прочностные характеристики в естественном состоянии, определенные по схеме сдвига грунта ненарушенной структуры.

7.8.6. Варьирование значений прочностных характеристик при выполнении «обратных» расчетов устойчивости должно производиться:

- для глинистых грунтов – пропорционально величинам соответствующих переходных коэффициентов (см. параграф. 7.6) либо принимая минимальное значение φ и подбирая величину c;
- для песчаных, супесчаных и щебенистых грунтов – принимая минимальное значение c и подбирая величину φ.

7.8.7. Для неоднородных откосов и склонов «обратные» расчеты должны производиться послойно в пределах всей оползневой или оползнеопасной толщи. Целевой коэффициент запаса устойчивости при этом для каждого слоя должен назначаться индивидуально, с учетом степени опасности его вовлечения в оползневые подвижки (см. п. 7.8.1.).

7.9. Определение наиболее вероятной поверхности скольжения

7.9.1. Положение поверхности(ей) скольжения следует устанавливать по результатам инженерно-геологических изысканий (для оползневых участков) либо посредством выполнения серии расчетов устойчивости (если положение поверхности неизвестно или склон не является оползневым).

7.9.2. В случае если поверхность смещения не зафиксирована, определение наиболее вероятной поверхности скольжения следует производить в следующей последовательности:

- предварительное назначение поверхности(ей) скольжения на основе анализа инженерно–геологических условий защищаемого участка;
- уточнение положения поверхности скольжения на основе серии расчетов устойчивости;
- выбор наиболее вероятной (экстремальной) поверхности скольжения.

7.9.3. Предварительное положение поверхности скольжения следует назначать на основе тщательного анализа особенностей геологического строения склона, а также гидрогеологических:

- для откосов однородного строения (в основном искусственных) – в приоткосной зоне в районе призмы обрушения;
- на контакте покровных потенциально смещаемых грунтов коры выветривания и коренных несмещаемых пород;
- в случае многослойного строения грунтовой толщи – по подошве или в пределах каждого потенциально оползневого слоя;
- по прослоям слабых грунтов, участкам зафиксированных старых поверхностей сдвига;
- по напластованиям коренных пород (к примеру, при подрезке глубокой выемкой) и др.
- А также во внимание следует принимать:
- наличие и расположение наиболее крутых участков склона, искусственных откосов и природных уступов, бровок срыва старых оползней;
- расположение и размеры различных трещин закола, зон тектонического дробления, эрозионных промоин, областей замачивания и др.;
- направление напластования скальных коренных грунтов;
- положение областей приложения нагрузок от искусственных объектов и механизмов, а также их различных сочетаний и пр.

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Форма поверхности скольжения для однородных откосов и склонов может приниматься плоской, круглоцилиндрической, логарифмической, комбинированной и т.д.
2. Если в склоновых накоплениях имеется водоносный горизонт, оценку устойчивости следует проводить, как правило, во всей зоне от уровня подземных вод до подошвы склоновых накоплений.

7.9.4. Положение каждой предварительно намеченной поверхности скольжения уточняется посредством построения семейства поверхностей смещения. Уточнение производится путем варьирования положения поверхности скольжения как по длине откоса или склона (расположение начала и выхода на поверхность земли), так и по глубине каждого потенциально смещаемого слоя.

В результате рассмотрения семейств поверхностей скольжения необходимо найти такое их положение, при котором соблюдались бы условия следующие условия (см. рисунок 15):

$$K_1 > K_2 < K_3\,,\ K_4 > K_5 < K_6 < K_7$$

где $K_1, K_2, K_3 \ldots$ – коэффициенты устойчивости склона для соответствующих поверхностей скольжения;

7.9.5. Наиболее вероятной (экстремальной) поверхностью скольжения считается поверхность, обеспечивающая наименьший коэффициент устойчивости грунтового массива.

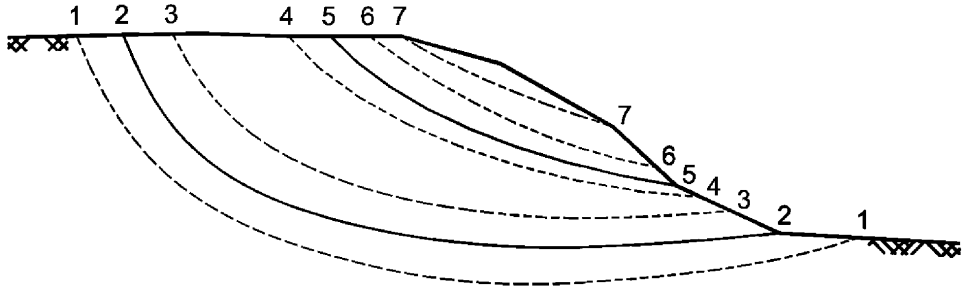


Рисунок 15 – Принципиальная схема поиска наиболее вероятной поверхности скольжения

7.10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АНАЛИЗУ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ И ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ

7.10.1. В процессе и по завершении выполнения намеченной программы расчетов устойчивости и оползневых давлений необходимо выполнять критический анализ полученных результатов.

7.10.2. Целью анализа результатов расчетов устойчивости является:

- оценка фактического состояния склонов (откосов);
- оценка степени достоверности используемых исходных данных и методов расчета;
- оценка степени влияния на устойчивость склонов (откосов) различных природных и техногенных факторов, а также их сочетаний;
- выявление причин и условий возникновения или активизации оползневых процессов, а также установление наиболее значимых поводов, провоцирующих существующие или прогнозируемые оползневые подвижки;
- прогноз изменения степени устойчивости склона неукрепленного склона под воздействием природных факторов с учетом инженерно–хозяйственной деятельности по освоению или реорганизации склона;

- оценка достаточности и эффективности существующих и/или проектируемых мероприятий инженерной защиты склонов (откосов) с учетом класса защищаемых объектов;
- выбор наиболее эффективных вариантов проектируемых противооползневых мероприятий и их сочетаний;
- определение наиболее эффективного расположения проектируемых удерживающих конструкций и условий их работы (мощность удерживаемой толщи, количество ярусов и др).

ПРИМЕЧАНИЕ.

Продолжительное отсутствие явных следов подвижек на старооползневых склонах не может служить признаком устойчивости, если не устранены причины, вызывающие оползень. Стабильность оползневого склона может быть достигнута лишь при полном устранении причин, вызывающих оползни.

7.10.3. Задачей анализа эпюр оползневого давления является определение величин оползневых нагрузок на сооружения для:

- экспертной оценки состояния существующих удерживающих сооружений;
- определения наиболее неблагоприятного сочетания природных и техногенных факторов с учетом требуемых коэффициентов запаса;
- выбора типа, места расположения и параметров проектируемых или конструкций усиления существующих сооружений.

ПРИМЕЧАНИЕ.

Для дифференцирования параметров удерживающих конструкций по ширине оползня в зависимости от мощности оползневых накоплений и величин давлений грунта строят фронтальные эпюры оползневых давлений (обычно по оси проектируемой конструкции).

7.10.4. По итогам анализа результатов расчета устойчивости в пояснительной записке к проекту противооползневых мероприятий должно быть приведено заключение о достаточной (недостаточной) степени устойчивости склона (откоса) в естественном состоянии, а также с учетом прогнозируемых изменений инженерно-геологических и техногенных условий.

7.10.5. Заключение должно сопровождаться рекомендациями по обеспечению необходимой степени устойчивости участка инженерной защиты с учетом всех прогнозируемых неблагоприятных факторов в соответствии с классом защищаемых объектов.

7.11. Определение состава и расположения противооползневых мероприятий

7.11.1. Противооползневые мероприятия должны проектироваться и выполняться, как правило, в профилактических целях на предоползневой стадии на наиболее угрожаемых участках склона.

7.11.2. Комплекс противооползневых мероприятий должен обеспечивать:

- стабилизацию оползневого склона, предупреждение образования новых и активизации приостановившихся оползней;
- повышение устойчивости склона на заданную величину в зависимости от класса капитальности защищаемых объектов;
- в случае невозможности или нецелесообразности стабилизации всего склона – противооползневую защиту отдельностоящих объектов;

7.11.3. В состав комплексов должны включаться противооползневые сооружения и работы наиболее эффективные для конкретных условий оползневого склона, устраняющие причины нарушения его общей и частной устойчивости.

7.11.4. Проекты отдельных противооползневых сооружений и работ должны учитывать стадийность оползневого процесса: подготовку оползня, смещение пород, затухание подвижек и вновь приобретённую устойчивость.

7.11.5. Противооползневые сооружения и их отдельные элементы в любой готовности должны быть устойчивы при оползневых подвижках, возможных во время строительства сооружения.

7.11.6. Выбор типа удерживающих сооружений, их размещение на склоне, количество и конструктивные размеры зависят от величины оползневого давления, определяются расчетами устойчивости склона и на основании технико-экономического сопоставления возможных вариантов с учетом:

- инженерно-геологических, гидрогеологических и геоморфологических особенностей оползневого района;
- инженерно-геологических условий конкретного участка, определяющих величину оползневого давления;
- уклона и глубины залегания кровли прочных несмещающихся при оползнях пород;
- положения поверхности смещения оползня на месте строительства удерживающих сооружений;
- прочности пород образующих ложе оползня и оползневые накопления;
- условий производства работ.

ПРИМЕЧАНИЕ.

1. Размещение удерживающих сооружений на склоне следует производить с учетом возможного минимального значения оползневого давления.
2. Устройство силовых удерживающих сооружение следует сочетать по возможности с мероприятиями по противоэрозионной защите поверхности склона, а также регулирования поверхностного и подземного стока.

7.11.7. Противооползневые подпорные стены могут применяться в составе комплекса противооползневых сооружений и работ, как правило, для

удержания небольших оползней, когда оползневое давление незначительно и не превышает величину активного давления грунта призмы обрушения.

Для стабилизации глубоких оползневых подвижек следует применять удерживающие конструкции глубокого заложения: свайные, свайно-анкерные сооружения и анкерные крепления.

7.11.8. В случае если стабилизация оползня или инженерная защита оползнеопасного участка невозможна посредством устройства одного удерживающего сооружения, применяют несколько противооползневых конструкций, расположенных на склоне ярусами.

Выбор оптимального количества ярусов противооползневых сооружений производят на основании технико-экономического сопоставления вариантов.

8. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИК РАСЧЕТА

С целью пояснения изложенных в методическом документе теоретических положений, в этом разделе приведен пример расчета устойчивости склона и расчета оползневых давлений.

8.1. Пример составления расчетной схемы

В качестве примера выбран один из оползневых объектов Краснодарского края, расположенный в Хостинском районе г. Сочи: оползень разрушил участок автодороги, для восстановления сообщения требуется устройство нового полотна автодороги вдоль борта «свежего» оползня.

Исходные данные

По результатам инженерных изысканий и проектных работ исходные данные (см. приложение А) содержат:

- данные инженерно-геологического и гидрогеологического обследования оползневого участка;
- данные определения физико-механических свойств грунтов (таблица А.1);
- топографический план оползневого участка М 1:1000 с нанесением контуров оползня и разрушенного участка автодороги (рисунок А.2);
- проект планово-высотного положения трассы автодороги на разрушенном участке автодороги (рисунки А.3 – А.8);
- поперечные инженерно-геологические разрезы с нанесением проектного положения автодороги (рисунки А.4 – А.8).

Выбор расчетного створа

В соответствии с указаниями п. 7.2 в качестве основного расчетного створа выбран разрез по линии 3-3. **Основание** – по сравнению с остальными створами здесь отмечено:

- минимальное расстояние от бровки насыпи до верхней бровки борта оползня;
- максимальный перепад по высоте между верхом насыпи и поверхностью земли в основании борта оползня;
- максимальный угол к горизонту между верхней бровкой насыпи и точкой в основании борта оползня;
- максимальный средний угол наклона границы коренных грунтов в пределах борта оползня.

Состав расчетов

Для анализа устойчивости склона на данном участке необходимо рассмотреть следующие расчетные ситуации:

- Расчет устойчивости борта оползня в естественных условиях при фактическом рельефе склона:
  - уровень грунтовых вод – максимальный прогнозный;

- свойства грунтов по данным инженерно-геологических изысканий;
- основное сочетание нагрузок.

Предусмотрена для оценки степени достоверности инженерно-геологических данных.

- При несоответствии результатов расчетов фактической ситуации – уточнение свойств смещаемых грунтов по данным «обратных» расчетов:
  - уровень грунтовых вод – максимальный прогнозный;
  - основное сочетание нагрузок.
- Прогнозный расчет устойчивости борта оползня с учетом планово-высотного положения проектируемой насыпи автодороги без проведения мероприятий инженерной защиты:
  - уровень грунтовых вод – максимальный прогнозный;
  - свойства грунтов по данным инженерно-геологических изысканий или обратных расчетов;
  - основное сочетание нагрузок с учетом транспортной нагрузки;
  - особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий силой до 9 баллов.

Предусмотрена для выявления необходимости проектирования противооползневых сооружений в целях обеспечения устойчивости проектируемой автодороги.

- Поверочный расчет устойчивости борта оползня с учетом с учетом возведения насыпи автодороги и мероприятий инженерной защиты. Условия расчета те же.

Предусмотрена для оценки эффективности разработанных конструкций инженерной защиты участка автодороги.

В рамках примера рассмотрим только одно сочетание нагрузок. Для примера выберем основное сочетание нагрузок, учитывающее:

- вес проектируемой насыпи автодороги и
- транспортную нагрузку
- при максимальном прогнозном уровне грунтовых вод,
- в условиях отсутствия сейсмических воздействий (коэффициент динамической сейсмичности $\mu = 0{,}00$).

Нормативные коэффициенты устойчивости

В соответствии с указаниями п. 7.1.2, принимаем III категорию мероприятий инженерной защиты. Согласно таблице 3, коэффициент надежности по назначению сооружения принимаем $\gamma_n = 1.20$ (основное сочетание нагрузок). Коэффициент учета расчетного периода принимаем $\psi = 1$ (для эксплуатационного периода). Коэффициент условий работы принимаем $\gamma_c = 1$. Тогда величина нормативного коэффициент запаса составит:

$$[K] = \frac{\psi \gamma_n}{\gamma_c} = \frac{1.0 \cdot 1.20}{1.0} = 1{,}20 .$$

Построение расчетной схемы

Составляем расчетную схему по рекомендациям п. 7.3.1. Результаты построения расчетной схемы приведены на рисунке Б.1.

ПРИМЕЧАНИЕ.

Построение выполняется как на бумаге, так средствами САПР (к примеру, *AutoDesk AutoCAD*). В последнем случае большинство параметров отсековой модели удобно получать прямо с чертежа (координаты, длины и углы, а также площади элементов модели).

Сбор внешних дополнительных нагрузок

В рамках выбранной расчетной ситуации внешние дополнительные нагрузки на склон представлены транспортной нагрузкой по проезжей части реконструируемой автодороги. В соответствии с [1] определяем нормативную величину нагрузки:

$$q_{NK} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 8.3}{(3.6 + 0.2) \cdot (2.7 + 0.8)} = 44.9\,кПа .$$

С учетом коэффициента надежности по нагрузке $k = 1.10$ (см. п. 1.12 [8]), расчетная величина нагрузки составит:

$$q_{NK}^{P} = 1.1 \cdot 44.9 = 49.4\,кПа .$$

Характер распределения нагрузки – линейная, постоянная. Направление действия нагрузки – вертикально вниз (в направлении силы тяжести). Область приложения нагрузки – в пределах проезжей части автодороги (плановое положение полос движения см. на рисунке А.3).

Выбор поверхности скольжения

Поверхность скольжения выбираем в соответствии с рекомендациями п. 7.9. В данном случае наиболее вероятным является смещение толщи глинистых пород по кровле коренных грунтов ИГЭ-8а…8б. При этом в смещение будут вовлечены грунты ИГЭ-1…7. ***Основание***:

- грунты ИГЭ-3…7 имеют элювиально-делювиальный и древнеоползневой характер происхождения;
- в период обильных осадков эти грунты в значительной степени водонасыщены;
- тело современного оползня сложено грунтами ИГЭ 1…7;
- грунты ИГЭ-8а…8б являются полускальными грунтами и относятся и перекрыты глинистым чехлом мощностью от 5 до 7 *м*, предотвращающим снижение их прочностных свойств в результате выветривания и как следствие – защищает их от потери устойчивости.

Наиболее вероятное начало поверхности скольжения – по краю второй от оползня полосы движения. Конец поверхности скольжения вероятнее всего будет выходить в основание борта оползня.

Результаты выбора положения поверхности скольжения см. рисунок Б.3 (приложение Б).

Генерализация расчетной схемы

В соответствии с указаниями п. 5.2.6 выполняем генерализацию расчетной схемы. Результаты генерализации см. на рисунке Б.2 (предложение Б).

Подготовка расчетной схемы завершается нумерацией всех точек и сведением их координат в таблицу (см. таблицу Б.1).

8.2. Пример составления отсековой модели

Построение отсековой модели

В соответствии с указаниями п. 5.2.9 производится построение отсековой модели. Результаты графической части построения отсековой модели см. на рисунке Б.4.

Выполняется определение координат углов отсеков и ординат границ литологических разностей (см. таблицы Б.2…Б.3).

Определение точки вращения

Определяем координаты точки вращения отсековой модели согласно рекомендациям п. 5.2.11:

$$x_{rot} = 50.31\ м,\ y_{rot} = 114.29\ м.$$

Расчет параметров отсеков

Определение параметров производим аналитически. Результаты вычислений см. таблицы Б.4…Б.5. Ниже рассмотрим расчет параметров на примере отсека номер 4 (см. рисунок Б.4).

Ширина отсека

$$b_4 = x_{R4} - x_{L4} = 26.21 - 24.06 = 2.16\,м\ .$$

Угол наклона основания отсека

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{y_{L4}^{slip} - y_{R4}^{slip}}{b_4}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{93.71 - 91.18}{2.16}\right) = 49.58948^\circ\ .$$

Длина основания отсека

$$l = \frac{2.16}{\cos 49.58948^\circ} = 3.33\,м$$

.

Высота отсека (слева и справа)

$$h_{L4}^{slice} = y_{L4}^{day} - y_{L4}^{slip} = 100.14 - 93.71 = 6.43\,м,$$

$$h_{R4}^{slice} = y_{R4}^{day} - y_{R4}^{slip} = 100.08 - 91.18 = 8.90\,м.$$

Высота уровня подземных вод (слева и справа отсека)

$$h_{L4}^{water} = y_{L4}^{water} - y_{L4}^{slip} = 93.71 - 93.71 = 0.00\,м,$$

$$h_{R4}^{water} = y_{R4}^{water} - y_{R4}^{slip} = 92.97 - 91.18 = 1.79\,м.$$

Координаты центра тяжести отсека

Рассматриваемый отсек содержит три слоя грунта. Вычисляем координаты их центров тяжести:

Первый слой грунта

$$h_{L4-1} = y_{L4}^{day} - y_{L4-1}^{down} = 100.14 - 95.86 = 4.28\,м,$$

$$h_{R4-1} = y_{R4}^{day} - y_{R4-1}^{down} = 100.08 - 95.77 = 4.31\,м,$$

$$x_{4-1}^{grav} = \frac{2h_{R4-1} + h_{L4-1}}{3\left(h_{R4-1} + h_{L4-1}\right)} b_4 + x_{L4} = \frac{2 \cdot 4.28 + 4.31}{3 \cdot (4.28 + 4.31)} \cdot 2.16 + 24.06 = 25.14\,м,$$

$$y_{4-1}^{grav} = \frac{1}{2}\left[y_{L4-1}^{day} + y_{L4-1}^{down} + \left(y_{R4-1}^{day} + y_{R4-1}^{down} - y_{L4-1}^{day} - y_{L4-1}^{down} \right) \cdot \frac{x_{4-1}^{grav} - x_{L4}}{b_4} \right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[100.14 + 95.86 + \left(100.08 + 95.77 - 100.14 - 95.86 \right) \cdot \frac{25.14 - 24.06}{2.16} \right] =$$

$$= 97.96\,м.$$

Второй слой грунта

$$h_{L4-2} = y_{L4-1}^{down} - y_{L4-2}^{down} = 95.86 - 94.23 = 1.63\,м,$$

$$h_{R4-2} = y_{R4-1}^{down} - y_{R4-2}^{down} = 95.77 - 94.73 = 1.05\,м,$$

$$x_{4-2}^{grav} = \frac{2h_{R4-2} + h_{L4-2}}{3\left(h_{R4-2} + h_{L4-2}\right)} b_4 + x_{L4} = \frac{2 \cdot 1.63 + 1.04}{3 \cdot (1.63 + 1.04)} \cdot 2.16 + 24.06 = 25.06\,м,$$

$$y_{4-2}^{grav} = \frac{1}{2}\left[y_{L4-1}^{down} + y_{L4-2}^{down} + \left(y_{R4-1}^{down} + y_{R4-2}^{down} - y_{L4-1}^{down} - y_{L4-2}^{down} \right) \cdot \frac{x_{4-2}^{grav} - x_{L4}}{b_4} \right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[95.86 + 94.23 + \left(95.77 + 94.73 - 95.86 - 94.23 \right) \cdot \frac{25.06 - 24.06}{2.16} \right] =$$

$$= 95.14 м.$$

Третий слой грунта

$$h_{L4-3} = y_{L4-2}^{down} - y_{L4}^{slip} = 94.23 - 93.71 = 0.52 м,$$

$$h_{R4-3} = y_{R4-2}^{down} - y_{R4}^{slip} = 94.73 - 91.18 = 3.55 м,$$

$$x_{4-3}^{grav} = \frac{2h_{R4-3} + h_{L4-3}}{3\left(h_{R4-3} + h_{L4-3}\right)} b_4 + x_{L4} = \frac{2 \cdot 0.52 + 3.55}{3 \cdot (0.52 + 3.55)} \cdot 2.15 + 24.06 = 25.40 м,$$

$$y_{4-3}^{grav} = \frac{1}{2}\left[y_{L4-2}^{down} + y_{L4}^{slip} + \left(y_{R4-2}^{down} + y_{R4}^{slip} - y_{L4-2}^{down} - y_{L4}^{slip} \right) \cdot \frac{x_{4-3}^{grav} - x_{L4}}{b_4} \right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[94.23 + 93.71 + \left(94.73 + 91.18 - 94.23 - 93.71 \right) \cdot \frac{25.40 - 24.06}{2.16} \right] =$$

$$= 93.34 м.$$

Вычисляем веса слоев грунта в пределах отсека:

$$W_{4-1} = \frac{h_{L4-1} + h_{R4-1}}{2} b_4 \cdot \gamma_{4-1} = \frac{4.28 + 4.30}{2} \cdot 2.16 \cdot 22.7 = 210.31 кН,$$

$$W_{4-2} = \frac{h_{L4-2} + h_{R4-2}}{2} b_4 \cdot \gamma_{4-2} = \frac{1.63 + 1.05}{2} \cdot 2.16 \cdot 20.3 = 58.57 кН,$$

$$W_{4-3} = \frac{h_{L4-3} + h_{R4-3}}{2} b_4 \cdot \gamma_{4-3} = \frac{0.52 + 3.55}{2} \cdot 2.15 \cdot 19.4 = 85.16 кН.$$

Вычисляем веса координаты центра тяжести отсека:

$$x_{slice\,4}^{grav} = \frac{x_{4-1}^{grav} \cdot W_{4-1} + x_{4-2}^{grav} \cdot W_{4-2} + x_{4-3}^{grav} \cdot W_{4-3}}{W_{4-1} + W_{4-2} + W_{4-3}} =$$

$$= \frac{25.14 \cdot 210.31 + 25.06 \cdot 58.57 + 25.40 \cdot 85.16}{210.31 + 58.57 + 85.16} =$$

$$= 25.19 м,$$

$$y_{slice\,4}^{grav} = \frac{y_{4-1}^{grav} \cdot W_{4-1} + y_{4-2}^{grav} \cdot W_{4-2} + y_{4-3}^{grav} \cdot W_{4-3}}{W_{4-1} + W_{4-2} + W_{4-3}} =$$

$$= \frac{97.96 \cdot 210.31 + 95.14 \cdot 58.57 + 93.34 \cdot 85.16}{210.31 + 58.57 + 85.16} =$$

$$= 96.38 м.$$

Равнодействующая внешней нагрузки

Внешняя нагрузка в пределах имеет линейный постоянный характер распределения (прямоугольная форма эпюры) и направлена вертикально вниз. В результате:

$$x_{load4}^{grav} = \frac{x_{L4} + x_{R4}}{2} = \frac{24.06 + 26.21}{2} = 25.14\,м,$$

$$y_{load4}^{grav} = \frac{y_{L4} + y_{R4}}{2} = \frac{100.14 + 100.08}{2} = 100.11\,м,$$

$$\beta = 0°,$$

$$D_4 = q_{NK}^{p} \cdot b_4 = 49.4 \cdot 2.15 = 106.63\,кН.$$

Расчет плеч отсековых усилий

Определение параметров производим аналитически. Результаты вычислений см. таблицу Б.6. Ниже приведен расчет плеч усилий в отсеке номер 4 (см. рисунок Б.4).

- Плечо силы тяжести:

$$x_4 = x_{rot} - x_{slice4}^{grav} = 50.31 - 25.19 = 25.12\,м.$$

- Плечо горизонтальной составляющей сейсмической силы:

$$e_4 = y_{rot} - y_{slice4}^{grav} = 114.29 - 96.38 = 17.91\,м.$$

- Плечо нормальной реакции в основании отсека:

$$x_{rel4}^{base} = \frac{x_{L4} + x_{R4}}{2} - x_{rot} = \frac{24.06 + 26.21}{2} - 50.31 = -25.17\,м,$$

$$y_{rel4}^{base} = \frac{y_{L4}^{slip} + y_{R4}^{slip}}{2} - y_{rot} = \frac{93.71 + 91.18}{2} - 114.29 = -21.85\,м,$$

$$f_4 = x_{rel4}^{base} \cos\alpha_4 - y_{rel4}^{base} \sin\alpha_4 =$$

$$= -25.17 \cdot \cos 49.58948° - (-21.85) \cdot \sin 49.58948° = 0.32\,м.$$

- Плечо силы сопротивления грунта сдвигу:

$$R_4 = y_{rel4}^{base} \cos\alpha_4 + x_{rel4}^{base} \sin\alpha_4 =$$

$$= -21.85 \cdot \cos 49.58948° - (-25.17) \cdot \sin 49.58948° = -33.33\,м.$$

- Плечо результирующей от внешней нагрузки:

$$x_{rel4}^{load} = x_{load4} - x_{rot} = 25.14 - 50.31 = -25.17\,м,$$

$$y_{rel4}^{load} = y_{load4} - y_{rot} = 100.11 - 114.29 = -14.18\,м,$$

$$d_4 = x_{rel\,4}^{load}\cos\beta_4 + y_{rel\,4}^{load}\sin\beta_4 =$$
$$= -25.17\cdot\cos 0.00° + (-14.18)\cdot\sin 0.00° = -25.17\,м.$$

- Плечо результирующей оползневого давления:

$$y_{4,L} = y_{rot} - \left(y_{L4}^{slip} + \frac{h_{L4}^{slice}}{3}\right) = 114.29 - \left(93.71 + \frac{6.43}{3}\right) = 18.44\,м,$$

$$y_{4,R} = y_{rot} - \left(y_{R4}^{slip} + \frac{h_{R4}^{slice}}{3}\right) = 114.29 - \left(91.18 + \frac{8.90}{3}\right) = 20.15\,м.$$

Расчет постоянных усилий в отсеках

Результаты вычислений см. таблицу Б.7. Ниже приведен расчет усилий на примере отсека номер 4 (см. рисунок Б.4).

- Вес отсека. Складывается из веса трех слоев грунта, рассчитанных выше:

$$W_4 = W_{4-1} + W_{4-2} + W_{4-3} = 210.31 + 58.57 + 85.16 = 354.04\,кН.$$

- Величина порового давления в основании отсека. Рассчитывается в соответствии с указаниями п. 5.2.24:

$$u_4 = \gamma_W H_W = \gamma_W \frac{h_{L4}^{water} + h_{R4}^{water}}{2} = 10\cdot\frac{0.00 + 1.79}{2} = 8.79\,кПа.$$

- Прочностные характеристики грунта в основании отсека. Поверхность скольжения в пределах рассматриваемого отсека проходит в грунте ИГЭ-6 (см. рисунок Б.4). В соответствии с таблицей А.1:
  - сцепление в грунте $c_4 = 38{,}0$ *кПа*;
  - угол внутреннего трения $\varphi_4 = 8{,}0°$.

8.3. Пример расчета устойчивости склона

Расчет коэффициента устойчивости (упрощенный метод)

Расчет выполняем в соответствии с указаниями п. 5.2.18.

1. В каждом отсеке производим расчет силы нормальной реакции N по подошве отсека с использованием формулы (6):

$N_1^{упр} = ...$

...

$N_4^{упр} = W_4 \cos\alpha_4 + \mu_v W_4 \cos\alpha_4 - \mu_h W_4 \sin\alpha_4 + D_4 \cos(\alpha_4 + \beta_4) =$

$= 354.04 \cdot \cos 49.58948° + 0.00 \cdot 354.04 \cdot \cos 49.58948° -$

$- 0.00 \cdot 354.04 \cdot \sin 49.58948° + 106.63 \cdot \cos(49.58948° + 0.00000°) =$

$= 298.67\,кПа$

...

$N_{22}^{упр} = ...$

Полученные значения N заносим таблицу Б3.1.

2. В каждом отсеке определяем силу сопротивления сдвигу S по подошве отсека ($K_{f(m)} = 1{,}00$):

$S_1 = ...$

...

$S_4 = (N_4 - u_4 l_4)\,\mathrm{tg}\,\varphi_4 + c_4 l_4 =$

$= (298.67 - 8.79 \cdot 3.33)\,\mathrm{tg}\,8.0° + 38.0 \cdot 3.33 = 164.40\,кПа$

...

$S_{m22} = ...$

Полученные значения S заносим таблицу Б3.1.

3. С использованием данных таблиц Б.5…7 и В.1, рассчитываем коэффициент устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m по формулам (3) и (4) соответственно:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{22} S_i \cos\alpha_i}{\sum_{i=1}^{22} N_i \sin\alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^{22} W_i + \sum_{i=1}^{4} D_i \sin\beta_i} =$$

$$= \left[57.72 \cdot \cos 64.98° + ... + 138.31 \cdot \cos(-19.66°)\right] \div$$

$$\div \left[(83.43 \cdot \sin 64.98° + ... + 86.55 \cdot \sin(-19.66°)) + \right.$$

$$\left. + (99.75 \cdot \sin 0.00° + ... + 106.63 \cdot \sin 0.00°)\right] = 0.825,$$

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^{22} S_i A_{Si}}{\sum_{i=1}^{22} N_i A_{Ni} + (1 + \mu_v)\sum_{i=1}^{22} W_i A_{Wi} + \mu_h \sum_{i=1}^{22} W_i A_{Ei} + \sum_{i=1}^{4} D_i A_{Di}} =$$

$$= \left[57.72 \cdot (-33.26) + ... + 138.31 \cdot (-32.76)\right] \div$$

$$\div \left[(83.43 \cdot 2.35 + ... + 86.55 \cdot (-7.46)) + (97.77 \cdot 28.81 + ... + 92.05 \cdot (-3.47)) + \right.$$

$$\left. + (99.75 \cdot 29.15 + ... + 106.63 \cdot 25.17)\right] = 0.771.$$

Расчет коэффициента устойчивости с учетом нормальных межотсековых сил

Вычисления производим в соответствии с указаниями п. 5.2.19 из условия равновесия сил и моментов сил с учетом только нормальных межотсековых сил E. Расчеты выполняем методом последовательных приближений.

Из условия равновесия сил

1. В каждом отсеке вычисляем силы нормальной реакции N по подошве с использованием формулы (5). Касательные межотсековые силы X не учитываем. Коэффициент устойчивости на первой итерации принимаем равным K_f по упрощенному методу.

$$N_{f1} = \ldots$$

$$\ldots$$

$$N_{f4} = \frac{W_4 + \frac{u_4 \operatorname{tg}\varphi_4 - c_4}{K_f} l_4 \sin\alpha_4 + D_4 \cos\beta_4}{\cos\alpha_4 + \frac{\sin\alpha_4 \operatorname{tg}\varphi_4}{K_f}} =$$

$$= \frac{354.04 + \frac{8.79 \cdot \operatorname{tg}8.0° - 38.0}{0.825} \cdot 3.33 \cdot \sin 49.59° + 106.63 \cdot \cos 0.00°}{\cos 49.59° + \frac{\sin 49.59° \cdot \operatorname{tg}8.0°}{0.825}} =$$

$$= 446.86\ кН$$

$$\ldots$$

$$N_{f22} = \ldots$$

2. В каждом отсеке определяем силу сопротивления сдвигу S по подошве отсека:

$$S_1 = \ldots$$

$$\ldots$$

$$S_4 = (N_4 - u_4 l_4)\operatorname{tg}\varphi_4 + c_4 l_4 =$$

$$= (446.86 - 8.79 \cdot 3.33)\operatorname{tg}8.0° + 38.0 \cdot 3.33 = 185.23\ кПа$$

$$\ldots$$

$$S_{m22} = \ldots$$

3. С использованием данных таблиц Б.5…7 и посчитанных значений N и S, рассчитываем коэффициент устойчивости из условия равновесия сил K_f по формуле (3):

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{22} S_i \cos\alpha_i}{\sum_{i=1}^{22} N_i \sin\alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^{22} W_i + \sum_{i=1}^{4} D_i \sin\beta_i} =$$

$$= \left[111.68 \cdot \cos 64.98° + ... + 149.14 \cdot \cos(-19.66°)\right] \div$$

$$\div \left[(176.90 \cdot \sin 64.98° + ... + 162.36 \cdot \sin(-19.66°)) + \right.$$

$$\left. + (99.75 \cdot \sin 0.00° + ... + 106.63 \cdot \sin 0.00°)\right] = 0.752.$$

4. Сравниваем полученное значение K_f со значением на предыдущей итерации. В данном случае:

$$\left|K_f^{выч} - K_f^{пред}\right| = |0.752 - 0.825| = 0.0725 > 0.0001.$$

5. Поскольку разница текущего и предыдущего значений K_f требуемый минимум, повторяем расчет с первого пункта, используя последнее найденное значение K_f.

Из условия равновесия моментов сил

Вычисление коэффициента устойчивости из условия равновесия моментов сил K_m выполняем также как и при расчете расчет коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f, но с использованием в пункте 3 формулы (4) вместо (3).

Результаты расчета сил заносим в таблицы В.2…3.

Расчет коэффициента устойчивости из условия общего предельного равновесия

Расчет выполняем в соответствии с указаниями п. 5.2.20. Сходимость коэффициентов устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m обеспечивается за счет подбора соответствующего значения коэффициента λ.

Из условия равновесия сил

1. Принимаем первое значение коэффициента $\lambda = 0.1$.
2. В каждом отсеке выполняем расчет межотсековых сил E и X, а также силы нормальной реакции N по подошве отсека. Расчет ведем методом последовательных приближений.
   а) Значения N и K_f берем из предыдущего расчета из условия равновесия сил. Вычисляем усилия в первом отсеке:

$$E_1^L = 0, \quad X_1^L = 0$$

$$E_1^R = N_1\left(\sin\alpha_1 - \frac{\operatorname{tg}\varphi_1\cos\alpha_1}{K_f}\right) + \frac{u_1\operatorname{tg}\varphi_1 - c_1}{K_f} l_1\cos\alpha_1 + \mu_h W_1 + D_1\sin\beta_1 =$$

$$= 168.33\cdot\left(\sin 64.98° - \frac{\operatorname{tg}30°\cos 64.98°}{0.766}\right) + \frac{0.00\cdot\operatorname{tg}30° - 2.00}{0.766}\times$$

$$\times 4.77\cdot\cos 64.98° + 99.75\cdot\sin 0.00° = 93.62\,кН$$

$$f\left(x_{R1}\right) = \sin\left(\pi\frac{x_{R1} - x_{L1}}{x_{R22} - x_{L1}}\right) = \sin\left(\pi\frac{22.17 - 20.15}{55.87 - 20.15}\right) = 0.177$$

$$X_1^R = E_1^R\cdot\lambda\cdot f\left(x_{R1}\right) = 93.62\cdot 0.1\cdot 0.177 = 1.654$$

$$N_1 = \frac{W_1 + \mu_v W_1 - \left(X_1^R - X_1^L\right) + \frac{u_1\operatorname{tg}\varphi_1 - c_1}{K_f} l_1\sin\alpha_1 + D_1\cos\beta_1}{\cos\alpha_1 + \frac{\sin\alpha_1\operatorname{tg}\varphi_1}{K_f}} =$$

$$= \frac{97.77 - (1.654 - 0) + \frac{0.00\cdot\operatorname{tg}30° - 2.00}{0.766}\cdot 4.77\cdot\sin 64.98° + 99.75\cdot\sin 0.00°}{\cos 64.98° + \frac{\sin 64.98°\cdot\operatorname{tg}30°}{0.766}} =$$

$$= 166.87\,кН$$

б) Сравниваем полученное значение N с предыдущим:

$$\left|N_1^{выч} - N_1^{пред}\right| = \left|166.87 - 168.33\right| = 1.46\,кН > 0.1\,кН$$

в) Поскольку разница величин N превышает требуемый минимум, повторяем расчет, используя последнее найденное значение N). Такой же расчет проводим во всех отсеках.

3. С использованием данных таблиц Б.6…8 и посчитанных значений N и S, рассчитываем коэффициент устойчивости из условия равновесия сил K_f по формуле (3).

Из условия равновесия моментов сил

Вычисление коэффициента устойчивости из условия равновесия моментов сил K_m выполняем также как и при расчете из условия равновесия сил K_f, но с использованием в пункте 3 формулы (4).

Из условия общего предельного равновесия

Значения коэффициента устойчивости из условия равновесия сил K_f и моментов сил K_m сравниваем между собой. Если их разница превышает требуемый минимум, расчет повторяется с использованием следующего значения коэффициента λ.

Результаты расчета сил заносим в таблицы В.4.

8.4. Пример расчета оползневых давлений

Расчет оползневых давлений (упрощенный метод)

Вычисления выполняем в соответствии с указаниями п. 6.1.11. Расчет производим с использованием формул (6), (40) и (42):

1. Выбираем первое расчетное сечение ($j = 2$, см. рисунок Б.4).
2. В каждом отсеке вычисляем силы нормальной реакции N по подошве с использованием формулы (6):

$$N_1 = W_1 \cos\alpha_1 + \mu_v W_1 \cos\alpha_1 - \mu_h W_1 \sin\alpha_1 + D_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1) =$$
$$= 97.77 \cdot \cos 64.98° + 99.75 \cdot \cos(64.98° + 0.00°) = 83.53 кН$$

$$N_2 = W_2 \cos\alpha_2 + \mu_v W_2 \cos\alpha_2 - \mu_h W_2 \sin\alpha_2 + D_2 \cos(\alpha_2 + \beta_2) =$$
$$= 173.93 \cdot \cos 49.59° + 75.04 \cdot \cos(49.59° + 0.00°) = 161.40 кН$$

$$N_3 = ...$$

...

3. С учетом выбранного расчетного сечения и заданного коэффициента запаса [K], выполняем расчет оползневого давления со стороны верхового склона P_a:

$$P_{a2} = \frac{1}{A_{P2}}\left\{K_a\left(\sum_{i=1}^{1} N_i A_{Ni} + (1+\mu_v)\sum_{i=1}^{1} W_i A_{Wi} + \mu_h \sum_{i=1}^{1} W_i A_{Ei} + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \sum_{i=1}^{1} D_i A_{Di}\right) - \sum_{i=1}^{1}\left[c_i l_i + (N_i - u_i l_i)\operatorname{tg}\varphi_i\right] A_{Si}\right\} =$$
$$= \frac{1}{16.94}(1.20 \cdot (83.53 \cdot 2.35 + 97.77 \cdot 28.81 + 99.75 \cdot 29.15) -$$
$$-(2.00 \cdot 4.77 + (83.53 - 0.00 \cdot 4.77) \cdot \operatorname{tg} 30.0°) \cdot (-33.26) = 305.98 кН.$$

4. Аналогично определяем отпор грунта со стороны низового склона P_b:

$$P_{b2} = \frac{1}{A_{P2}}\left\{\frac{\sum_{i=2}^{22}\left[c_i l_i + (N_i - u_i l_i)\operatorname{tg}\varphi_i\right] A_{Si}}{K_b} - \right.$$
$$\left. - \left(\sum_{i=2}^{22} N_i A_{Ni} + (1+\mu_v)\sum_{i=2}^{22} W_i A_{Wi} + \mu_h \sum_{i=2}^{22} W_i A_{Ei} + \sum_{i=2}^{4} D_i A_{Di}\right)\right\} =$$
$$= \frac{1}{16.94}\left\{\frac{(23.0 \cdot 2.34 + (161.40 - 0.00 \cdot 2.34) \cdot \operatorname{tg} 15°) \cdot (-33.33) + ...}{1.20} - \right.$$
$$\left. - ((161.40 \cdot (-3.09) + ...) + (173.93 \cdot 27.34 + ...) + (75.04 \cdot 27.38 + ...))\right\} =$$
$$= -2234.05 кН.$$

В соответствии с условием (34), величина оползневого давления и его составляющих не должна быть отрицательной:

$$P_{b2} = 0.00\,кН.$$

5. Определяем оползневое давления P:

$$P_2 = P_{a2} - P_{b2} = 305.98 - 0.00 = 305.98\,кН.$$

6. Переходим к следующему расчетному сечению и повторяем расчет, начиная с п. 3.

Результаты расчета давлений заносим в таблицу Г.1.

Расчет оползневых давлений из условия равновесия сил и моментов сил

Вычисления производим в соответствии с указаниями п. 6.1.11. Расчет выполняем аналогично расчету упрощенным методом, однако для расчета используем:

- нормальных сил в основании отсека N – формулу (5);
- составляющих оползневого давления из условия равновесия сил – формулы (43) и (45);
- составляющих оползневого давления из условия равновесия сил – формулы (44) и (46).

Результаты расчета давлений заносим в таблицы Г.2…3.

Расчет оползневых давлений из условия общего предельного равновесия

Расчет выполняем в соответствии с указаниями п. 6.1.11.

В целом методика вычислений аналогична расчету из условия равновесия сил и моментов сил. Отличия заключаются в расчете силы N, который выполняется с учетом нормальных E и касательных X межотсековых сил.

Аналогично расчету для вычисления коэффициента устойчивости из условия общего предельного равновесия (см. п. 8.3):

- производим определение силы N методом последовательных приближений;
- обеспечиваем сходимость составляющих оползневого давления P_a (P_b) из условия равновесия сил и моментов сил за счет подбора соответствующего значения коэффициента λ.

Результаты расчета давлений заносим в таблицу Г.4.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.
Пример исходных данных для расчетов

Ниже приведена краткая характеристика защищаемого объекта по материалам инженерно-геологических изысканий и проекта реконструкции участка автодороги.

Объем и детальность *приведенных сведений сокращены до минимума, необходимого для понимания материала.*

Описание защищаемого объекта

Местоположение: Россия, г. Сочи, Хостинский район.

Объект: Участок автодороги Хоста – Верхняя Хоста, км 6.

Ситуация. В январе 2006 г. после обильных снегопадов и последующего таяния снега произошла активизация древнего оползня на правом склоне долины реки Большая Хоста.

В результате полностью разрушены: участок автодороги IV категории Хоста – Калиновое озеро, туристический пешеходно-автомобильный проезд к Навалишенской пещере и сооружения частных домовладений, деформирована полка газопровода ∅700, уничтожен лес на площади около 2-3 га.

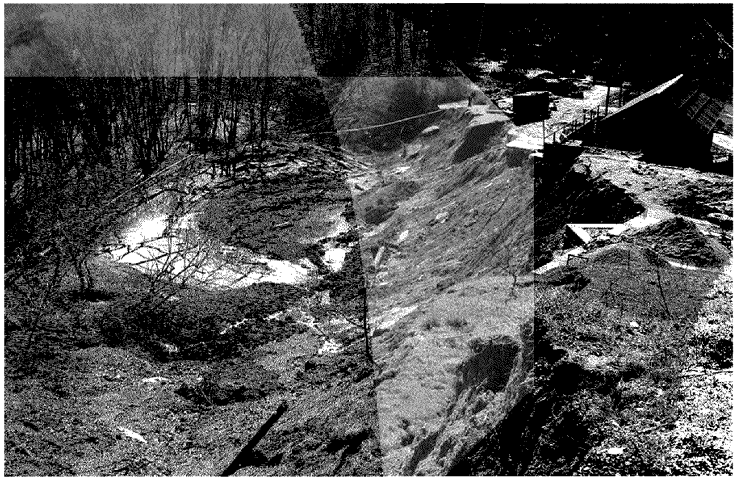


Рисунок А.1 – Оползень на автодороге Хоста – Верхняя Хоста

Геоморфологическое строение

Территория защищаемого участка представляет собой древний оползневой массив, расположеный на склоне долины реки. Массив в плане циркообразный, осложнен многочисленными активными очагами (пластического те-

чения и сложными). Язык древнего очага подрезан рекой и возвышается на относительной высоте 15-20 м.

Геолого-литологическое строение

В границах участка и на прилегающей территории распространены: дочетвертичные нерасчленённые отложения нижнего палеоцена-среднего эоцена, нижнего олигоцена мацестинской свиты. Четвертичные образования представлены оползневыми, делювиально-оползневыми, элювиальными, аллювиальными отложениями, насыпными грунтами и современной почвой.

Гидрогеологические условия

Выделено пять водоносных горизонтов подземных вод: в оползневых (от 3,0 до 3,5 *м*), элювиальных (от 9 до 11,0 *м*), коренных породах палеоцена-эоцена мацестинской свиты (от 2,3 до 7,2 *м*) и в аллювиальных отложениях (от 0,6 до 2,1 *м*). В верхней части разреза оползневых и элювиально-делювиальных отложений, вблизи дневной поверхности развивается верховодка. В период интенсивных осадков возможен подъем уровня подземных вод на 1,5 *м*.

Опасные геологические процессы

В границах участка и прилегающей территории отмечены оползни, заболачивание и овражная эрозия, высокая сейсмичность.

Оползни. Активный очаг расположен на правом склоне долины реки Восточная Хоста у пос. Рассвет Адлерского района города Сочи внутри границ древнего оползня сложного типа.

Древний оползень имеет длину по оси движения около 300 *м*, Ширина его составляет: в голове – 80 *м*, в средней части – около 135 *м* и в языке – до 200 *м*. Мощность оползневых грунтов в теле оползня варьирует от 10 до 18-20 *м*. Объём смещённых грунтов около одного миллиона кубических метров.

Современный оползневой очаг образовался внутри границ древнего оползня. Длина составляет 235 *м*, ширина: в голове – 65 *м*, в средней части – 88 *м* и в языке – 135 *м*. Мощность смещённых оползневых грунтов 8-10 *м*. Объём оползневых масс около полумиллиона кубических метров.

Оползень продолжает активно развиваться. В голове древнего оползня отмечены признаки активизации в виде широких и протяжённых оползневых трещин отрыва. Вдоль правого борта оползень расширился и полностью «захватил» полку газопровода.

Заболачивание и овражная эрозия. Развиваются вдоль правого борта древнего оползня на правом склоне долины реки Большая Хоста. Заболачивание сезонного характера отмечается на теле активного очага вдоль правого и левого борта, а также в его голове.

Сейсмичность защищаемого участка составляет 9 баллов. Категория опасности процессов землетрясения – весьма опасная.

Физико-механические свойства грунтов

На защищаемом участке выделены семь инженерно-геологических элементов (см. таблицу Б1.1).

Проектные решения реконструкции автодороги

Для обеспечения необходимых предельных продольных уклонов автодороги, восстановление полотна производится посредством насыпи высотой от 0,5 до 7,0 *м*, расположенной по правому борту современного оползневого очага.

Таблица А.1 – Физико-механические свойства грунтов

ИГЭ	Наименование	удельный вес γ, $кН/м^3$	удельное сцепление c, $кПа$	угол внутреннего трения φ, *град*
1	2	3	4	5
1	Насыпной грунт – гравий и щебень известняка, песчаника с суглинистым заполнителем до 30 %	22,7	16,0 –	45,0 –
2	Почва суглинистая темно-бурая, с дресвой и щебнем мергеля и песчаника до 15 %	–	–	–
3	Суглинок дресвяный, твердый, тяжелый пылеватый, слабонабухающий	20,3	23 28	15 7
6	Глина твердая, слабонабухающая, с дресвой и щебнем мергелей, песчаников и аргиллитов до 25 %	19,4	38 17	8 6
7	Глина тугопластичная до мягкопластичной, слабонабухающая, с дресвой и щебнем мергелей, песчаников и аргиллитов до 25 %	18,2	35 7	9 4
8а	Мергель сильновыветрелый, сильнотрещиноватый, очень низкой прочности	22,5	38 –	14,4 –
8б	Мергель сильновыветрелый, трещиноватый, низкой прочности	23,0	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ.

В числителе приведены расчетные значения по результатам неконсолидированного сдвига после водонасыщения и уплотнения, в знаменателе – по результатам среза по подготовленной и смоченной поверхности.

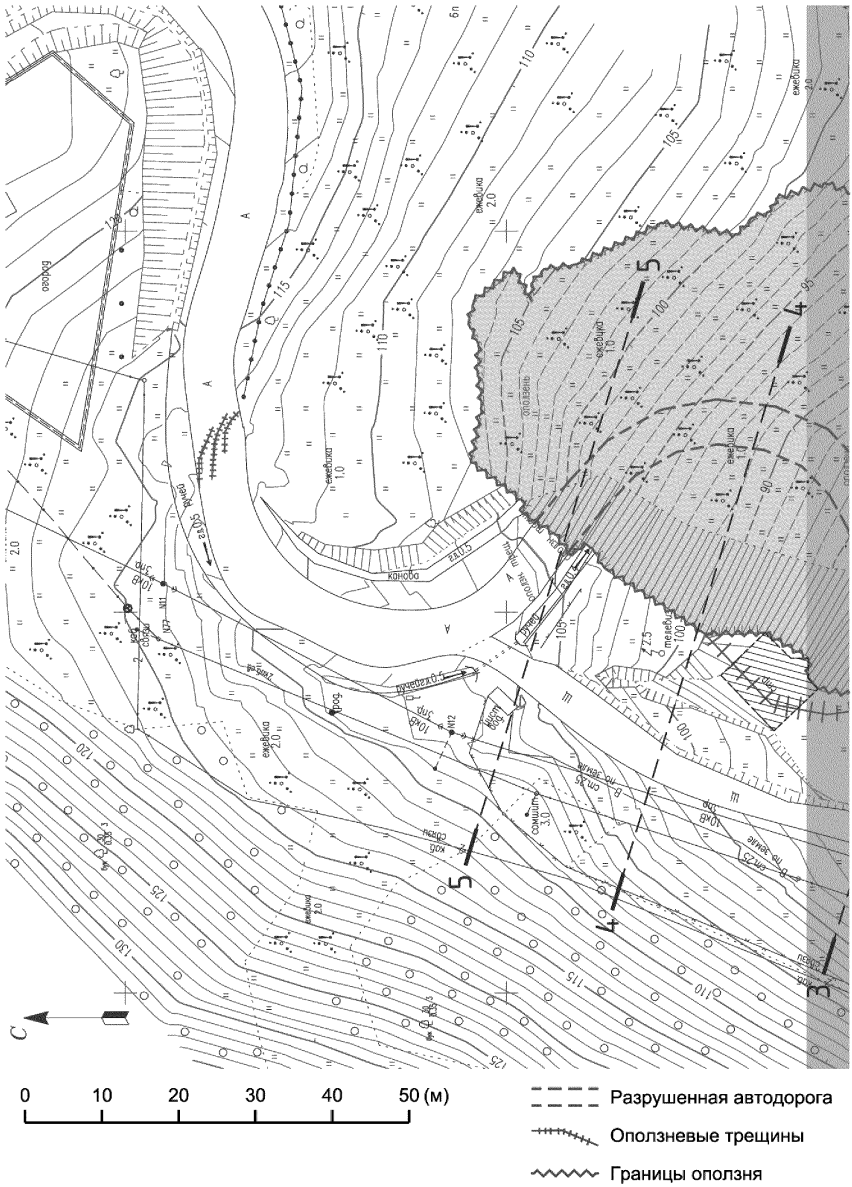


Рисунок А.2 – Топографический план участка инженерной защиты (начало)

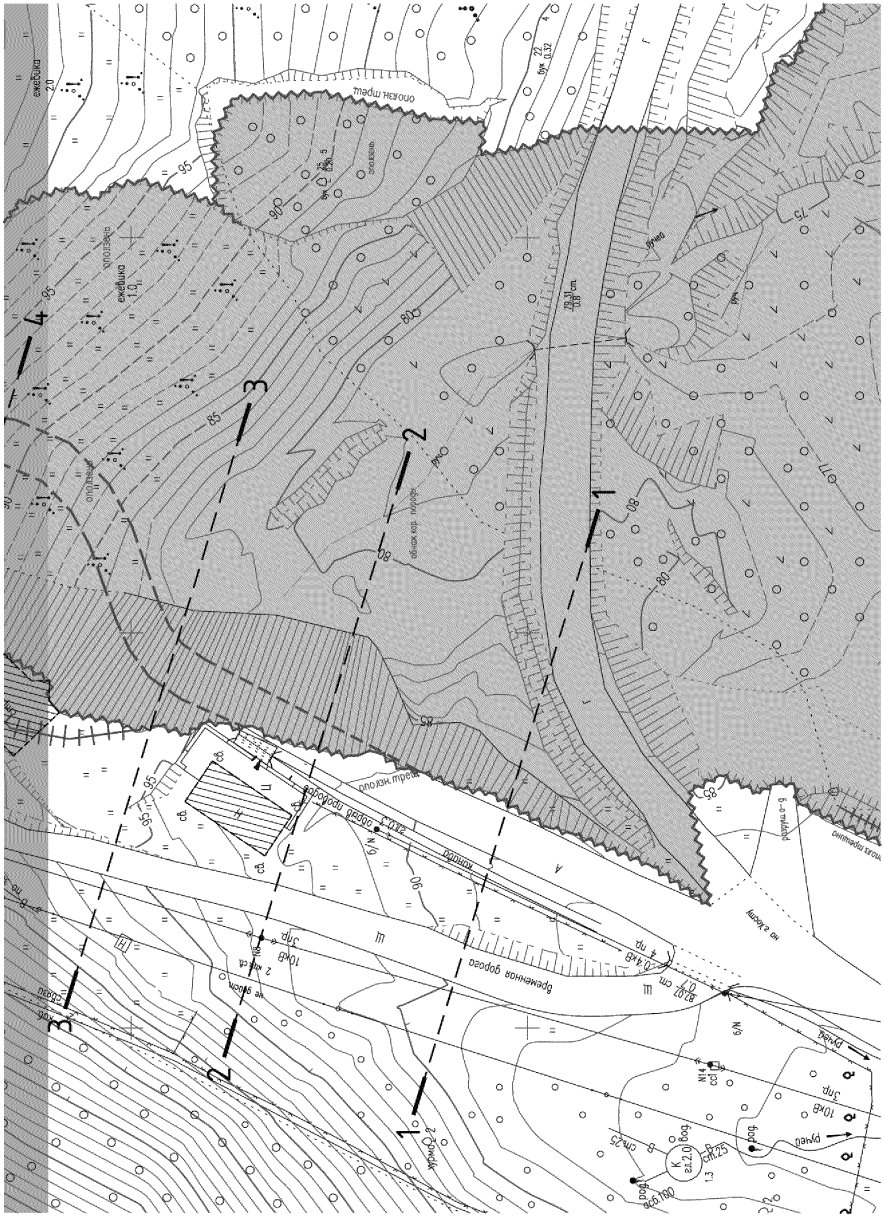


Рисунок А.2 – Топографический план участка инженерной защиты (конец)

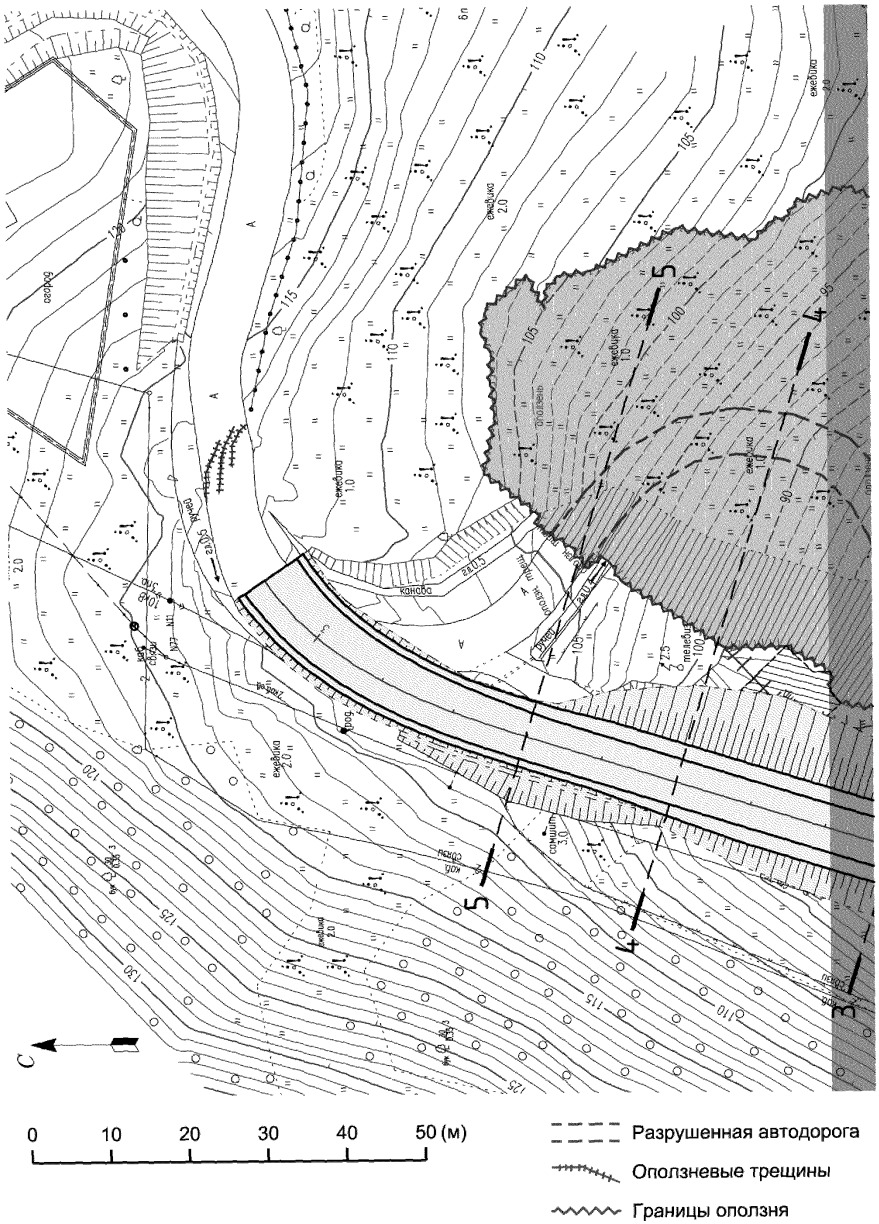


Рисунок А.3 – Проект вертикальной планировки защищаемого участка автодороги (начало)

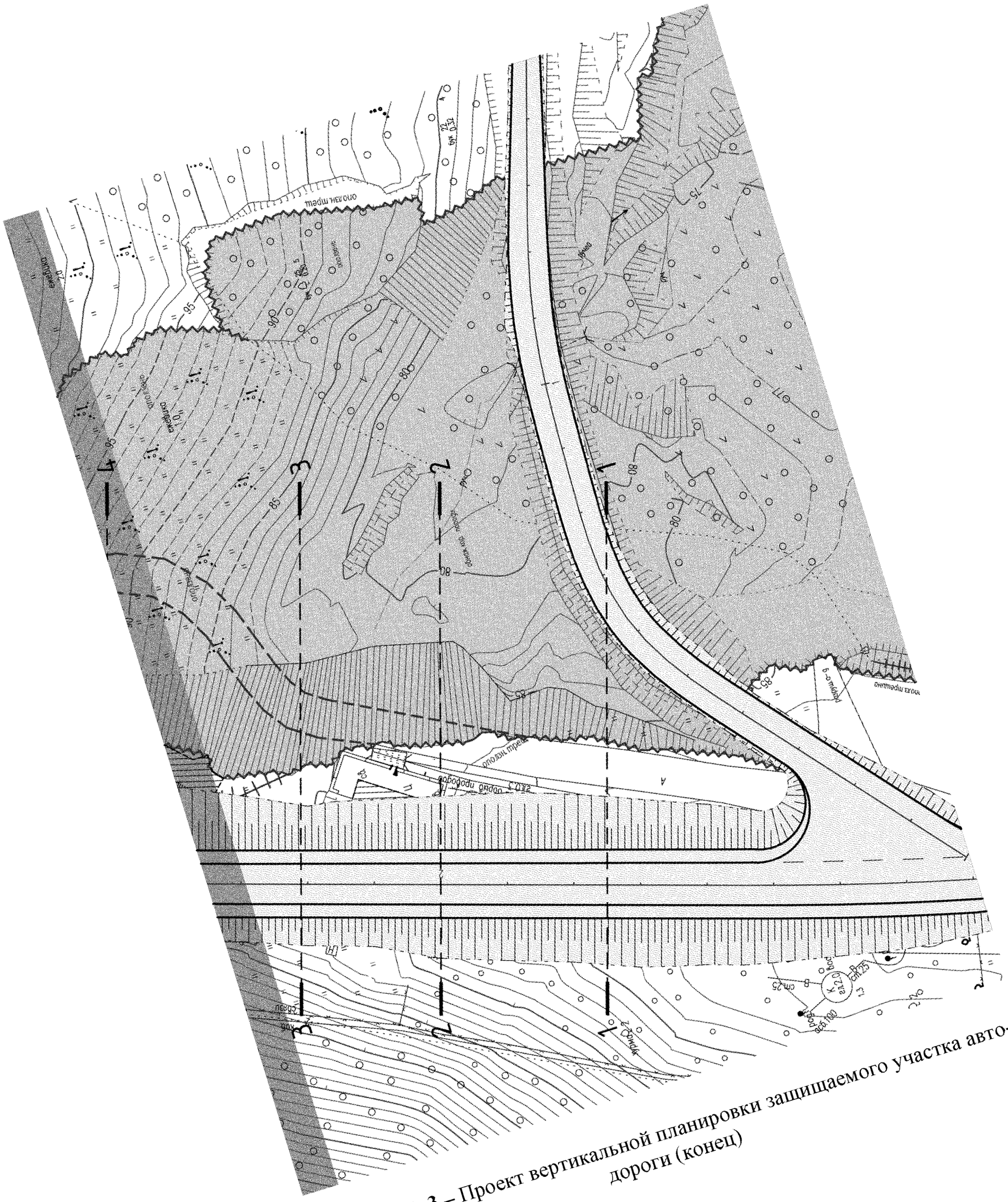
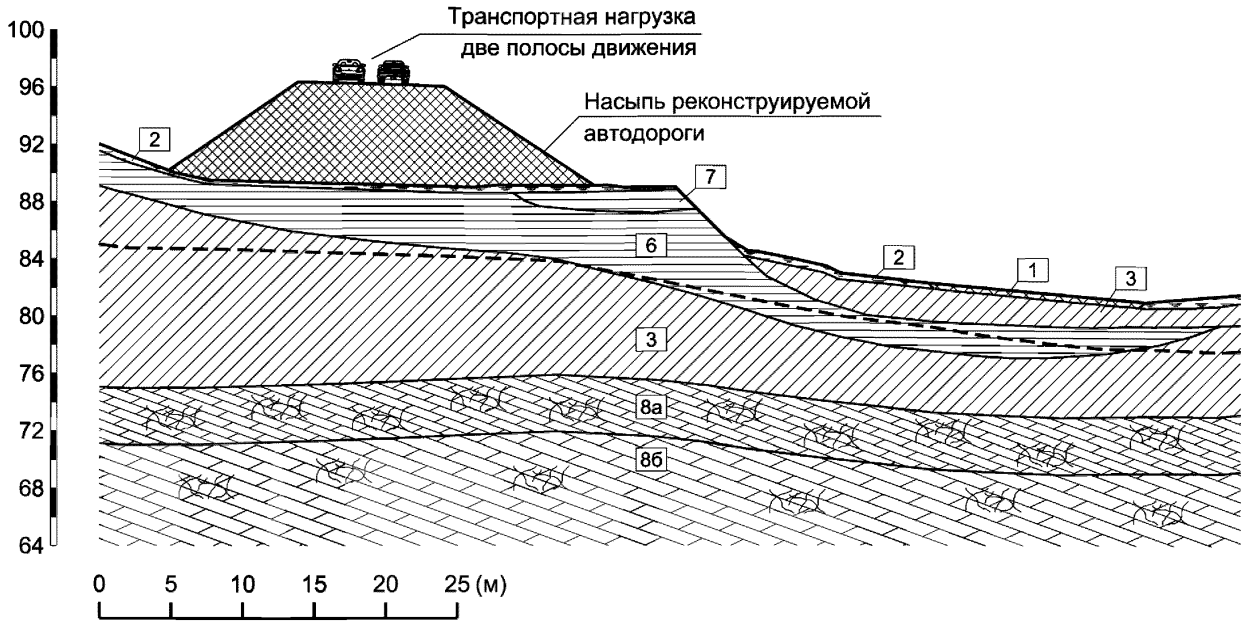


Рисунок А.3 – Проект вертикальной планировки защищаемого участка автодороги (конец)



1 Насыпной грунт - гравий, щебень известняка, песчаника, обломков асфальта

2 Почва суглинистая с дресвой и щебнем мергеля и песчаника

3 Суглинок твердый, слабонабухающий

6 Глина твердая, слабонабухающая

7 Глина тугопластичная до мягкопластичной

8а Мергель глинистый сильновыветрелый, сильнотрещиноватый, очень низкой прочности

8б Мергель глинистый сильновыветрелый, трещиноватый, низкой прочности

Рисунок А.4 – Инженерно-геологический разрез линии 1-1

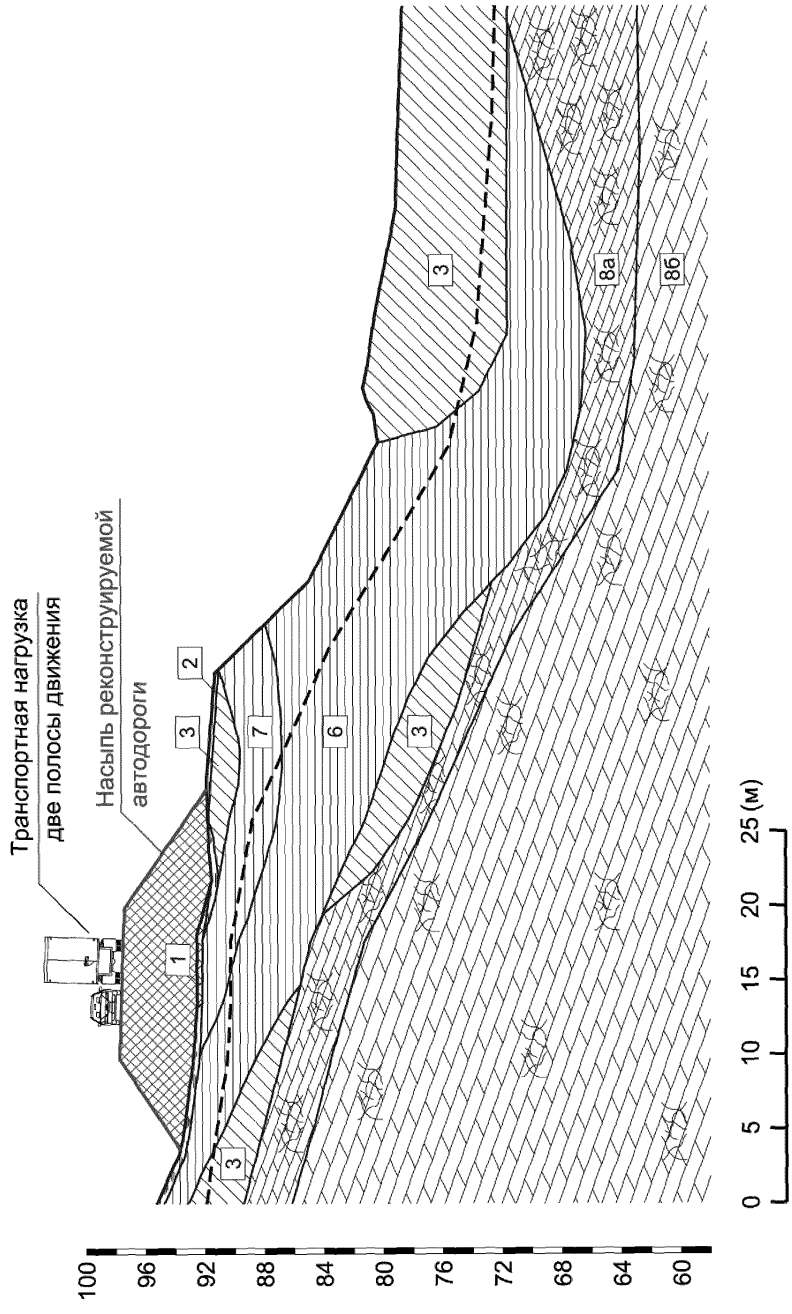


Рисунок А.5 – Инженерно-геологический разрез линии 2-2

Рисунок А.6 – Инженерно-геологический разрез линии 3-3

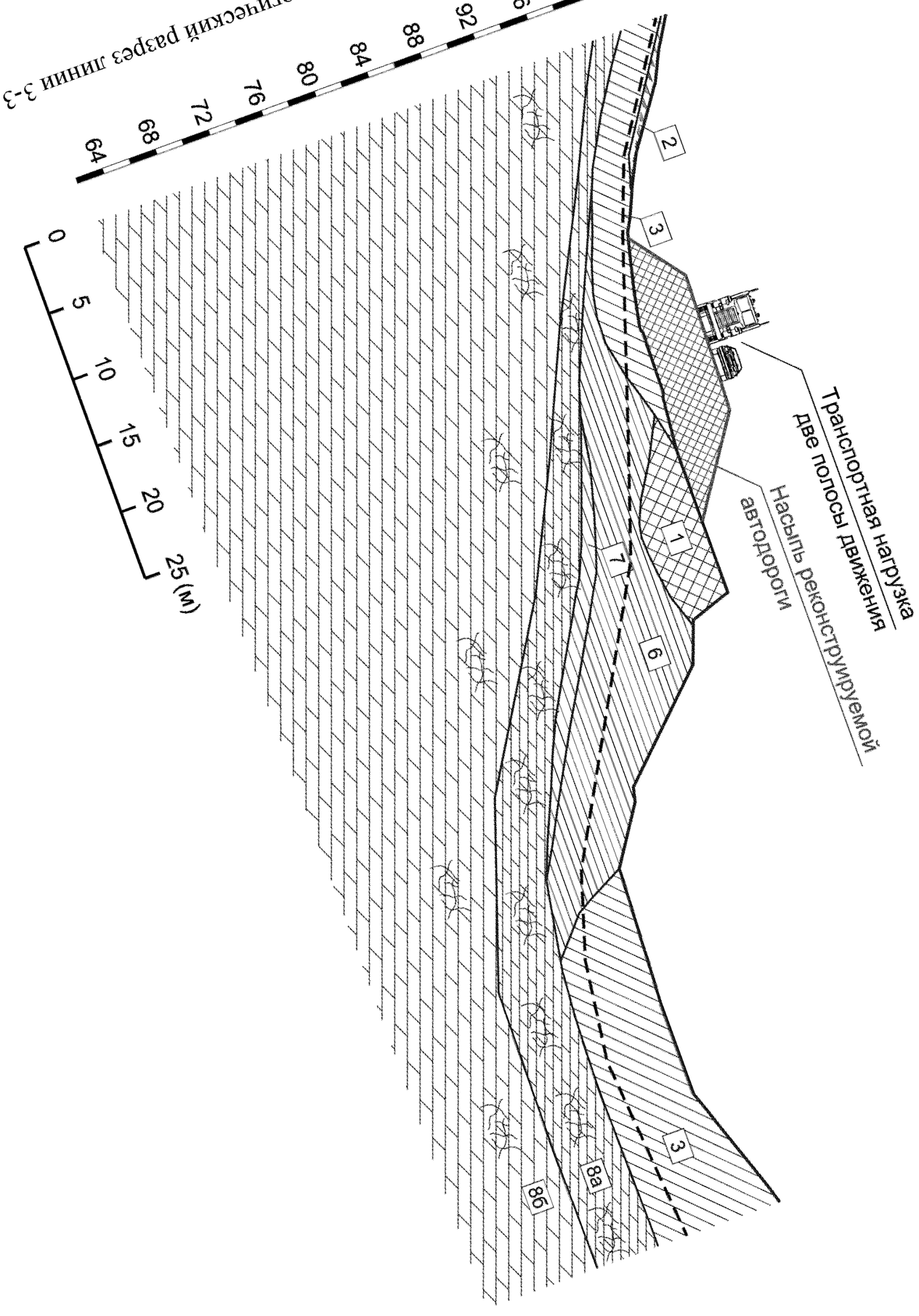


Рисунок А.7 – Инженерно-геологический разрез линии 4-4

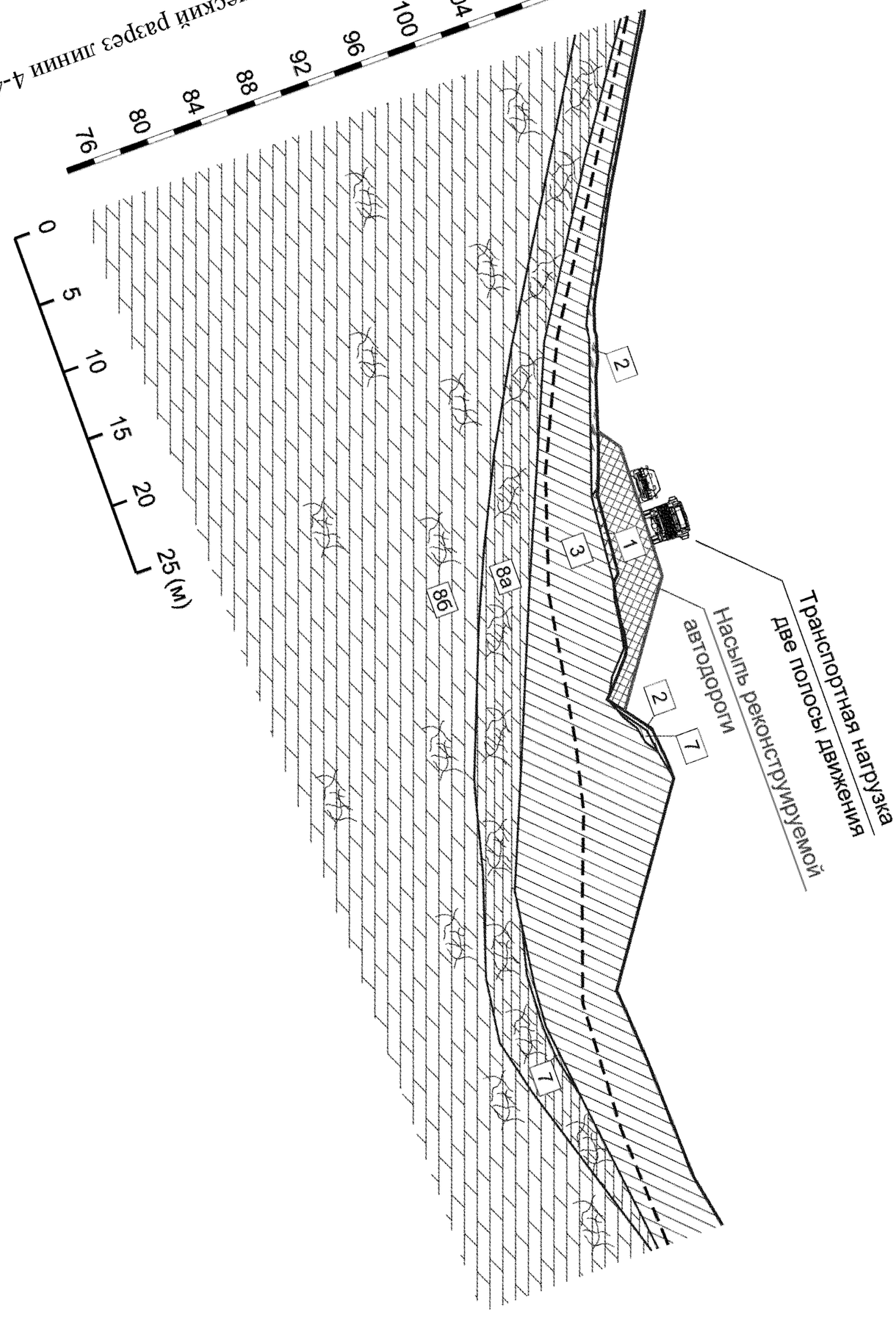
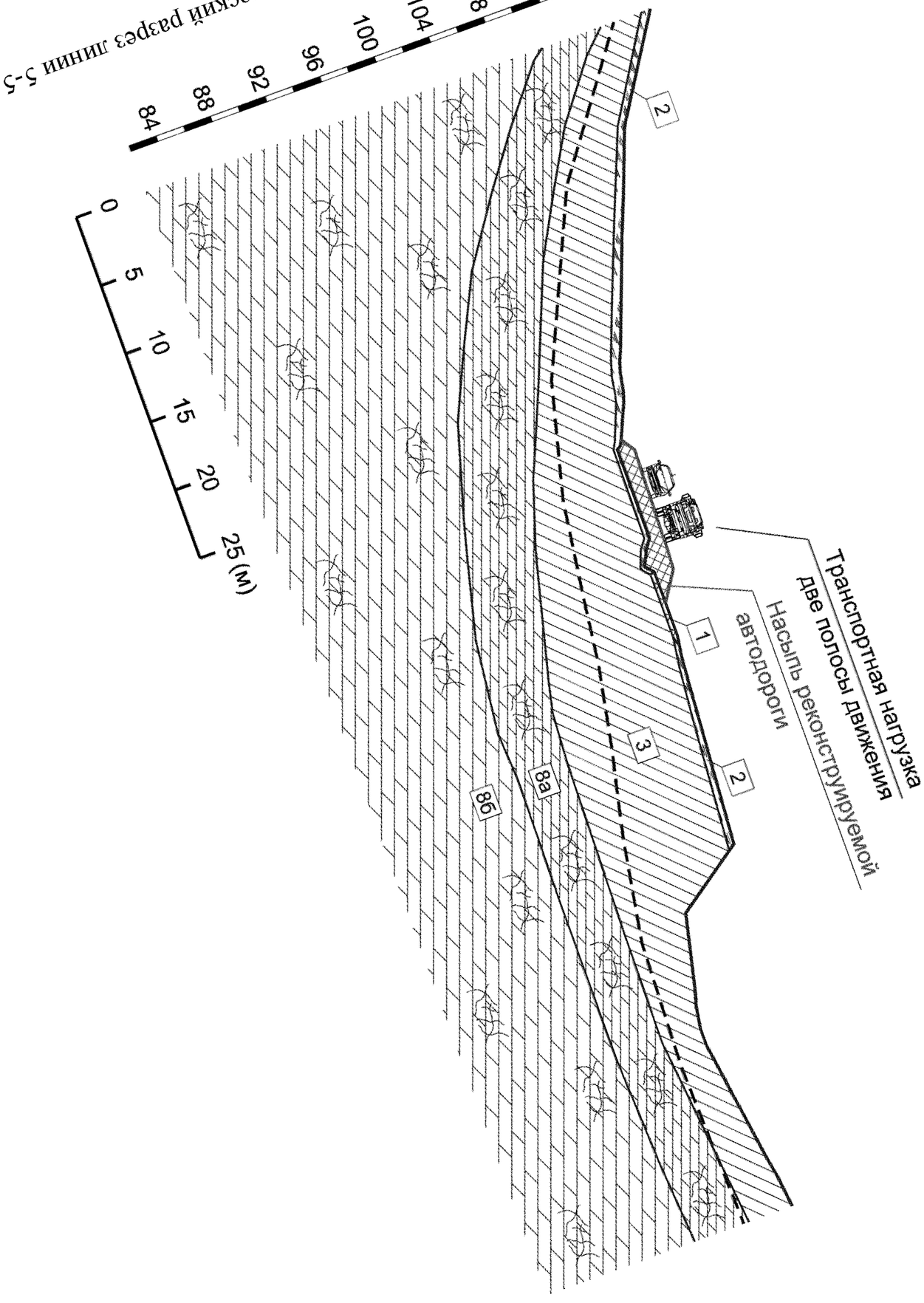


Рисунок А.8 – Инженерно-геологический разрез линии 5-5



ПРИЛОЖЕНИЕ Б.
Пример составления отсековой модели

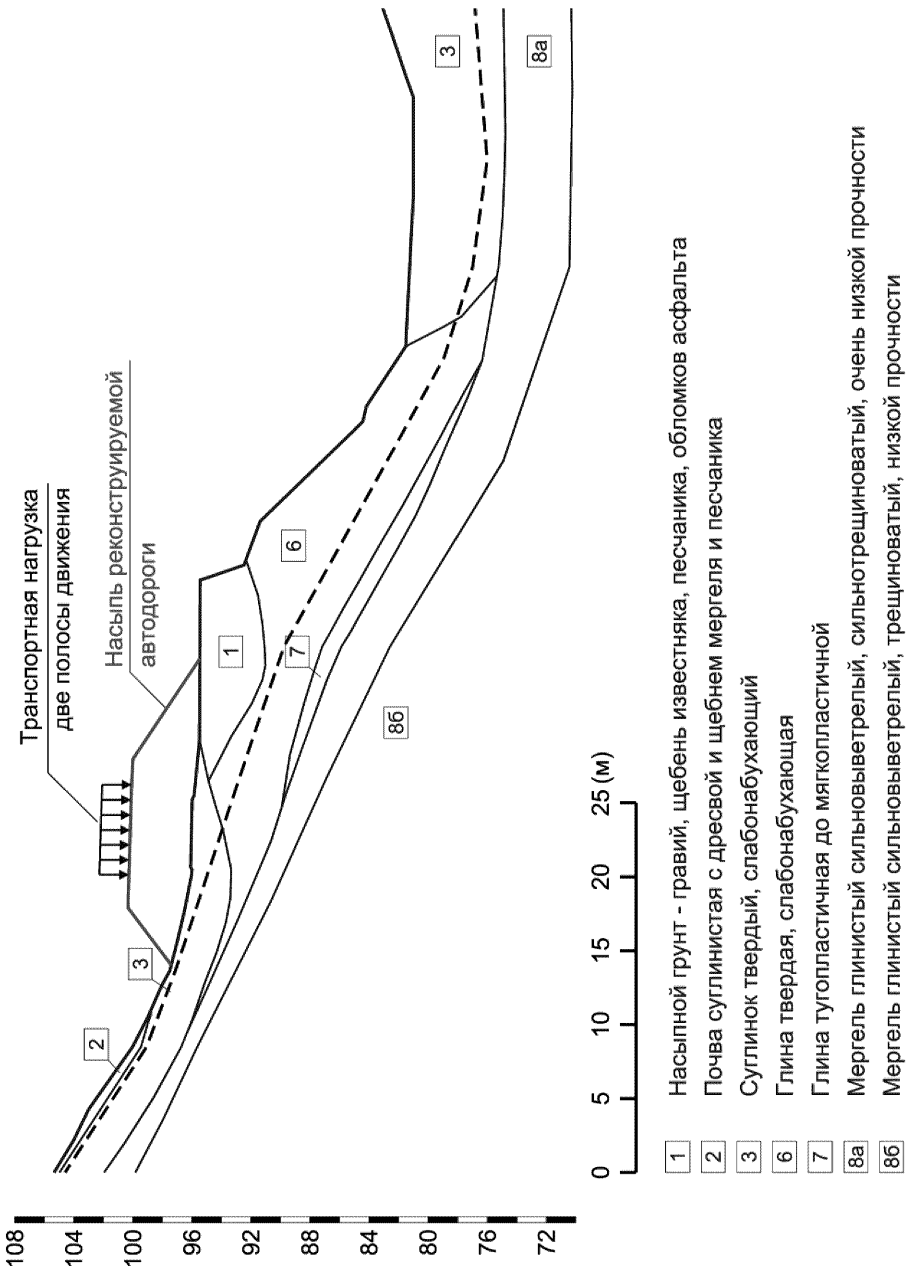


Рисунок Б.1 – Расчетная схема по линии разреза 3-3

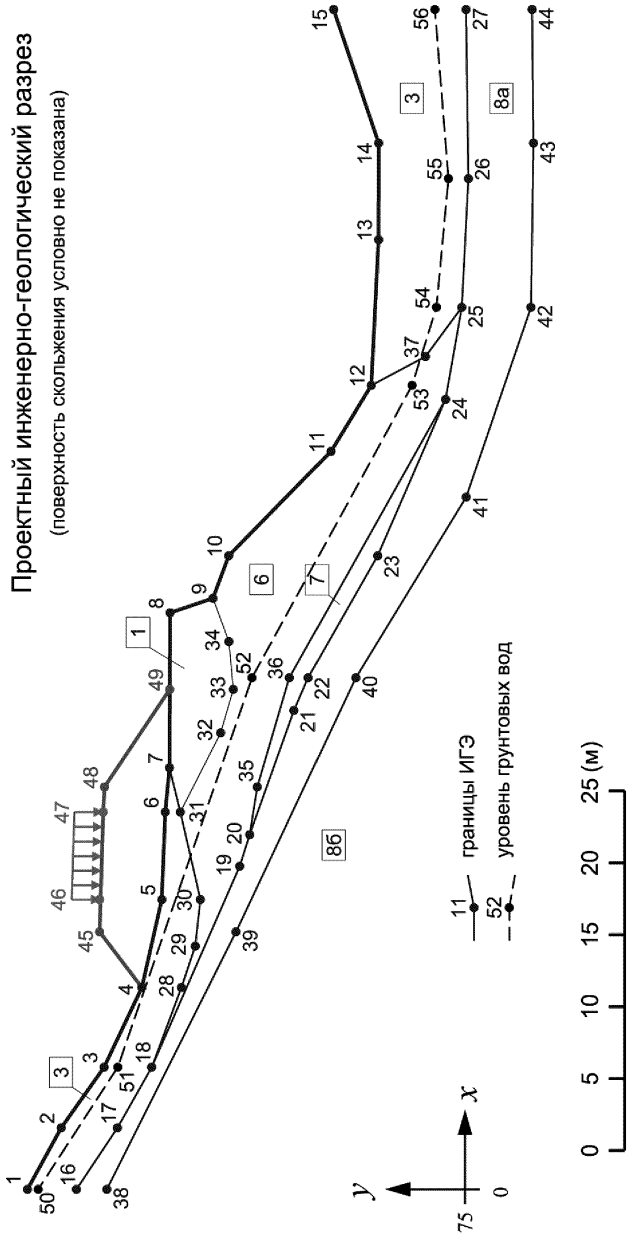


Рисунок Б.2 – Результаты генерализации расчетной схемы

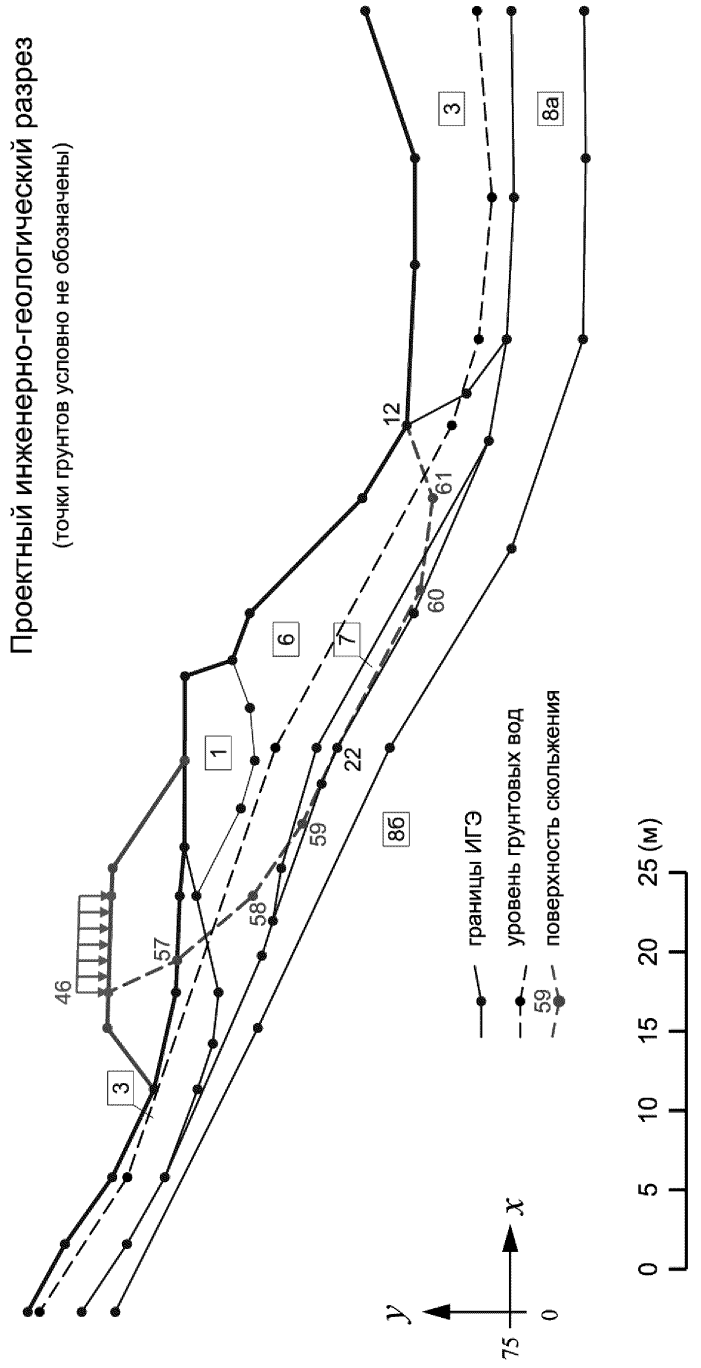


Рисунок Б.3 – Расчетная схема с поверхностью скольжения

Таблица Б.1 – Координаты узловых точек расчетной схемы

№№ узлов	Координаты узлов		№№ узлов	Координаты узлов	
	x, [*м*]	*y*, [*м*]		*x*, [*м*]	*y*, [*м*]
Границы литологических разностей					
1	0.00	105.33	23	44.04	81.05
2	4.28	102.99	24	54.89	76.34
3	8.49	100.02	25	61.30	75.22
4	14.03	97.39	26	70.24	74.76
5	20.15	96.01	27	82.00	74.93
6	26.21	95.77	28	14.03	94.66
7	29.29	95.48	29	16.91	93.69
8	40.07	95.44	30	20.15	93.34
9	41.08	92.47	31	26.21	94.73
10	44.04	91.37	32	31.72	91.93
11	51.29	84.29	33	34.75	91.06
12	55.87	81.50	34	38.07	91.36
13	65.99	80.99	35	27.96	89.39
14	72.71	80.99	36	35.55	87.17
15	82.00	84.11	37	57.87	77.74
16	0.00	101.94	38	0.00	99.83
17	4.28	99.09	39	17.90	90.87
18	8.49	96.71	40	35.55	82.57
19	22.46	90.61	41	48.11	74.92
20	24.66	89.92	42	61.30	70.43
21	33.28	86.86	43	72.71	70.25
22	35.55	85.87	44	82.00	70.35
Проектная насыпь автодороги					
45	17.90	100.33	48	27.96	99.98
46	20.15	100.26	49	34.75	95.46
47	26.21	100.08			
Грунтовые воды					
50	0.00	104.59	54	61.30	76.98
51	8.49	99.07	55	70.24	76.15
52	35.55	89.76	56	82.00	77.09
53	55.87	78.67			
Поверхность скольжения					
57	22.17	95.93	60	45.52	80.65
58	26.21	91.18	61	51.29	79.86
59	30.77	88.07			

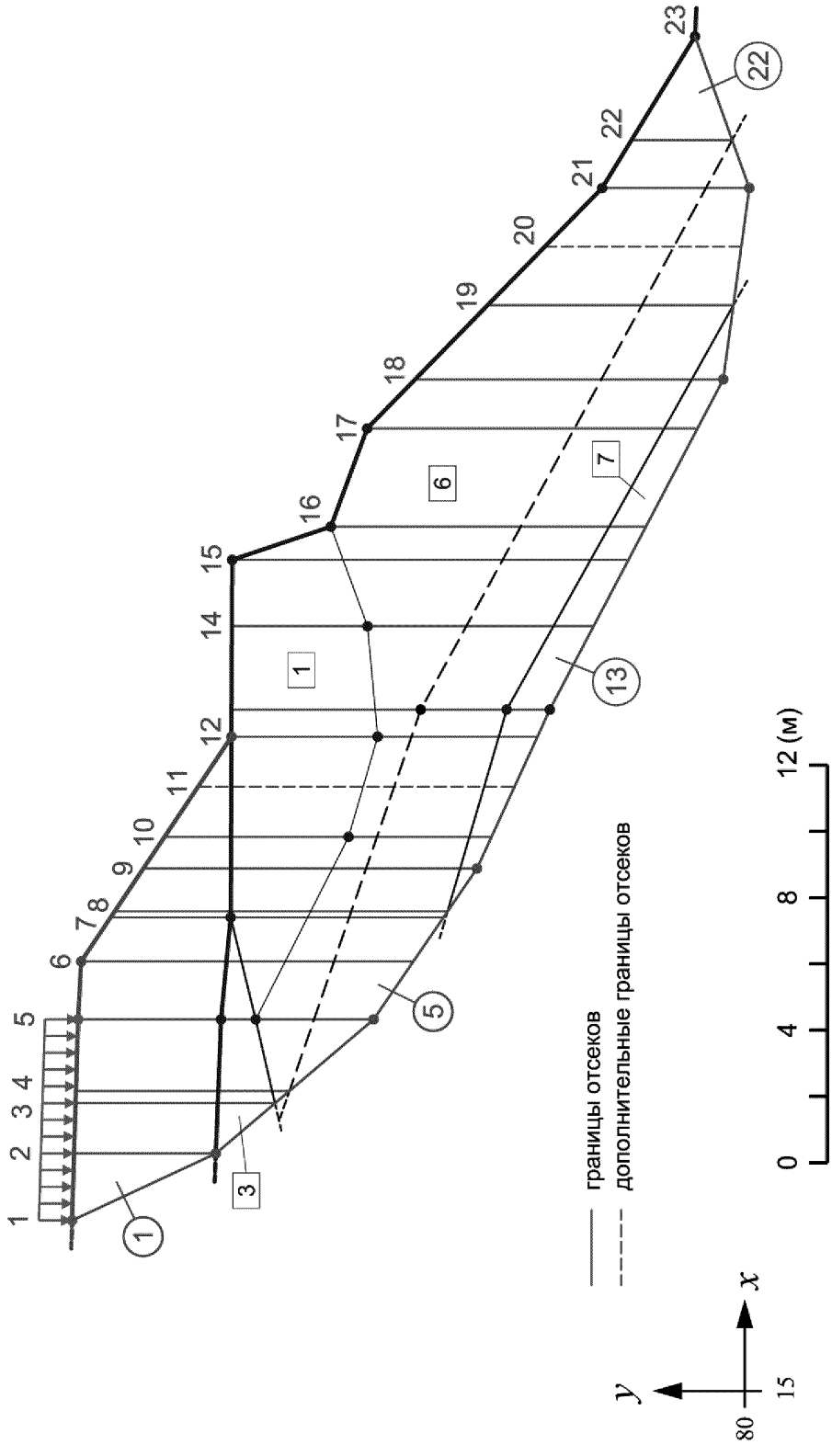


Рисунок Б.4 – Отсековая модель оползня

Таблица Б.2 – Координаты отсековой модели

№№ отсеков	Сечение *слева* отсека				Сечение *справа* отсека			
	Абсцисса x_L, [м]	Ордината дневной поверхности $y^{day}{}_L$, [м]	Ордината поверхности скольжения $y^{slip}{}_L$, [м]	Ордината уровня грунтовых вод y^{water}, [м]	Абсцисса x_R, [м]	Ордината дневной поверхности $y^{day}{}_R$, [м]	Ордината поверхности скольжения $y^{slip}{}_R$, [м]	Ордината уровня грунтовых вод y^{water}, [м]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	20.15	100.26	100.26	–	22.17	100.20	95.93	–
2	22.17	100.20	95.93	–	23.69	100.15	94.15	–
3	23.69	100.15	94.15	–	24.06	100.14	93.71	–
4	24.06	100.14	93.71	93.71	26.21	100.08	91.18	92.97
5	26.21	100.08	91.18	92.97	27.96	99.98	89.98	92.37
6	27.96	99.98	89.98	92.37	29.29	99.10	89.07	91.91
7	29.29	99.10	89.07	91.91	29.48	98.97	88.95	91.85
8	29.48	98.97	88.95	91.85	30.77	98.11	88.07	91.40
9	30.77	98.11	88.07	91.40	31.72	97.48	87.63	91.08
10	31.72	97.48	87.63	91.08	33.23	96.47	86.93	90.56
11	33.23	96.47	86.93	90.56	34.75	95.46	86.24	90.04
12	34.75	95.46	86.24	90.04	35.55	95.46	85.87	89.76
13	35.55	95.46	85.87	89.76	38.07	95.44	84.55	88.39
14	38.07	95.44	84.55	88.39	40.07	95.44	83.50	87.29
15	40.07	95.44	83.50	87.29	41.08	92.47	82.97	86.74
16	41.08	92.47	82.97	86.74	44.04	91.37	81.42	85.13
17	44.04	91.37	81.42	85.13	45.52	89.92	80.65	84.32
18	45.52	89.92	80.65	84.32	47.75	87.75	80.34	83.10
19	47.75	87.75	80.34	83.10	49.52	86.02	80.10	82.13
20	49.52	86.02	80.10	82.13	51.29	84.29	79.86	81.17
21	51.29	84.29	79.86	81.17	52.74	83.41	80.38	80.38
22	52.74	83.41	80.38	–	55.87	81.50	81.50	–

Таблица Б.3 – Отметки границ литологических разностей в отсеках

№№ отсеков	Сечение ***слева*** отсека			Сечение ***справа*** отсека		
	y_{L1}, [м]	y_{L2}, [м]	y_{L3}, [м]	y_{R1}, [м]	y_{R2}, [м]	y_{R3}, [м]
1	2	3	4	5	6	7
1	–	–	–	–	–	–
2	95.93	–	–	95.87	–	–
3	95.87	94.15	–	95.86	94.23	–
4	95.86	94.23	–	95.77	94.73	–
5	95.77	94.73	94.73	95.61	95.15	93.84
6	95.61	95.15	93.84	95.48	95.48	93.16
7	95.48	93.16	–	95.48	93.07	–
8	95.48	93.07	88.95	95.47	92.42	88.57
9	95.47	92.42	88.57	95.47	91.93	88.29
10	95.47	91.93	88.29	95.46	91.49	87.85
11	95.46	91.49	87.85	95.46	91.06	87.41
12	91.06	87.41	–	91.13	87.17	–
13	91.13	87.17	–	91.36	85.76	–
14	91.36	85.76	–	92.10	84.64	–
15	92.10	84.64	–	92.47	84.08	–
16	84.08	–	–	82.42	–	–
17	82.42	–	–	81.59	–	–
18	81.59	–	–	80.34	–	–
19	–	–	–	–	–	–
20	–	–	–	–	–	–
21	–	–	–	–	–	–
22	–	–	–	–	–	–

Таблица Б.4 – Параметры отсековой модели

№№ отсеков	Ширина отсека b, [$м$]	Угол наклона основания отсека α, [$град$]	Длина основания отсека l, [$м$]	Высота отсека h^{slice}, [$м$]		Высота УГВ h^{water}, [$м$]	
				слева	справа	слева	справа
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.02	64.98388	4.77	0.00	4.27	0.00	0.00
2	1.52	49.58928	2.34	4.27	6.00	0.00	0.00
3	0.37	49.58982	0.57	6.00	6.43	0.00	0.00
4	2.16	49.58948	3.33	6.43	8.90	0.00	1.79
5	1.75	34.36060	2.12	8.90	10.00	1.79	2.39
6	1.33	34.36083	1.61	10.00	10.02	2.39	2.84
7	0.18	34.35968	0.22	10.02	10.03	2.84	2.90
8	1.29	34.36058	1.56	10.03	10.05	2.90	3.34
9	0.95	24.64106	1.05	10.05	9.85	3.34	3.45
10	1.51	24.64063	1.66	9.85	9.53	3.45	3.62
11	1.51	24.64094	1.66	9.53	9.22	3.62	3.80
12	0.81	24.64101	0.89	9.22	9.59	3.80	3.89
13	2.51	27.66802	2.84	9.59	10.89	3.89	3.83
14	2.00	27.66819	2.26	10.89	11.94	3.83	3.79
15	1.01	27.66804	1.13	11.94	9.49	3.79	3.77
16	2.96	27.66808	3.34	9.49	9.95	3.77	3.71
17	1.48	27.66799	1.67	9.95	9.28	3.71	3.67
18	2.23	7.72986	2.25	9.28	7.40	3.67	2.76
19	1.77	7.73017	1.79	7.40	5.92	2.76	2.03
20	1.77	7.73007	1.79	5.92	4.43	2.03	1.31
21	1.45	-19.64898	1.53	4.43	3.03	1.31	0.00
22	3.13	-19.66237	3.32	3.03	0.00	0.00	0.00

Таблица Б.5 – Данные о центре тяжести отсека и внешней нагрузке

№№ отсеков	Центр тяжести отсека		Результирующая от внешней нагрузки			
			точка приложения		угол наклона β, [*град*]	величина нагрузки D, [*м*]
	координата x^{grav}_{slice}, [*м*]	координата y^{grav}_{slice}, [*м*]	координата x_{load}, [*м*]	координата y_{load}, [*м*]		
1	2	3	4	5	6	7
1	21.49	98.80	21.16	100.23	0.00000	99.75
2	22.97	97.62	22.93	100.18	0.00000	75.04
3	23.87	97.12	23.87	100.15	0.00000	18.25
4	25.19	96.38	25.14	100.11	0.00000	106.63
5	27.11	95.47	–	–	–	–
6	28.63	94.72	–	–	–	–
7	29.39	94.21	–	–	–	–
8	30.12	93.72	–	–	–	–
9	31.24	93.03	–	–	–	–
10	32.47	92.34	–	–	–	–
11	33.98	91.49	–	–	–	–
12	35.15	90.97	–	–	–	–
13	36.84	90.55	–	–	–	–
14	39.08	89.96	–	–	–	–
15	40.55	88.78	–	–	–	–
16	42.57	87.08	–	–	–	–
17	44.77	85.87	–	–	–	–
18	46.59	84.70	–	–	–	–
19	48.60	83.57	–	–	–	–
20	50.36	82.59	–	–	–	–
21	51.97	81.99	–	–	–	–
22	53.78	81.76	–	–	–	–

Таблица Б.6 – Величины плеч отсековых усилий

№№ отсеков	Плечо отсекового усилия, [*м*]					Плечо составляющей оползневого давления *y*, [*м*]	
	x	*e*	*f*	*R*	*d*	слева	справа
1	2	3	4	5	6	7	8
1	28.81	15.50	2.35	-33.26	29.15	14.04	16.94
2	27.34	16.67	-3.09	-33.33	27.38	16.94	18.14
3	26.43	17.18	-1.63	-33.33	26.44	18.14	18.44
4	25.12	17.91	0.32	-33.33	25.17	18.44	20.15
5	23.20	18.82	-5.78	-32.68	0.00	20.15	20.98
6	21.68	19.58	-3.92	-32.68	0.00	20.98	21.88
7	20.92	20.08	-3.00	-32.68	0.00	21.88	22.01
8	20.18	20.57	-2.11	-32.68	0.00	22.01	22.88
9	19.06	21.27	-6.30	-31.99	0.00	22.88	23.38
10	17.83	21.96	-4.94	-31.99	0.00	23.38	24.18
11	16.32	22.80	-3.28	-31.99	0.00	24.18	24.98
12	15.15	23.32	-2.00	-31.99	0.00	24.98	25.23
13	13.47	23.74	1.55	-32.02	0.00	25.23	26.11
14	11.22	24.33	4.10	-32.02	0.00	26.11	26.81
15	9.76	25.51	5.80	-32.02	0.00	26.81	28.16
16	7.74	27.21	8.04	-32.02	0.00	28.16	29.56
17	5.54	28.42	10.55	-32.02	0.00	29.56	30.56
18	3.71	29.59	0.91	-33.99	0.00	30.56	31.48
19	1.70	30.72	2.93	-33.99	0.00	31.48	32.22
20	-0.06	31.70	4.71	-33.99	0.00	32.22	32.96
21	-1.66	32.30	-9.88	-32.76	0.00	32.96	32.91
22	-3.47	32.53	-7.46	-32.76	0.00	32.91	32.80

Таблица Б.7 – Постоянные усилия в отсеках

№№ отсеков	Вес отсека W, [$кН$]	Усилия и свойства грунта в основании отсеков		
		Поровое давление u, [$кПа$]	Сцепление в грунте c, [$кПа$]	Угол внутреннего трения φ, [$град$]
1	2	3	4	5
1	97.77	0.00	2.00	30.00
2	173.93	0.00	23.00	15.00
3	50.34	0.00	38.00	8.00
4	354.04	8.79	38.00	8.00
5	350.38	20.49	38.00	8.00
6	284.53	25.62	38.00	8.00
7	39.37	28.15	38.00	8.00
8	275.44	30.60	35.00	9.00
9	200.86	33.29	35.00	9.00
10	309.08	34.67	35.00	9.00
11	296.53	36.37	35.00	9.00
12	157.93	37.68	35.00	9.00
13	530.33	37.87	35.00	9.00
14	465.42	37.39	35.00	9.00
15	213.08	37.07	35.00	9.00
16	554.32	36.65	35.00	9.00
17	274.75	36.18	35.00	9.00
18	359.94	31.53	35.00	9.00
19	228.75	23.48	38.00	8.00
20	177.69	16.36	38.00	8.00
21	104.61	6.40	38.00	8.00
22	92.05	0.00	38.00	8.00

ПРИЛОЖЕНИЕ В.
Пример расчета устойчивости склона

Таблица В.1 – Данные для вычисления коэффициента устойчивости

Метод расчета			упрощенный				
№№ отсеков	В основании отсеков		Межотсековые силы				
				слева		справа	
	Нормальная сила N, [$кН$]	Сопротивление сдвигу S, [$кН$]	Функция м/о сил $f(x)$	Нормальная сила E_L, [$кН$]	Касательная сила X_L, [$кН$]	Нормальная сила E_R, [$кН$]	Касательная сила X_R, [$кН$]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	83.43	57.72	–	–	–	–	–
2	161.18	97.02	–	–	–	–	–
3	44.47	27.91	–	–	–	–	–
4	298.67	164.40	–	–	–	–	–
5	289.63	115.16	–	–	–	–	–
6	234.35	88.32	–	–	–	–	–
7	32.08	12.00	–	–	–	–	–
8	227.01	82.99	–	–	–	–	–
9	182.89	60.19	–	–	–	–	–
10	280.32	93.39	–	–	–	–	–
11	268.94	91.13	–	–	–	–	–
12	143.61	48.59	–	–	–	–	–
13	470.05	156.82	–	–	–	–	–
14	411.75	130.92	–	–	–	–	–
15	187.90	62.68	–	–	–	–	–
16	490.65	175.22	–	–	–	–	–
17	242.75	87.32	–	–	–	–	–
18	356.24	123.93	–	–	–	–	–
19	227.12	94.03	–	–	–	–	–
20	176.42	88.69	–	–	–	–	–
21	98.23	70.56	–	–	–	–	–
22	86.55	138.31	–	–	–	–	–
Коэффициент устойчивости K =							0.771

Таблица В.2 – Данные для вычисления коэффициента устойчивости

Метод расчета			равновесия сил				
№№ отсеков	В основании отсеков		Межотсековые силы				
				слева		справа	
	Нормальная сила N, [$кН$]	Сопротивление сдвигу S, [$кН$]	Функция м/о сил $f(x)$	Нормальная сила E_L, [$кН$]	Касательная сила X_L, [$кН$]	Нормальная сила E_R, [$кН$]	Касательная сила X_R, [$кН$]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	168.19	106.61	–	0.00	–	93.59	–
2	213.29	110.96	–	93.59	–	162.13	–
3	59.71	30.05	–	162.13	–	182.15	–
4	430.17	182.88	–	182.15	–	354.82	–
5	318.55	119.23	–	354.82	–	406.00	–
6	261.63	92.16	–	406.00	–	454.41	–
7	35.89	12.53	–	454.41	–	461.24	–
8	255.04	87.44	–	461.24	–	511.00	–
9	185.10	60.53	–	511.00	–	516.31	–
10	283.10	93.82	–	516.31	–	522.97	–
11	270.76	91.42	–	522.97	–	527.34	–
12	144.62	48.75	–	527.34	–	529.76	–
13	489.73	159.92	–	529.76	–	572.14	–
14	432.97	134.29	–	572.14	–	617.90	–
15	195.78	63.92	–	617.90	–	634.94	–
16	504.07	177.35	–	634.94	–	663.87	–
17	249.01	88.33	–	663.87	–	677.37	–
18	341.26	121.57	–	677.37	–	565.81	–
19	214.93	92.31	–	565.81	–	475.41	–
20	164.25	86.99	–	475.41	–	385.09	–
21	146.83	77.40	–	385.09	–	240.08	–
22	167.49	149.70	–	240.08	–	-0.70	–
Коэффициент устойчивости K =							0.766

Таблица В.3 – Данные для вычисления коэффициента устойчивости

Метод расчета			равновесия моментов				
№№ отсеков	В основании отсеков		Межотсековые силы				
				слева		справа	
	Нормальная сила N, [$кН$]	Сопротивление сдвигу S, [$кН$]	Функция м/о сил $f(x)$	Нормальная сила E_L, [$кН$]	Касательная сила X_L, [$кН$]	Нормальная сила E_R, [$кН$]	Касательная сила X_R, [$кН$]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	178.06	112.33	–	0.00	–	104.54	–
2	223.49	113.70	–	104.54	–	186.49	–
3	62.88	30.50	–	186.49	–	210.68	–
4	449.48	185.58	–	210.68	–	408.71	–
5	326.44	120.33	–	408.71	–	473.82	–
6	267.71	93.01	–	473.82	–	533.04	–
7	36.71	12.65	–	533.04	–	541.35	–
8	260.74	88.34	–	541.35	–	601.22	–
9	187.86	60.96	–	601.22	–	613.12	–
10	287.36	94.50	–	613.12	–	630.03	–
11	274.91	92.08	–	630.03	–	644.38	–
12	146.83	49.09	–	644.38	–	652.12	–
13	497.94	161.23	–	652.12	–	712.17	–
14	439.86	135.37	–	712.17	–	772.80	–
15	199.06	64.44	–	772.80	–	796.94	–
16	513.19	178.79	–	796.94	–	845.51	–
17	253.54	89.04	–	845.51	–	868.80	–
18	342.99	121.84	–	868.80	–	770.13	–
19	216.25	92.51	–	770.13	–	689.52	–
20	165.49	87.16	–	689.52	–	608.43	–
21	143.67	76.96	–	608.43	–	472.86	–
22	161.35	148.84	–	472.86	–	250.33	–
Коэффициент устойчивости K =							0.835

Таблица В.4 – Данные для вычисления коэффициента устойчивости

Метод расчета			общего предельного равновесия				
№№ отсеков	В основании отсеков		Межотсековые силы				
				слева		справа	
	Нормальная сила N, [$кН$]	Сопротивление сдвигу S, [$кН$]	Функция м/о сил $f(x)$	Нормальная сила E_L, [$кН$]	Касательная сила X_L, [$кН$]	Нормальная сила E_R, [$кН$]	Касательная сила X_R, [$кН$]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	167.28	106.13	0.00	0.00	0.00	97.29	10.04
2	200.35	107.50	0.18	97.29	10.04	165.46	29.60
3	54.05	29.26	0.31	165.46	29.60	183.63	36.15
4	368.43	174.19	0.34	183.63	36.15	327.28	97.25
5	281.30	113.99	0.51	327.28	97.25	371.93	137.87
6	227.90	87.41	0.63	371.93	137.87	413.18	173.92
7	31.09	11.86	0.72	413.18	173.92	418.94	179.07
8	219.84	81.85	0.73	418.94	179.07	461.18	216.65
9	171.12	58.32	0.80	461.18	216.65	468.26	232.83
10	264.22	90.84	0.85	468.26	232.83	478.38	255.22
11	256.47	89.16	0.91	478.38	255.22	487.10	272.97
12	138.51	47.78	0.96	487.10	272.97	492.21	280.92
13	461.61	155.49	0.98	492.21	280.92	539.62	315.29
14	414.03	131.28	1.00	539.62	315.29	590.99	339.64
15	193.18	63.52	0.98	590.99	339.64	612.61	344.99
16	523.58	180.43	0.96	612.61	344.99	662.07	333.73
17	269.22	91.52	0.86	662.07	333.73	688.90	317.84
18	435.76	136.53	0.79	688.90	317.84	583.40	223.19
19	283.97	102.03	0.65	583.40	223.19	499.23	154.49
20	224.16	95.41	0.53	499.23	154.49	414.95	94.96
21	206.90	85.85	0.39	414.95	94.96	246.88	39.22
22	206.40	155.18	0.27	246.88	39.22	0.00	0.00
Коэффициент λ =							0.584
Коэффициент устойчивости K =							0.825

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.
Пример расчета оползневых давлений

Таблица Г.1 – Данные для вычисления оползневых давлений

Метод расчета	упрощенный		
№№ сечений	Результирующая оползневого давления		
	с верховой стороны P_A, [*кН/м*]	с низовой стороны P_B, [*кН/м*]	разница оползневых давлений P, [*кН/м*]
1	2	3	4
1	0.00	0.00	0.00
2	305.98	0.00	305.98
3	524.64	0.00	524.64
4	579.14	0.00	579.14
5	953.17	0.00	953.17
6	1105.74	0.00	1105.74
7	1215.69	0.00	1215.69
8	1230.35	0.00	1230.35
9	1331.03	0.00	1331.03
10	1357.69	0.00	1357.69
11	1393.68	0.00	1393.68
12	1422.22	0.00	1422.22
13	1446.80	0.00	1446.80
14	1567.59	105.45	1462.14
15	1679.41	230.12	1449.29
16	1663.03	272.20	1390.83
17	1728.72	379.68	1349.04
18	1740.93	424.59	1316.35
19	1618.95	353.17	1265.77
20	1522.20	295.30	1226.90
21	1426.77	237.50	1189.27
22	1316.61	144.27	1172.34
23	1147.26	0.00	1147.26

Таблица Г.2 – Данные для вычисления оползневых давлений

Метод расчета	равновесия сил		
№№ сечений	Результирующая оползневого давления		
	с верховой стороны P_A, [кН/м]	с низовой стороны P_B, [кН/м]	разница оползневых давлений P, [кН/м]
1	2	3	4
1	0.00	0.00	0.00
2	182.82	0.00	182.82
3	342.10	0.00	342.10
4	389.25	0.00	389.25
5	737.12	0.00	737.12
6	874.29	0.00	874.29
7	991.15	0.00	991.15
8	1007.42	0.00	1007.42
9	1122.34	0.00	1122.34
10	1164.27	0.00	1164.27
11	1227.60	0.00	1227.60
12	1286.76	0.00	1286.76
13	1318.35	0.00	1318.35
14	1464.94	80.58	1384.36
15	1600.39	193.46	1406.93
16	1659.30	242.55	1416.75
17	1800.34	360.08	1440.26
18	1869.57	417.78	1451.79
19	1804.15	363.26	1440.89
20	1747.60	316.13	1431.46
21	1688.15	266.59	1421.56
22	1562.93	162.24	1400.69
23	1368.24	0.00	1368.24

Таблица Г.3 – Данные для вычисления оползневых давлений

Метод расчета	равновесия моментов		
№№ сечений	Результирующая оползневого давления		
	с верховой стороны P_A, [кН/м]	с низовой стороны P_B, [кН/м]	разница оползневых давлений P, [кН/м]
1	2	3	4
1	0.00	0.00	0.00
2	172.48	0.00	172.48
3	329.61	0.00	329.61
4	376.44	0.00	376.44
5	720.56	0.00	720.56
6	846.83	0.00	846.83
7	944.13	0.00	944.13
8	957.47	0.00	957.47
9	1050.39	0.00	1050.39
10	1075.22	0.00	1075.22
11	1110.53	0.00	1110.53
12	1140.72	0.00	1140.72
13	1164.83	0.00	1164.83
14	1288.16	130.86	1157.30
15	1407.01	254.62	1152.40
16	1405.15	296.81	1108.34
17	1491.50	410.16	1081.34
18	1518.12	459.61	1058.51
19	1403.70	388.00	1015.71
20	1312.12	329.54	982.59
21	1221.20	270.82	950.38
22	1093.18	163.01	930.17
23	900.52	0.00	900.52

Таблица Г.4 – Данные для вычисления оползневых давлений

Метод расчета	общего предельного равновесия		
№№ сечений	Результирующая оползневого давления		
	с верховой стороны P_A, [кН/м]	с низовой стороны P_B, [кН/м]	разница оползневых давлений P, [кН/м]
1	2	3	4
1	0.00	0.00	0.00
2	172.48	0.00	172.48
3	338.62	0.00	338.62
4	391.23	0.00	391.23
5	744.31	0.00	744.31
6	849.35	0.00	849.35
7	945.63	0.00	945.63
8	959.64	0.00	959.64
9	1059.49	0.00	1059.49
10	1073.92	0.00	1073.92
11	1104.10	0.00	1104.10
12	1141.25	15.01	1126.24
13	1172.22	53.18	1119.04
14	1334.64	232.72	1101.92
15	1482.72	416.31	1066.42
16	1517.81	439.90	1077.91
17	1665.71	565.26	1100.45
18	1732.37	559.97	1172.40
19	1581.32	494.31	1087.02
20	1475.69	391.93	1083.76
21	1379.61	266.60	1113.01
22	1191.64	163.01	1028.63
23	917.57	0.00	917.57

Содержание

Предисловие **3**
1. Область применения **6**
2. Термины и определения **7**
3. Нормативные ссылки **10**
4. Общие положения **11**
4.1. Основные указания 11
4.2. Требования к составу, объему и качеству изысканий 11
4.3. Требования к объему и составу расчетов устойчивости склонов и оползневых давлений 17
4.4. Классификация методов расчета устойчивости (оползневых давлений) 18
5. Расчет устойчивости склонов **19**
5.1. Основные предпосылки 19
5.2. Метод предельного равновесия 19
Учет влияния грунтовых вод методом «взвешивания» 29
Учет сейсмических воздействий 29
5.3. Метод конечных элементов 30
5.4. Комбинированный метод 32
5.5. Метод пространственных колонок 34
6. Расчет оползневых давлений **39**
6.1. Метод предельного равновесия 39
Учет многоярусного расположения удерживающих сооружений 45
6.2. Метод конечных элементов 50
6.3. Комбинированный метод 51
7. Указания по расчету устойчивости склонов и оползневых давлений **52**
7.1. Исходные данные для расчета 52
7.2. Выбор положения и количества расчетных створов 53
7.3. Требования к составлению расчетной схемы 55
7.4. Определение необходимого состава расчетов 55

7.5. Выбор нормативных коэффициентов устойчивости (коэффициентов запаса) 57
7.6. Выбор методов расчета 59
7.7. Уточнение характеристик методом переходных коэффициентов 61
7.8. Уточнение характеристик методом «обратных» расчетов 62
7.9. Определение наиболее вероятной поверхности скольжения 64
7.10. Рекомендации по анализу результатов расчетов устойчивости и оползневых давлений 66
7.11. Определение состава и расположения противооползневых мероприятий 67
8. Примеры применения методик расчета 70
8.1. Пример составления расчетной схемы 70
8.2. Пример составления отсековой модели 73
8.3. Пример расчета устойчивости склона 77
8.4. Пример расчета оползневых давлений 82
Приложение А. Пример исходных данных для расчетов 84
Приложение Б. Пример составления отсековой модели 96
Приложение В. Пример расчета устойчивости склона 107
Приложение Г. Пример расчета оползневых давлений 111

gost.e-ecolog.ru