



ГИПРОРЕЧТРАНС

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЛАУРЕАТ ПРЕМИИ «РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОЛИМП»

Для служебного пользования

Арх. № 89282

Данный материал является интеллектуальной собственностью ОАО «Гипроречтранс». Запрещается размножать, передавать другим организациям и лицам для целей, не предусмотренных настоящим проектом.

Руководство по обеспечению общей устойчивости строительных откосов и склонов

**Главный инженер-
директор по проектированию, к.т.н.**

В.Ф.Самарин

**Начальник Отдела научных исследований и
экспериментального проектирования**

Г.В.Мельник

Ответственный исполнитель, гл. инж. пр., к.т.н.

В.Э.Даревский

Москва 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель разработки, главный инженер проектов, к.т.н.	В.Э.Даревский
Начальник отдела научных исследований и экспериментального проектирования	Г.В.Мельник
Главный специалист отдела научных исследований и экспериментального проектирования	Г.Е.Шестов

РЕФЕРАТ

Отчет: стр. , рис. , табл. , ист..

ОТКОСЫ, СКЛОНЫ, РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ, ПРОГРАММЫ, РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Руководство по обеспечению общей устойчивости строительных откосов и склонов

Целью настоящей работы является разработка рекомендаций по расчету и проектированию устойчивых строительных откосов и склонов.

Сформулированы требования к моделям, методам расчета, программам и исходным данным для выполнения расчетов общей устойчивости. Приведены примеры расчетов, соответствующих поставленным требованиям.

Дано краткое описание апробированных многолетним успешным использованием программ RUST, kRUST, PLAXIS. Приведены рекомендации по использованию данных программ для проверки общей устойчивости сооружений, а также прогнозирования оползней сдвига и выдавливания, оползней-потоков, сплывов, оползней гидродинамического выноса, внезапного разжижения (при наличии прогноза изменения механических характеристик грунтов).

Содержание

	Стр.
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	6
1. ВВЕДЕНИЕ	7
2. ТЕРМИНОЛОГИЯ	8
3. СОСТАВ РАБОТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ	12
4. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ	13
5. ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ	19
6. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ	27
6.1. Общие положения	27
6.2. Требования к моделям, методам расчета и программам	37
6.3. Требования к исходным данным	41
6.4. Расчет устойчивости методом ломаных поверхностей скольжения	48
6.5. Расчет устойчивости методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения	53
6.6. Расчет устойчивости для условий пространственной задачи	56
6.7. Учет сейсмических воздействий	59
7. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ	63
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА	69
9. ОЦЕНКА ОБЩИХ СМЕЩЕНИЙ	71
10. ПРОГРАММЫ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ	73
10.1. Введение	73
10.2. Программы серии «RUST»	75
10.3. Программа «kRUST»	80
10.4. Программа «PLAXIS»	82
Список использованных источников	84
ПРИЛОЖЕНИЯ	87
А (справочное). ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	87

Б. МЕТОД СЦЕНКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАЗДЕЛА 6	90
В. УЧЁТ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВАЙ И ДР.	95
Г. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ	103
Д. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ	110
Е. ПРОТИВООПОЛЗНЕВАЯ ЗАЩИТА БЕРЕГА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	131

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем Руководстве даны ссылки на следующие нормативные документы:

СП 58.13330.2012 "СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования».

СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений».

СП 116.13330.2012 "СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования».

СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения.

СП 103.13330.2012 «СНиП 2.06.14-85. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод».

СП 22.13330.2011 "СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений».

СП 39.13330.2012 «СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов».

СП 40.13330.2012 "СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные».

СП 101.13330.2012 "СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения».

СП 14.13330.2014 «СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах».

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.

Часть 1. Общие правила производства работ.

Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов.

Часть V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями.

ТСН 50-304-2000 г.Москвы (МГСН 2.07-97) Основания, фундаменты и подземные сооружения

РД 31.31.25-85. Инструкция по проектированию причальных сооружений для условий Арктики. М.: В/О "Мортехинформреклама", 1986.

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

ГОСТ 20276-2-12 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.

ГОСТ 13840-68* Канаты стальные арматурные.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем руководстве сформулированы требования к расчетам и проектированию откосов и склонов с учетом опыта ОАО «Гипроречтранс» и ряда других организаций при инженерной защите территорий, прокладке трубопроводов, а также гидротехнических сооружений различного назначения. Этот опыт отражен в ряде строительных норм (СП, СНиПы и пособия), также в книгах и журнальных публикациях [1 - 6 и других].

Руководство предназначено для инженерно-технических работников проектных, проектно-изыскательских, научно-исследовательских и др. организаций, связанных с необходимостью количественной оценки общей устойчивости откосов и склонов, а также оползневой опасности.

Предшественником настоящего документа является «РУКОВОДСТВО ПО КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ», разработанное в 1995 году по заданию Минстроя РФ (ответственные исполнители к.т.н. В.Э.Даревский и инж. А.М.Романов) с учетом замечаний и предложений Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве Минстроя РФ (ПНИИИС), Проектно-изыскательского института АО "Гипрокоммунстрой", Научно-исследовательского института транспортного строительства (АО ЦНКИС), ГИЦ РФ научно-исследовательского института ВОДГЕО и Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е.Веденеева (АО ВНИИГ). Тогда же Руководство было рекомендовано к изданию решением НТС Главинжоборудования Минстроя РФ.

За 20 лет этот документ во многом устарел, т.к. опирается на устаревшую нормативную базу, ориентируется на вышедшие из употребления технические средства, но, главное, появились новые более совершенные программы и накоплен громадный опыт расчетов с их использованием.

2. ТЕРМИНОЛОГИЯ

Изложение материала в настоящей работе осложняется тем, что терминология и классификация сооружений в рассматриваемой области техники до сих пор не устоялась. Поэтому в настоящем разделе мы дадим определение некоторым понятиям, используемым в дальнейшем изложении, и ряде случаев приводим различные варианты наименования одних и тех же сооружений, встречающихся в технической, в том числе, нормативной литературе.

2.1. В настоящее время при расчетах строительных конструкций безраздельно господствует система взглядов, технических средств для их реализации и т.д. (парадигма), называемая “Методом расчета по предельным состояниям”.

Существует мнение, что на смену этой парадигме придет со временем метод расчета, использующий теорию надежности в сочетании с учетом экономической, социальной и пр. ответственности сооружений. Однако, несмотря на то, что некоторые главы СНиП допускают использование вероятностно-статистических критериев для оценки прочности и устойчивости конструкций и имеются серьезные теоретические разработки в этом направлении, в настоящее время статистическое описание всё же остается теоретической схемой. В этом описании учитываются, как правило, не все, в том числе случайные, факторы и переносятся законы больших выборок на редкие события. Условны критерии выбора оптимальной надежности. Поэтому даже такой крупный специалист в области статистических методов в строительной механике, как В.В.Болотин признает, что *«...нормативные методы расчета по своей форме должны всё же оставаться детерминистическими, а соответствующие коэффициенты должны назначаться и корректироваться в первую очередь на основании опыта проектирования, возведения, и эксплуатации конструкций»* [7].

Предельным состоянием объекта (сооружения, конструкции, основания) является такое, при котором малейшее изменение какого-либо воздействия приводит к полной или частичной непригодности объекта к эксплуатации.

При расчете мы имеем дело не с реальным, а с гипотетическим предельным состоянием. Оно отличается тем, что силовые воздействия, характеристики материалов и другие параметры берутся наихудшими из возможных для заданного момента времени, а в расчетные зависимости введены коэффициенты безопасности. Такое предельное состояние называют **расчетным**.

При расчете и конструировании сооружений и их оснований необходимо учитывать воздействия, которые невозможно непосредственно измерить как силовые:

- температурно-влажностные воздействия, приводящие к изменению характеристик грунта;
 - сейсмические;
 - осадку, усадку и ползучесть и другие изменения прочности и деформируемости грунтов и материалов;
 - истирающее действие движущегося грунта, льда и др.;
 - размыв грунта текущей водой и др.;
 - коррозию элементов сооружения
- и другие.

Некоторые из них можно представить в виде условных силовых воздействий (сейсмических, морозного пучения и др.); некоторые можно учесть путем изменения прочностных параметров (длительная прочность грунтов и пр.), другие исключить конструктивными мероприятиями, а осадку грунтов, например, при карстовых провалах следует учитывать при выборе расчетных схем.

2.2. Оползнем называется смещение (скольжение) массы грунта вниз по склону вследствие потери её устойчивости. Если с грунтом смещается расположенное на нем сооружение, то часто говорят о потере устойчивости сооружения по схеме **глубинного сдвига** ([2], п. 3.4).

Методы расчета, рекомендованные в настоящем отчете, обеспечивают проверку общей устойчивости сооружений, а также прогнозирование оползней сдвига и выдавливания, оползней-потоков, сплывов, оползней гидродинамического выноса, внезапного разжижения (при наличии прогноза изменения механических характеристик грунтов)

При этом в особо сложных случаях должны учитываться рекомендации нормативных документов [8, 9].

Предельным перемещением u_{ult} называется минимальное расчетное смещение массива грунта, при котором полностью реализуются силы сопротивления.

2.3. Понятие **модели** столь же разнообразно, сколь и расплывчато. «**Модель** в науке — любой образ, аналог (мысленный или условный: изображение, описание, схема, чертеж, график, карта и т. п.) какого-либо объекта, процесса или явления («оригинала» данной модели)» (Википедия).

Обычно мы имеем дело с тремя видами моделей.

1) **Модель** окружающей сооружение **среды**: грунта, воды, теплового поля и пр. Эта модель изображается в виде графика, схемы, карты и может быть представлена в виде **компьютерной** или **цифровой модели**.

К таким моделям относятся:

- **геологическая модель** – условное графическое изображение на вертикальном разрезе литологического строения массива грунта с выделением инженерно-геологических элементов (ИГЭ), с четкими (в отличие от реальных) границами между ними, с указанием некоторых важных физико-механических свойств ИГЭ; эта модель обычно совмещается с **гидрогеологической моделью**, на которой показывают уровень грунтовых вод, положение водоупоров и пр.;
- расчеты устойчивости массивов грунта и взаимодействия грунта с сооружениями выполняются для **геомеханических моделей**, построенных на основе инженерно-геологических (геолого-литологических) разрезов. В отличие от последних на них выделены не ИГЭ, а **расчетные** геологические эле-

менты (РГЭ). РГЭ могут, как совпадать с ИГЭ, так и включать части ИГЭ, обладающие особыми свойствами, или объединять несколько ИГЭ с близкими механическими свойствами. В РГЭ могут быть выделены контактные ослабленные зоны, зоны ИГЭ с различающимися удельными весами и др. При выделении РГЭ учитываются также требования используемых компьютерных программ к структуре исходных данных, удобство обработки серии однотипных задач и т.д.

2) **Математическая модель материала** (грунта, металла, бетона и пр.), упрощенно описывающая его механические свойства: прочность и деформируемость при различных видах нагружения (**упругая модель, упруго-пластическая, реологическая** и многие другие).

3) **Математическая модель взаимодействия** среды и сооружения, включая внешние нагрузки и воздействия, или, что более привычно, – **метод расчета**.

2.4. **Устранение** опасного воздействия на здания и сооружения нагрузок и воздействий от грунта путем устройства специальных сооружений (подпорных стен, свайных рядов, дренажей и пр., и пр.), упрочнения окружающего грунта и др. называется **инженерной защитой от опасных геологических процессов** [10].

3. СОСТАВ РАБОТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

Типовой состав работ на конкретном объекте, необходимый для выполнения расчетов и выбора состава защитных мероприятий, включает следующие этапы:

- 1) проведение работ по мониторингу в период эксплуатации существующего откоса или склона;
- 2) визуальное и приборное обследование объекта; изучение имеющейся технической документации; разработку программы исследований;
- 3) инженерные изыскания;
- 4) разработку гипотез, могущих объяснить причины и последствия наблюдаемых нерасчетных деформаций; построение и исследование математических моделей склона и сооружений;
- 5) разработку рекомендаций для проектирования, ремонта и эксплуатации;
- 6) разработку проекта;
- 7) осуществление ремонтных и/или строительных работ под авторским надзором;
- 8) продолжение работ по мониторингу в период выполнения противооползневых мероприятий и эксплуатации.

Результаты расчетов, технические решения и стоимость противооползневых и других сооружений, взаимодействующих с грунтом, существенно зависят от применяемых программ и методов расчетов, но в еще большей степени от точности исходных данных, прежде всего расчетных параметров прочности грунтов.

Основные требования к расчетам устойчивости приведены в действующих нормативных документах [11, 10, 2] и ряде других. Однако в них не достаточно полно регламентированы требования к исходным данным, методам и программам расчета устойчивости, обеспечивающие получение всеми организациями в равной степени надежных и сопоставимых результатов.

4. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ

4.1. Геологические условия склонов могут быть самыми разнообразными: от илистых и заторфованных грунтов до полускальных и скальных. Но практический интерес для настоящей работы имеют аллювиальные, делювиальные, техногенные и другие нескальные и слабые легко выветриваемые полускальные грунты: гравелистые, пески, супеси, суглинки, глины, выветренные трещиноватые песчаники, мергели, известняки и др. Все эти грунты поддаются эрозии и абразии и могут участвовать в оползневых процессах.

В качестве особой весьма распространенной категории грунтов следует рассматривать делювий, являющийся результатом переработки коренных грунтов в процессах старых оползней и состоящий из смеси текучепластичной глины, кусков песчаника, известняка, с прослоями песка и гравия. По этому грунту обычно проходят зеркала старых оползней. Эта смесь легко впитывает воду, значительно увеличивая свой вес, а при высушивании растрескивается. Большинство известных нам оползней было именно на участках с такими грунтами.

Другой не редко встречающийся случай – наличие тонкой пластичной прослойки на уровне, близком к подошве склона, по которому может скользить лежащий выше массив грунта, даже при относительно пологом склоне. Если такая прослойка имеет небольшую толщину, то она не всегда может быть обнаружена в буровых скважинах.

4.2. На устойчивость откоса и склона могут оказывать негативное влияние следующие внешние воздействия на вмещающий его массив грунта.

Поверхностная и глубинная эрозия. Траншея для прокладки инженерных коммуникаций, может служить концентратором поверхностных и глубинных потоков воды. Осложнить гидрогеологическую ситуацию может неудачное расположение или конструкция нагорной канавы

Абразия. Разрушение берега водотока может активизироваться неудачным расположением регулирующих сооружений в реке, дноуглубительными

работами, сокращением твердого стока, сужением русла при строительстве и пр.

Сейсмическое, вибрационное и динамическое воздействие. Указанные воздействия могут на короткое (сейсм) или длительное (вблизи железнодорожных мостов и других источников) время, прежде всего, снизить прочность грунтов, вплоть до разжижения некоторых песчаных грунтов.

4.3. Целью инженерно-геологических изысканий является построение инженерно-геологических (литологической) моделей массива грунта, содержащих расположение в пространстве ИГЭ и блоков пород, трещин дробления, ослаблений, пьезометрических горизонтов в различные периоды и пр., а также физико-механические характеристики ИГЭ.

4.4. При инженерно-геологических изысканиях в районах со **сложными инженерно-геологическими условиями** следует учитывать, что при составлении прогноза развития и активизации склоновых процессов, как правило, нельзя ограничиваться только участком, в пределах которого намечено строительство объекта.

Для установления закономерностей развития процесса в большинстве случаев необходимо проведение исследований на прилегающей территории, границы которой устанавливаются в программе изысканий с учетом конкретных инженерно-геологических условий и характера проектируемого строительства. Это условие наиболее часто нарушается.

Как правило, на таких участках рассматриваемых уже на стадии РП (рабочий проект) требуется масштаб топографической съемки 1:500, ширина полосы изысканий не менее 50 м и согласно [11, ч. 1, табл. 7.1] на 1 км² не менее 990 точек наблюдения и 500 горных выработок.

Кроме того, необходимы геофизические исследования для выявления залегания, мощности и расположения в плане и по глубине слабых грунтов ([11], ч. II, п. 4.2.6, 4.2.7), а при испытании образцов необходим повторный

сдвиг ([11], ч. II, п. 4.2.10). Для береговых склонов изыскания должны охватывать их подводные части.

4.5. Основная часть горных выработок (буровых скважин, шурфов, расчисток и др.) должна быть расположена по створам, пересекающим склон от его верхней бровки до подошвы, по линии максимального уклона поверхности склона, остальные выработки - по створам, пересекающим оползневое тело, и на прилегающих участках склона, незатронутых оползнями, в том числе на межоползневых гребнях.

Выработки по створам должны располагаться и за пределами предполагаемого оползневого тела ([11], ч. II, п. 4.4.3). На бортах (берегах) водоемов, створы должны быть продолжены на акваторию.

Расстояние между геологическими разрезами (створами), как правило, должно быть в пределах 50 – 100 м, но в сложных случаях они могут быть расположены и чаще и быть непараллельными и непрямолинейными.

4.6. Глубина проходки горных выработок должна обеспечивать установление геологического разреза в пределах предполагаемой сферы взаимодействия проектируемого объекта с геологической средой ([11], ч. 1, п. 6.9).

Как правило, инженерно-геологическое строение площадки должно быть изучено на глубину не менее $1.5 H_c + 5$ м, где H_c - глубина заложения подошвы конструкции, но не менее 10 м от подошвы конструкции. На указанную глубину должно быть пройдено не менее 30% скважин, но не менее трех скважин. Часть горных выработок должна проходить всю мощность потенциального неустойчивого массива грунта (оползневого тела) с заглублением ниже его не менее чем на 3-5 м.

В состав дополнительных инженерно-геологических изысканий обычно входит:

- **бурение опорных скважин** глубиной от 10 до 30 м (с поверхности склона) с отбором образцов грунта ненарушенной структуры для лабораторных исследований;

- построение геологических профилей с использованием выработок, пройденных на предыдущем этапе изысканий.
- постановка полевых испытаний – **статического зондирования**, обычно глубиной до 15 м для уточнения строения разреза и определения плотности сложения отдельных ИГЭ;
- желательно, чтобы с помощью **геофизических исследований** были определены фактические или потенциально возможные зоны оползневого смещения, которые могут быть приурочены, в частности, к грунтам мягко- и текуче-пластичной консистенции (комплексом методов электроразведки по схеме ВЭЗ и электропрофилирования, а также сейсморазведки); выделены зоны разной степени выветрелости, прибортовой трещиноватости и разуплотнения; определены мощности оползневых масс грунтов, осыпей и обвальных отложений; определены границы обводненных зон в грунтовом массиве, изменений свойств грунтов вблизи зоны смещения (методами каротажа, резистивиметрии, заряженного тела, микросейсмическими методами); выявлены места утечки воды из подземных коммуникаций (метод естественного поля и термометрии) и др.;
- гидрогеологические наблюдения за уровнем «верховодки» и постоянного грунтового водоносного горизонта (наблюдения выполняются не только в процессе бурения, но и в период строительства и эксплуатации сооружения - с использованием данных пьезометрических измерений для решения ряда вопросов: определения режима водоносных горизонтов; выявления и установления характера взаимосвязей между режимом грунтовых вод и оползневым процессом; выявление водоносного горизонта, играющего определяющую роль в оползневом процессе);
- установка поверхностных марок для наблюдений за подвижками склона вблизи бровок откоса и в его основании в местах их пересечения с геофизическими профилями, а также в цоколях зданий.
- выполнение **камеральных работ** с учетом требований строительных норм ([11], часть II) для изысканий на оползнеопасных объектах, включая опреде-

ление прочностных характеристик в условиях одноплоскостного сдвига и трехосного сжатия..

4.7. Камеральная обработка включает анализ результатов новых изысканий и обобщение ранее проведенных, а также контрольную оценку устойчивости склона. Поэтому в состав камеральных работ входят разработка **геомеханических моделей**, адаптация программного обеспечения к конкретным условиям решаемых задач и выполнение контрольных расчетов устойчивости для характерных створов без учета проектируемого строительства (для проверки и уточнения данных лабораторных определений прочностных характеристик грунтов - коэффициент безопасности по ответственности – 1.0). Предварительные контрольные расчеты позволяют также уточнить профиль береговых обрывов и геологическое строение приурезной части склона в той части, где это невозможно было сделать с достаточной точностью при инженерных изысканиях.

4.8. Гидрогеологические исследования должны по возможности дать оценку величин сезонных колебаний уровней подземных вод и гидродинамического давления по всем водоносным горизонтам; установить источники питания подземных вод, в том числе техногенного происхождения; выявить водоносные горизонты и установить взаимосвязи между ними и поверхностными водами.

Опытно-фильтрационные работы должны определить гидрогеологические параметры и характеристик грунтов для расчета и проектирования дренажных сооружений.

4.9. В районах распространения вечномерзлых грунтов необходимо выяснить характер их распространения по площади (сплошное, прерывное, островное), размеры талых зон, характер залегания мерзлых пород, их температуру и мощность, особенности гидрогеологических условий в связи с мерзлотой. Должны быть оценены такие мерзлотные процессы и явления, как мо-

розное пучение грунтов, криогенное выветривание, наледообразование в местах разгрузки подземных вод, термокарст, термоэрозия и термоабразия и др. Следует изучать суммарную влажность, и льдистость мерзлых пород, показатели деформируемости мерзлых и оттаявших пород и пр.

При частом отсутствии данных специальных исследований значения, как правило, несколько заниженные, большинства физико-механических и иных характеристик грунтов могут быть найдены в литературных источниках

4.10. При проектировании сооружений, удерживающих грунт, необходимо учитывать возможное изменение прочности пород вследствие выполнения противооползневых мероприятий, обводнения и осушения склона, сейсмического воздействия, а также вибрационного воздействия от работающих машин и механизмов. Рекомендации по учету влияния указанных факторов приведены в соответствующих пособиях.

4.11. Следует обратить внимание на то, что твердая глина является особо ненадежным грунтом, т.к. она почти всегда ослабляется сетью волосных трещин, делящих ее на блоки разных размеров. Особенно опасными являются глины, содержащие слои и карманы водоносного песка или пыли. Такие грунты способны к внезапному расползанию, причем даже пологий глинистый откос, который мог быть устойчивым в течение десятилетий или столетий, может внезапно начать двигаться, что связано с увеличением порового давления в период исключительно влажных лет, во время таяния толстого снежного покрова или техногенного обводнения.

4.12. Параметры прочности искусственно закрепленных грунтов следует определять методами, принятыми в инженерных изысканиях.

4.13 . По результатам инженерно-геологических изысканий разрабатываются рекомендации для проектирования противооползневых мероприятий, а также выполняется оценка и прогноз устойчивости склонов с учетом вы-

бранного положения и конструкции вновь возводимых и реконструируемых сооружений в соответствии с требованиями строительных норм (коэффициент безопасности по ответственности – 1.1 – 1.2).

5. ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

5.1. В качестве защиты от оползневой опасности могут быть использованы следующие мероприятия:

- изменение баланса грунтовых масс;
- строительство удерживающих сооружений;
- укрепление подошвы откоса или склона для исключения абразии и эрозии;
- организацию поверхностного стока дождевой и талой воды;
- понижение уровня грунтовых вод путем дренирования массива грунта;
- замену или закрепление слабого грунта;
- укрепление поверхности грунта для исключения эрозии и излишнего поглощения поверхностных вод путем агролесомелиорации и устройства защитных покрытий;
- устранение возможности утечек из инженерных коммуникаций;
- каптирование выходов подземных вод.

Как правило, для устранения оползневой опасности используются сразу несколько из перечисленных методов, т.к. достигнуть необходимого эффекта чем-то одним удается очень редко.

5.2. **Изменение баланса грунтовых масс** - один из наиболее эффективных методов исключения оползневой опасности, допускающий полную механизацию работ. Он заключается в уполаживании и террасировании склона. Форма планировки склона определяется расчетом.

5.3. **К удерживающим сооружениям** относятся банкететы (контрбанкететы), подпорные стены, свайные ряды, шпоны и др. (рис. 5.1). Их строительство, за исключением контрбанкететов, обычно достаточно трудоемкое и дорогое мероприятие.

Контрбанкет может одновременно служить пригрузкой удерживающей части склона и защитой от водной эрозии и абразии.

Подпорные стены (гравитационные или шпунтовые) могут быть экономически целесообразны, если они будут использоваться и в качестве берегозащитного сооружения – набережной. Обычно это целесообразно в условиях города.

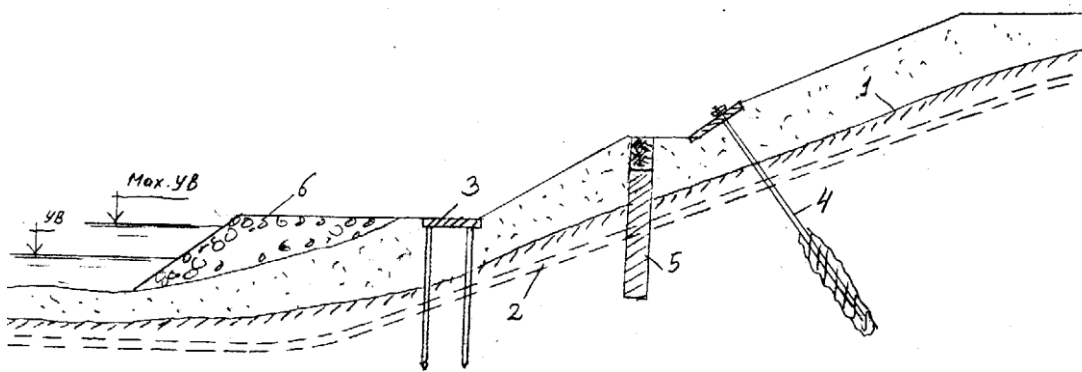


Рис. 5.1. Удерживающие сооружения:

1 – возможная поверхность скольжения, 2 – защищаемая инженерная коммуникация, 3 – свайный ростверк, 4 – преднапряженная анкерка, 5 – шпон, 6 – банкет (контрбанкет)

5.4. Организация поверхностного стока (открытые дренажи) часто является одним из наиболее простых и эффективных методов снижения оползневой опасности при большой высоте откоса, т.к. может существенно снизить фильтрационное давление грунтовой воды.

Регулирование поверхностного стока осуществляется системой нагорных и водоотливных канав, лотков, ограждающих валов и специальными планировками, исключая скопление воды. К ним относятся:

- открытые и закрытые водостоки обычных типов;
- канавы-осушители с грунтовыми и укрепленными откосами;
- лотки на склонах с облицовкой их водонепроницаемыми материалами;
- пешеходные дорожки с усовершенствованными покрытиями, лотками-дорогами и лотками-перехватчиками стока на дорогах; перепады, быстротоки и пешеходные лестницы, выполненные с учетом специальных условий их работы на оползнеопасном склоне.

Нагорные канавы располагаются за пределами защищаемой территории, причем достаточно далеко, чтобы исключить инфильтрацию воды в породы оползнеопасного склона. Их желательно выполнять в виде открытых железобетонных лотков, а для водосбросных коллекторов – телескопических лотков, наиболее простых и надежных. При проектировании нагорных канав следует учитывать требования [13].

Дождеприемные колодцы следует располагать в таких местах и выполнять в таких конструкциях, которые исключают попадание воды в приборочную часть оползнеопасного склона.

Выпуск воды из водостоков следует предусматривать в открытые водоемы и реки, а также в тальвеги оврагов с соблюдением требований [14] и [10] при обязательном осуществлении противоэрозионных устройств и мероприятий против заболачивания и других видов ущерба окружающей среде. При проектировании водостоков, водоприемников и пр. следует учитывать возможность их засорения и необходимость периодической чистки.

Перехват и отвод поверхностных вод может осуществляться также путем применения ограждающих обвалований в сочетании с нагорными канавами.

5.5. Организация подземного стока (закрытые дренажи) также предназначена для снижения уровня грунтовых вод. Обычно она включает дренажную сеть в виде скважин, штолен и др., коллектора для сбора и отвода воды, водовыпуски и смотровые колодцы.

Устройство закрытых дренажей достаточно трудоемко и дорого, а эксплуатация их сложна. Поэтому к ним обращаются в тех случаях, когда другие методы защиты оказываются неэффективными или ограничены, например, условиями городской застройки.

Конструкции и расчет глубинных (закрытых) дренажей подробно рассмотрены в [14 – 18 и др.].

Наибольшую опасность представляют [18]:

- выплывание разжиженного грунта в дренажные сооружения, способное вызвать просадки грунта и воронки на территории;

- неорганизованный сброс воды на склон из-за утечек из дренажей;
- разупрочнение глинистых пород;
- закупорка насыпями и пригрузками выходов грунтовых вод.

Закрытые дренажи бывают следующих видов:

- траншейные - в виде траншей, заполненных фильтрующим материалом для осушения оползневого тела, рассчитанные, как правило, на недолговременный срок службы;
- трубчатые (в том числе мелкого заложения) и галерейные дренажи - в устойчивой зоне за пределами смещающихся грунтов для перехвата подземного потока, предназначенные на продолжительный срок службы;
- пластовые дренажи на участках высачивания подземных вод на склонах (откосах) - для предотвращения суффозии и в основании подсыпок (банкетов);
- водопонизительные скважины различных типов (в том числе самоизливающиеся и водопоглощающие) в сочетании с дренажами или взамен их в случае большей эффективности или целесообразности их применения.
- иглофильтровые, рассчитанные на недолговременное использование.

Для осушения территорий и склонов, подтопляемых потоком подземных вод с областью питания, расположенной вне этой территории, устраивают головной дренаж.

Головной дренаж, как правило, следует располагать за пределами защищаемой территории, причем достаточно далеко, чтобы исключить инфильтрацию воды в породы оползнеопасного склона.

На территориях, где грунтовые воды не имеют ясно выраженного направления потока, а водоносный пласт сложен песчаными грунтами или имеет слоистое строение с незамкнутыми песчаными прослоями, следует устраивать систематический дренаж, состоящий из вертикальных и горизонтальных дрен. Расстояние между вертикальными дренажами-осушителями систематического дренажа и глубина их заложения определяются расчетом.

Для осушения тела оползня, как временное мероприятие, используются траншейные дренажи. Их глубина определяется мощностью оползневых на-

коплений, но по технологическим ограничениям не должна превышать 10 м. Ширина по низу должна быть не менее 0.8 м. Дну траншей придается продольный уклон от 0.005 до 0.01.

При устройстве подпорных стен (опоясков), в местах выклинивания подземных вод, устраивают **застенный дренаж**.

Застенный дренаж представляет собой сплошную засыпку из фильтрующего материала. При небольшой длине застенный дренаж может быть уложен без трубы.

Для улавливания родников, выклинивающихся на склоне, устраивают **каптажи**.

В состав каптажа входят одно- или многослойный обратный фильтр, уложенный в пределах всей мощности и протяженности водоносного горизонта, и водоотводная труба или лоток.

На участках с большим падением рельефа местности устраиваются перепадные колодцы.

Водопоглощающие скважины и колодцы следует устраивать в тех случаях, когда подстилающие грунты высокой водопроницаемости с безнапорными грунтовыми водами располагаются ниже водоупора.

5.6. Противофильтрационная завеса представляет собой вертикальную непроницаемую штору в грунте, расположенную с одной или нескольких сторон от источника фильтрации. Наиболее эффективны противофильтрационные завесы, доведенные до водоупора или до слабопроницаемых грунтов с коэффициентом фильтрации не более $2 \cdot 10^{-2}$ м/сут.

Устройство противофильтрационных завес осуществляется инъекционным методом и методом траншейных стенок.

Для инъекционных противофильтрационных завес рекомендуется применять:

- в сильнотрещиноватых и закарстованных породах - густые цементно-глинистые растворы состава 1:2-1:3;
- в полускальных породах - силикатизацию с последующей цементацией;

- в крупнозернистых песках - глиноцементные и глинистые растворы, а также смолы;
- в средне- и мелкозернистых песках - карбамидные смолы;
- в мелкозернистых песках с коэффициентом фильтрации до 5 м/сут. кроме смол применяется также раствор силиката натрия с отвердителем из фосфорной кислоты или алюмината натрия.

Инъекционные грунтовые анкера состоят из трех частей:

- зоны заделки в виде цементной пробки, передающей усилие натяжения на окружающий грунт,
- анкерной тяги из высокопрочной арматурной стали класса В-II, семипроволочных канатов класса К-7 по ГОСТ 13840-68, винтовой арматурной стали по ТУ 14-2-448-81 или горячекатаной арматурной стали класса А-IV или А-V;
- натяжной головки.

Анкерные тяги грунтовых анкеров выполняют из стержневой арматуры класса АIII, АIV, AV, а также из проволочных прядей В-II и Вр-II.

Грунтовые анкера устанавливаются с предварительным напряжением или без него.

При преднапряжении сила натяжения анкера должна превышать расчетную нагрузку в 1.5 и более раз, и это должно быть учтено при расчете лицевого элемента конструкции.

Более подробную информацию о грунтовых анкерах и опыте их применения можно получить в соответствующих инструкциях и книгах.

Расчет грунтовых анкеров выполняется после проверки общей устойчивости сооружения и прочности ограждающего элемента сооружения и включает:

- проверку несущей способности анкера по грунту,
- расчет прочности его узлов и стопорного устройства, закрепляющего тягу на конструкции.

Установление несущей способности анкеров для стадии рабочей документации, как правило, должно производиться по результатам испытаний их статической нагрузкой.

5.7. Подпорные стены и набережные являются древнейшими и повсеместно распространенными сооружениями, удерживающим и грунтовые массивы. При этом рассматриваемые сооружения в отличие от других объектов строительства до сих пор являются наиболее консервативными по конструкциям.

Существует очень большое количество разнообразных видов и конструкций рассматриваемых сооружений. Классификация их весьма условна и субъективна у различных авторов нормативных документов, учебников и пособий.

По основному используемому **материалу** они подразделяются на:

- каменные, в том числе, из сухой регулярной кладки, кирпичные;
- бетонные и железобетонные, сборные и монолитные;
- металлические из шпунта, листового проката, труб и пр.;
- из сетчатых габионов и матрацев, заполненных камнем или растительным грунтом;
- деревянные, в том числе свайные, шпунтовые, ряжевые;
- из гибких синтетических материалов;
- из армированного грунта;
- из грунта, закрепленного цементацией, силикатизацией и прочим;
- комбинированные из перечисленных выше материалов.

Сооружения, устойчивость которых обеспечивается в основном за счет трения по их подошве, относят к **гравитационным**. Это сооружения из массивовой кладки, из габионов, из массивов-гигантов, уголкового, ряжевого и др.

Сооружения, устойчивость которых обеспечивается в основном за счет сопротивления сдвигу грунта перед заглубленной частью сооружения, в том числе перед анкерной опорой, - **шпунтовые, свайные, заборчатые** и некоторые из так называемых «стен в грунте».

Но большую группу конструкций нельзя отнести ни к той, ни к другой группе. Их называют **полугравитационными**.

5.8. Замена или закрепление слабого грунта очень редко используется из-за высокой стоимости. Поэтому только при небольших объемах и невозможности проведения других противооползневых мероприятий применяется удаление слабых грунтов и замена их более прочными грунтами или повышение прочности существующих грунтов при помощи инъекций твердеющих растворов. Для повышения прочности пород применяют цементацию, силикатизацию и смолизацию.

Основные условия их применения (более подробно в [19 - 21]):.

- в сильнотрещиноватых и закарстованных породах - густые цементно-глинистые растворы состава 1:2 - 1:3;
- в полускальных породах - силикатизация с последующей цементацией;
- в крупнозернистых песках - глиноцементные и глинистые растворы, а также смолы;
- в средне- и мелкозернистых песках - карбамидные смолы;
- в мелкозернистых песках с коэффициентом фильтрации до 5 м/сут. кроме смол применяется также раствор силиката натрия с отвердителем из фосфорной кислоты или алюмитана натрия.

В илах и глинах инъекционный метод не применяется.

6. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

6.1. Общие положения

6.1.1. Настоящий раздел руководства регламентирует требования к вариационным методам количественной оценки общей устойчивости и смещений естественных склонов и искусственных откосов в нескальных и полускальных грунтах.

Он содержит описание вариационного метода расчета общей устойчивости, отвечающего поставленным требованиям, а также материалы, необходимые для оценки устойчивости склонов и проектирования защитных мероприятий.

6.1.2. Для сохранения устойчивости склона должны быть обеспечены неизменность рельефа и прочности слагающих склон грунтов от разрушающего воздействия подземных вод (суффозии), поверхностных вод (боковой эрозии от текущей воды реки или ручья и абразии, вызванной волнами), атмосферных осадков, плавающих тел (льда, леса, судов и пр.).

6.1.3. Методы расчета общей устойчивости должны позволять учитывать:

наличие в пределах сползающего объема грунта искусственных сооружений (набережных, зданий, противооползневых сооружений),
давление фильтрующей воды,
сейсмическое воздействие.

6.1.4. Методы расчета общей устойчивости должны обеспечивать прогнозирование оползней сдвига и выдавливания, а также оползней-потоков, сплывов, оползней гидродинамического выноса, внезапного разжижения при

наличии прогноза изменения механических характеристик грунтов. При этом должны учитываться рекомендации нормативных документов [8, 9, 10].

6.1.5. Методы расчета должны обеспечивать определение оползневого давления на подпорные стены, сваи и другие заглубленные в грунт конструкции.

6.1.6. Расчеты откосов и склонов, как правило, должны производиться по двум группам предельных состояний.

Первая группа включает предельные состояния, которые ведут к потере несущей способности сооружения и (или) к полной непригодности его к эксплуатации. Расчеты общей устойчивости производят по первой группе предельных состояний.

При этом принимаются прочностные характеристики грунтов, определенные с односторонней доверительной вероятностью 0.95, и коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n \geq 1$ (на стадии проектирования) или $\gamma_n = 1$ (при контрольных расчетах на стадии инженерных изысканий). Опыт показывает, что выполнение этих условий обеспечивает, как правило, и отсутствие опасных деформаций пластического характера в процессе эксплуатации сооружений.

Вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию сооружения, в рассматриваемом случае – к недопустимым деформациям откоса или удерживающих сооружений. Если смещение откоса или склона не приводит к прекращению нормальной эксплуатации находящихся на нем или рядом сооружений, то расчет устойчивости может быть также отнесен к II группе предельных состояний. При этом все коэффициенты безопасности (γ_n , γ_c , γ_{1c} , γ_F и др.) принимаются равными 1.

Для естественного склона расчет перемещений не производится, т.к. для него нет возможности получить необходимых исходных данных по деформируемости грунтов в естественном состоянии.

6.1.7. **Расчеты** следует производить при расчетных нагрузках и расчетных характеристиках грунтов и материалов исходя из условий:

по первой группе предельных состояний

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{\gamma_c \gamma_{cl}}{\gamma_n} R, \quad (6.1)$$

по второй группе предельных состояний

$$F \leq R, \quad (6.2)$$

где

F - расчетное значение обобщенного силового воздействия (суммы сил, моментов сил),

R - предельное расчетное значение обобщенной силы сопротивления (несущей способности основания, сооружения или его элементов) или моментов сил, а также допускаемых по условиям эксплуатации деформаций;

γ_{lc} - коэффициент сочетания нагрузок,

γ_c - коэффициент условий работы,

γ_{cl} - дополнительный коэффициент условий работы, учитывающий условность расчетной схемы и принимаемый в соответствии с указаниями по отдельным видам расчетов;

γ_n - коэффициент надежности по ответственности (назначению) конструкции.

6.1.8. Коэффициенты безопасности γ_{lc} , γ_c , γ_{cl} и γ_n принимаются для промышленных и гражданских сооружений - по [22], для обеспечивающих защиту берега гидротехнических сооружений - по [2], в других случаях - по [10].

При расчете промышленных, гражданских и гидротехнических сооружений $\gamma_n = 1.25, 1.2, 1.15$ и 1.1 соответственно для сооружений I, II, III и IV классов.

Коэффициент сочетания нагрузок γ_{lc} принят общим множителем к F только при расчёте гидротехнических сооружений. При этом $\gamma_{lc} = 1$ – для основного сочетания нагрузок и воздействий, 0.9 – для особого (включая сейсмическое воздействие), 0.95 - для нагрузок и воздействий строительного и ремонтного периода.

Коэффициент сочетания нагрузок γ_{lc} для подпорных стен в соответствии с требованиями [2], п. 1.12, вводится на конкретные нагрузки следующим образом. При учете сочетаний, включающие постоянные и не менее двух временных нагрузок, расчетные значения временных нагрузок или соответствующих им усилий следует умножать на следующие коэффициенты сочетаний: в основных сочетаниях – для длительных нагрузок $\gamma_{lc} = 0.95$, для кратковременных нагрузок $\gamma_{lc} = 0.90$; в особых сочетаниях – для длительных нагрузок $\gamma_{lc} = 0.95$, для кратковременных нагрузок $\gamma_{lc} = 0.80$, кроме случаев, оговоренных в нормах проектирования сооружений для сейсмических районов. При учете основных сочетаний, включающих постоянные нагрузки и одну временную нагрузку (длительную или кратковременную), коэффициент сочетаний $\gamma_{lc} = 1.00$.

6.1.9. При выполнении расчетов в связи с ремонтом и реконструкцией сооружений и их элементов, рекомендуется использовать замеренные значения прочностных характеристик материалов и грунта, геометрических параметров существующего сооружения, геологического строения и пр., принимая их за расчетные, если эти характеристики и параметры не будут изменены (ухудшены) в процессе нового строительства и эксплуатации.

6.1.10. Расчетные характеристики материалов определяются путем деления их нормативных значений на коэффициент надежности по материалу γ_m . Нормативные и расчетные характеристики материалов принимаются по соответствующим главам СП.

6.1.11. В расчетах по второй группе предельных состояний коэффициенты надежности по материалу γ_m принимаются равными единице.

6.1.12. Расчетные прочностные характеристики грунтов определяются путем деления их нормативных (средних) значений на коэффициент надежно-

сти по грунту γ_g или определяется непосредственно путем статистической обработки результатов лабораторных испытаний грунтов.

6.1.13. Нагрузки, действующие на сооружения, подразделяются на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые).

К постоянным нагрузкам относятся:

- вес элементов сооружения,
- нагрузки от постоянных конструкций, устройств или оборудования технологического назначения, расположенных на сооружении;
- вес грунта, постоянно расположенного на сооружении;
- боковое давление грунта (активное, пассивное и реактивное) с учетом постоянных нагрузок, расположенных на его поверхности;
- нагрузки от предварительного напряжения (грунтовых анкеров).

К временным длительным нагрузкам относятся:

- от перегрузочных и транспортных средств,
- от складироваемых грузов,
- боковое давление грунта от временных нагрузок,
- фильтрационное давление воды (в том числе и гидростатическое) при нормальной работе дренажных устройств.

К кратковременным нагрузкам относятся действующие в строительный период.

К особым нагрузкам относятся:

- дополнительное фильтрационное давление воды при нарушении работы противофильтрационных и дренажных устройств,
- сейсмические,
- от взрывов.

6.1.14. На стадии проектирования расчеты выполняются для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий. Контрольные расчеты на стадии инженерных изысканий выполняются только для основного сочетания нагрузок.

Для временных сооружений расчеты на особое сочетание нагрузок допускается не производить.

Основное сочетание включает постоянные и временные длительные нагрузки, а также одну кратковременную нагрузку.

Особое сочетание включает постоянные и временные длительные нагрузки, а также одну кратковременную и одну особую нагрузку.

К особому сочетанию нагрузок и воздействий (наряду с другими) следует отнести возможное снижение со временем прочности глинистых грунтов под сдвигающей нагрузкой или последовательное преодоление прочности грунтов, имеющих существенно различающееся предельное перемещение S_{ult} . Для этого в расчет должна быть введена остаточная прочность грунта (предел длительной прочности). Причем, за предел длительной прочности можно принять результаты сдвиговых испытаний по подготовленной поверхности (так наз. "плашка по плашке").

6.1.15. Расчетные нагрузки определяются, как правило, путем умножения их нормативных значений на соответствующие коэффициенты надежности по нагрузке γ_f .

6.1.16. Расчеты общей устойчивости, производятся для вертикальных расчетных сечений, размеры, количество и расположение которых зависят от конкретных инженерно-геологических условий, расположения на склоне сооружений, от стадии проектирования и др. Расчетные сечения задаются по направлению ожидаемого оползневого смещения, в том числе, по направлению максимального падения отметок земной поверхности и крыши коренного грунта. Они могут быть как прямолинейными, так и слабо искривленными в плане. Размеры и положение расчетных сечений должны полностью охватывать область возможных оползней.

6.1.17. Расчеты общей устойчивости выполняются для геомеханических моделей, построенных на основе инженерно-геологических (геолого-литологических) разрезов.

6.1.18. Расчет общей устойчивости сооружений и склонов выполняется для условий плоской или пространственной задачи.

Пространственную задачу следует рассматривать, если поперечное сечение сооружения, нагрузки на поверхности или в массиве грунта (фильтрационное давление), геологические условия существенно меняются на длине $l_1 < 3B$ или $l_1 < 3(H+t)$, перпендикулярно образующей склона. Здесь: B – соответственно, длина сооружения или протяженность вдоль склона ожидаемого оползня, H - высота от отметки проектного дна до верха сооружения или высота сползающего откоса или склона, t - максимальное заглубление поверхности скольжения ниже подошвы откоса или склона или заглубление сооружения (шпунта) от отметки проектного дна при решении плоской задачи.

При проектировании откосов и склонов, как правило, должен быть определяющим расчет для условий плоской задачи для наихудшего профиля. Иначе устойчивость не будет обеспечена, например, при глубокой поверхностной эрозии (оврагообразовании) или при отрыве траншеи вдоль склона для прокладки трубопровода или других инженерных коммуникаций.

Поэтому в случае, если на основании выполненного пространственного расчета делается вывод об устойчивости сооружения, откоса или склона, то величина коэффициента устойчивости k_{st} для любой расчетной полосы в условиях плоской задачи не должна быть меньше 1 для особого сочетания нагрузок и воздействий.

Примечание. Расчет по пространственной схеме имеет важное значение, если не устойчив массив грунта, примыкающий к рассчитываемому сооружению или склону, и потеря им устойчивости может задеть защищаемое сооружение.

6.1.19. Расчеты общей устойчивости, как правило, следует выполнять методами теории предельного равновесия, основанными на поиске наиболее опасных поверхностей скольжения любой формы, отделяющих сдвигаемый массив грунта от неподвижного.

6.1.20. Для определения устойчивости откосов и склонов рекомендуется использовать так называемый “Метод наклонных сил”, в котором проверяется только равновесие горизонтальных составляющих всех сил, действующих на сдвигаемый массив грунта, или проверяется равновесие моментов сдвигающих и удерживающих сил.

6.1.21. Согласно [2] и [10] основным критерием устойчивости массива грунта является соблюдение неравенства (6.1)

Обобщенным коэффициентом устойчивости, пригодным для сравнения устойчивости при различных поверхностях скольжения, а также разных склонов является отношение

$$k_{st} = R_{nom} / F_{nom} \quad (6.3)$$

а критерием обеспечения устойчивости - условие

$$k_{st} \geq 1, \quad (6.4)$$

где R_{nom} и F_{nom} - номинальные (не искаженные) значения удерживающей и сдвигающей сил (или моментов этих сил).

Примечания:

1. Коэффициентами (запаса) устойчивости k_{st} являются отношения фактического значения любого входящего в расчет параметра S или комбинации фактических значений нескольких параметров к значениям S_1 того же параметра или комбинации значений параметров, при которых массив грунта оказывается в предельном состоянии (или наоборот). Для одного параметра

$$k_{st} = S / S_{im} \quad (6.5)$$

или
$$k_{st} = S_{im} / S \quad (6.6)$$

для комбинации параметров

$$k_{st} = S_1 / S_{1/im} = S_2 / S_{2/im} = \dots = S_J / S_{J/im} \quad (6.7)$$

или
$$k_{st} = S_{1/im} / S_1 = S_{2/im} / S_2 = \dots = S_{J/im} / S_J \quad (6.8)$$

При этом критерием обеспечения устойчивости является условие $k_{st} \geq 1$.

2. Коэффициент (запаса) устойчивости отвечает на вопрос, во сколько раз ложно изменить интересующий параметр (.нагрузку на поверхности, градиент напора воды, сцепление в грунте какого-то слоя, и пр.) или комбинацию параметров (все нагрузки, сцепление всех грунтов и пр.), чтобы склон еще сохранил устойчивость. При этом формулы (6.5) и (6.7) относятся к случаям, когда увеличение параметра S увеличивает устойчивость, а формулы (6.6) и (6.8) - когда ее снижает.

3. В зависимости от цели определения запаса устойчивости расчет коэффициента может производиться при расчетных или нормативных параметрах грунта и нагрузки.

Для однородного массива грунта одним из коэффициентов запаса (согласно [10]) по прочности грунта будет

$$k_{st} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_{/im}} = \frac{C_1}{C_{/im}}, \quad (6.9)$$

где

φ_1 и c_1 – расчётные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта;

$\varphi_{/im}$ и $c_{/im}$ – их значения, при котором склон оказывается в предельном состоянии.

При этом необходимо, чтобы было соблюдено условие

$$k_{st} \geq [k_{st}] = \gamma_n \gamma_c / \gamma_c \quad (6.10)$$

4. Наиболее удачным можно признать коэффициент, предложенный А.Л.Можжевитиновым [23, 24], как отношение обобщенного реактивного сопротивления грунта R_{nom} к обобщенной активной силе F_{nom} (последняя не зависит от прочностных характеристик грунта).

6.1.22. Номинальное значение, сдвигающей силы (или момента этой силы) F_{nom} не зависит от параметров прочности грунта, а удерживающей силы (или момента этой силы) R_{nom} – учитывает силы сопротивления и в пределах элементов призмы скольжения, не обладающих собственной устойчивостью.

Поэтому $F_{nom} > F$, а $R_{nom} > R$, хотя $R - F = R_{nom} - F_{nom}$.

6.1.23. Поиск в массиве грунта поверхности с максимальным значением разности $E = \gamma_c F - \gamma_c R / \gamma_n$ является многоэкстремальной вариационной задачей, решение которой с достаточной надежностью возможно только по программам, гарантирующим нахождение глобального экстремума.

Это означает, что для расчета общей устойчивости, как правило, должны использоваться вариационные методы, позволяющие автоматически находить в массиве грунта поверхность (любой формы), которая ограничивает объем, имеющий наименьшую несущую способность, а также поверхности, разграничивающие устойчивые и неустойчивые зоны в массиве грунта.

При этом должно учитываться наличие как одной, так и нескольких, если они имеются, неустойчивых зон в рассматриваемом массиве грунта.

Примечания.

1. Указанным выше требованиям удовлетворяют, например, разработанные в ОАО «Гипроречтранс» программы серии «RUST», в которых реализованы общепринятые недеформационные методы расчета, регламентированные рядом нормативных документов в строительстве.

Эти программы прошли успешную многолетнюю апробацию на тысячах расчетов, в том числе для аварийных объектов и модельных экспериментов различных исследователей.

2. Такие расчеты следует поручать специализированным проектным или научно-исследовательским организациям.

6.1.24. Состав и последовательность расчета общей устойчивости в виде укрупненной блок-схемы показаны на рис.6.1.

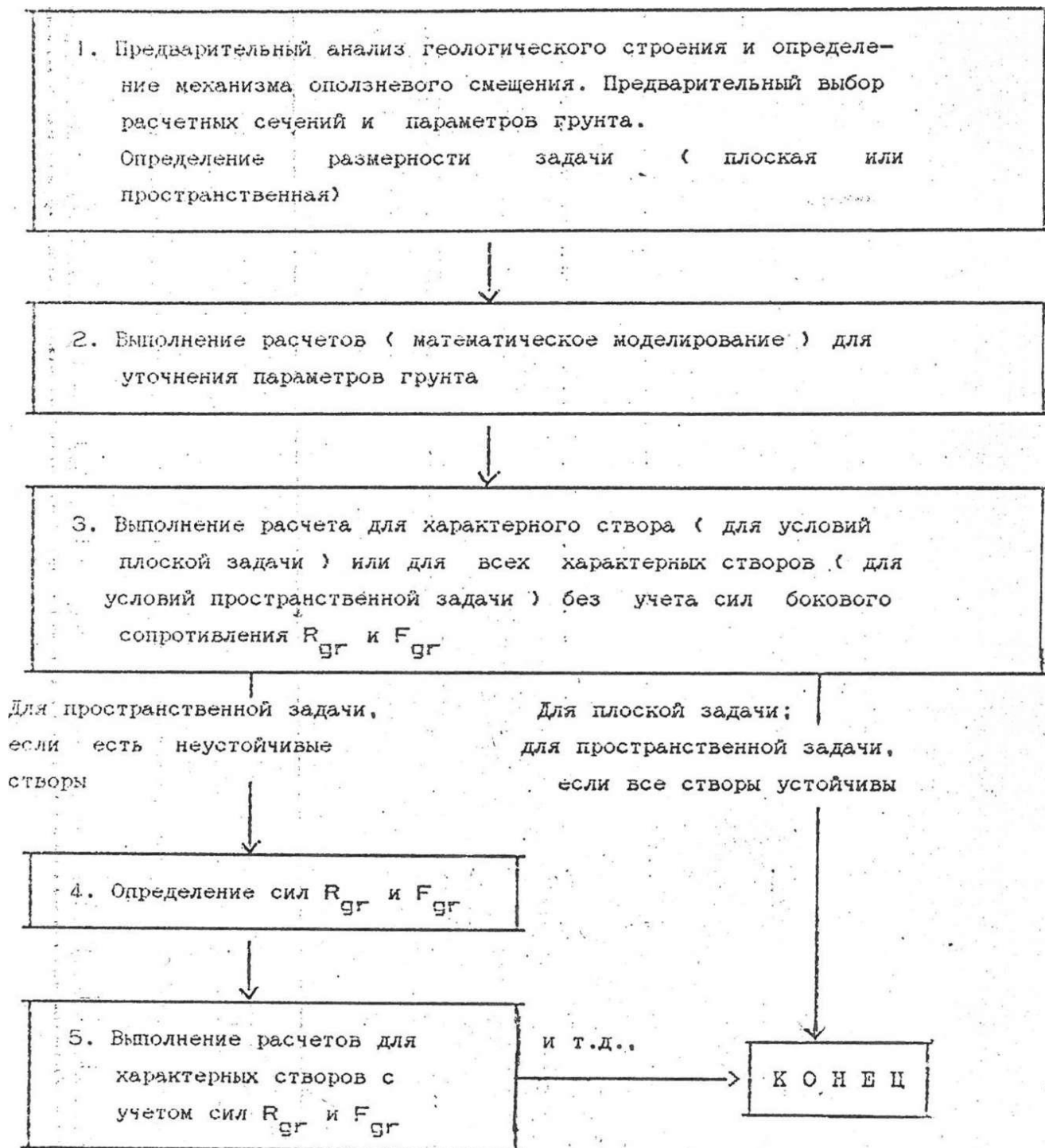


Рис. 6.1. Укрупненная блок-схема алгоритма расчета общей устойчивости

6.2. Требования к моделям, методам расчета и программам

6.2.1. Все применяемые методы определения общей устойчивости (**расчетные модели**) можно отнести к двум основным группам.

I) Методы, в которых исследуется напряженное или напряженно-деформированное состояние массива грунта с использованием уравнений

теории сплошной среды с выявлением зон или поверхностей с предельным напряженным состоянием. Они требуют большого объема информации о механическом поведении грунтов, которая не может быть получена простыми средствами, но главное – об истории загрузки, что в большинстве реальных случаев невозможно.

2) Методы, исходящие из предположения о наличии поверхностей скольжения и осуществляющие проверку этого предположения.

6.2.2. Методы второй группы основаны на гипотезе, что предельное состояние имеет место по фиксированным поверхностям скольжения, и задача решается как вариационная. Т.е. в процессе расчета ведется автоматический поиск наилучших поверхностей скольжений.

В большинстве методов второй группы призма скольжения разделена на элементы (блоки), взаимодействующие между собой по вертикальным или наклонным границам. Часть таких границ может представлять "внутреннюю поверхность скольжения", на которой выполняется условие предельного равновесия Кулона-Мора.

Примечание.

Опыт показывает, что, как правило, нет необходимости стремиться к особо точным и теоретически строгим методам расчета устойчивости сооружения и пр., т.к. точность их результата не подкреплена точностью определения исходных данных на основании инженерно-геологических исследований. Когда мы имеем дело с относительно не дорогими сооружениями III и IV классов, во многих случаях вполне приемлемо вместо результатов непосредственных испытаний грунтов использовать данные аналогов.

6.2.4. Выбор расчетной схемы (геомеханической модели склона) с расчетными параметрами грунтов является одним из наиболее сложных и ответственных этапов работы.

Ему предшествует составление инженерно-геологической модели склона, на основании анализа которой должны быть выявлены возможные направ-

ления сдвига (положение в плане расчетных створов) назначена ширина расчетных полос, расчетные механические характеристики грунтов, а также их удельные веса в зависимости от положения относительно уровня воды и пр.

Эта работа может включать предварительные расчеты (математическое моделирование), повторные испытания образцов глинистого грунта при различной влажности, использование данных аналогов и пр.

6.2.5. В расчетах следует максимально использовать **программы**, прошедшие хорошую, желательно, длительную проверку, **отвечающие** определенным **требованиям**.

При этом пользователь программы должен знать и понимать математические модели, заложенные в программу (метод предельного равновесия, теория упругости и т.д.), метод их реализации (метод конечных разностей, метод конечных элементов и пр.), реальную точность счета, дополнительные гипотезы и допущения.

В ответственных случаях целесообразно один и тот же расчет выполнить с помощью программ разного происхождения и выполнить упрощенный прикидочный расчет без использования программ с целью исключения грубых ошибок.

6.2.6. Программы должны быть адаптированы к отечественным нормативной базе и методам получения исходных данных, т.к. они имеют иногда существенные отличия в разных странах.

6.2.7. Используемые в программах методы расчетов должны быть привязаны к стандартным («ГОСТированным») ускоренным методам исследования грунтов. Наряду с традиционными лабораторными испытаниями образцов, добытых в выработках, хорошие результаты в ряде случаев дают такие относительно простые скоростные геофизические методы, как сейсмоакустическое зондирование.

6.2.8. Программы должны минимально использовать эмпирические зависимости и быть достаточно универсальными в области их применения.

Так программы для определения устойчивости, должны быть:

- равно пригодными для расчетов устойчивости откосов, склонов и сооружений при скальных, нескальных, полускальных и комбинированных основаниях,
- не требовать грубой схематизации основания;
- обеспечивать прогнозирование оползней сдвига и выдавливания, оползней-потоков, сплывов, гидродинамического выноса и внезапного разжижения (при наличии прогноза изменения механических характеристик грунтов);
- быть равно пригодными для проверки на плоский, смешанный и глубинный сдвиги с подвидами в зависимости от типов конструкций и видов оснований;
- быть универсальными для широкого круга решаемых задач, включая определение оползневого давления на подпорные стены, сваи и другие, заглубленные в грунт конструкции.

6.2.9. Для расчета общей устойчивости, как правило, должны использоваться вариационные методы, позволяющие автоматически находить в массиве грунта поверхность (любой формы), которая ограничивает объем, имеющий наименьшую несущую способность, а также поверхности, разграничивающие устойчивые и неустойчивые зоны в массиве грунта. При этом должно учитываться возможное наличие как одной, так и нескольких неустойчивых зон в рассматриваемом массиве грунта.

Примечание. Вариационная задача поиска наихудшей поверхности скольжения (безотносительно к методу расчета) решается различными способами и с разным успехом. Основная трудность заключается в поиске глобального экстремума, гарантирующего правильность решения поставленной задачи. Для этого использовались идеи теории "планирования экстремальных экспериментов", динамическое программирование и др. К таким программам могут быть отнесены программы RUST, kRUST, с известными ограничениями PLAXIS и ряд других.

Оригинальное численное решение вариационной задачи, реализованное в программах RUST для сложных случаев, разработано в ОАО «Гипрореч-

транс» [5, 6]. Поиск наилучшей поверхности скольжения, равно как и любых других, решается одним из численных методов динамического программирования. Этот метод обеспечивает достаточно точное решение многоэкстремальной задачи при сравнительно небольших затратах машинного времени.

6.2.10. Результаты расчетов должны быть понятны и убедительны для заказчика, как правило, не являющегося узким специалистом в рассматриваемом вопросе. Они должны быть наглядно представлены с использованием компьютерной графики.

Отчетные материалы должны обязательно содержать исходные данные, позволяющие выполнить контрольные расчеты другими специалистами и по другим программам.

6.3. Требования к исходным данным

6.3.1. Для расчета общей устойчивости необходимо располагать следующими исходными данными:

- а) топографической съемкой местности, как правило, в масштабе 1:500 или крупнее;
- б) геологическими разрезами, позволяющими представить объемную картину напластований грунтов, включая ослабленные зоны;
- в) положением характерных уровней воды в грунте и прилегающей акватории;
- г) показателями физико-механических свойств пород (удельный вес, естественная влажность, коэффициент пористости, угол внутреннего трения и удельное сцепление) с учетом их изменения со временем и под нагрузкой;
- д) сведениями об оползневых явлениях на рассматриваемом и близлежащих к нему участках (по возможности с данными, перечисленными выше, для проведения контрольных расчетов), описание проявлений оползневого рельефа: цирков вывалов, оползневых бугров, зон растекания и др.;

- е) параметрами сейсмичности района;
- ж) сведениями о постоянных и временных нагрузках;
- з) расположением и характеристикой искусственных сооружений (подпорных стен, свайных полей, труб, зданий, траншей, дорог и др.
- и) описанием процессов, влияющих на изменение рельефа (абразии, эрозии, суффозии), в том числе техногенных;
- к) данными о других факторах, ухудшающих общую устойчивость склона (наличии и расположении водоемов и болот на высоких отметках, положении и состоянии нагорных канав и других дренажных устройств, параметрах и расположении вибрационных установок, источников химического и теплового загрязнения среды и др.).

6.3.2. Инженерные изыскания, на основании которых формируются исходные данные для расчетов, как правило, должны им непосредственно предшествовать, их давность не должна превышать одного года, что не исключает частичного использования более старых данных при условии их соответствующей проверки.

6.3.3. **Исходные данные для расчетов** должны отвечать определенным **требованиям**, учитывающим особенности работы грунта и расчетных моделей. Наиболее важные из них обозначены ниже.

6.3.4. Расчеты устойчивости производят для вертикальных расчетных сечений, размеры, количество и расположение которых зависят от конкретных инженерно-геологических условий, размещения сооружений на склоне, от стадии проектирования и т.д.

Расчетные сечения задаются по направлению ожидаемого оползневого смещения, в том числе, по направлению максимального падения отметок земной поверхности и крыши коренного грунта. Они могут быть как прямолинейными, так и слабо искривленными в плане.

Детализация геологического строения на расчетном сечении должна соответствовать реальной точности инженерно-геологических изысканий. При этом не должны быть опущены или объединены с другими инженерно-геологические элементы, влияющие существенно на устойчивость: тонкие, слабые прослойки грунта, линзы, поверхности старых сдвигов и пр.

6.3.5. Применяемые в нашей стране методы расчета сооружений должны быть увязаны с принятыми в РФ методами определения характеристик грунта (в частности, угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c - методом среза) при помощи системы коэффициентов безопасности. Тем самым в некоторой степени компенсированы систематические погрешности определения характеристик грунта. Рекомендуемые методы определения характеристик грунтов приведены в Приложении Г.

6.3.6. Соппротивление грунтов сдвигу τ_{np} является функцией вертикальных сжимающих напряжений σ . Экспериментальная зависимость $\tau_{np}(\sigma)$ криволинейна. Спрямяя ее на отдельных участках, или, как поступают чаще, на всем диапазоне изменения σ , получают уравнение, известное под названием зависимости Кулона (Мора-Кулона)

$$\tau_{np} = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (6.11)$$

где φ – угол внутреннего трения, c – удельное сцепление.

Примечание. *Современные автоматизированные методы расчета (например, программа RUST-53w) позволяют в расчетах устойчивости и др. использовать как постоянные значения φ и c во всем диапазоне напряжений σ , так и разные φ и c в различных диапазонах напряжений σ , а также непосредственно экспериментальную зависимость $\tau_{np}(\sigma)$.*

6.3.7. Следует учитывать, что в зависимости от величины сдвиговой деформации и изменения пористости изменяются параметры прочности глинистого грунта φ и c . Прочность τ глинистого грунта зависит от продолжитель-

ности действия давления и в грунтах, обладающих ползучестью, уменьшается со временем до величины так называемой длительной прочности τ_{∞} .

Длительная прочность τ_{∞} глинистого грунта может быть значительно, иногда в несколько раз, меньше мгновенной τ_{ult} соответствующей кратковременному приложению нагрузки.

6.3.8. Определения прочностных свойств глинистых грунтов, как правило, должны быть проведены по трем следующим основным схемам:

- испытание образца грунта природного сложения и влажности (методом трехосного сжатия или одноплоскостного среза);
- сдвиг образца грунта по предварительно подготовленной (или образовавшейся) поверхности, т.е. сдвиг разрезанного образца по поверхности разреза или повторный сдвиг по поверхности ранее выполненного сдвига;
- медленный сдвиг по предварительно подготовленной (или образовавшейся) и дополнительно увлажненной (смоченной) поверхности (в случае обводнения толщи по системе трещин).

Прочностные характеристики φ и c глинистых грунтов могут быть определены методом статического зондирования.

Примечания.

1. *Параметры прочности грунта (угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c) по испытаниям методом трехосного сжатия могут заметно отличаться от полученных методом среза, хотя оба метода отвечают требованиям [2]. Так φ может отличаться на несколько градусов. Но и более предпочтительные с точки зрения [2] трехосные испытания могут давать систематическую ошибку для угла внутреннего трения порядка 2° . Точность определения сцепления срезными приборами не превышает 2 кПа, но даже в самых чистых песках имеется сцепление такого порядка, которое в запас обычно игнорируют в расчетах.*

2. *Выбор метода лабораторного определения характеристик прочности грунтов и схемы проведения испытаний должен производиться совме-*

стно проектировщиком и изыскателем, желательно при участии инженера-геотехника.

3. Следует учитывать, что испытания на трехосное сжатие могут быть качественно выполнены только на очень дорогой аппаратуре хорошо подготовленным персоналом, и они более трудоемки, чем другие методы. Результаты таких испытаний обычно используются в расчетах, в которых учитывается структурная прочность скелета грунта (которая существенно больше, чем прочность не полностью консолидированного грунта) и поровое давление. Возможность же правильного прогнозирования последнего в натуре в большинстве случаев находится под большим вопросом.

6.3.9. Для ответственных объектов (выше 3 класса) должна быть исследована анизотропия сдвиговой прочности пород (по напластованию и перпендикулярно к нему).

6.3.10. При наличии на объекте динамических, в том числе сейсмических, или вибрационных нагрузок должны быть определены динамические параметры прочности грунтов. Они определяются в специализированных лабораториях.

6.3.11. Для глинистых грунтов в случае приложения кратковременной непериодической нагрузки угол внутреннего трения не меняется, а удельное сцепление увеличивается до 1.5 – 2.5 раз. Однако при увеличении количества циклов нагружения наблюдается уменьшение прочности связных грунтов до статической или даже ниже.

6.3.12. Для песков циклическое нагружение может привести к его разжижению вследствие ослабления контакта между частицами. Имеются свидетельства о разжижении гравелистых грунтов. Для песков плотных и средней плотности с относительной плотностью $I_D > 0.5$ циклическая прочность возрастает и может быть выше статической до 2 и более раз. Для рыхлых

песков и гравия при $I_D < 0.35$ она может снизиться в 5 и более раз. (Например, для намывных плотин $I_D = 0.4 - 0.45$).

6.3.13. Прочность грунтов может быть значительно снижена при их загрязнении органикой – болотными или сточными водами, нефтью и т.п. Наличие погребенных болот и заторфованных грунтов даже при небольшой их мощности оказывают негативное влияние на подстилающие глинистые грунты.

Под погребенными болотами обычно пески обогащены органическими соединениями и имеют все признаки пльвунов, а глинистые грунты характеризуются как слабые тиксотропные. Следует отметить, что изменение параметров сопротивления сдвигу происходит при сохранении показателей консистенции грунтов. Твердые и полутвердые грунты при высоком содержании бактериальной массы могут классифицироваться по деформационному поведению как квазипластичные.

6.3.14. При расчете постоянных сооружений, как правило, следует использовать параметры длительной прочности мерзлых грунтов, полученные при медленном нагружении (φ_{sl} и c_{sl}).

6.3.15. Лабораторные испытания грунтов должны быть проведены, в основном, на образцах, отобранных из грунтов основного деформируемого горизонта. При этом, по возможности, должны быть испытаны грунты в зоне плоскостей смещения, ослабленных, перемятых, разуплотненных и водонасыщенных слоев грунта, зон тектонических нарушений и др., а методы подготовки грунтов к испытаниям должны учитывать предполагаемые воздействия различных факторов на исследуемый грунт: изменения его напряженного состояния и степени уплотнения при снятии нагрузки, оползневых или обвальных смещениях, выветривании и других воздействиях. Характеристики грунтов должны быть определены при структуре и влажности, соответ-

вующих их естественному залеганию и условиям эксплуатации (например, с учетом водонасыщения грунтов после заполнения водохранилища и др.).

6.3.16. Данные лабораторных определений должны быть проверены и в случае необходимости откорректированы по результатам контрольных и обратных расчетов устойчивости склонов, находящихся в состоянии, близком к предельному, и выявленных оползневых масс.

При интерпретации контрольных расчетов необходимо обратить внимание на влияние пространственной работы массива грунта в натуре, игнорирование которой может привести к завышенной оценке прочности грунтов.

При контрольных расчетах, когда положение поверхности сдвига известно, а также в тех случаях, когда положение поверхности сдвига (полностью или частично) предопределено геологическим строением склона (например, поверхность котлована в связном грунте или прослойка с резко сниженными прочностными характеристиками грунта), параметры длительной прочности грунта принимаются только для указанных зон сдвига. В остальных случаях - для всего массива глинистого грунта.

6.3.17. При соответствующем обосновании (высокие темпы возведения сооружения или нагружения его эксплуатационными нагрузками, отсутствие в основании дренирующих слоев грунта или дренирующих устройств) допускается в запас надежности принимать $\varphi_1 = 0$, а c_1 - равным прочности грунта по результатам неконсолидированного среза c_u ([30] и [31]), т.е. соответствующим нестабилизированному состоянию грунтов основания.

При расчете откосов, склонов и сооружений, рассматриваемых в настоящем руководстве, как правило, допустимо принимать параметры прочности φ_1 и c_1 по результатам неконсолидированного среза, что является менее жестким требованием, чем указано выше.

6.3.18. Если часть поверхности скольжения проходит через грунт, прочность которого может снизиться при очень малых в сравнении с другими

грунтами перемещениях (например, срез скального грунта), то в расчете устойчивости следует учитывать ожидаемую сниженную прочность этого грунта или, как альтернатива этому, - выполнить расчет методами, учитывающими деформативность грунтов.

6.4. Расчет устойчивости методом ломаных поверхностей скольжения

6.4.1. Рекомендованный [2] метод определения общей устойчивости по ломаным поверхностям скольжения может быть отнесён к группе методов "наклонных сил", однако проверяется равновесие горизонтальных составляющих сил для массива грунта, ограниченного предполагаемой поверхностью скольжения. Равновесие вертикальных составляющих сил всегда выполняется и не требует проверки.

Примечание. Так называемые плоский, смешанный и глубинный сдвиги [2] являются частными случаями потери устойчивости по ломаным поверхностям скольжения.

6.4.2. В рассматриваемом методе массив грунта, ограниченный возможной поверхностью скольжения, разделяется вертикальными плоскостями на элементы (рис.6.2) таким образом, чтобы в основании каждого элемента был однородный грунт, и основание элемента можно было принять плоским. Для каждого элемента вычисляется значение неуравновешенной (удерживающей или сдвигающей) силы ΔE_{hi} и выполняется оценка устойчивости для выбранной поверхности скольжения.

Ширина расчетных элементов b_i призмы скольжения должна быть такой, при которой дальнейшее уменьшение b_i не приводит к существенному изменению результатов расчета.

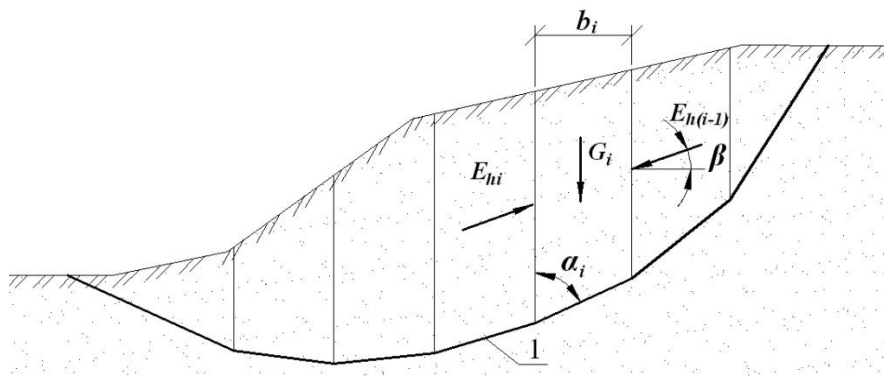


Рис. 6.2. Схема к расчету общей устойчивости при поступательном перемещении:

1 - поверхность скольжения

Значения сдвигающей силы F и силы предельного сопротивления R вычисляются по зависимостям:

$$F = \sum_{i=1}^{n_1} \Delta E_{hi.s}, \quad (6.12)$$

$$R = \left| \sum_{i=1}^{n_2} \Delta E_{hi.r} + R_{gr(l)} + R_{gr(n)} + R_g \right|, \quad (6.13)$$

где $\Delta E_{hi.s}$ и $\Delta E_{hi.r}$ - горизонтальные составляющие соответственно сдвигающих (со знаком "плюс") и удерживающих (со знаком "минус") сил, возникающих в пределах i -го вертикального элемента, на которые "условно" разделен рассчитываемый массив грунта,

$$\Delta E_{hi} = \frac{G_i - c_i b_i [\operatorname{tg}(\alpha_i + \varphi_i) + \operatorname{ctg} \alpha_i] \cdot l_j}{\operatorname{tg} \beta_i + \operatorname{tg}(\alpha_i + \varphi_i)} + F_{hi} + \Delta E_{hi(seism)}; \quad (6.14)$$

n_1 и n_2 - количество элементов сдвигающегося массива грунта, для которых ΔE_{hi} имеет соответственно положительное или отрицательное значение;

$R_{gr(l)}$ и $R_{gr(n)}$ - силы сопротивления по левой и правой боковым поверхностям призмы скольжения в пределах i -го элемента (для условий плоской задачи силы $R_{gr(l)}$ и $R_{gr(n)}$ равны 0);

R_g - сумма горизонтальных составляющих сил сопротивления конструктивных элементов (свай, труб, армирующих сеток и пр.) при пересечении их поверхностью скольжения, если эти силы не учтены в ус-

тойчивости элементов (определение сил R_g анкерующих свай, шпунтов или других элементов сооружения сдвигу приведено в пособиях [4, 5], а также в приложении В);

G_i - вес i -го элемента массива грунта, с учетом его ширины l_j , и нагрузок на его поверхности; при $G_i < 0$ принимается $G_i = 0$;

φ_i и c_i - угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта в основании i -го элемента,

b_i - ширина элемента,

α_i - угол между вертикалью и плоскостью основания элемента, отсчитываемый при сдвиге справа налево по часовой стрелке, но в расчете принимаемый, как правило, не более $(173^\circ - \varphi_i - \beta_i)$, чтобы не получить неоправданно больших сил сопротивления или смены знака знаменателя в формуле 6.8 для удерживающих элементов;

β_i - угол наклона сил взаимодействия между элементами призмы скольжения;

l_j - средняя ширина расчетной полосы; для плоской задачи обычно принимается $l_j = 1$ м; F_{hi} - сумма горизонтальных составляющих сил, действующих на элемент,

$$F_{hi} = F_{\Phi hi} + F_{wi} + F_{gr(l)} + F_{gr(n)}, \quad (6.15)$$

$F_{\Phi hi}$ - горизонтальная составляющая силы суммарного давления фильтрующей воды;

F_{wi} - горизонтальная составляющая силы давления свободной воды на поверхность элемента, вызванная сейсмическим воздействием (при отсутствии сейсма или при сейсмичности менее 7 баллов - $F_{wi} = 0$);

$F_{gr(l)}$ и $F_{gr(n)}$ - горизонтальные составляющие сил сдвига по левой и правой боковым поверхностям призмы скольжения в пределах i -го элемента (для условий плоской задачи $F_{gr(l)}$ и $F_{gr(n)}$ равны 0);

$\Delta E_{hi(seism)}$ - сила дополнительного сейсмического давления (при отсутствии сейсмического давления или при сейсмичности менее 7 баллов $\Delta E_{hi(seism)} = 0$).

6.4.5. В расчетах необходимо учитывать, что грунт по поверхности раздела между элементами призмы скольжения, как правило, не работает на растяжение, т.е. вышележащий по склону элемент не может удерживать лежащий ниже, а нижележащий - тянуть лежащий выше. Поэтому, в частности, при определении силы R по формуле 6.13 в сумму не включаются удерживающие силы $\Delta E_{hi,r}$ от последовательно расположенных крайних элементов призмы скольжения в верхней ее части, возникающие из-за наличия сцепления в грунте.

Для более точного отделения части призмы скольжения, которая не должна учитываться в расчете, используется более частое деление на вертикальные элементы, т.е. уменьшение b_i .

Граница между элементами, устойчивыми и не имеющими собственной устойчивости, определяет положение вертикальной трещины отрыва.

6.4.6. Угол β_i наклона сил взаимодействия между элементами призмы скольжения допускается определять следующими упрощенными способами, рекомендуемыми действующими нормативными документами.

1) В случае, если призма скольжения включает шпунтовую подпорную стену, которая разделяет сдвигающуюся часть, характеризуемую силой F по формуле (6.12), и удерживающую, характеризуемую силой R по формуле (6.7), допускается принимать

$$\beta_i = \begin{cases} 2\varphi_s/3, \text{ но не более } 20^\circ, \text{ если } \beta_i < \beta_{lim}, \\ \text{иначе } \beta_{lim} \end{cases} \quad (6.16)$$

где

φ_s - средневзвешенное по высоте значение угла внутреннего трения в створе шпунта, соответственно с верховой (для активной зоны) и низовой (для пассивной зоны) стороны;

$$\beta_{lim} = \arctg \frac{G_i - C_i b_i [tg(\alpha_i + \varphi_i) + ctg \alpha_i] l_j + S_{vi} - P_w}{F_{hi} + S_{hi}} \quad (6.17)$$

где сейсмические нагрузки S_{hi} , S_{hi} и P_w см. в разделе 5. При отсутствии сейсма или балльности меньше 7 баллов $S_{hi} = 0$, $S_{hi} = 0$ и $P_w = 0$.

2) В случае, если призма скольжения включает гравитационную подпорную стену, которая разделяет сдвигающуюся часть от удерживающей, допускается согласно [4] принимать для элементов вне подошвы стены рекомендацию п. 1, а в пределах ширины подошвы стены $\beta_i = 0$.

3) В случае однородного грунта в призме скольжения и отсутствии горизонтальных сил допускается вводить в расчет среднее значение угла β_i , определенное по эмпирической формуле А.Л.Можевитинова

$$\beta_i = \beta \cong \frac{\sum \delta_i b_i}{\sum b_i}, \quad (6.18)$$

где $\delta_i = \pi/2 - \alpha_i$ при $\alpha_i < \pi/2$ и $\delta_i = \alpha_i - \pi/2$ при $\alpha_i > \pi/2$.

Примечание. Значение β по формуле (6 в) может быть введено в расчет только после определения b_i и α_i , приняв предварительно в первом приближении $\beta = 0$. Для решения задачи может потребоваться 2 - 3 последовательных приближения.

Угол наклона сил взаимодействия между элементами призмы скольжения β_i , как правило, в небольшой запас устойчивости, допускается принимать равным 0.

6.4.7. Значение номинальной сдвигающей силы F_{nom} определяется по формуле

$$F_{nom} = \sum_{i=1}^{n_3} \Delta E_{hi.s.nom} + \sum_{i=1}^{n_4} (F_{hi.s} + S_{hi}), \quad (6.19)$$

где n_3 - количество элементов призмы скольжения, для которых $\alpha_i \leq 90^\circ$ ($\sum_{i=1}^{n_3}$ - означает суммирование только для элементов с $\alpha_i \leq 90^\circ$);

n_4 - то же, $\alpha_i > 90^\circ$ ($\sum_{i=1}^{n_4}$ - означает суммирование только для элементов с $\alpha_i > 90^\circ$);

$\Delta E_{hi.s.nom}$ - горизонтальная составляющая силы (со знаком "плюс"), определяемая по формуле 6.8 при $\varphi_i = 0$, $c_i = 0$, $\beta_i = 0$;

$F_{hi.s}$ - горизонтальные составляющие внешних сил (кроме сейсмических), действующих в элементах призмы скольжения с $\alpha_i < 90^\circ$ и направленных в сторону сдвига;

S_{hi} - горизонтальные составляющие сейсмических сил.

6.4.8. Значение номинальной удерживающей силы R_{nom} определяется по формуле

$$R_{nom} = R + (F_{nom} - F). \quad (6.20)$$

6.5. Расчет устойчивости методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

6.4.9. Рекомендованный [2] метод определения общей устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения может быть отнесён к группе методов "наклонных сил", в которых проверяется равновесие моментов всех сил, действующих на сдвигаемый массива грунта.

Массив грунта, ограниченный рассматриваемой поверхностью скольжения (рис.6.3), разделяется вертикальными плоскостями на n элементов таким образом, чтобы в основании каждого элемента был однородный грунт.

Для каждого элемента вычисляется вес с учетом вертикальных составляющих нагрузок на его поверхности и определяется угол между вертикалью и радиусом, проведенным к середине основания этого элемента.

Затем производится оценка устойчивости массива грунта вместе с сооружением для выбранной поверхности скольжения.

6.4.10. Ширина расчетных элементов b_i призмы скольжения должна быть такой, при которой дальнейшее уменьшение b_i не приводит к существенному изменению результатов расчета. Обычно ширина элементов принимается близкой к $0.1r$ или 1-2 м, где r - радиус поверхности скольжения.

6.4.11. Учитывая многоэкстремальность задачи, при полностью автоматизированном расчете необходимо выполнить полный перебор круглоцилиндрических поверхностей в заданной области расчета.

Их количество и положение уточняются в процессе расчета таким образом, чтобы была найдена наиболее опасная, соответствующая минимальному

значению $\left(\frac{\gamma_c \gamma_{cl}}{\gamma_n} R - \gamma_{lc} F \right)$.

Шаг перебора определяется опытным путем. Сетка сужается до тех пор, пока это перестанет практически влиять на результаты расчетов.

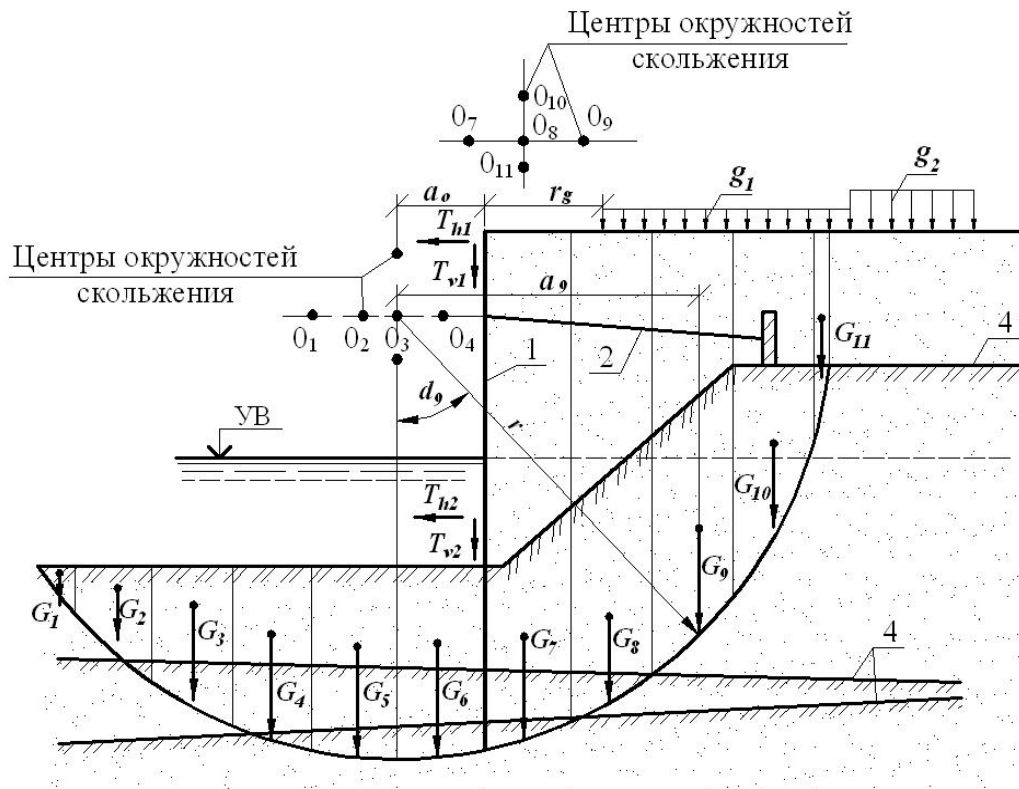


Рис. 6.3. К расчету устойчивости сооружений методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (на примере причальной набережной):
 1 - шпунт, 2 - анкерная тяга, 3 - анкерная опора, 4 - граница слоев грунта, 5 - возможная поверхность скольжения

Значения F и R на 1 м длины сооружения (при плоской задаче) вычисляются по формулам:

$$F = M_i = r \sum_{i=1}^{n_1} G_i \sin \alpha_i + \Delta M_i, \quad (6.21)$$

$$R = M_r = r \left(\sum_{i=1}^n G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i - \sum_{i=1}^{n-n_1} G_i \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^n c_i l_i + R_g \right), \quad (6.22)$$

где M_i - сумма моментов сил, вызывающих сдвиг сооружения, относительно выбранного центра окружности скольжения;

M_r - сумма моментов сил, удерживающих сооружение от сдвига, относительно выбранного центра окружности скольжения;

G_i - вес i -ого элемента с учетом вертикальных составляющих нагрузок на его поверхности; α_i - угол между вертикалью и радиусом, проведенным к середине основания i -ого элемента

$$\alpha_i = \arcsin \frac{a_i}{r}; \quad (6.23)$$

a_i - расстояние по горизонтали от центра окружности скольжения до середины i -ого элемента (принимается со знаком минус для элементов, расположенных слева от вертикали, проходящей через центр окружности скольжения);

ΔM_i - сумма моментов от горизонтальных и вертикальных составляющих одной из кратковременных (T_{h1} и T_{v1}) и временных длительных (T_{h2} и T_{v2}) нагрузок приложенных непосредственно к сооружению и вызывающих его сдвиг относительно выбранного центра окружности скольжения;

φ_i, c_i - соответственно угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта в основании i -го элемента;

l_i - длина дуги в основании i -го элемента;

R_g - сила сопротивления конструктивного элемента (анкера, сваи, шпунта и т.п.) сдвигу, перпендикулярная к радиусу r ; эта сила учитывается при пересечении конструктивного элемента окружностью скольжения;

n - количество элементов в призме скольжения;

n_l - количество элементов с $a_i > 0$: в M_l суммируются силы $G_i \sin \alpha_i$ только для элементов с $a_i > 0$, а в M_r суммируются силы $G_i \sin \alpha_i$ только для элементов с $a_i < 0$.

6.4.12. Определение сил R_g анкерующих свай, шпунтов или других элементов сооружения сдвигу приведено в пособиях [5 и др.].

6.6. Расчет устойчивости для условий пространственной задачи

6.4.13. Расчет устойчивости для условий **пространственной задачи** допускается выполнять следующим образом.

а) Выделяют на рассчитываемом склоне ряд полос, в пределах которых геологические условия, нагрузки и конструкции удерживающих сооружений можно принять одинаковыми. Выполняют для всех полос расчет по схеме плоской задачи.

Если все полосы по расчету устойчивы, то на этом расчеты заканчиваются.

б) Если есть неустойчивые полосы, то для полосы с наименьшей устойчивостью (первой, $j = 1$) нужно определить максимальные силы сопротивления по боковым поверхностям $R_{gr.lim.j}$, которые могут быть переданы на примыкающие к ней полосы.

Если для обеспечения устойчивости первой полосы требуется дополнительная сила сопротивления $R_{gr(j=1)}$ и не соблюдается условие

$$R_{gr(j=1)} \leq R_{gr.lim(j=1)}, \quad (6.24)$$

то она заведомо будет неустойчива и произойдет оползень.

Если условие 6.24 соблюдается, то на соседнюю (вторую, $j=2$) полосу можно передать силу

$$F_{gr(j=2)} = 0.5 R_{gr.(j=1)}. \quad (6.25)$$

Если вторая полоса с учетом этой силы устойчива ($R_{gr.(j=2)}=0$), то склон по эту сторону от первой полосы будет устойчив и нужно аналогично проверить устойчивость полосы с другой стороны от первой.

Если не соблюдено условие

$$R_{gr.j} \leq R_{gr.lim.j}, \quad (6.26)$$

то может произойти оползень, а при соблюдении условия 6.17 можно передать на соседнюю (третью, $j=3$) полосу силу

$$F_{gr.j} = R_{gr.(j-1)}, \quad (6.27)$$

проверить её устойчивость и т.д. (см. выше).

в) Если в результате окажется что сооружение или склон по одну сторону от первой полосы устойчив, а по другую нет, то нужно уменьшить ширину полос или переместить положение первой полосы в сторону неустойчивой полосы и повторить расчет.

Сооружение или склон будут устойчивы, если ни для одной из полос при $j > 1$ не будет нарушено условие 6.24.

6.4.14. Размер оползня по ширине определяется границами полос, наиболее удаленных от первой, для которых не соблюдается условие 6.24, если на j -ю полосу передавать от $(j-1)$ -ой силу

$$F_{gr.j} = R_{gr.(j-1)}, \quad \text{но не более } R_{gr.lim(j-1)}. \quad (6.28)$$

6.4.15. Положение осей полос в плане, как правило, выбирается вдоль склона. При этом полоса может быть и не прямолинейной, а ширина её l_j - не одинаковой. Однако искривления в плане и изменения ширины не должны быть чрезмерными: должны приближенно соблюдаться условия плоской деформации.

Если предположительно известна поверхность скольжения («зеркало сдвига»), связанная, например, с поверхностью прочного коренного грунта, слабой прослойкой и т.д., то положение оси полосы должно быть выбрано ещё и вдоль склона этой поверхности.

6.4.16. Предельная сила сопротивления по боковой поверхности сдвигающейся полосы определяется по зависимости

$$R_{gr.lim.j} = \sum_{i=1}^n R_{gr.lim.i}; \quad (6.29)$$

где $R_{gr.lim.i}$ - предельное сопротивление по боковой поверхности i -го элемента призмы скольжения, зависящее от площади поверхности, угла внутреннего трения и сцепления на ней и бокового давления покоя; n - количество элементов в призме скольжения.

6.4.17. Силы трения допускается определять как произведение горизонтальной составляющей давления грунта, действующего на боковую поверхность призмы скольжения, на коэффициент трения, равный $tg\varphi_1$ (где φ_1 - угол внутреннего трения грунта по боковой поверхности призмы обрушения). Силы сцепления принимаются равными произведению удельного сцепления грунта на площадь участка боковой поверхности призмы скольжения, в пределах которой учитывается сцепление. Как правило, давление на боковые поверхности следует принимать равным давлению покоя.

6.4.18. Величина необходимой для обеспечения устойчивости полосы силы сопротивления $R_{gr.j}$ и передаваемой соседней полосе в виде силы $F_{gr(j+1)}$ определяется по формуле

$$R_{gr.j} = F_{gr(j+1)} = (\gamma_{lc}F - \gamma_c R / \gamma_n) / \gamma_{lc} . \quad (6.30)$$

6.7. Учет сейсмических воздействий

6.4.19. Учет сейсмических воздействий при расчете общей устойчивости производится с учетом требований [25] при расчетной сейсмичности 7 и более баллов.

При этом следует учитывать горизонтальное ($\nu=0^0$) и наклонное под углом $\nu=\pm 30^0$ к горизонтальной плоскости сейсмическое воздействие.

6.4.20. Расчет устойчивости сооружений при поступательном перемещении сдвигаемого массива грунта вместе с сооружением выполняется по указаниям раздела 6.4.2. При этом силы дополнительного сейсмического давления определяются по формуле

$$\Delta E_{hi(seism)} = \frac{S_{vi} + S_{hi} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_i + \varphi_i) - P_w}{\operatorname{tg}\beta_i + \operatorname{tg}(\alpha_i + \varphi_i)}; \quad (6.31)$$

где S_{vi} и S_{hi} - вертикальная и горизонтальная составляющие сейсмического воздействия, определяемые по формулам 6.32 и 6.33:

$$S_{vi} = AK_1 Q_i \sin \nu, \quad (6.32)$$

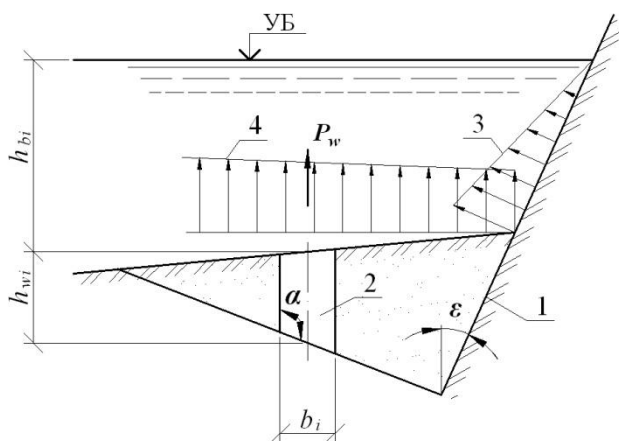


Рис.6.4. К расчету давления грунта при сейсмическом воздействии

- 1 - расчетная поверхность,
- 2 - вертикальный элемент призмы выпора,
- 3 - эпюра сейсмического давления воды на поверхность стены, контактирующей с водой;
- 4 - эпюра сейсмического давления воды на поверхность грунта

$$S_{hi} = AK_1 Q_i \cos \nu, \quad (6.33)$$

P_w - давление свободной воды на поверхность элемента, вызванное сейсмическим воздействием, определяемое по формуле 6.34; если давление P_w учитывается в удельном весе грунта, то следует принимать $P_w = 0$;

$$P_w = 0.74 \cdot AK_1 \gamma_w h_{bi} b_i, \quad \text{но не более } G_i; \quad (6.34)$$

Q_i - вес элемента с учетом нагрузки g на поверхности и воды в порах

$$Q_i = G_i + \gamma_f \gamma_w A_{wi} - P_w \quad (6.35)$$

A_{wi} - площадь вертикального сечения элемента ниже уровня воды, например, для треугольного элемента

$$A_{wi} = 0.5 h_{w.max}^2 |tg \alpha|, \quad (6.36)$$

γ_f - коэффициент безопасности по нагрузке (0.9 или 1.1),

$h_{w.max}$ - максимальная высота слоя взвешенного грунта в элементе.

6.4.21. Если давление P_w , учитывается в удельном весе грунта подобно учету фильтрационного давления, т.е. путем уменьшения γ на $\Delta\gamma_s$, то в формулах 6.31 и 6.35 принимается $P_w=0$.

6.4.22. Удельный вес взвешенного γ и водонасыщенного грунта γ_{max} под слоем воды в акватории h_b с учетом взвешивания грунта водой при ее сейсмическом давлении должен быть уменьшен на величину $\Delta\gamma_s$, которую допускается определять по формуле

$$\Delta\gamma_s \approx 1.5 \cdot AK_1 \gamma_w h_b \frac{1 - y/t}{t}, \quad (6.37)$$

где

t - заглубление стены в грунт, считая от дна акватории, но не менее t_{min} ,

$$t_{min} \approx 1.5 AK_1 h_b \frac{\gamma_w}{\gamma}, \quad (6.38)$$

Для практических целей допустимо на всю глубину t принять среднее значение $\Delta\bar{\gamma}_s = 0.75 AK_1 \gamma_w \frac{h_b}{t}$.

F_w - горизонтальная составляющая сейсмического давления воды акватории (рис. 6.5); определяется по формуле

$$F_w = 0.5 AK_1 \gamma_w (h_{bi(n)}^2 - h_{bi(n)}^2); \quad (6.39)$$

Для вертикальной поверхности, контактирующей со свободной водой (рис. 6.6),

$$F_w = 0.5\gamma_w h_b^2 AK_1, \quad (6.40)$$

где

h_b – глубина воды перед набережной;

$h_{bi(l)}$ и $h_{bi(r)}$ – глубина свободной воды над левой и правой границей расчетного элемента, остальные обозначения те же, что и выше.

6.4.23. Учет сейсмических воздействий при расчете устойчивости по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения, выполняется аналогично рассмотренному выше.

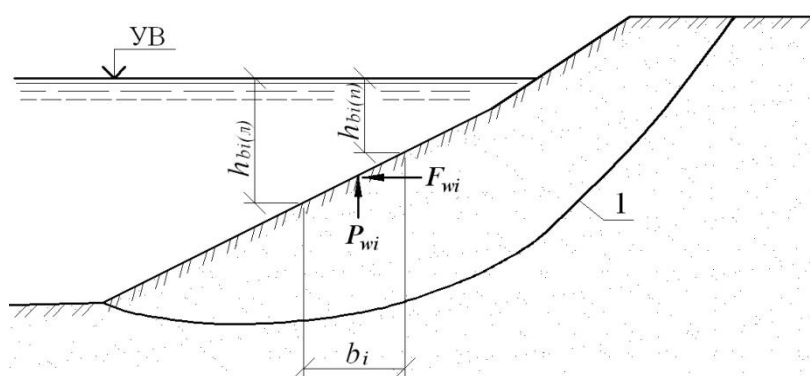


Рис. 6.5. Схема к расчету сейсмического давления свободной воды:

1 – поверхность скольжения

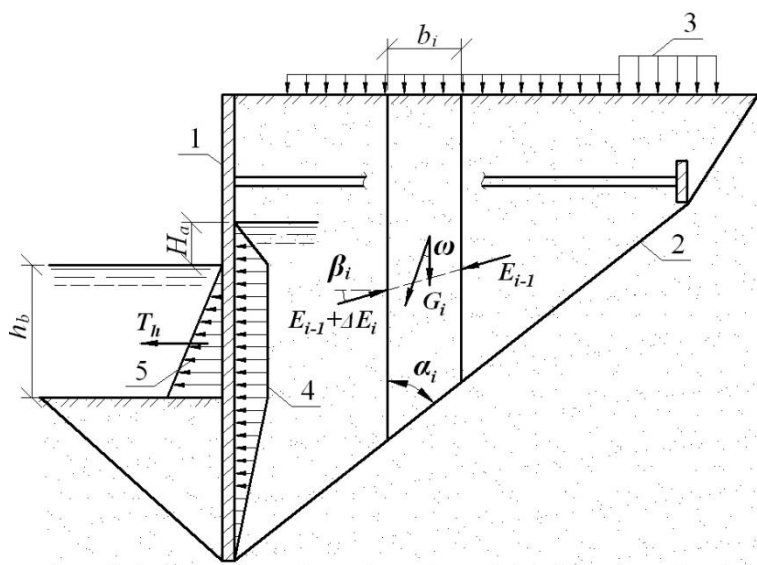


Рис. 6.6. К расчету общей устойчивости в случае поступательного перемещения сдвигаемого массива грунта вместе с сооружением при сейсмическом воздействии:

1 – набережная, 2 – возможная поверхность сдвига, 3 – нагрузка на поверхности грунта, 4 – давление фильтрующей воды, 5 – сейсмическое давление воды акватории

7. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ

7.1. **Фильтрационные расчеты** производят с целью определения нагрузок от фильтрующей воды и их снижения при помощи искусственных дренажей, а также исключения потери общей и местной фильтрационной прочности грунтов в основании и засыпке в соответствии с указаниями [2] и [26]. Они включают: определение нагрузок от фильтрующей воды; определение фильтрационного напора на набережную; проверку фильтрационной прочности грунтов; расчеты для проектирования застенных дренажей набережных.

В общем случае фильтрационные расчеты выполняются по специальным программам (например, методом конечных элементов по программе «PLAXIS» [27]).

7.2. Как правило, фильтрационные расчеты оползнеопасных откосов, склонов, набережных и других протяженных сооружений выполняются для условия плоской задачи.

Пространственная задача рассматривается в случае, когда длина сооружения превышает ее высоту менее чем в 2.5 раза.

7.3. Влияние фильтрующей воды и его учет определяются наличием безнапорной и напорной фильтрации. Характерные схемы приведены на рис. 7.1, 7.2 и 7.3.

Признаком наличия напорной фильтрации является повышение уровня воды в буровой скважине при вскрытии водоносного горизонта.

7.4. Расчет и конструирование дренажей производится в соответствии с требованиями [19] и [28]. Общая и местная фильтрационная прочность грунтов в основании сооружений определяется в соответствии с требованиями [2] по указаниям пособия к нему [29].

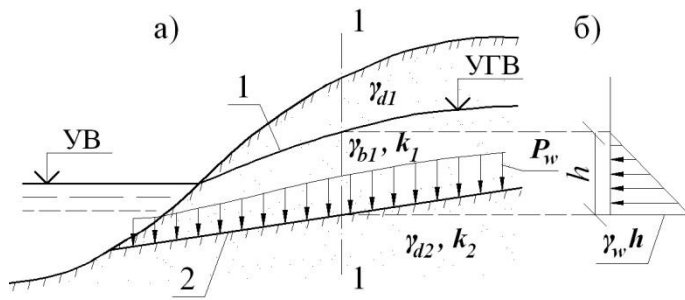


Рис. 7.1. К определению нагрузок от фильтрующей воды при безнапорной фильтрации:

а - расчетная схема, б - эпюра давления воды в сечении 1 - 1 ;
 1 - пьезометрическая линия (кривая депрессии); 2 - поверхность водоупора (слой 2); $k_2 > k_1$
Примечание к рис.6.7. Индекс при k соответствует номеру слоя

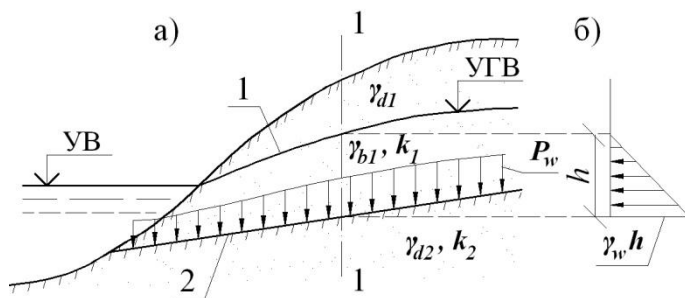


Рис. 7.2. К определению нагрузок от фильтрующей воды при напорной фильтрации:

а - расчетная схема, б - эпюра давления воды в сечении 1 - 1 ;
 1* - пьезометрическая линия, установившаяся после вскрытия водоносного слоя 2;
 2 - поверхность водоупора (слои 1 и 3); $k_2 > k_1, k_2 > k_3$

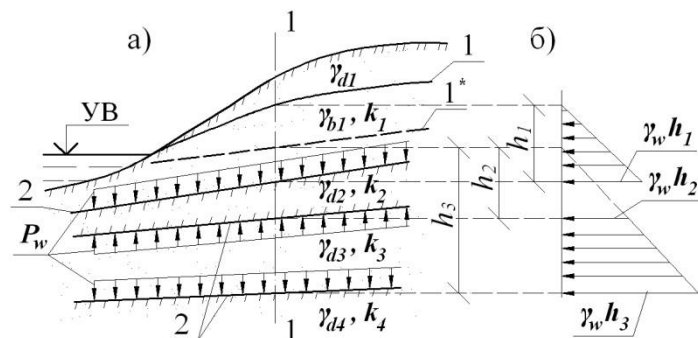


Рис. 7.3. К определению нагрузок от фильтрующей воды при наличии напорной и безнапорной фильтрации

а - расчетная схема,
 б - эпюра давления воды в сечении 1 - 1 ;
 1, 1* и 2 - то же, что и на рис. 7.1 и 7.2;
 $k_1 > k_2, k_3 > k_2, k_3 > k_4$

7.5. Давление фильтрующей воды, как правило, определяется по гидродинамической сетке. При этом в центрах объемов (площадей) v_t гидродинамической сетки прикладывается давление в виде сосредоточенных сил, направленных вдоль линий тока и равных

$$\Delta F_{\phi t} = J_t \gamma_w v_t, \quad (7.1)$$

где J_t - гидравлический градиент в пределах объема v_t ; γ_w - удельный вес воды.

Размер ячеек гидродинамической сетки, как правило, должен быть таким, при котором дальнейшая детализация не приводит к существенному изменению результатов расчета давления грунта или общей устойчивости.

При наличии водоупора к его границе вертикально прикладывается распределенная нагрузка

$$p_w = \gamma_w h_d, \quad (7.2)$$

где h_d - напор воды над соответствующей точкой границы.

7.6. За водоупор принимается грунт, коэффициент фильтрации которого k в 10 и более раз меньше, чем для соседнего, и при этом его не пересекают естественные или искусственные дрены и трещины. Если нет возможности точно установить последнее, то расчеты необходимо выполнять для двух случаев: с учетом и без учета водоупора.

7.7. Горизонтальную составляющую силы давления фильтрующей воды на элемент призмы скольжения в случае, когда имеется кривая депрессии (рис. 7.4) допускается определять на участках, где нет напорной фильтрации и перепада уровней воды из-за наличия водонепроницаемого экрана, по формуле

$$F_{\phi hi} = 0.5 \gamma_w [(h_i^2)_{(II)} + h_i) b_i \text{ctg} \alpha_i) - (h_i^2)_{(I)} + h_i) b_i \text{ctg} \alpha_i), \quad (7.3)$$

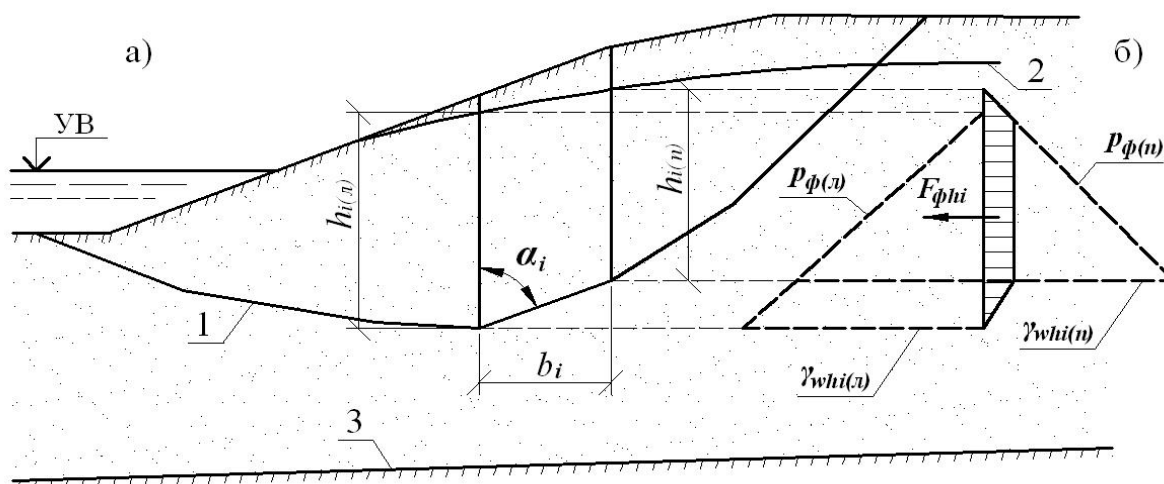


Рис. 7.4. К определению горизонтального давления фильтрующей воды на элемент призмы скольжения для свободного склона:

а - расчетная схема; б - эпюры давления воды на правую $p_{\phi(II)}$ и левую $p_{\phi(I)}$ грани элемента и результирующая горизонтальных сил от давления воды; 1 - поверхность скольжения, 2 - пьезометрическая линия (кривая депрессии), 3 - поверхность водоупора

где $h_{i(I)}$ и $h_{i(II)}$ - глубины воды над плоскостью скольжения у верховой и низовой границ элемента, но не более, чем глубина воды над водоупором (если поверхность скольжения проходит через водоупор). В последнем случае под α_i следует понимать угол наклона поверхности водоупора в пределах ширины элемента.

В случае если в составе склона имеется подпорная стена или водонепроницаемый экран (например, по рис. 7.5), на котором происходит ступенчатое изменение пьезометрической линии с возникновением напора H_d , но они не рассматриваются как самостоятельный элемент призмы скольжения, то для определения давления воды их следует рассмотреть как отдельный элемент с $b_i = 0$. При этом сила $F_{\phi hi}$ принимается равной площади эпюры $p_{\phi i}$ и учитывается при определении F_{hi} для элемента, в который входит стена или экран.

В случае если тонкая подпорная стена или водонепроницаемый экран расположен в однородном грунте (см. рис. 7.5,а),

$$p_{\phi 1} = \gamma_w h_d, \quad p_{\phi 2} = \gamma_w h_d - J \gamma_w (l_1 - l_2), \quad (7.4)$$

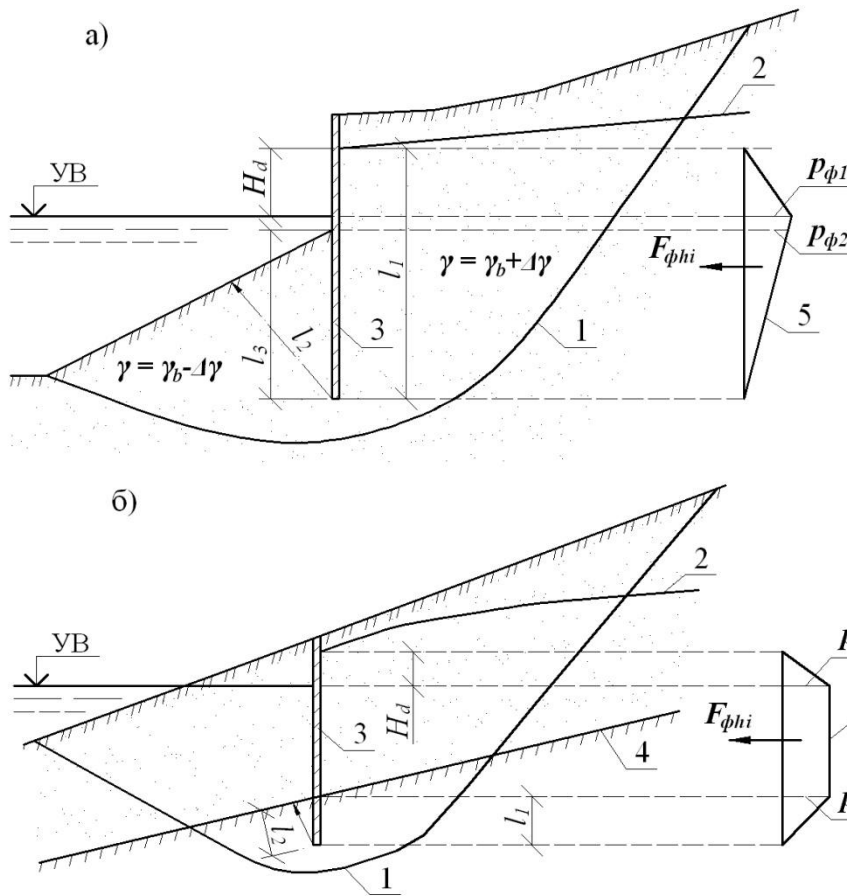


Рис. 7.5.
К приближенному определению нагрузок от фильтрующей воды при наличии подпорной стены или водонепроницаемого экрана:

а - в однородном грунте,
б - при наличии водоупора;
1 - поверхность скольжения,
2 - пьезометрическая линия (кривая депрессии), 3 - экран,
4 - поверхность водоупора, 5 - эпюра давления воды

$$J = H_d / (l_1 + l_2), \quad (7.5)$$

$$\Delta \gamma_w = J \gamma_w \text{ до низа стены или экрана, а ниже - } \Delta \gamma_w = 0. \quad (7.6)$$

В случае, если тонкая подпорная стена или водонепроницаемый экран проходят через фильтрующий грунт и входят в водоупор (см. рис. 7.5.б),

$$J = H_d / (l_1 + l_2 - 0.5 H_d), \quad (7.7)$$

а в пределах толщины водоупорного слоя

$$\Delta \gamma_w = J \gamma_w. \quad (7.8)$$

Для приближенного определения нагрузок от фильтрующей воды, необходимо вычислить значение напора воды H_d за стеной.

Горизонтальная нагрузка от фильтрующей воды, действующая вдоль подземного контура набережной, принимается в виде эпюры интенсивности и прикладывается непосредственно к сооружению или элементу сооружения.

7.8. В расчетах устойчивости склонов и сооружений эпюры горизонтальных нагрузок от давления фильтрующей воды допускается определять по указаниям пособия [5].

При этом площадь эпюр следует увеличивать на 30% при суточных колебаниях уровня воды и на 10% - при сезонных (для учета влияния подъема кривой депрессии в сдвигаемом массиве грунта).

7.9. При расчете устойчивости откосов и склонов вертикальную составляющую давления фильтрующей воды, как правило, допускается учитывать в удельном весе взвешенного грунта γ_b в пределах слоя фильтрующего грунта и в виде сил от напора воды, приложенных к границе водоупора.

7.10. В случае, если в пределах призмы скольжения располагается подпорная стена или водонепроницаемый экран (см. рис. 6.11), на котором происходит ступенчатое изменение пьезометрической линии, удельный вес взвешенного грунта γ_b ниже уровня воды следует увеличить на $\Delta\gamma_w = I \gamma_w$ - выше по склону от стены или экрана и уменьшить на $\Delta\gamma_w$ - ниже по склону, где I - средний градиент напора.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА

8.1. В зависимости от того, смещается сооружение от массива грунта, вместе с ним или сопротивляется его смещению, на сооружение действует **активное, в состоянии покоя** или **реактивное** давление грунта. Последнее зависит от смещения сооружения относительно грунта, но оно не может быть меньше давления в состоянии покоя (здесь не рассматривается), и превысить величины **пассивного** давления (с учётом ограничений, рассмотренных в разделе б), реализующегося при смещениях больше критического.

Примечание. *Критическое значение перемещения u_{ult} может быть определено, например, по формуле 2 приложения Б.*

8.2. Горизонтальная E_{ah} и вертикальная E_{av} составляющие силы активного давления грунта на **вертикальную** расчетную поверхность в i -м створе призмы скольжения определяются по формулам:

$$E_{ah} = \sum_1^i \Delta E_{hi}, \text{ но не менее } 0; \quad (8.1)$$

$$E_{av} = \sum_1^i \Delta E_{hi} \operatorname{tg} \beta_i, \quad (8.2)$$

где

ΔE_{hi} и β_i - те же, что и в формуле (6.14),

i - количество элементов призмы скольжения, оказывающих давление в i -м створе.

8.3. Активное давление грунта на наклонную расчетную поверхность допускается определять по формулам (8.1) и (8.2), а ΔE_{hi} - по формуле (6.14) при замене β_i на $(\beta_i + \varepsilon)$, где ε - угол наклона расчетной поверхности к вертикали, принимаемый со знаком минус при наклоне в сторону, откуда исходит активное давление. При этом вес грунта, между расчетной поверхностью и вертикальной плоскостью, проходящей через низ расчетной поверхности, распределяется между сдвигающимися элементами призмы скольжения пропорционально их весам.

8.4. Для определения **интенсивности** активного давления в i -м створе принимают допущение, что силы давления на любую часть расчетной плоскости можно определить тем же способом, что и для всей ее высоты. Вследствие этого выбирают несколько характерных точек на глубинах y_j и для каждой определяют указанным выше способом силы давления E_{ahj} и E_{avj} , а затем вычисляют среднюю интенсивность давления на участке $(y_j - y_{(j-1)})$ по формулам:

$$P_{ah} = \frac{E_{ahj} - E_{ah(j-1)}}{y_j - y_{(j-1)}} \quad (8.3)$$

$$P_{av} = \frac{E_{avj} - E_{av(j-1)}}{y_j - y_{(j-1)}} \quad (8.4)$$

Нормальная составляющая интенсивности давления на расчетную поверхность может быть определена по формуле

$$P_{ah} = P_{ah} \frac{\cos\beta_i}{\cos(\varepsilon + \beta_i)} \quad (8.5)$$

Примечание. При принятом допущении интенсивность активного давления, как правило, несколько занижена в сечениях по высоте, далеко отстоящих от поверхности скольжения, и завышена – вблизи от нее.

8.5. Горизонтальная E_{ph} и вертикальная E_{pv} составляющие силы пассивного давления грунта на **вертикальную** расчетную поверхность в i -м створе призмы скольжения определяются по формулам:

$$E_{ph} = \sum_1^n \Delta E_{hi}, \text{ но не менее } 0; \quad (8.6)$$

$$E_{pv} = \sum_1^n \Delta E_{hi} \operatorname{tg}\beta_i; \quad (8.7)$$

где

ΔE_{hi} и β_i - то же, что и в формуле (6.14),

n - количество элементов призмы скольжения со стороны действия пассивного давления.

8.6. Пассивное давление грунта на **наклонную** расчетную поверхность допускается определять по формулам (8.6) и (8.7), а E_{hi} - по формуле (6.14)

при замене β_i на $(\beta_i + \varepsilon)$, где ε - угол наклона расчетной поверхности к вертикали, принимаемый со знаком глину с при наклоне в сторону, откуда исходит оползневое давление.

Вес грунта между расчетной поверхностью и вертикальной плоскостью, проходящей через низ расчетной поверхности, распределяется между элементами призмы скольжения пропорционально их весам.

8.7. Для определения интенсивности пассивного давления в i -м створе принимают допущение, что силу давления на любую часть расчетной плоскости можно определить тем же способом, что и для всей ее высоты. Вследствие этого выбирают несколько характерных точек на глубинах y_j и для каждой определяют указанным выше способом силы давления E_{phj} и E_{pvj} , а затем вычисляют среднюю интенсивность давления на участке $(y_j - y_{(j-1)})$ по формулам:

$$P_{ph} = \frac{E_{phj} - E_{ph(j-1)}}{y_j - y_{(j-1)}} \quad (8.8)$$

$$P_{pv} = \frac{E_{pvj} - E_{pv(j-1)}}{y_j - y_{(j-1)}} \quad (8.9)$$

где E_{phj} и $E_{ph(j-1)}$ - значения силы, пассивного давления при прохождении поверхности скольжения на глубине соответственно y_j и $y_{(j-1)}$ в расчетном створе.

Нормальная составляющая интенсивности давления на расчетную поверхность может быть определена по формуле

$$P_{ph} = P_{ph} \frac{\cos\beta_i}{\cos(\varepsilon + \beta_i)} \quad (8.10)$$

Примечание. При принятом допущении интенсивность пассивного давления, как правило, несколько завышена в сечениях по высоте, далеко отстоящих от поверхности скольжения, и занижена - вблизи от нее.

8.8. В случае однородного грунта к плоской поверхности территории боковое давление грунта на расчетную плоскость может быть определено по формулам; приведенным в [16] и [4].

9. ОЦЕНКА ОБЩИХ СМЕЩЕНИЙ

9.1. Оценка общих смещений возможна только для искусственно насыпанных откосов.

9.2. Для рассчитываемого откоса должно соблюдаться условие

$$u \geq [u], \quad (9.1)$$

где

u - расчетное горизонтальное смещение поверхности грунта;

$[u]$ - допускаемое перемещение.

9.3. Общие горизонтальные перемещения определяются только для склонов, устойчивость которых подтверждена расчетами.

9.4. Расчет общих перемещений допускается выполнять для наихудшей с точки зрения устойчивости поверхности в массиве грунта, найденной в расчете общей устойчивости, т.е. для поверхности с наименьшим запасом или коэффициентом устойчивости k_{st} .

9.5. Перемещения, допускаемые при нормальной эксплуатации, регламентируются нормами технологического и архитектурного проектирования и другими документами применительно к сооружениям различного назначения.

Примечание. При несоблюдении условия (9.1) может быть нарушена нормальная эксплуатация сооружений и коммуникаций на склоне. Несоблюдение этого условия может сказаться на внешнем виде его или вызвать необоснованные опасения относительно общей устойчивости.

9.6. Признаком возможного начала прогрессирующего разрушения склона и появления оползневой опасности является существенное превышение наблюдаемого в натуре перемещения u над расчетным предельным перемещением u_{ult} после переформирования рельефа склона,

приложения к массиву грунта нагрузки или изменения прочностных характеристик грунта в результате обводнения и пр.

Примечание. Следует отметить, что скорость деформирования оценивается различными известными методами весьма приближенно и может различаться в десятки раз. Некоторое представление о скорости процесса может дать расчет с использованием в качестве исходных параметров грунта тех, что соответствует его длительной прочности через определенное время.

9.7. Методы определения общих горизонтальных смещений u и u_{ult} приведены в рекомендательном приложении Б.

10. ПРОГРАММЫ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

10.1. Введение

10.1.1. В настоящее время в проектной практике используется большое количество программ для расчетов и проектирования сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов. Каждый год появляются новые программы и новые версии старых программ.

Все программы можно отнести к двум большим группам: 1) относительно универсальные и 2) предметно ориентированные.

К первым относятся программы, предназначенные для определения напряженно-деформированного состояния грунта и элементов сооружений, с ним взаимодействующим, устойчивости массивов грунта совместно с сооружениями, давления грунта и воды и пр. для широкого класса сооружений. К ним относятся программы серии «RUST», «PLAXIS» и другие.

Ко второй группе относятся программы, предназначенные для расчета и проектирования конкретных типов сооружений (шпунтовых или уголкового подпорных стен, габионных конструкций и пр.). В результате расчета часто автоматически осуществляется подбор расчетных сечений, армирование железобетонных элементов и т.д., и даже вычерчивание конструкции в АСAD. К таким программам могут быть отнесены программы РОБ-97, WALL-3, программы из пакетов ЛИРА, СТАТИК и др. Эти программы оперируют с относительно простыми случаями взаимодействия грунта и сооружения.

10.1.2. Для использования современных программ, особенно первой группы, необходима высокая квалификация специалистов, прежде всего в области инженерной геологии и механики грунтов.

Следует иметь в виду, что сложные программы требуют постоянного совершенствования и адаптации к нестандартным случаям расчетов. Это может быть сделано только в авторитетной специализированной организации. Известно, что изготовители сложных программ, как правило, продают только

упрощенные версии своих изделий, приспособленные для решения узкого класса несложных задач, а решение сложных задач берут на себя.

10.1.3. Требованиям, указанным в разделе 6.2, согласно нашему опыту, в наибольшей степени удовлетворяют используемые многие годы в ОАО «Гипроречтранс» и в ряде других организаций программы серии "RUST" (RUST-51w, RUST-51wx и другие модификации) и в меньшей степени «PLAXIS» (см. ниже).

10.1.4. Расчет устойчивости на сдвиг с проверкой равновесия горизонтальных или наклонных сил является необходимым, но не достаточным, т.к. в некоторых случаях возможна потеря устойчивости в результате поворота части массива грунта в результате проскальзывания его по круглоцилиндрической поверхности (если она кинематически возможна). Эту задачу решает программа «kRUST» и многие другие программы.

10.1.5. Программы серии "RUST" разработаны в ОАО «Гипроречтранс» и используются в ОАО «Гипроречтранс» и в других организациях с 1995 г. Авторы программ А.М.Романов и В.Э.Даревский. Модернизированная программа «RUST-M», по функциям аналогичная программе RUST-51w, с современным интерфейсом разработана в 2012 г.

Примечание. Модернизация программы «RUST-51w» выполнена ООО «ИНФОЭК» под руководством к.т.н. М.Я. Флакса. При этом программы «RUST-51w» и «RUST-M» были протестированы к.т.н. Л.Ю.Могильнером на большом числе задач, имевших известные теоретические решения.

10.1.6. Ниже дана общая характеристика программ. Подробные сведения и инструкции пользователя приведены в сопровождающих программы документах.

10.2. Программы серии «RUST»

10.2.1. Программы серии «RUST», решают недеформационную вариационную задачу поиска наихудшей поверхности скольжения произвольной формы для определения устойчивости массива грунта совместно с сооружением при поступательном перемещении, а также для определения активного, пассивного или в состоянии покоя давления грунта на вертикальную расчетную поверхность. Для этого используется один из численных методов динамического программирования, обеспечивающий достаточно точное решение многоэкстремальной задачи.

Примечание. Определив интенсивность бокового давления на вертикальную расчетную поверхность и зная вертикальное бытовое давление, нетрудно вычислить давление грунта и на любую неvertикальную поверхность.

10.2.2. В программах реализован метод «блоков» или «наклонных сил» [2, 30 и др.], отвечающий требованиям действующих строительных норм [11, 2 и др.]. Рассчитываемый массив грунта автоматически разделяется на вертикальные блоки (в программах «RUST-51w», «RUST-51wx», "RUST-M" до 280). Их количество зависит от сложности строения грунтового массива, его размеров и требуемой точности расчетов. При этом реальная погрешность, связанная с дискретностью математической модели, как показывают методические расчеты, не превышает 2% (в сторону завышения устойчивости).

10.2.3. Критерием оптимизации является разность E удерживающих и сдвигающих сил.

Т.к. величина E не дает представления о соотношении удерживающих и сдвигающих сил, то для наглядности вычисляется коэффициент устойчивости k_{st} . Критерием обеспечения расчетной устойчивости наряду с условием $E \geq 0$ является условие $k_{st} \geq 1$. Учитывая реальную точность инженерных расчетов, отклонения k_{st} от 1 в пределах 2% считаются допустимыми.

10.2.4. Программы позволяют учитывать в расчете до 30 РГЭ, что как показывает опыт, в подавляющем большинстве случаев вполне достаточно для решения практических задач.

10.2.5. В программах используются прочностные характеристики грунтов: удельный вес выше и ниже уровня воды (с учетом взвешивания), угол внутреннего трения и удельное сцепление.

В программе «RUST-51wx» прочность грунтов может быть задана переменной в различных диапазонах вертикальной нагрузки.

Программы позволяют учесть анизотропию прочности инженерно-геологических элементов, включая вызванную системой трещин в трех направлениях с заполнением их менее прочной породой.

10.2.6. Известно, что грунт, как правило, если он не армирован специально, не работает на растяжение. Т.е. лежащий выше по склону грунт не может удерживать лежащий ниже, а нижележащий - тянуть лежащий выше. Программа может автоматически учесть это обстоятельство, показав трещину отрыва («закол»).

10.2.7. Программы позволяют учесть сопротивление сдвигу до 5 рядов вертикальных свай или 5 рядов горизонтальных армирующих сеток (грунтовых анкеров), прочность которых задана.

Примечание. При большем числе рядов и небольшом расстоянии между ними можно принять эквивалентную расчетную схему, либо сведя сваи в пять рядов, либо повысив соответствующим образом прочностные параметры в объеме грунта, вмещающего сваи или сетки.

10.2.8. К поверхности грунта может быть приложена вертикальная равномерно-распределенная ступенчатая (до 40 ступеней) нагрузка двух типов: постоянная (от зданий и сооружений), значение которой не зависит от положения поверхности сдвига; временная (от транспорта, толпы, грузов и

т.п.), учет которой производится только в случае, если она уменьшает устойчивость.

10.2.9. В массиве грунта может быть приложено до 400 наклонных сосредоточенных сил, с помощью которых можно передать на грунт ниже его поверхности нагрузки от свай, ввести в расчет, например, фильтрационное давление воды, а также вес воды, приложенный к поверхности водоупора.

10.2.10. В случае, когда задана поверхность воды в грунте и положение водоупора, величины и направление фильтрационных сил определяются автоматически. Это касается и случая, когда к нижней поверхности водоупора приложена нагрузка от воды, находящейся под напором, если задана установившаяся пьезометрическая поверхность этой воды.

10.2.11. Программы позволяют учитывать любую реализацию сил трения и сцепления по вертикальным плоскостям (между блоками), как постоянную для всего сдвигаемого массива грунта, так и переменную вдоль поверхности скольжения.

10.2.12. Программы имеют развитую систему формального и смыслового контроля исходных данных, большое количество подсказок и других элементов «дружественного» интерфейса (например, в программах «RUST-51w», «RUST-51wx», «RUST-51wu» - рис. 7.1 и 7.2, программы «RUST-M» – рис. 7.3).

10.2.13. В результате расчета выдаются (в текстовом – в редакторе Word и/или графическом – в ACAD виде):

- поверхность, ограничивающая массив грунта, в котором получены достоверные результаты расчета;

- поверхности с максимальным положительным значением E (поверхности сдвига);

- поверхность с минимальным значением k_{st} (если $1.0 < k_{st}$);
- наинизшие поверхности с $E = 0$ и $k_{st} = 1$ в створе с $X = 0$ (если это необходимо, например, для определения минимального заглубления свай или шпунтового ряда исходя из требований обеспечения общей устойчивости и пр.);
- величины $\gamma_c F$, $\gamma_c R / \gamma_n$, E и k_{st} для вертикального сечения с координатой $X = 0$ по всей высоте массива;

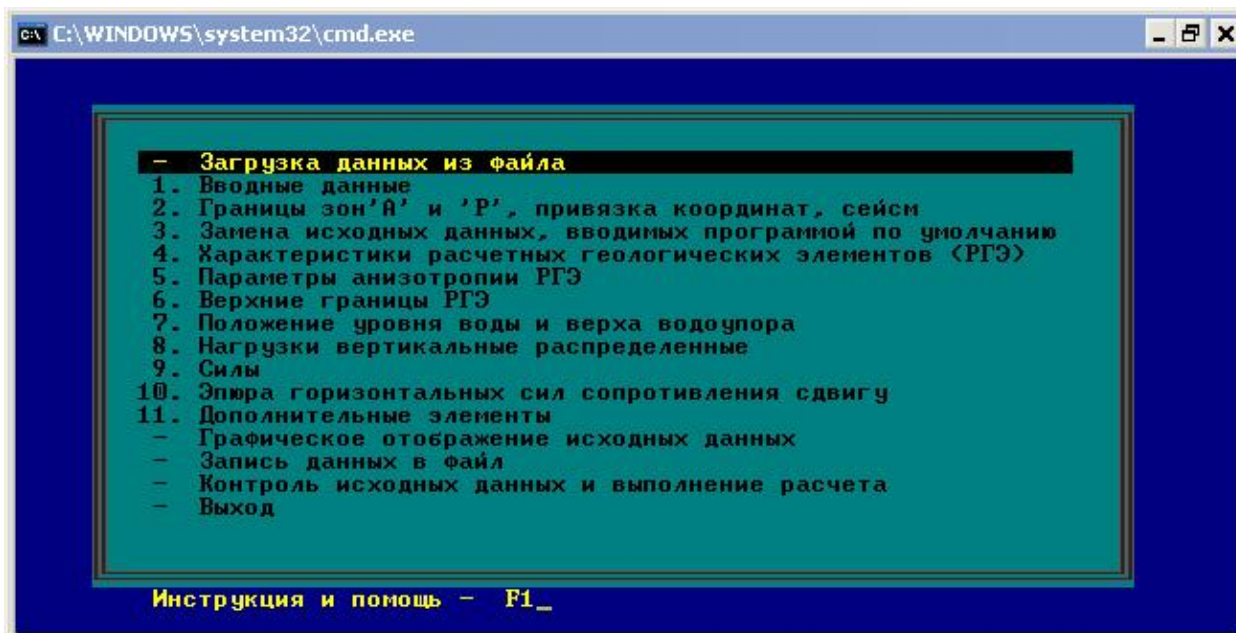


Рис. 7.1. Главное меню ввода информации

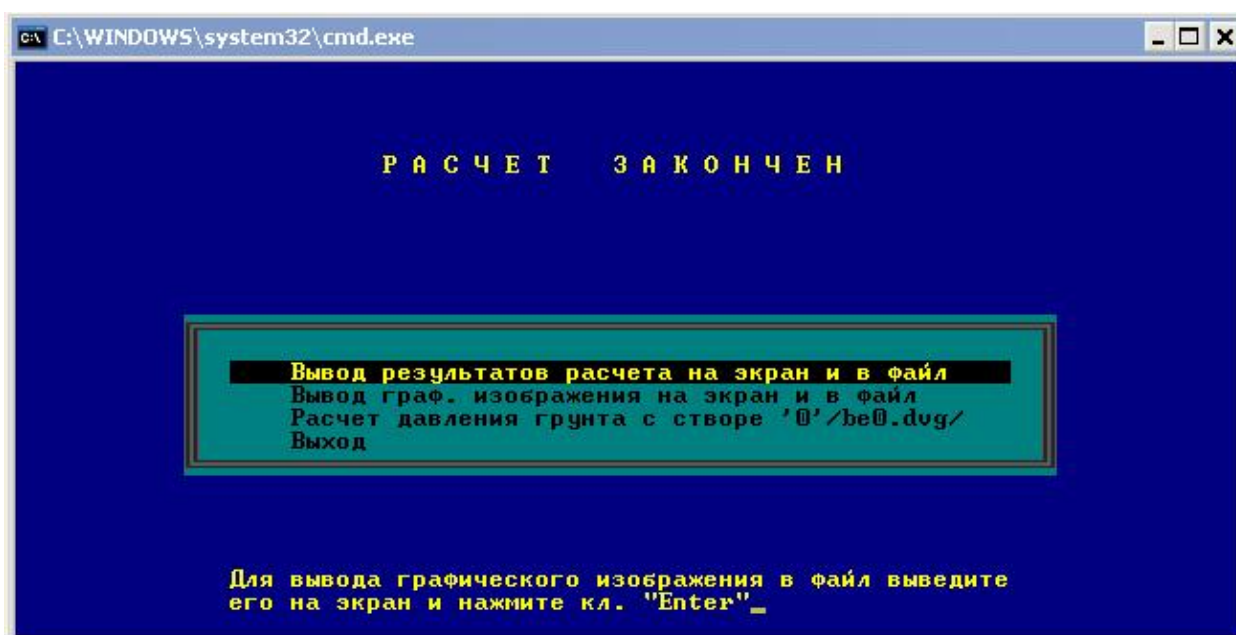


Рис. 7.2. Главное меню выдачи результатов расчета

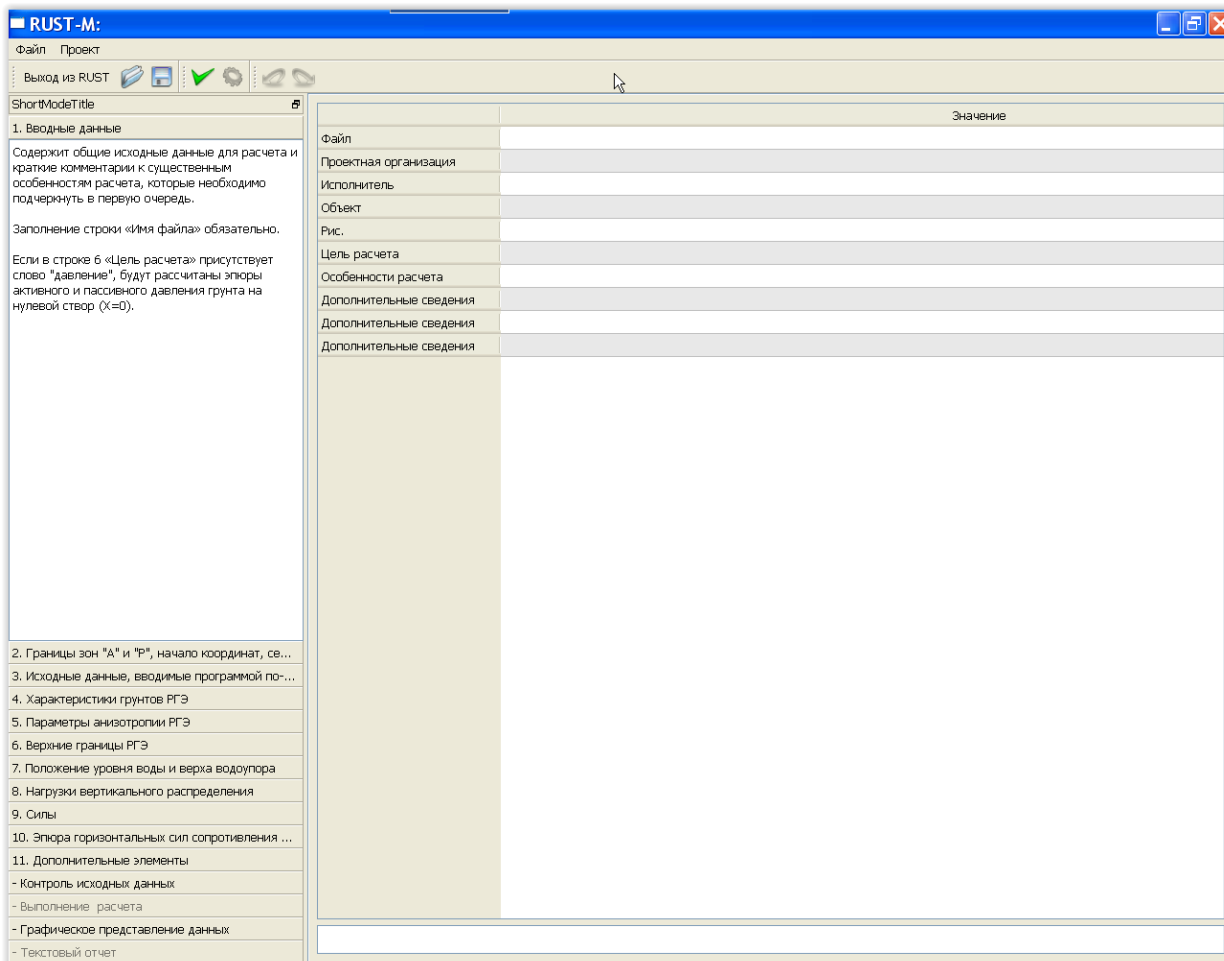


Рис. 7.3. Главное меню ввода информации программы RUST-M

- координаты точек выхода на поверхность грунта поверхностей скольжения, не пересекающих вертикальное сечение с $X = 0$ (если они имеются), соответствующие значения E , а также координаты самих поверхностей скольжения;

- эпюры оползневого давления (если в этом есть необходимость);
- положение и относительная величина сил фильтрационного давления воды;
- таблица с условными обозначениями и параметрами прочности грунтов РГЭ.

10.2.14. В приложении Г приведены примеры расчетов. В приложении Д показан пример использования математического моделирования для уточнения геологического строения оползнеопасного участка берега водохранилища.

7.3. Программа «kRUST»

10.3.1. Программа «kRUST-51» предназначена для выполнения расчетов устойчивости в случае поворота части массива грунта по круглоцилиндрической поверхности. Программа осуществляет их полный перебор с определенным шагом по горизонтали и вертикали, с помощью которого решается многоэкстремальная вариационная задача и выявляются как глобальная, так и локальные поверхности скольжения.

Примечание. Размер и расположение поверхности скольжения исходно определяются не величиной радиуса и положением центра вращения, а дугой, построенной по трем точкам: двум на поверхности массива грунта и одной внутри его.

10.3.2. Программа «kRUST-51» работает на том же массиве исходных данных, что и другие программы серии «RUST».

10.3.3. Критерием обеспечения расчетной устойчивости является условие 6.3, в котором F и R - расчетные номинальные значения соответственно моментов сдвигающей силы и силы предельного сопротивления.

10.3.4. Рассчитываемый массив грунта автоматически разделяется на вертикальные блоки. Их количество (до 280) зависит от сложности строения грунтового массива, его размеров и требуемой точности расчетов. При этом реальная погрешность, связанная с дискретностью математической модели, как показывают методические расчеты, не превышает 2% (в сторону занижения устойчивости).

10.3.5. Программа имеет развитую систему формального и смыслового контроля исходных данных, большое количество подсказок и др. элементов «дружественного» интерфейса.

10.3.6. Результаты расчета выдаются в текстовом редакторе Word и в графическом ACAD.

10.4. Программа «PLAXIS»

10.4.1. Программа PLAXIS 2D (версия 8.0) [27] состоит из набора подпрограмм для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния системы «основание-фундамент-сооружение» в условиях плоской и осесимметричной задач.

10.4.2. Программа предназначена для решения сложных геотехнических задач пошагово, на этапах строительства, эксплуатации и реконструкции сооружения, т.е. с учетом истории загрузки массива грунта. Программа позволяет выполнять расчеты напряжений и деформаций в элементах системы основание-фундамент-сооружение, несущей способности грунтовых оснований, откосов и склонов, подпорных стен и пр.; избыточного порового давления в процессе консолидации водонасыщенных глинистых грунтов; напорной и безнапорной фильтрации при установившемся режиме.

10.4.3. Грунты могут моделироваться упругопластической моделью Кулона-Мора, моделью слабого грунта типа Cam-Clay, упругопластической моделью упрочняющего грунта, упругопластической моделью анизотропного скального грунта, реологической моделью, учитывающей ползучесть грунта, моделями, определенными пользователем.

10.4.4. Рассчитываемый массив грунта моделируется сеткой конечных элементов с возможностью общего и локального измельчения сетки. Погрешность, связанная с дискретностью математической модели, как показывают методические расчеты, при стандартной настройке не должна превышать 3%.

Для моделирования грунтовых массивов и массивных сооружений предусмотрены 6-ти и 15-ти узловые треугольные элементы.

Строительные конструкции моделируются набором специальных элементов: плитных (для моделирования гибких плоских конструкций типа шпунтовых стен), стержневых (для моделирования анкеров, распорок, стоек и пр.), контактных, тонких плоских (для моделирования геотекстиля, геосеток и т.п).

Специальные контактные элементы (интерфейсы) предназначены для моделирования взаимодействия грунта и сооружения, водонепроницаемых поверхностей и пр.

Для моделирования анкеров, в том числе преднапряженных, и сжатых элементов конструкции (стоек, распорок) используются упругопластичные пружинные элементы.

Армирующие грунт элементы (геосетки, георешетки, геотекстиль, инъекционные анкеры) могут быть смоделированы с помощью специальных элементов, работающих на растяжение.

10.4.5. Программа PLAXIS различает дренированный и недренированный грунты для моделирования соответственно водопроницаемых песков и практически непроницаемых глин, а также непористые материалы (бетон, скала). Для недренированных грунтов в расчете вычисляется избыточное поровое давление. Однако возможно рассматривать глинистые грунты как непористые и вводить надренированные параметры прочности, полученные без учета порового давления.

10.4.6. Программа PLAXIS выполняет расчет устойчивости методом «снижения прочностных характеристик грунта φ и c ». Для этого параметры прочности всех грунтов последовательно и пропорционально уменьшаются до тех пор, пока не произойдет разрушение. После чего вычисляется коэффициент устойчивости.

10.4.7. Программа позволяет учесть:

- анизотропию РГЭ, включая вызванную системой трещин до трех направлений;

- ползучесть слабого грунта (что, однако, усложняет расчет и делает его менее надежным);
- увеличение сцепления с глубиной;
- ограничение на растягивающие напряжения (по умолчанию оно принимается равным нулю);
- произвольно ориентированные и расположенные сосредоточенные и распределенные нагрузки.

10.4.8. В случае, когда задана поверхность воды в грунте, величины и направление фильтрационных сил определяются автоматически. Но давление воды может быть определено и на основании фильтрационного расчета при задании граничных условий по напору и расходу.

10.4.9. Расчетные схемы создаются путем графического ввода. Результаты расчетов представляются в виде графических материалов (таблицы, изолинии, анимации) и виде отчетов в редакторе Word.

10.4.10. Для расчетов общей устойчивости естественных массивов грунта, в отличие от искусственных насыпей, программа PLAXIS, как и другие программы, основанные на методе конечных элементов, может использоваться с большими оговорками.

Во-первых, метод конечных элементов, являясь принципиально деформационным, применительно к расчетам устойчивости грунтовых массивов вводит ряд допущений с неопределенными последствиями (например, на количество итераций, на величину перемещений и др.). Поэтому этим методом можно объяснить все, что угодно, но прогностическая ценность его, по меньшей мере, сомнительна. Удовлетворительные результаты расчета противооползневого мероприятия, вероятно, можно получить, если выполнена настройка программы путем расчетов конкретного оползня на данном объекте.

Во-вторых, выбор расчетной модели грунта и интерпретация результатов расчета требуют высокой квалификации, и даже специализации, инженера, его выполняющего.

Список использованных источников

1. СП 58.13330.2012 «СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования».
2. СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений».
3. Проектирование оснований гидротехнических сооружений. (Пособие к СНиП 2.02.02-85). П 13-89/ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, Л., 1989.
4. Проектирование причальных набережных. Пособие к СН-РФ 54.1-85 / Гипроречтранс, М. 1991, книги 1-7.
5. В.Э.Даревский, А.М.Романов. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набережные, берегоукрепления, подпорные стены, защита от оползней и пр.). / Москва: изд. «Мастер», 2011, 596 с..
6. В.Э.Даревский. Сооружения, обеспечивающие устойчивость грунтовых массивов (рукопись книги), 2011 – 302 с..
7. В.В.Болотин. Статистические методы в строительной механике. М.: Стройиздат, 1961, 202 с.
8. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. / ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.
9. Рекомендации по прогнозу устойчивости обвальнo-оползневых склонов./ ПНИИИС, - М.: Стройиздат, 1986, - 120 с.
10. СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования.»
11. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.

Часть 1. Общие правила производства работ.

Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов.

Часть V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями.

12. РД 31.31.25-85. Инструкция по проектированию причальных сооружений для условий Арктики. М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986.

13. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения.

14. Проектирование противооползневых мероприятий. Пособие (под ред. проф. М.Н.Гольдштейна)/ ДИИЖТ, «Вопросы геотехники», вып 18. – Кишинев: «Картя Молдавеняска», 1971. – 180 с.

15. Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов. П.783-85./ М.: Гидропроект, 1986.

16. Руководство по проектированию дренажей зданий и сооружений.

17. Проектирование дренажных и противofильтрационных устройств подземных гидротехнических сооружений (Пособие к СНиП 2.06.09-84).

18. Инструкция по проектированию защиты от оползней населенных пунктов, зданий и сооружений.- РСФСР, Мин. Жил.-ком. хозяйства.- М.: 1976.

19. СП 103.13330.2012 «СНиП 2.06.14-85. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод».

20. Проектирование дренажных и противofильтрационных устройств подземных гидротехнических сооружений (Пособие к СНиП 2.06.09-84).

21. ТСН 50-304-2000(МГСН 2.07-97). Основания, фундаменты и подземные сооружения.

22. СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений».

23. П.Л.Иванов. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов./ М.: Высшая школа, 1991. – 447 с.

24. СП 58.13330.2012 «СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов.

25. СП 14.13330.20124 «СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах».
26. СП 40.13330.2012 «СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные».
27. Plaxis/Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. Руководство пользователя. Версия 8. Перевод на русский язык.
28. Рекомендации по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. Пособие П 92-80/ВНИИГ, Л., 1980.
29. П 13-89 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод.
30. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
31. ГОСТ 20276-2-12 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости)
32. СП 101.13330.2012 «СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения».

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В настоящем приложении помещены буквенные обозначения величин, использованные более, чем в одном пункте Руководства, В скобках указаны номера пунктов, где упоминается указанная величина.

Коэффициенты надёжности

- γ_c – условий работы
- γ_F – по нагрузке
- γ_{lc} – сочетания нагрузок
- γ_n – учитывающий значимость объекта
- K_l – то же, при учёте сейсмических воздействий
- k_{st} – по устойчивости

Геометрические характеристики

- b – ширина сваи
- b_i – ширина расчётного элемента призмы скольжения
- H_d – гидростатический или фильтрационный напор
- l – расстояние между сваями в ряду
- l_i – средняя ширина расчётной полосы
- u – горизонтальное перемещение; u_{lim} – предельное значение u
- α_i – угол наклона плоскости скольжения в грунте к вертикали
- β_i – угол наклона сил взаимодействия между элементами призмы скольжения; β_{mi} – мобилизованное значение β_i
- ε – угол наклона расчётной поверхности к вертикали при определении давления грунта

Характеристика грунтов

- c – удельное сцепление; c_l и c_N – расчётное и нормативное значение c
- e – коэффициент пористости
- γ – удельный вес грунта, в том числе с учётом поправки на $\Delta\gamma_w$; γ_l и γ_n –

расчётное и нормативное значение γ

γ_b – удельный вес грунта с учётом взвешивающего действия воды

γ_d – удельный вес сухого грунта с учётом взвешенного действия воды

γ_s – удельный вес частиц грунта

φ – угол внутреннего трения; φ_b , φ_N и φ_{lim} – расчётное, нормативное и предельное значение φ

φ_s – угол трения по расчётной поверхности

Силы, нагрузки, напряжения, сопротивления

E_{ah} и E_{av} – горизонтальная и вертикальная составляющие силы активного давления грунта

E_{ph} и E_{pv} – то же, пассивного давления

F – расчётное значение сдвигающей силы; F_{nom} – номинальное значение силы F

F_{gr} – горизонтальная сила, передаваемая соседней расчётной полосе

F_{hi} – сумма горизонтальных составляющих сил, действующих на элемент призмы скольжения

F_{wi} – горизонтальная составляющая силы давления свободной воды на поверхность элемента призмы скольжения

G_i – вес i -го элемента призмы скольжения с учётом нагрузок на его поверхности; $G_i(siesm)$ – то же, но с учётом воды в порах

p_{ano} и p_{pno} – нормальные составляющие распределённого по длине свай, соответственно, активного и пассивного давления грунта

p_{ah} и p_{av} – горизонтальная и вертикальная составляющие интенсивности активного давления грунта

p_{ph} и p_{pv} – то же, пассивного давления

p_{ult} – предельное значение интенсивности давления грунта

F_{wi} – вертикальная составляющая силы давления свободной воды на поверхность элемента призмы скольжения от сейсмического воздействия

R – расчётное значение силы предельного сопротивления; R_{nom} – номинальное значение силы R

R_g – предельная сила сопротивления свайного ряда в пределах ширины расчётной полосы

R_{gr} – горизонтальная сила бокового сопротивления для расчётной полосы; $R_{gr.lim}$ – предельное значение силы R_{gr}

R_s – несущая способность свай на перерезывание ей поверхностью скольжения

S_{hi} и S_{vi} – горизонтальная и вертикальная составляющие сейсмических сил

ΔE_{hi} – горизонтальная составляющая неуравновешенной силы в пределах элемента призмы скольжения

$\Delta E_{hi.r}$ – удерживающая сила ΔE_{hi}

$\Delta E_{hi.s}$ – сдвигающая сила ΔE_{hi} ; $\Delta E_{hi.s.nom}$ - номинальное значение силы $\Delta E_{hi.s}$

$\Delta E_{hi (seism)}$ – сила дополнительного сейсмического давления

Прочие

A – максимальная амплитуда ускорения основания, выраженная в долях ускорения силы тяжести

k_a и k_p – коэффициенты, учитывающие пространственную работу грунта; k_{ult} - предельное значение указанных коэффициентов

J – гидравлический градиент напора; J_t – то же, в пределах объёма v_t гидравлической сетки

γ_w – удельный вес воды

$\Delta\gamma_w$ – поправка к удельному весу грунта за счёт фильтрационного давления воды

МЕТОД СЦЕНКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАЗДЕЛА 6

1. В настоящем приложении рекомендован приближенный метод оценки конечного горизонтального смещения грунтового массива с использованием основных зависимостей метода расчета общей устойчивости, изложенного в разделе 2.

2. Горизонтальное смещение массива грунта определяется по формуле

$$U = U_{ult} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{k_{st}^3} \right)^{0.5} \right], \quad (1)$$

где

U_{ult} - предельное перемещение грунта, соответствующее полному развитию сил сопротивления;

k_{st} - коэффициент устойчивости, определенный по формуле (6.3).

Примечания.

1. Для расчета общих перемещений необходимо предварительно найми наихудшую с точки зрения устойчивости поверхность в грунт определить номинальные сдвигающую F_{nom} и удерживающую R_{nom} силы в соответствии с указаниями раздела 6.

2. Пример определения общих смещений приведен в приложении 6.

3. Предельное перемещение допускается определять по следующей эмпирической зависимости

$$U_{ult} = \frac{1 - K}{10\gamma_w} x \frac{R_{nom} - R_g}{h}, \quad (2)$$

где

K - расчетное значение коэффициента уплотнения грунта, определяемое по указаниям п.4,

h - средняя толщина (по вертикали) массива грунта, отделяемого наихудшей расчётной поверхностью (площадь сечения, делённая на горизонтальную проекцию длины),

γ_w - удельный вес воды.

4. Коэффициент уплотнения грунта K определяется:

а) для песчано-гравелистых грунтов по формуле

$$K = \frac{\gamma_{d.N}}{\gamma_{d.max}} = \frac{\gamma_{s.N}}{\gamma_{d.max}(1+e)}, \quad (3)$$

где $\gamma_{d.max}$ - удельный вес сухого грунта при максимальном уплотнении в приборе стандартного уплотнения; остальные обозначения те же, что и в п. 6.7;

б) для глинистых грунтов - на основании специального исследования;

в) при отсутствии опытных данных - по таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов уплотнения K

Тип грунта	Условия формирования	Значение
Песчаный	насыпка без уплотнения	0.75
	укладка гидромеханизированным способом, послойная укладка с виброуплотнением	0.88
	естественные	0.9
Глинистый	естественные	0.95
Полускальный и скальный	естественные	0.99

Примечания.

1. Указанные в таблице 1 значения, как правило, приводят к несколько завышенной, иногда в 2 - 3. раза, оценке перемещений, что, однако, находится в пределах точности подобных расчетов.

2. Для неоднородных оснований, допускается принимать приблизительно средневзвешенное значение K в пределах удерживающей части массива грунта, отделенного наилучшей поверхностью.

Литература.

1. Дуброва Г.А. Методы расчёта давления грунта на транспортные сооружения. М: Транспорт, 1989. - 232 с.

2. Гуревич Е.Б., Даревский В.Э., Самарин В.Ф., Фёдоров Ю.М. Портовые гидротехнические сооружения. М.: Транспорт, 1992.- 256 с.

УЧЁТ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВАЙ И ДР.

1. Сила сопротивления свайного ряда зависит от длины свай, их расположения в плане и по отношению к поверхности скольжения, условий закрепления концов свай, прочности и деформативности свай и окружающего грунта.

Расчетное значение этой силы зависит от цели расчета и различно при определении прочности сваи и их экранирующего (снижающего оползневое давление) влияния (см. п. 3).

Аналогичные зависимости имеют место и для других конструктивных элементов, пересекаемых поверхностью скольжения (заглубленные стены, шпунтовые ряды, коммуникации и пр.).

Учет указанных факторов представляет сложную задачу, которая может быть приближенно решена с помощью ЭВМ после разработки соответствующей программы.

В частном случае, когда сваи устанавливаются только для увеличения устойчивости сползающего массива грунта, можно приближенно учесть силы сопротивления свай сдвигу грунта и необходимую для этого их прочность недеформационным методом, учитывающим полную реализацию отпора: грунта перед сваей или полную реализацию прочности сваи. Соответствующий метод расчета применительно к комбинации ручного и машинного счета (по программам, предназначенным для подпорных стен) приведен в п.п. 2 - 5.

2. Предельная сила сопротивления свайного ряда определяется по формуле

$$R_g = \frac{R_s \cos \varepsilon}{l} \quad (1)$$

где

R_s - несущая способность сваи, определяемая из расчета ее как балки, нагруженной распределенной по ее длине нагрузкой P_s ;

l - расстояние между сваями в осях (перпендикулярно к направлению сдвига);

ε - угол наклона сваи к вертикали.

Нагрузка P_S выше поверхности сдвига действует в сторону перемещения массива грунта, а ниже - в противоположную (рис. 1).

$$P_S = P_{pno} - P_{ano} \quad (2)$$

где

P_{pno} - нормальная; составляющая распределенного по длине сваи пассивного давления грунта, определяемая по указаниям п. 4;

P_{ano} - минимальное значение нормальной составляющей активного давления грунта, распределенного по длине сваи и определяемого по указаниям п. 4.

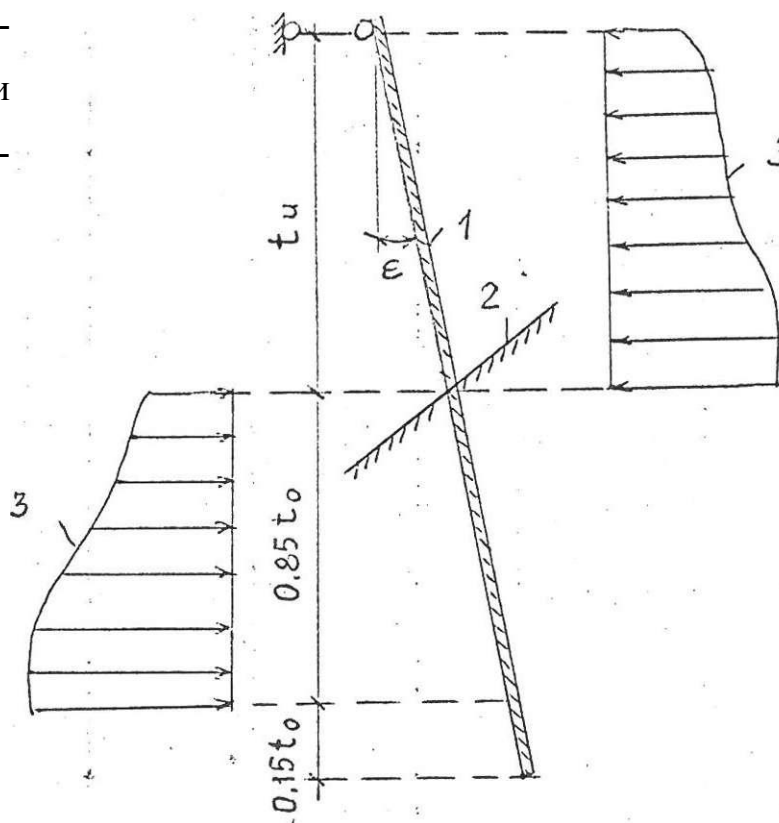


Рис. 1. Нагрузка от грунта, действующая на сваю (применительно к варианту с опорой сверху)

1 - свая, 2 - поверхность скольжения, 3 - эпюра P_S

3. Расчет свай, как балки, может быть выполнен с помощью ЭВМ, а также известным графоаналитическим способом с построением силового и веревочного многоугольников. Последний способ включает:

- а) замену эпюры P_S сосредоточенными силами P_i ;
- б) построение силового и веревочного многоугольников, эпюры изгибающих, моментов и эпюры поперечных сил (см. [1], книги 4 и 5);
- в) определение максимального по абсолютной величине изгибающего момента в свае (зависящего от условий закрепления концов свай) по формуле

$$M_{max} = \eta X_{max}, \quad (3)$$

где

η - полюсное расстояние силового многоугольника;

X_{max} - максимальная ордината веревочного многоугольника.

Несущая способность свай R_S соответствует поперечной силе на уровне поверхности сдвига, если прочность свай достаточна для восприятия M_{max} . Иначе необходимо уменьшить шаг свай или увеличить их прочность.

Замыкающая веревочного многоугольника проводится в зависимости от типа закрепления концов свай, все возможные варианты которого показаны на рис. 2, а - и, а пример - на рис. 2, к. Варианты 1 - 4, соответствующие номерам свай на рис. 2, сводятся к расчету свай, имеющих реальные или условные (вблизи от свободных концов) шарнирные опоры.

Примечания.

1. Условная шарнирная опора у свободного конца располагается на уровне сечения с изгибающим моментом, равным нулю, Найти такое положение ложно путем последовательных приближений следующим образом. Задавая расчетную длину свай меньше фактической, проверяют достаточность длины исключенной из расчета части свай для восприятия реакции грунта, необходимой для выполнения заданного условия. Однако такой путь трудоемок и обладает рядом условностей, которые его обесценивают в сравнении с назначением

расчетной длины сваи по аналогии с длиной шунта, например, безанкерного больверка без последующего пересчета (хотя он и не исключается).

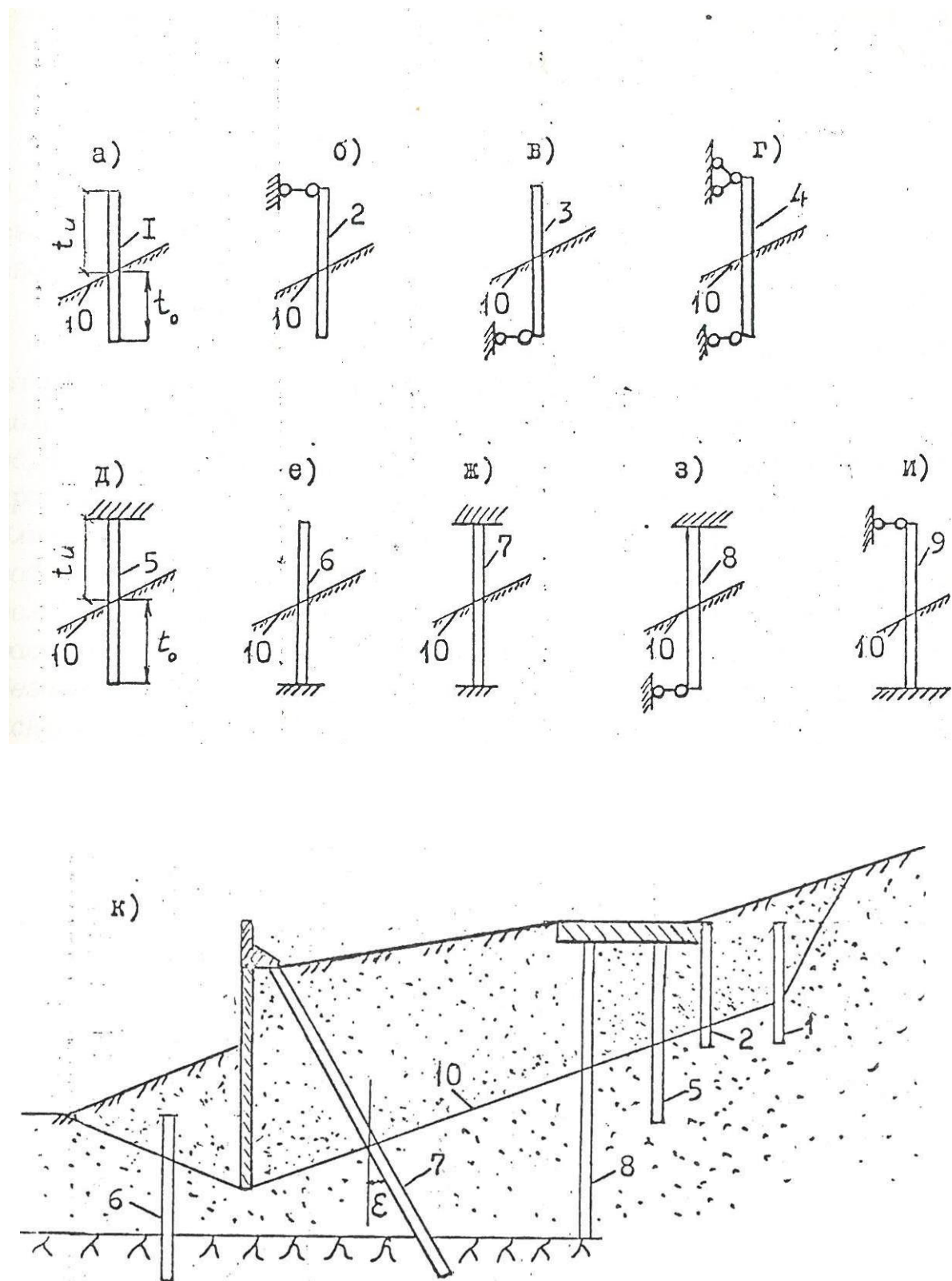
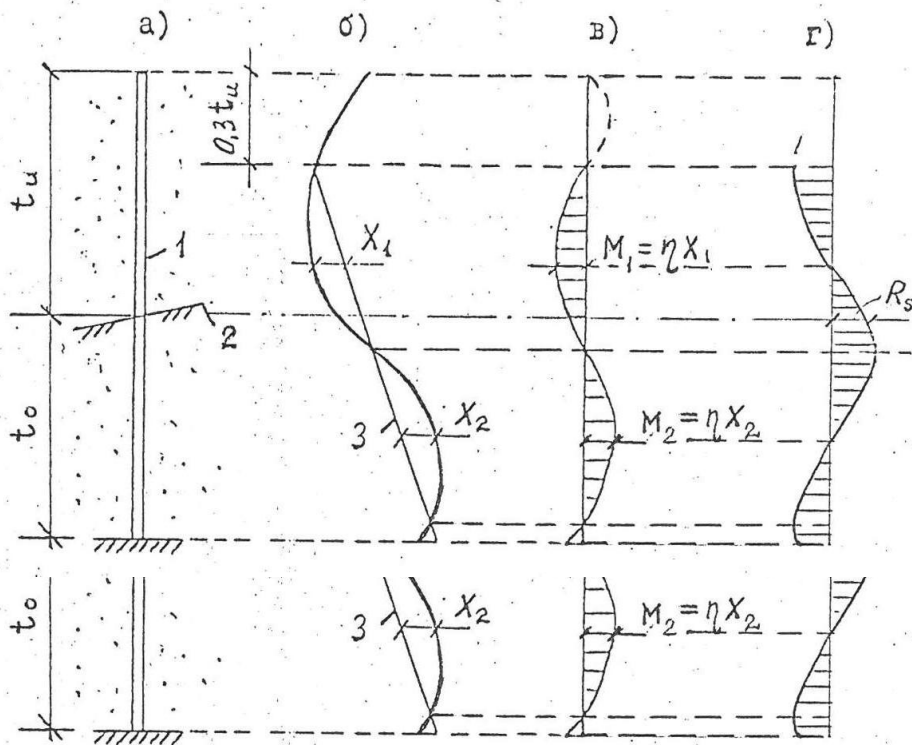


Рис. 2. Расчетные случаи при определении силы сопротивления свайного ряда



а... и - расчетные схемы, к - примеры (номера свай соответствуют цифрам на расчетных схемах)

10 - поверхность скольжения, 11 - скальный грунт

Рис. 3. Расчетная схема в случае защемления нижнего конца сваи
(вариант Г на рис. 2)

а - схема сваи, б - веревочный многоугольник (построение см. в [1]), в - эпюра изгибающих моментов, г - эпюра поперечных сил

1 - свая, 2 - поверхность скольжения, 3 - замыкающая веревочного многоугольника

Рекомендуется условную опору располагать в первом приближении на расстоянии $0.15 t_o$ от нижнего свободного конца сваи и $0.3 t_u$ от верхнего свободного конца, где t_o и t_u - расстояния, соответственно, от нижнего и верхнего конца до расчетной поверхности скольжения (см. рис.1).

2. При расчете вариантов 5 - 7 можно воспользоваться техникой

счета, рассмотренной в [1], п. 5.7, в частности, указаниями по определению соотношения между изгибающими моментами в свае разного знака при проведении замыкающей веревочного многоугольника. Можно

также допустить, что в результате пластических деформаций максимальные изгибающие моменты разных знаков в предельном состоянии выравниваются.

Пример, показанный на рис.1, соответствует случаю, когда свая имеет сверху шарнирную опору, а внизу свободный конец. На рис. 3 показана расчетная схема при защемлении нижнего конца сваи в скале и свободном верхнем конце.

4. Нормальные составляющие активного P_{ano} и пассивного P_{pno} давления на отдельно стоящую опору (сваю) на глубине γ на единицу высоты определяются по формулам:

$$P_{ano} = P_{ah} k_a b \frac{\cos\varphi_s}{\cos(\varepsilon + \varphi_s)}, \quad (4)$$

$$P_{pno} = P_{ph} k_p b \frac{\cos\varphi_s}{\cos(\varepsilon + \varphi_s)}, \quad (5)$$

но не более P_{ult} , характеризующую местную прочность грунта (см. п. 5),

где

P_{ah} и P_{ph} - горизонтальные составляющие интенсивности соответственно активного и пассивного давления грунта на 1 м высоты, определяемые по указаниям раздела 3 при значении углов φ и φ_s по указаниям п. 6;

k_a и k_p - коэффициенты, учитывающие пространственную работу грунта и определяемые по формулам:

при $\gamma \leq \gamma_{cr}$

$$k_{a, p} = l + \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{\operatorname{tg}(\frac{\pi}{4} \pm \frac{\varphi}{2})b} \frac{\gamma}{b}, \quad (6)$$

при $\gamma > \gamma_{cr}$

$$k_{a, p} = l + (l - 0,5 \frac{\gamma_{cr}}{\gamma}) \frac{l-b}{b}, \quad (7)$$

где

$$\gamma_{cr} = \frac{1-b}{2} \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}; \quad (8)$$

l и b - соответственно ширина (диаметр) отдельно стоящей сваи и расстояние между ними в осях;

φ - угол внутреннего трения, определяемый по указаниям п. 6.

Для одиночных опор коэффициенты k_a и k_p - следует определять по формуле (6).

В формулах (6) и (8) верхние знаки относятся к активному давлению, а нижние – к пассивному.

5. В общем случае P_{ult} может быть определено по формуле

$$P_{ult} = b \lambda_{ult} \left(\sum_1^n \gamma_i \Delta \gamma_i + P_g \right) - \frac{C h}{\operatorname{tg} \varphi} (l - \lambda_{ult} \lambda) + q_f; \quad (9)$$

где

b , λ_i , $\Delta \gamma_i$, P_g , C и n – те же, что и при определении давления грунта по указаниям раздела 8, а также по [2] и [1], книга 3;

φ – вводимое в расчёт значение угла внутреннего трения, определяемое по указаниям п. 6;

λ – поправочный коэффициент, зависящий от принятого метода расчёта (см. ниже);

q_f – сила трения по боковой поверхности сваи на 1 м ее длины: для круглых свай допускается принимать $q_f = 0$, для призматических опор (пренебрегая C_s)

$$q_f = \lambda_{oh} \left(\sum_1^n \gamma_i \Delta \gamma_i + P_g \right) \operatorname{tg} \varphi; \quad (10)$$

λ_{oh} – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя; здесь допускается принять $\lambda_{oh} = 0,5$;

t_s – толщина сваи в направлении её смещения.

Если исходить из аналогии с расчётом анкерных тяг набережных, то можно принять $\lambda = 1$, а

$$\lambda_{ult} = (\operatorname{tg} \varphi \sqrt{(l/d)_{ult}} + \frac{1}{\cos \varphi}) \frac{l - (l/b)_{ult}}{1 - 1/b}, \quad (11)$$

где l – расстояние в осях между сваями в ряду, расположенном перпендикулярно к направлению смещения свай, но не более $(l/b)_{ult} b$;

$$(l/b)_{ult} = 4 + \sqrt{2} \operatorname{tg} \varphi \quad (12)$$

Если исходить из аналогии с ленточным фундаментом, то

$$\lambda = \lambda_{ah\varphi};$$

$$\lambda_{ult} = N_q \frac{1 - (l/b)_{ult}}{1 - 1/b} \quad (13)$$

(обычно $(l/b)_{ult} = 7 \dots 10$),

где N_q – коэффициент способности основания, определяемый в зависимости от φ при $\varphi_s = 0$ по [3], табл.7, или по формуле К.Терцаги

$$N_q = \frac{\exp[2(3\pi/4 - \varphi/2)\operatorname{tg}\varphi]}{2 \cos^2(\pi/4 - \varphi/2)} \quad (14)$$

φ_s – угол трения грунта по контакту с расчётной поверхностью.

Значения $\lambda \cdot \lambda_{ult}$ при $l/b \geq (l/b)_{ult}$, горизонтальной поверхности грунта и вертикальной свае приведены на рис. 4 (по ряду принимаемых на практике зависимостей).

При определении активного давления грунта на круглые в плане вертикальные сваи в несвязных грунтах при горизонтальной поверхности грунта и $l/b \geq (l/b)_{ult}$ проверку на P_{ult} можно не производить, если k_a , определенное по формулам, не превосходит значений k_{ult} определенных по графику на рис. 5, или когда y/b не превосходит $(y/b)_{ult}$, определенного по тому же графику. Если же вычисленное k_a окажется больше k_{ult} , то следует принимать $k_a = k_{ult}$.

Примечание. Ограничение на P_{ult} как видно из рис.5, может иметь значение при слабых, а также глинистых грунтах, когда, например, нужно учесть экранирование сваями. В этом случае оценки P_{ult} , полученные различными методами, сближаются.

6. Значения угла внутреннего, трения φ и угла трения по контакту с сооружением φ_s при определении давления грунта принимаются:

при расчете прочности и устойчивости свай - теми же, что и при обычном определении давления грунта, т.е. по материалам инженерных изысканий;

при учете эффекта экранирования - равными нулю.

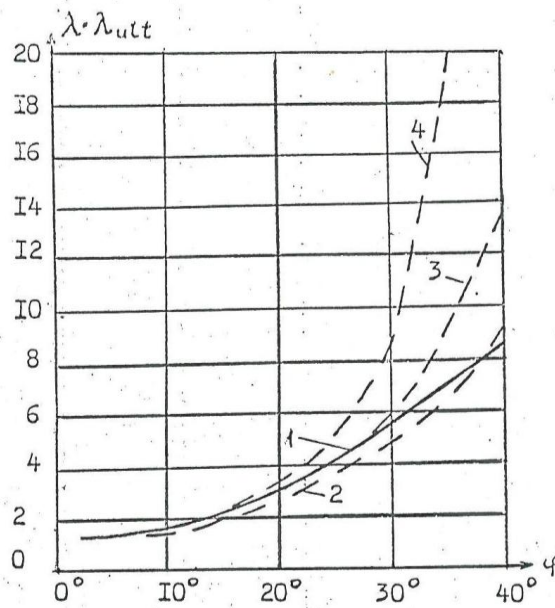


Рис. 4. Зависимость $\lambda \cdot \lambda_{ult}$ при $l/b \geq (l/b)_{ult}$ от φ

1 – при λ_{ult} по формуле (11): $k_{ult} = \lambda \cdot \lambda_{ult} / \lambda_{ah\varphi}$; 2 – при λ_{ult} , определённом как для ленточного фундамента; $k_{ult} = N_q$ по табл.7 СНиП 2.02.01-83; 3 – то же, $k_{ult} = N_q$ по формуле (14); 4 – то же, $k_{ult} = N_q$ по рекомендации А.М.Романова.

Примечание. Из приведенных зависимостей в расчетах рекомендуется принимать ту, которая дает наиболее осторожное решение

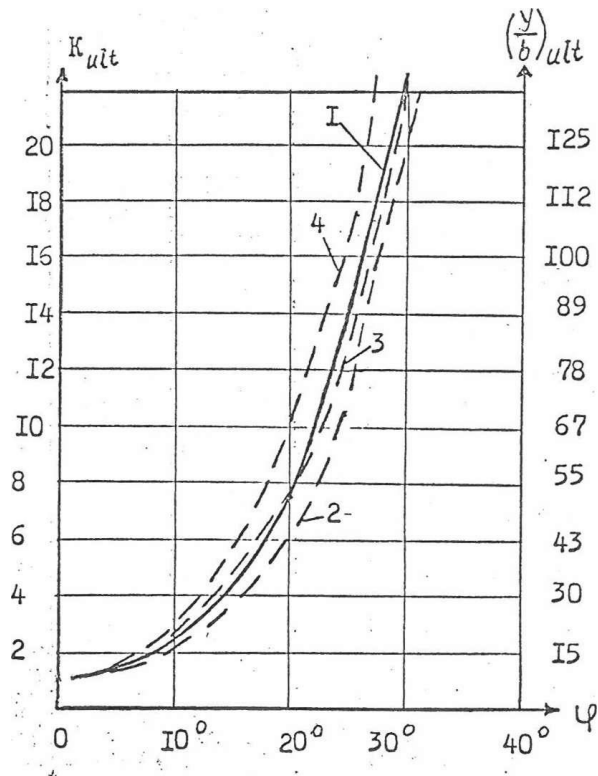


Рис. 5. Зависимость k_{ult} и $(\frac{y}{b})_{ult}$ от φ
1 – 4 и примечание – те же, что и на рис.4

Литература

1. Проектирование причальных набережных. Пособие к СН-РФ 54.1-85 / Гипроречтранс, М. 1991, книги 1-7.
2. СП 101.13330.2012 «СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения».
3. СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений».

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

1. В расчетах общей устойчивости используются параметры прочности грунта, определенные на основании полевых и лабораторных исследований в соответствии с требованиями [10], [2], [31] и других.

Как правило, используется срез образцов (или целиков) при естественной влажности и полном водонасыщении:

- а) ненарушенной структуры;
- б) по предварительно подготовленной поверхности (способ повторного среза или способ "плашек") - для оценки остаточной прочности грунта;
- в) по имеющейся в образце (целике) поверхности ослабления.

При невозможности отбора образца в зоне ослабления могут быть рекомендованы испытания на срез образцов из грунта нарушенной структуры - искусственных паст различной влажности, имитирующих состояние грунта вблизи зеркала оползня.

Примечание. Испытания сопротивления грунтов сдвигу должны выполняться с учетом всего многообразия условий, в которых существует рассматриваемый склон. Эти условия часто не известны полностью до проведения, испытаний и выполнения предварительных расчетов. Поэтому необходимы достаточно полные данные о геоморфологических особенностях склона, возрасте и генезисе пород, условиях увлажнения и пр. Важную информацию может дать минеральный и химический состав пород. Предварительная информация может быть получена из литературных источников, а также из архивных материалов исследований на этом и соседних участках.

По той же причине необходимы определения для каждого грунта кратковременной и длительной прочности с различными условиями консолидации и дренирования, образцов.

2. В расчетах следует использовать параметры длительной прочности грунтов по поверхности возможного сдвига.

2.1. Для несвязных грунтов параметры длительной прочности принимают равными полученным при быстром (ускоренном) испытании образцов.

2.2. Параметры длительной прочности глинистых грунтов определяются в специализированных лабораториях по специальным методикам. При невозможности специальных испытаний их допускается определять при сдвиге по подготовленной поверхности и по имеющейся поверхности ослабления, причем для зон, находящихся под водой или контактирующих с ней, – при полном водонасыщении грунта.

2.3. При контрольных расчетах, когда положение поверхности сдвига известно, а также в тех случаях, когда положение поверхности сдвига (полностью или частично) предопределено геологическим строением склона (например, поверхность котлована в связном грунте или прослойка с резко сниженными прочностными характеристиками грунта), параметры длительной прочности грунта принимаются только для указанных зон сдвига. В остальных случаях - для всего массива глинистого грунта.

2.4. Если на предварительной стадии расчетов отсутствуют данные о длительной прочности глинистых грунтов, то допускается принять угол внутреннего трения и удельное сцепление, полученные при быстром срезе образцов (целиков) ненарушенной структуры, с поправочными коэффициентами из таблицы 1 (по материалам исследований Р.С.Зиангирова, выполненных для ОАО «Гипроречтранс»).

Примечания.

1. *Параметры сдвига по подготовленной поверхности ("плашка по плашке") близки к параметрам сдвига, соответствующим пределу длительной прочности грунта, и несколько меньше последних для плотных и полускальных грунтов.*

2. *Реализация предела длительной прочности может произойти в отдаленном будущем или при заведомо недопустимых деформациях. Она мо-*

жет быть исключена в результате упрочнения грунта за счет консолидации, восстановления химических связей и пр. Поэтому расчет с такими параметрами может быть отнесен к особому сочетанию с соответственным снижением коэффициентов безопасности.

3. Параметры сдвига по подготовленной поверхности используются при контрольных расчетах склонов, потерявших устойчивость.

Табл. 1. Значения коэффициентов для определения параметров длительной прочности грунтов

Состояние породы	Супесь		Суглинок		Глина	
	K_φ	K_c	K_φ	K_c	K_φ	K_c
Твердая	0.45	0	0.65	0.43	1.0	0.45
Полутвердая	0.5		0.50	0.46	1.05	0.47
Тугопластичная	0.6		0.4	0.5	1.1	0.48
Мягкопластичная	0.7		0.35	0.52	1.15	0.52
Текучепластичная	0.8		0.3	0.53	1.2	0.53
Текучая	1.0		0.25	0.55	1.25	0.55

3. В расчетах необходимо учитывать возможное изменение прочности пород вследствие выполнения противооползневых мероприятий, обводнения и осушения склона, сейсмического воздействия, а также вибрационного воздействия от работающих машин и механизмов. Рекомендации по учету влияния указанных факторов приведены в [8] и других пособиях.

4. Расчетное значение удельного веса грунта γ_1 определяется при инженерных изысканиях с учетом его естественной влажности и взвешивании при расположении ниже уровня воды.

В случае, если изысканиями определены только нормативные значения параметров, то расчетные значения γ_1 определяются по указаниям п. 7 с учетом нормируемых коэффициентов надежности по нагрузке γ_F :

для веса частиц грунта $\gamma_F = 1.1$,

для воды в порах $\gamma_F = 1$.

В случае, если отсутствуют данные о расчетных значениях γ_1 и пористости, но известно нормативное значение γ_N , допускается расчетное значение определять по формуле

$$\gamma_I = \gamma_F \gamma_N, \quad (1)$$

где $\gamma_F = 1.1$.

Примечание. Суждение о том, взвешен грунт, находящийся ниже уровня воды, или нет, зависит от положения водоупора и поверхности скольжения.

5. Значения характеристик грунтов искусственных насыпей, уплотненных согласно СНиП на производство земляных работ, устанавливаются по характеристикам грунтов нарушенного сложения заданной плотности, а также по аналогам или справочным данным.

При отсутствии опытных данных допускается принимать для песчаных и гравелистых грунтов удельный вес нормативный $\gamma_N = 18 \text{ kN/m}^3$, а угол внутреннего трения на 10% меньше, чем для аналогичного грунта естественного сложения.

6. Для предварительной оценки несущей способности наиболее часто встречающихся четвертичных глинистых грунтов по простейшим визуальным признакам можно воспользоваться данными таблицы 2, где даны нормативные значения прочностных параметров.

7. Нормативный и расчетный удельный вес грунта определяется по формулам:

а) в воздушно-сухом состоянии

$$\gamma_{d.N} = \frac{\gamma_{s.N}}{1+e}, \quad (2)$$

$$\gamma_{d.I} = \gamma_{d.N} \gamma_F; \quad (3)$$

б) при полном водонасыщении

$$\gamma_{N.max} = \gamma_{d.N} + \gamma_w \frac{e}{1+e} = \gamma_{b.N} + \gamma_w \quad (4)$$

$$\gamma_{I,max} = \gamma_{d.I} + \gamma_w \frac{e}{1+e} = \gamma_{b.I} + \gamma_w \quad (5)$$

Таблица 2

**Показатели сопротивляемости глинистых грунтов
по простейшим визуальным признакам**

Состояние породы	Супесь		Суглинок		Глина	
	φ_N	C_N	φ_N	C_N	φ_N	C_N
Твердая	28	20	25	60	22	100
Полутвердая	26	15		40	20	60
Тугопластичная	24	10	21	25	18	40
Мягкопластичная	20	5	17	15	14	20
Текучепластичная	18	2	13	10	8	10
Текучая	14	0	10	<i>c u</i>	6	5

в) во взвешенном состоянии

$$\gamma_{b.N} = \frac{\gamma_{s.N} - \gamma_w}{1+e} \cong \gamma_{d.N} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{s.N}}\right), \quad (6)$$

$$\gamma_{b.I} = \gamma_{d.I} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{s.N} \gamma_F}\right) = \gamma_{I,max} - \gamma_w; \quad (7)$$

где

$\gamma_{s.N}$ - нормативный удельный вес частиц грунта;

γ_w - удельный вес воды;

e - коэффициент пористости (отношение объема пор к общему объему твердых частиц грунта);

γ_F - то же, что и в формуле (1).

8. Расчетные характеристики **мерзлых грунтов** согласно [12] допускается принимать:

- угол внутреннего трения φ_{sl} , равным углу внутреннего трения талого грунта φ ;
- предельно-длительное сцепление

$$c_{sl} = a_c + b_c \sqrt{|t|} \quad (4.1)$$

где

$|t|$ - абсолютное значение отрицательной температуры грунта в °С;

a_c и b_c - параметры, зависящие от грунта:

для песка $a_c = 0$, $b_c = 100$ кПа;

для связных грунтов $a_c = 30$ кПа, $b_c = 50$ кПа.

Примерные соотношения между параметрами прочности, полученными при быстром (φ и c) и медленном (φ_{sl} и c_{sl}) нагружении при температуре выше -5°C , приведены в таблице 3.

Таблица 3. Зависимость параметров прочности мерзлых грунтов от длительности приложения нагрузки [3]

Наименование грунтов	φ / φ_{sl}	c / c_{sl}
Крупнообломочные, пески крупные	0.6-1	2-3
Супеси	1-2	3-4
Суглинки	2-3	4-5
Глины	3-4	5-6

9. Закрепленные силикатизацией и смолизацией пески, могут иметь прочность, указанную в таблице 4.

Таблица 4. Значения прочностных и деформативных характеристик закрепленного песка

Способы закрепления	Характеристики грунта	Средние значения нормативных характеристик закрепленных песков при их прочности R_3 , МПа					
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Силикатизация двухрастворная	c_3 , МПа	0.10	0.2	0.54	0.65	0.85	1.03
	φ_3 , град.	40	41	43	45	47	49
	E_3 , МПа	42	80	162	240	330	415
Силикатизация однорастворная с H_2SiF_6	c_3 , МПа	0.10	0.21	0.55	-	-	-
	φ_3 , град.	40	41	44	-	-	-
	E_3 , МПа	42	82	165	-	-	-
Силикатизация газовая	c_3 , МПа	0.10	0.2	-	-	-	-
	φ_3 , град.	39	40	-	-	-	-
	E_3 , МПа	38	76	-	-	-	-
Смолизация	c_3 , МПа	0.10	0.2	0.50	0.59	0.73	0.96
	φ_3 , град.	39	41	42	44	45	47
	E_3 , МПа	38	78	148	215	285	375

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Ниже приведены в качестве примера избранные результирующие иллюстрации и протоколы расчетов, выполненных в 2005 г. при помощи программы RUST 51w для проекта ВСТО-1 по заказу ООО СПИИ «Гипроспецпроект».

Программа «RUST-51w» была адаптирована к условиям решаемых для рассматриваемого объекта задач, отличающихся наличием очень протяженных разрезов и большим перепадом высот. Изменения в программе были направлены на возможность переработки большего объема исходной информации, чем было предусмотрено в базовом варианте программы, при сохранении необходимой точности расчетов, а также на более удобное графическое представление результатов расчетов. Адаптированная программа получила наименование “RUST-51wu”.

Были выполнены контрольные расчеты для оценки и уточнения геомеханической модели склона, также расчеты для эксплуатационного случая для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий.

Приведенные ниже иллюстрации и протоколы представлены для того, чтобы показать, как, по нашему мнению, должны оформляться результаты расчетов, чтобы быть доступными для понимания, как для узких специалистов (и возможности повторения и проверки другими специалистами при помощи других программ), так и для Заказчиков работ, не обладающих специальными знаниями.

РАСЧЕТ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА

Программа RUST 51wu. Файл uil2n

01.08.2005 г.

И с х о д н ы е д а н н ы е

Табл.1. Вводные данные

Проектная организация	-	Гипроречтранс
Исполнитель	-	Даревский В.Э., Романов А.М.
Объект	-	ВСТО. Подводный переход через Усть-Илимское в-ще. Правый берег. Разрез 2-2
Рис.2.		К проверке геомеханической модели склона
Цель расчета	-	Проверка геомеханической модели склона
Особенности расчета	-	Характеристики грунтов - расчетные
		Козф. безоп. по ответственности 1.00
		Козф. сочетания нагрузок 1.00

Табл.2. Границы расчетного массива грунта, сейсм

X_L	X_P	Y_z	X_0	Y_0	X_k	Y_k	S_b	V_s
-420.00	375.00	260.00	0.00	360.00				

Табл.3. Система единиц изм., коэф. безопасности, шаг сетки и др.

СИ	γ_{ic}	γ_c	γ_{cl}	γ_n	Δ_x	$\Delta_x:\Delta_y$	$\beta:\varphi_a$	$\beta:\varphi_p$
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	8.00	0.00	0.00

Табл.4. Характеристики грунтов расчетных геологических элементов

NN	Описание РГЭ	Удельный вес γ kN/m ³	Параметры прочности φ град.	C кПа	Коды изображ. на рисунке
[1]	ИГЭ4.Д-щебенист.гр.	21.70	12	20.00	0 0.5 7 601 251
[2]	То же, ниже УГВ	11.70	12	20.00	0 0.5 7 601 251
[3]	ИГЭ2.Суглинок тек-пл	10.00	13	10.00	0 0.5 7 306 30
[4]	ИГЭ3.Суглинок м-пл	11.00	12	13.00	0 0.5 7 366 30
[5]	ИГЭ5.Д-щебенист.гр.	12.00	29	50.00	0 0.5 7 601 251
[6]	ИГЭ4.Д-щебенист.гр.	11.70	12	20.00	0 0.5 7 601 251
[7]	ИГЭ6.Водоупор.Сугл.	200.00	23	30.00	0 0.5 7 306 32
[8]	ИГЭ6.Суглинок	21.30	23	30.00	0 0.5 7 366 32
[9]	ИГЭ5.Д-щебенист.гр.	21.80	29	50.00	0 0.5 7 601 251
[10]	ИГЭ6.Суглинок	21.30	23	30.00	0 0.5 7 366 32
[11]	ИГЭ7.Скала	28.00	39	200.00	0 0.5 7 104 252

Табл.6. Верхние границы РГЭ, м

NN	X _i	Y _i	X _i	Y _i	X _i	Y _i	X _i	Y _i
[1]								
-420.00	279.00	-412.00	280.00	-385.00	285.00	-360.00	286.00	
-342.00	290.00	-326.00	294.00	-320.00	296.30	-310.00	300.00	
-220.00	315.00	-165.00	325.00	-40.00	350.00	-26.00	352.50	
-0.00	360.00	0.00	360.00	17.00	365.00	50.00	375.00	
117.00	390.00	250.00	430.00	312.00	455.00	332.00	460.00	
365.00	467.00	368.00	465.00	375.00	462.00			
[2]								
-420.00	279.00	-412.00	280.00	-385.00	285.00	-360.00	286.00	
-342.00	290.00	-326.00	294.00	-320.00	296.30	-220.00	307.00	
-0.00	345.00	0.00	345.00	80.00	365.00	250.00	427.00	
332.00	458.00	368.00	465.00	375.00	462.00			
[3]								
-420.00	279.00	-412.00	280.00	-385.00	285.00	-360.00	286.00	
-342.00	290.00	-326.00	294.00	-107.00	310.30	-0.00	335.00	
0.00	335.00	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	
368.00	465.00	375.00	462.00					
[4]								
-420.00	277.00	-385.00	282.00	-360.00	286.00	-342.00	290.00	
-326.00	294.00	-107.00	310.30	-0.00	335.00	0.00	335.00	
80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	368.00	465.00	
375.00	462.00							
[5]								
-420.00	274.00	-385.00	282.00	-360.00	286.00	-342.00	290.00	
-326.00	294.00	-107.00	310.30	-0.00	335.00	0.00	335.00	
80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	368.00	465.00	
375.00	462.00							
[6]								
-420.00	270.00	-412.00	272.60	-360.00	284.00	-320.00	286.00	
-310.00	286.00	-220.00	296.00	-107.00	310.30	-0.00	335.00	
0.00	335.00	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	
368.00	465.00	375.00	462.00					
[7]								
-420.00	270.00	-412.00	272.60	-360.00	284.00	-320.00	286.00	
-310.00	286.00	-200.00	288.00	-107.00	310.30	-0.00	335.00	
0.00	335.00	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	
368.00	465.00	375.00	462.00					
[8]								
-420.00	269.30	-412.00	272.00	-360.00	283.50	-320.00	285.80	
-310.00	285.80	-200.00	287.60	-107.00	310.00	-0.00	334.80	
0.00	334.80	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	
368.00	465.00	375.00	462.00					
[9]								
-420.00	269.30	-412.00	272.00	-385.00	276.00	-257.00	273.00	
-200.00	287.60	-107.00	310.00	-0.00	334.80	0.00	334.80	
80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	368.00	465.00	
375.00	462.00							
[10]								
-420.00	269.30	-412.00	272.00	-385.00	276.00	-290.00	265.00	
-257.00	273.00	-200.00	287.60	-107.00	310.00	-0.00	334.80	
0.00	334.80	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	
368.00	465.00	375.00	462.00					
[11]								
-420.00	260.00	-315.00	260.00	-290.00	265.00	-257.00	273.00	
-200.00	287.60	-107.00	310.00	-0.00	334.80	0.00	334.80	
80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00	368.00	465.00	
375.00	462.00							

-420.00	296.30	-320.00	296.30	-220.50	307.00	-0.00	345.00
0.00	345.00	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00
368.00	465.00	375.00	465.00				
Поверхность водоупора							
-420.00	270.00	-412.00	272.60	-360.00	284.00	-320.00	286.00
-310.00	286.00	-200.00	288.00	-107.00	310.30	-0.00	335.00
0.00	335.00	80.00	365.00	250.00	427.00	332.00	458.00
368.00	465.00	375.00	462.00				

Р е з у л ь т а т ы р а с ч е т а

Табл. P1. Координаты нижней границы массива грунта,
для которого справедливы результаты расчета

X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
-420.00	279.00	-416.00	276.24	-412.00	274.54	-406.60	272.09
-401.20	270.02	-395.80	267.92	-390.40	265.79	-385.00	263.64
-380.00	261.47	-375.00	260.00	-370.00	260.00	-365.00	260.00
-360.00	260.00	-354.00	260.00	-348.00	260.00	-342.00	260.00
-336.67	260.00	-331.33	260.00	-326.00	260.00	-320.00	260.00
-315.00	260.00	-310.00	260.00	-305.00	260.00	-300.00	260.00
-295.00	260.00	-290.00	260.00	-284.50	260.00	-279.00	260.00
-273.50	260.00	-268.00	260.00	-262.50	260.00	-257.00	260.00
-251.71	260.00	-246.43	260.00	-241.14	260.00	-235.86	260.00
-230.57	260.00	-225.29	260.00	-220.00	260.00	-215.00	260.00
-210.00	260.00	-205.00	260.00	-200.00	260.00	-194.17	260.00
-188.33	260.00	-182.50	260.00	-176.67	260.00	-170.83	260.00
-165.00	260.00	-159.20	260.00	-153.40	260.00	-147.60	260.00
-141.80	260.00	-136.00	260.00	-130.20	260.00	-124.40	260.00
-118.60	260.00	-112.80	260.00	-107.00	260.00	-101.42	260.00
-95.83	260.00	-90.25	260.00	-84.67	260.00	-79.08	260.00
-73.50	260.00	-67.92	260.00	-62.33	260.00	-56.75	260.00
-51.17	260.00	-45.58	260.00	-40.00	260.00	-35.33	260.00

Табл. P2. Значения предельных удерживающих и сдвигающих сил,
их разностей и коэффициентов устойчивости на отметках Y
в створе с $X = 0$

Отметка	Удерживающая сила	Сдвигающая сила	Разность	Коэффициент устойчивости
Y	$R^{\wedge}=\gamma_s/\gamma_n*R$	$F^{\wedge}=\gamma_{lc}*F$	$R^{\wedge}-F^{\wedge}$	$K_s=R^{\wedge}/F^{\wedge}$
m	kN/m	kN/m	kN/m	-
357.00	372.74	124.83	-247.91	2.986
356.25	511.96	197.61	-314.35	2.591
355.50	668.93	288.26	-380.67	2.321
354.75	854.32	408.62	-445.70	2.091
354.00	1062.72	552.07	-510.65	1.925
353.25	1268.20	694.36	-573.84	1.826
352.50	1524.72	888.35	-636.36	1.716
351.75	1826.79	1130.45	-696.34	1.616
351.00	2109.39	1357.67	-751.72	1.554
350.25	2503.55	1698.73	-804.82	1.474
349.50	2802.25	1948.33	-853.91	1.438
348.75	11577.55	10748.66	-828.90	1.077
348.00	11535.78	10751.88	-783.91	1.073
347.25	11789.07	11054.80	-734.27	1.066

346.50	12079.46	11389.57	-689.88	1.061
345.75	12406.95	11756.08	-650.87	1.055
345.00	12304.40	11695.22	-609.18	1.052
344.28	12352.05	11784.46	-567.59	1.048
343.57	12630.63	12101.86	-528.77	1.044
342.86	12939.29	12451.87	-487.42	1.039
342.14	13284.23	12834.79	-449.43	1.035
341.43	29892.48	29502.96	-389.52	1.013
340.71	29838.25	29556.69	-281.57	1.010
340.00	29861.54	29682.87	-178.67	1.006
339.28	29940.21	29852.19	-88.03	1.003
338.57	29885.85	29881.37	-4.48	1.000
337.86	29883.61	29959.04	75.43	0.997
337.14	29939.31	30069.67	130.36	0.996
336.43	29916.97	30100.42	183.45	0.994
335.71	29951.13	30178.94	227.81	0.992
335.00	29963.60	30200.37	236.77	0.992
334.80	30255.73	30173.14	-82.58	1.003
334.05	32599.65	30670.38	-1929.27	1.063
333.30	34284.53	30806.63	-3477.90	1.113
332.55	35933.95	30933.36	-5000.59	1.162
331.81	38024.18	31377.36	-6646.82	1.212
331.06	40124.24	31809.36	-8314.88	1.261
330.31	41899.77	32022.89	-9876.88	1.308
329.56	43760.25	32277.50	-11482.75	1.356
328.82	46011.88	32782.42	-13229.46	1.404
328.07	48029.16	33038.10	-14991.06	1.454
327.32	49959.89	33281.90	-16677.99	1.501
326.57	52259.51	33833.05	-18426.46	1.545
325.82	54731.16	34399.85	-20331.31	1.591
325.08	56922.91	34685.04	-22237.87	1.641
324.33	59107.48	34990.52	-24116.96	1.689
323.58	61689.71	35604.30	-26085.41	1.733
322.83	64418.36	36233.74	-28184.61	1.778
322.08	66815.83	36578.22	-30237.61	1.827
321.33	69260.28	36958.53	-32301.75	1.874
320.59	72116.45	37634.96	-34481.50	1.916
319.84	74813.86	38079.27	-36734.59	1.965
319.09	77427.00	38504.22	-38922.77	2.011
318.34	80905.58	39745.63	-41159.95	2.036
317.60	83923.70	40484.70	-43439.00	2.073
316.85	86472.89	40749.23	-45723.65	2.122
316.10	89590.32	41559.89	-48030.43	2.156
315.35	92807.48	42345.95	-50461.53	2.192
314.60	95536.64	42652.35	-52884.29	2.240
313.86	98812.45	43469.74	-55342.72	2.273
313.11	102273.02	44343.04	-57929.98	2.306
312.36	105440.44	44900.96	-60539.48	2.348
311.61	108571.48	45470.93	-63100.55	2.388
310.86	112152.24	46391.23	-65761.02	2.418
310.11	115464.69	46923.83	-68540.86	2.461
309.37	118854.70	47596.50	-71258.20	2.497
307.12	130642.66	50928.07	-79714.59	2.565
306.38	134194.41	51656.05	-82538.36	2.598
305.63	138130.38	52725.91	-85404.45	2.620
304.88	142126.19	53731.29	-88394.89	2.645
304.13	145712.22	54314.52	-91397.70	2.683
301.89	158110.33	57453.83	-100656.50	2.752
301.14	161917.61	58118.86	-103798.75	2.786
300.39	166293.69	59298.38	-106995.30	2.804
299.64	170469.83	60250.80	-110219.03	2.829

Табл. P4.1. Координаты точек наилучшей поверхности сдвига

X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

-190.03	320.45	-188.33	319.38	-182.50	316.26	-176.67	313.76
-170.83	311.94	-165.00	310.49	-159.20	309.37	-153.40	308.30
-147.60	308.00	-141.80	307.71	-136.00	308.14	-130.20	308.57
-124.40	309.01	-118.60	309.44	-112.80	309.87	-107.00	310.30
-101.42	311.59	-95.83	312.88	-90.25	314.17	-84.67	315.45
-79.08	316.74	-73.50	318.03	-67.92	319.32	-62.33	320.61
-56.75	321.90	-51.17	323.19	-45.58	324.48	-40.00	325.77
-35.33	326.85	-30.67	327.92	-26.00	329.00	-20.80	330.20
-15.60	331.40	-10.40	332.60	-5.20	333.80	-0.00	335.00
0.00	335.00	5.67	337.13	11.33	339.25	17.00	341.38
22.50	343.44	28.00	345.50	33.50	347.56	39.00	349.63
44.50	351.69	50.00	354.50	56.00	358.25	62.00	362.74
68.00	367.18	74.00	372.30	80.00	378.08	83.43	382.48

Превышение сдвигающих сил над удерживающими составляет
236.77 кН/м.

Табл. Р5.1. Координаты точек нижней границы зоны сдвигов

X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
-190.03	320.45	-188.33	319.38	-182.50	316.26	-176.67	313.76
-170.83	311.94	-165.00	310.49	-159.20	309.37	-153.40	308.30
-147.60	308.00	-141.80	307.71	-136.00	308.14	-130.20	308.57
-124.40	309.01	-118.60	309.44	-112.80	309.87	-107.00	310.30
-101.42	311.59	-95.83	312.88	-90.25	314.17	-84.67	315.45
-79.08	316.74	-73.50	318.03	-67.92	319.32	-62.33	320.61
-56.75	321.90	-51.17	323.19	-45.58	324.48	-40.00	325.77
-35.33	326.85	-30.67	327.92	-26.00	329.00	-20.80	330.20
-15.60	331.40	-10.40	332.60	-5.20	334.54	-0.00	334.80
0.00	334.80	5.67	337.84	11.33	339.25	17.00	341.38
22.50	343.44	28.00	345.50	33.50	347.56	39.00	349.63
44.50	351.69	50.00	354.50	56.00	358.25	62.00	362.74
68.00	367.18	74.00	372.30	80.00	378.08	83.43	382.48

Расчет 2

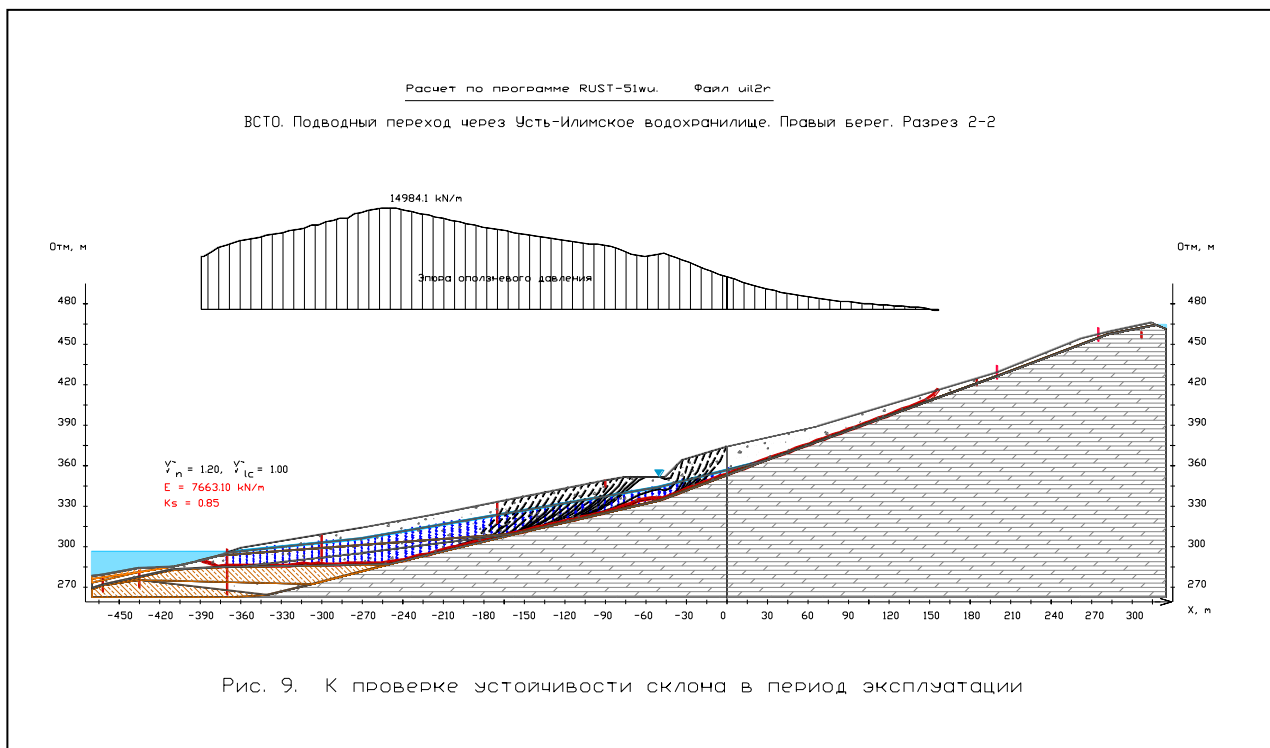


Рис. 3. Пример оформления расчета 2

РАСЧЕТ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА

Программа RUST 51wu. Файл uil2r

01.08.2005 г.

И с х о д н ы е д а н н ы е

Табл.1. Вводные данные

Проектная организация	-	Гипроречтранс
Исполнитель	-	Даревский В.Э., Романов А.М.
Объект	-	ВСТО. Подводный переход через Усть-Илимское в-ще. Правый берег. Разрез 2-2
Рис.9.	-	К проверке устойчивости склона в период эксплуатации
Цель расчета	-	Проверка устойчивости склона в период эксплуатации
Особенности расчета	-	Характеристики грунтов - расчетные
		Коеф. безоп. по ответственности 1.20
		Коеф. сочетания нагрузок 1.00

Табл.2. Границы расчетного массива грунта, сейсм

$X_{л}$	$X_{п}$	Y_z	X_0	Y_0	X_k	Y_k	S_b	V_s
-470.00	325.00	260.00	0.00	352.50				

Примечание. Начало координат сдвинуто на 50.00 м

Табл.3. Система единиц изм., коеф. безопасности, шаг сетки и др.

-470.00	270.00	-462.00	272.60	-410.00	284.00	-370.00	286.00
-360.00	286.00	-250.00	288.00	-157.00	310.30	-50.00	335.00
-0.00	353.75	0.00	353.75	30.00	365.00	200.00	427.00
282.00	458.00	318.00	465.00	325.00	462.00		
[8]							
-470.00	269.30	-462.00	272.00	-410.00	283.50	-370.00	285.80
-360.00	285.80	-250.00	287.60	-157.00	310.00	-50.00	334.80
-0.00	353.67	0.00	353.67	30.00	365.00	200.00	427.00
282.00	458.00	318.00	465.00	325.00	462.00		
[9]							
-470.00	269.30	-462.00	272.00	-435.00	276.00	-307.00	273.00
-250.00	287.60	-157.00	310.00	-50.00	334.80	-0.00	353.67
0.00	353.67	30.00	365.00	200.00	427.00	282.00	458.00
318.00	465.00	325.00	462.00				
[10]							
-470.00	269.30	-462.00	272.00	-435.00	276.00	-340.00	265.00
-307.00	273.00	-250.00	287.60	-157.00	310.00	-50.00	334.80
-0.00	353.67	0.00	353.67	30.00	365.00	200.00	427.00
282.00	458.00	318.00	465.00	325.00	462.00		
[11]							
-470.00	260.00	-365.00	260.00	-340.00	265.00	-307.00	273.00
-250.00	287.60	-157.00	310.00	-50.00	334.80	-0.00	353.67
0.00	353.67	30.00	365.00	200.00	427.00	282.00	458.00
318.00	465.00	325.00	462.00				

Уровень воды

-470.00	296.30	-370.00	296.30	-270.50	307.00	-50.00	345.00
-0.00	357.50	0.00	357.50	30.00	365.00	200.00	427.00
282.00	458.00	318.00	465.00	325.00	465.00		

Поверхность водоупора

-470.00	270.00	-462.00	272.60	-410.00	284.00	-370.00	286.00
-360.00	286.00	-250.00	288.00	-157.00	310.30	-50.00	335.00
-0.00	353.75	0.00	353.75	30.00	365.00	200.00	427.00
282.00	458.00	318.00	465.00	325.00	462.00		

Р е з у л ь т а т ы р а с ч е т а

Табл. P1. Координаты нижней границы массива грунта,
для которого справедливы результаты расчета

X _i	Y _i	X _i	Y _i	X _i	Y _i	X _i	Y _i
-470.00	279.00	-466.00	276.24	-462.00	274.54	-456.60	272.09
-451.20	270.02	-445.80	267.92	-440.40	265.79	-435.00	263.64
-430.00	261.47	-425.00	260.00	-420.00	260.00	-415.00	260.00
-410.00	260.00	-404.00	260.00	-398.00	260.00	-392.00	260.00
-386.67	260.00	-381.33	260.00	-376.00	260.00	-370.00	260.00
-365.00	260.00	-360.00	260.00	-355.00	260.00	-350.00	260.00
-345.00	260.00	-340.00	260.00	-334.50	260.00	-329.00	260.00
-323.50	260.00	-318.00	260.00	-312.50	260.00	-307.00	260.00
-301.71	260.00	-296.43	260.00	-291.14	260.00	-285.86	260.00
-280.57	260.00	-275.29	260.00	-270.00	260.00	-265.00	260.00
-260.00	260.00	-255.00	260.00	-250.00	260.00	-244.17	260.00
-238.33	260.00	-232.50	260.00	-226.67	260.00	-220.83	260.00
-215.00	260.00	-209.20	260.00	-203.40	260.00	-197.60	260.00
-191.80	260.00	-186.00	260.00	-180.20	260.00	-174.40	260.00
-168.60	260.00	-162.80	260.00	-157.00	260.00	-151.42	260.00

-145.83	260.00	-140.25	260.00	-134.67	260.00	-129.08	260.00
-123.50	260.00	-117.92	260.00	-112.33	260.00	-106.75	260.00
-101.17	260.00	-95.58	260.00	-90.00	260.00	-85.33	260.00

Табл. Р2. Значения предельных удерживающих и сдвигающих сил, их разностей и коэффициентов устойчивости на отметках Y в створе с X = 0

Отметка Y m	Удерживающая сила $R^{\wedge}=\gamma/\gamma_n * R$ kN/m	Сдвигающая сила $F^{\wedge}=\gamma_{lc} * F$ kN/m	Разность $R^{\wedge}-F^{\wedge}$ kN/m	Коэффициент устойчивости $K_s=R^{\wedge}/F^{\wedge}$ -
375.00	34128.20	39843.75	5715.56	0.857
374.27	34120.67	39857.97	5737.30	0.856
373.54	34165.49	39926.68	5761.19	0.856
372.81	34159.97	39945.92	5785.95	0.855
372.08	34235.83	40046.39	5810.56	0.855
371.35	34234.20	40072.24	5838.04	0.854
370.62	45006.09	50888.70	5882.60	0.884
369.90	45014.77	50976.22	5961.45	0.883
369.17	44858.92	50902.87	6043.95	0.881
368.44	44717.86	50844.93	6127.07	0.879
367.71	45095.95	51311.53	6215.58	0.879
366.98	45006.39	51312.37	6305.97	0.877
366.25	44800.43	51192.87	6392.44	0.875
365.52	44665.80	51142.78	6476.98	0.873
364.79	44774.62	51333.96	6559.34	0.872
364.06	44503.54	51144.72	6641.18	0.870
363.33	44922.57	51647.03	6724.46	0.870
362.60	44684.51	51504.51	6820.00	0.868
361.88	44498.87	51400.10	6901.23	0.866
361.15	44533.48	51517.60	6984.12	0.864
360.42	44264.62	51327.98	7063.36	0.862
359.69	44255.62	51406.18	7150.56	0.861
358.96	44303.98	51540.64	7236.66	0.860
358.23	44316.00	51630.66	7314.67	0.858
357.50	44032.69	51421.29	7388.60	0.856
356.75	44032.68	51490.68	7458.00	0.855
356.00	43681.04	51214.47	7533.43	0.853
355.25	43647.68	51240.62	7592.94	0.852
354.50	43661.27	51303.14	7641.87	0.851
353.75	43655.68	51318.78	7663.10	0.851
353.67	43759.35	51288.11	7528.76	0.853
352.92	45397.22	51563.45	6166.22	0.880
352.17	46488.29	51656.94	5168.65	0.900
351.42	47586.14	51781.02	4194.88	0.919
350.67	48674.34	51879.27	3204.93	0.938
349.92	50183.80	52298.89	2115.10	0.960
349.17	51427.84	52434.39	1006.55	0.981
348.42	52594.44	52600.08	5.64	1.000
347.67	53850.00	52828.72	-1021.28	1.019
346.93	55458.34	53311.92	-2146.42	1.040
346.18	57178.22	53846.00	-3332.22	1.062
345.43	58126.85	53696.52	-4430.33	1.083
344.68	59494.14	53934.10	-5560.03	1.103
343.93	61290.53	54480.05	-6810.48	1.125
343.18	63146.67	55041.73	-8104.95	1.147
342.43	64285.15	54942.16	-9342.99	1.170
341.68	65843.98	55242.93	-10601.05	1.192
340.93	67813.22	55851.77	-11961.45	1.214
340.18	69861.99	56476.33	-13385.66	1.237
339.43	71184.98	56435.61	-14749.37	1.261
338.68	72926.28	56788.82	-16137.46	1.284
337.93	75082.78	57460.55	-17622.24	1.307

337.18	77295.82	58148.00	-19147.82	1.329
336.43	79222.07	58592.32	-20629.75	1.352
335.68	81046.65	59027.23	-22019.42	1.373
334.94	83326.84	59797.63	-23529.20	1.393
334.19	85043.97	60013.87	-25030.10	1.417
333.44	87005.93	60580.67	-26425.26	1.436
332.69	89115.50	61098.76	-28016.74	1.459
331.94	91099.91	61711.34	-29388.57	1.476
331.19	93174.84	62390.45	-30784.40	1.493
330.44	95298.16	63042.50	-32255.66	1.512
329.69	97205.09	63540.10	-33664.99	1.530
328.94	99541.02	64436.29	-35104.73	1.545
328.19	101782.03	65196.82	-36585.21	1.561
327.44	104204.92	66121.05	-38083.86	1.576
326.69	106487.98	66865.06	-39622.92	1.593
325.94	109640.98	68448.18	-41192.80	1.602
325.19	112258.61	69422.98	-42835.62	1.617
324.45	114982.42	70449.14	-44533.28	1.632
323.70	117735.60	71419.61	-46315.99	1.649
322.95	120424.88	72291.38	-48133.50	1.666
322.20	123110.22	73116.70	-49993.52	1.684
321.45	126048.66	74172.09	-51876.57	1.699
320.70	129036.42	75205.44	-53830.98	1.716
319.95	131895.59	76075.62	-55819.96	1.734
319.20	134848.55	76991.11	-57857.44	1.751
318.45	138073.91	78139.77	-59934.13	1.767
317.70	141319.55	79271.80	-62047.75	1.783
316.95	144427.34	80218.05	-64209.29	1.800
316.20	148577.56	82174.35	-66403.21	1.808
315.45	152006.47	83424.67	-68581.79	1.822
314.70	155414.44	84619.59	-70794.84	1.837
313.95	158942.16	85901.35	-73040.80	1.850
313.20	162238.41	86919.82	-75318.59	1.867
312.45	165752.22	88126.13	-77626.09	1.881
311.71	169193.59	89208.83	-79984.77	1.897
310.96	172929.92	90553.48	-82376.45	1.910
310.21	176639.81	91842.74	-84797.06	1.923
309.46	180176.88	92916.10	-87260.77	1.939
308.71	183811.05	94027.53	-89783.52	1.955
307.96	187675.19	95328.18	-92347.00	1.969
307.21	191653.62	96689.12	-94964.51	1.982
306.46	196446.42	98874.51	-97571.91	1.987
305.71	200224.62	100013.30	-100211.32	2.002
304.96	204417.94	101519.38	-102898.57	2.014
304.21	208664.33	103021.28	-105643.05	2.025
303.46	212559.84	104188.53	-108371.31	2.040
302.71	216596.59	105458.98	-111137.60	2.054
301.96	221081.59	107024.86	-114056.73	2.066
301.21	225104.95	108214.02	-116890.94	2.080
300.46	229231.47	109468.94	-119762.53	2.094
299.72	233837.69	111057.59	-122780.09	2.106
298.97	238148.95	112425.89	-125723.06	2.118
298.22	243398.03	114706.38	-128691.65	2.122
297.47	248093.00	116334.05	-131758.95	2.133
296.72	252767.09	117945.34	-134821.75	2.143
295.97	257266.44	119408.68	-137857.77	2.155
295.22	261696.91	120753.61	-140943.30	2.167
294.47	266659.91	122511.71	-144148.20	2.177
293.72	271459.22	124145.36	-147313.86	2.187

Табл. P4.1. Координаты точек наихудшей поверхности сдвига

X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

-388.70	290.83	-386.67	289.96	-381.33	287.60	-376.00	285.70
-370.00	286.00	-365.00	286.00	-360.00	286.00	-355.00	286.09
-350.00	286.18	-345.00	286.27	-340.00	286.36	-334.50	286.46
-329.00	286.56	-323.50	286.66	-318.00	286.76	-312.50	287.60
-307.00	286.96	-301.71	287.74	-296.43	287.16	-291.14	287.25
-285.86	287.35	-280.57	288.18	-275.29	287.54	-270.00	287.64
-265.00	287.73	-260.00	287.82	-255.00	287.91	-250.00	288.70
-244.17	289.40	-238.33	290.80	-232.50	292.20	-226.67	293.60
-220.83	294.99	-215.00	296.39	-209.20	297.78	-203.40	299.17
-197.60	300.57	-191.80	301.96	-186.00	303.35	-180.20	304.74
-174.40	306.13	-168.60	307.52	-162.80	308.91	-157.00	310.30
-151.42	311.59	-145.83	312.88	-140.25	314.17	-134.67	315.45
-129.08	316.74	-123.50	318.03	-117.92	319.32	-112.33	320.61
-106.75	321.90	-101.17	323.19	-95.58	324.48	-90.00	325.77
-85.33	326.85	-80.67	328.66	-76.00	330.44	-70.80	332.44
-65.60	334.31	-60.40	335.43	-55.20	336.01	-50.00	336.43
-46.00	336.50	-41.67	338.12	-37.33	339.75	-33.00	341.37
-27.50	343.44	-22.00	345.50	-16.50	347.56	-11.00	349.63

Превышение сдвигающих сил над удерживающими составляет
7663.10 кН/м.

Табл. P5.1. Координаты точек нижней границы зоны сдвигов

X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
-388.70	290.83	-386.67	289.96	-381.33	287.60	-376.00	285.70
-370.00	286.00	-365.00	286.00	-360.00	286.00	-355.00	286.09
-350.00	286.18	-345.00	286.27	-340.00	286.36	-334.50	286.46
-329.00	286.56	-323.50	286.66	-318.00	286.76	-312.50	287.60
-307.00	286.96	-301.71	287.74	-296.43	287.16	-291.14	287.25
-285.86	287.35	-280.57	288.18	-275.29	287.54	-270.00	287.64
-265.00	287.73	-260.00	287.82	-255.00	287.91	-250.00	288.70
-244.17	289.40	-238.33	290.80	-232.50	292.20	-226.67	293.60
-220.83	294.99	-215.00	296.39	-209.20	297.78	-203.40	299.17
-197.60	300.57	-191.80	301.96	-186.00	303.35	-180.20	304.74
-174.40	306.13	-168.60	307.52	-162.80	308.91	-157.00	310.30
-151.42	311.59	-145.83	312.88	-140.25	314.17	-134.67	315.45
-129.08	316.74	-123.50	318.03	-117.92	319.32	-112.33	320.61
-106.75	321.90	-101.17	323.19	-95.58	324.48	-90.00	325.77
-85.33	326.85	-80.67	328.66	-76.00	330.44	-70.80	332.44
-65.60	334.31	-60.40	335.43	-55.20	336.01	-50.00	336.43
-46.00	336.50	-41.67	338.12	-37.33	339.75	-33.00	341.37
-27.50	343.44	-22.00	345.50	-16.50	347.56	-11.00	349.63

Имеются поверхности скольжения, не пересекающие створ с $X = 0$.

Табл. P7. Координаты X и Y точек выхода поверхностей скольжения на поверхность грунта, значения предельных удерживающих и сдвигающих сил, их разности и коэффициенты устойчивости

NN	X m	Y m	R^{\wedge} кН/м	F^{\wedge} кН/м	$E=R^{\wedge}-F^{\wedge}$ кН/м	$K_s=R^{\wedge}/F^{\wedge}$ -
[1]	-0.00	375.00	34128.20	39843.75	5715.56	0.86
[2]	-5.50	373.33	33663.53	39067.44	5403.91	0.86
[3]	-11.00	371.67	33337.20	38396.17	5058.98	0.87
[4]	-16.50	370.00	33022.97	37697.83	4674.85	0.88
[5]	-22.00	368.33	32716.97	36879.27	4162.31	0.89
[6]	-27.50	366.67	32593.83	36035.36	3441.53	0.90
[7]	-33.00	365.00	30993.32	33373.96	2380.64	0.93
[8]	-37.33	360.84	28851.88	30912.18	2060.30	0.93
[9]	-41.67	356.66	28238.89	30229.82	1990.93	0.93

[10]	-46.00	352.50	28197.88	30302.79	2104.91	0.93
[11]	-50.00	352.50	28013.36	30191.53	2178.17	0.93
[12]	-55.20	352.50	28021.48	30296.67	2275.19	0.92
[13]	-60.40	352.50	27818.09	30186.23	2368.14	0.92
[14]	-65.60	352.50	27657.02	30103.60	2446.57	0.92
[15]	-70.80	352.50	27392.25	29871.10	2478.84	0.92
[16]	-76.00	352.50	27020.88	29452.97	2432.09	0.92
[17]	-80.67	351.67	26593.50	28960.49	2366.99	0.92
[18]	-85.33	350.83	26375.86	28665.23	2289.37	0.92
[19]	-90.00	350.00	25855.67	28055.33	2199.66	0.92
[20]	-95.58	348.88	25446.25	27533.94	2087.68	0.92
[21]	-101.17	347.77	24965.84	26936.85	1971.00	0.93
[22]	-106.75	346.65	24390.19	26234.95	1844.76	0.93
[23]	-112.33	345.54	23994.59	25715.58	1720.98	0.93
[24]	-117.92	344.42	23538.24	25119.19	1580.95	0.94
[25]	-123.50	343.30	23190.34	24613.98	1423.64	0.94
[26]	-129.08	342.18	22861.62	24094.14	1232.52	0.95
[27]	-134.67	341.07	22331.74	23386.70	1054.95	0.95
[28]	-140.25	339.95	21784.08	22658.74	874.66	0.96
[29]	-145.83	338.83	21249.64	21931.46	681.82	0.97
[30]	-151.42	337.71	21071.29	21563.48	492.19	0.98
[31]	-157.00	336.60	20524.56	20834.32	309.76	0.99

Табл. P8. Координаты точек локальных поверхностей скольжения

NN	X _i	Y _i	X _i	Y _i	X _i	Y _i	X _i	Y _i
[1]								
	-0.00	375.00	-5.50	363.61	-11.00	356.96	-16.50	351.20
	-22.00	346.95	-27.50	344.15	-33.00	341.37	-37.33	339.75
	-41.67	338.12	-46.00	336.50	-50.00	336.43	-55.20	336.01
	-60.40	335.43	-65.60	334.31	-70.80	332.44	-76.00	330.44
	-80.67	328.66	-85.33	326.85	-90.00	325.77	-95.58	324.48
	-101.17	323.19	-106.75	321.90	-112.33	320.61	-117.92	319.32
	-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17
	-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91
	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-5.50	373.33	-11.00	362.11
[2]								
	-5.50	373.33	-11.00	362.11	-16.50	354.82	-22.00	349.11
	-27.50	344.87	-33.00	341.37	-37.33	339.75	-41.67	338.12
	-46.00	336.50	-50.00	336.43	-55.20	336.01	-60.40	335.43
	-65.60	334.31	-70.80	332.44	-76.00	330.44	-80.67	328.66
	-85.33	326.85	-90.00	325.77	-95.58	324.48	-101.17	323.19
	-106.75	321.90	-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03
	-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88
	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52
	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-11.00	371.67	-16.50	359.16
[3]								
	-11.00	371.67	-16.50	359.16	-22.00	351.28	-27.50	346.31
	-33.00	342.09	-37.33	339.75	-41.67	338.12	-46.00	336.50
	-50.00	336.43	-55.20	336.01	-60.40	335.43	-65.60	334.31
	-70.80	332.44	-76.00	330.44	-80.67	328.66	-85.33	326.85
	-90.00	325.77	-95.58	324.48	-101.17	323.19	-106.75	321.90

-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74
-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59
-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13
-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-16.50	370.00	-22.00	356.45

[4]

-16.50	370.00	-22.00	356.45	-27.50	348.47	-33.00	342.80
-37.33	339.75	-41.67	338.12	-46.00	336.50	-50.00	336.43
-55.20	336.01	-60.40	335.43	-65.60	334.31	-70.80	332.44
-76.00	330.44	-80.67	328.66	-85.33	326.85	-90.00	325.77
-95.58	324.48	-101.17	323.19	-106.75	321.90	-112.33	320.61
-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45
-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30
-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17
-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-22.00	368.33	-27.50	353.54

[5]

-22.00	368.33	-27.50	353.54	-33.00	344.95	-37.33	340.45
-41.67	338.12	-46.00	336.50	-50.00	336.43	-55.20	336.01
-60.40	335.43	-65.60	334.31	-70.80	332.44	-76.00	330.44
-80.67	328.66	-85.33	326.85	-90.00	325.77	-95.58	324.48
-101.17	323.19	-106.75	321.90	-112.33	320.61	-117.92	319.32
-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17
-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91
-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-27.50	366.67	-33.00	348.53

[6]

-27.50	366.67	-33.00	348.53	-37.33	341.86	-41.67	338.12
-46.00	336.50	-50.00	336.43	-55.20	336.01	-60.40	335.43
-65.60	334.31	-70.80	332.44	-76.00	330.44	-80.67	328.66
-85.33	326.85	-90.00	325.77	-95.58	324.48	-101.17	323.19
-106.75	321.90	-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03
-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88
-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52
-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-33.00	365.00	-37.33	349.66

[7]

-33.00	365.00	-37.33	349.66	-41.67	344.10	-46.00	342.35
-50.00	342.86	-55.20	341.89	-60.40	340.38	-65.60	338.67
-70.80	336.17	-76.00	333.31	-80.67	330.87	-85.33	328.97
-90.00	327.22	-95.58	325.22	-101.17	323.19	-106.75	321.90
-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74
-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59

-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13
-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-37.33	360.84	-41.67	351.50

[8]

-37.33	360.84	-41.67	351.50	-46.00	350.33	-50.00	351.75
-55.20	352.50	-60.40	351.79	-65.60	349.59	-70.80	345.10
-76.00	340.51	-80.67	336.76	-85.33	333.23	-90.00	330.12
-95.58	326.71	-101.17	323.91	-106.75	321.90	-112.33	320.61
-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45
-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30
-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17
-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60
-318.00	286.76	-323.50	286.66	-41.67	356.66	-46.00	351.78

[9]

-41.67	356.66	-46.00	351.78	-50.00	352.50	-55.20	351.80
-60.40	352.50	-65.60	350.32	-70.80	346.58	-76.00	342.01
-80.67	337.49	-85.33	333.93	-90.00	330.84	-95.58	327.45
-101.17	324.63	-106.75	322.64	-112.33	320.61	-117.92	319.32
-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17
-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91
-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76
-323.50	286.66	-329.00	286.56	-46.00	352.50	-50.00	351.75

[10]

-46.00	352.50	-50.00	351.75	-55.20	352.50	-60.40	351.79
-65.60	349.59	-70.80	345.10	-76.00	340.51	-80.67	336.76
-85.33	333.23	-90.00	330.12	-95.58	326.71	-101.17	323.91
-106.75	321.90	-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03
-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88
-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52
-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66
-329.00	286.56	-334.50	286.46	-50.00	352.50	-55.20	351.80

[11]

-50.00	352.50	-55.20	351.80	-60.40	352.50	-65.60	350.32
-70.80	346.58	-76.00	342.01	-80.67	337.49	-85.33	333.93
-90.00	330.84	-95.58	327.45	-101.17	324.63	-106.75	322.64
-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74
-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59
-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13

-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56
-334.50	286.46	-340.00	286.36	-55.20	352.50	-60.40	351.79

[12]

-55.20	352.50	-60.40	351.79	-65.60	349.59	-70.80	345.10
-76.00	340.51	-80.67	336.76	-85.33	333.23	-90.00	330.12
-95.58	326.71	-101.17	323.91	-106.75	321.90	-112.33	320.61
-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45
-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30
-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17
-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60
-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46
-340.00	286.36	-345.00	286.27	-60.40	352.50	-65.60	350.32

[13]

-60.40	352.50	-65.60	350.32	-70.80	346.58	-76.00	342.01
-80.67	337.49	-85.33	333.93	-90.00	330.84	-95.58	327.45
-101.17	324.63	-106.75	322.64	-112.33	320.61	-117.92	319.32
-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17
-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91
-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76
-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36
-345.00	286.27	-350.00	286.18	-65.60	352.50	-70.80	348.06

[14]

-65.60	352.50	-70.80	348.06	-76.00	342.76	-80.67	338.23
-85.33	334.64	-90.00	331.57	-95.58	328.20	-101.17	325.35
-106.75	322.64	-112.33	320.61	-117.92	319.32	-123.50	318.03
-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88
-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52
-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66
-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27
-350.00	286.18	-355.00	286.09	-70.80	352.50	-76.00	346.50

[15]

-70.80	352.50	-76.00	346.50	-80.67	341.20	-85.33	336.77
-90.00	333.02	-95.58	328.94	-101.17	326.07	-106.75	323.38
-112.33	321.33	-117.92	319.32	-123.50	318.03	-129.08	316.74
-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59
-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13
-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99

-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56
-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18
-355.00	286.09	-360.00	286.00	-76.00	352.50	-80.67	345.68

[16]

-76.00	352.50	-80.67	345.68	-85.33	340.39	-90.00	335.92
-95.58	331.17	-101.17	327.51	-106.75	324.86	-112.33	322.05
-117.92	320.05	-123.50	318.03	-129.08	316.74	-134.67	315.45
-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30
-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17
-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60
-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46
-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09
-360.00	286.00	-365.00	286.00	-80.67	351.67	-85.33	344.87

[17]

-80.67	351.67	-85.33	344.87	-90.00	339.58	-95.58	334.15
-101.17	329.68	-106.75	326.33	-112.33	323.48	-117.92	320.79
-123.50	318.78	-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17
-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91
-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76
-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36
-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00
-365.00	286.00	-370.00	286.00	-85.33	350.83	-90.00	343.30

[18]

-85.33	350.83	-90.00	343.30	-95.58	336.38	-101.17	331.12
-106.75	327.07	-112.33	323.48	-117.92	320.79	-123.50	318.78
-129.08	316.74	-134.67	315.45	-140.25	314.17	-145.83	312.88

-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52
-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66
-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27
-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00
-370.00	286.00	-376.00	285.70	-90.00	350.00	-95.58	340.80

[19]

-90.00	350.00	-95.58	340.80	-101.17	334.72	-106.75	330.03
-112.33	326.35	-117.92	322.99	-123.50	320.29	-129.08	318.20
-134.67	316.20	-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59
-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13
-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40

-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56
-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18
-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00
-376.00	285.70	-381.33	287.60	-95.58	348.88	-101.17	339.79

[20]

-95.58	348.88	-101.17	339.79	-106.75	333.72	-112.33	328.50
-117.92	324.46	-123.50	321.04	-129.08	318.20	-134.67	316.20
-140.25	314.17	-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30
-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17
-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60
-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46
-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09
-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00	-376.00	285.70
-381.33	287.60	-386.67	289.96	-101.17	347.77	-106.75	338.78

[21]

-101.17	347.77	-106.75	338.78	-112.33	332.08	-117.92	327.39
-123.50	323.29	-129.08	319.66	-134.67	316.95	-140.25	314.89
-145.83	312.88	-151.42	311.59	-157.00	310.30	-162.80	308.91
-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76
-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36
-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00
-365.00	286.00	-370.00	286.00	-376.00	285.70	-381.33	287.60
-386.67	289.96	-388.70	290.83	-106.75	346.65	-112.33	337.77

[22]

-106.75	346.65	-112.33	337.77	-117.92	331.07	-123.50	326.30
-129.08	322.58	-134.67	319.18	-140.25	316.34	-145.83	314.36
-151.42	312.31	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52

-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66
-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27
-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00
-370.00	286.00	-376.00	285.70	-381.33	287.60	-386.67	289.96
-388.70	290.83						

[23]

-112.33	345.54	-117.92	336.24	-123.50	330.05	-129.08	324.77
-134.67	320.68	-140.25	317.07	-145.83	314.36	-151.42	312.31
-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13
-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35

-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56
-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18
-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00
-376.00	285.70	-381.33	287.60	-386.67	289.96	-388.70	290.83

[24]

-117.92	344.42	-123.50	335.24	-129.08	328.42	-134.67	323.66
-140.25	319.25	-145.83	315.85	-151.42	313.03	-157.00	310.30
-162.80	308.91	-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17
-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60
-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46
-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09
-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00	-376.00	285.70
-381.33	287.60	-386.67	289.96	-388.70	290.83		

[25]

-123.50	343.30	-129.08	333.51	-134.67	326.64	-140.25	321.42
-145.83	317.33	-151.42	313.76	-157.00	310.30	-162.80	308.91
-168.60	307.52	-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76
-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36
-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00
-365.00	286.00	-370.00	286.00	-376.00	285.70	-381.33	287.60
-386.67	289.96	-388.70	290.83				

[26]

-129.08	342.18	-134.67	332.51	-140.25	325.05	-145.83	319.55
-151.42	314.48	-157.00	310.30	-162.80	308.91	-168.60	307.52
-174.40	306.13	-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66
-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27

-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00
-370.00	286.00	-376.00	285.70	-381.33	287.60	-386.67	289.96
-388.70	290.83						

[27]

-134.67	341.07	-140.25	331.52	-145.83	324.74	-151.42	318.81
-157.00	313.99	-162.80	309.57	-168.60	307.52	-174.40	306.13
-180.20	304.74	-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56
-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18
-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00
-376.00	285.70	-381.33	287.60	-386.67	289.96	-388.70	290.83

[28]

-140.25	339.95	-145.83	330.67	-151.42	323.87	-157.00	318.41
-162.80	313.59	-168.60	308.83	-174.40	306.79	-180.20	304.74
-186.00	303.35	-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17

-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60
-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70
-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64
-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25
-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60
-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46
-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09
-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00	-376.00	285.70
-381.33	287.60	-386.67	289.96	-388.70	290.83		

[29]

-145.83	338.83	-151.42	329.67	-157.00	322.83	-162.80	317.32
-168.60	313.03	-174.40	308.10	-180.20	306.05	-186.00	304.00
-191.80	301.96	-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78
-215.00	296.39	-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20
-238.33	290.80	-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91
-260.00	287.82	-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54
-280.57	288.18	-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16
-301.71	287.74	-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76
-323.50	286.66	-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36
-345.00	286.27	-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00
-365.00	286.00	-370.00	286.00	-376.00	285.70	-381.33	287.60
-386.67	289.96	-388.70	290.83				

[30]

-151.42	337.71	-157.00	326.52	-162.80	319.55	-168.60	313.74
-174.40	308.10	-180.20	306.05	-186.00	304.00	-191.80	301.96
-197.60	300.57	-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39
-220.83	294.99	-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80
-244.17	289.40	-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82
-265.00	287.73	-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18
-285.86	287.35	-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74
-307.00	286.96	-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66
-329.00	286.56	-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27
-350.00	286.18	-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00
-370.00	286.00	-376.00	285.70	-381.33	287.60	-386.67	289.96
-388.70	290.83						

[31]

-157.00	336.60	-162.80	325.52	-168.60	318.77	-174.40	313.36
-180.20	307.36	-186.00	304.66	-191.80	302.61	-197.60	300.57
-203.40	299.17	-209.20	297.78	-215.00	296.39	-220.83	294.99
-226.67	293.60	-232.50	292.20	-238.33	290.80	-244.17	289.40
-250.00	288.70	-255.00	287.91	-260.00	287.82	-265.00	287.73
-270.00	287.64	-275.29	287.54	-280.57	288.18	-285.86	287.35
-291.14	287.25	-296.43	287.16	-301.71	287.74	-307.00	286.96
-312.50	287.60	-318.00	286.76	-323.50	286.66	-329.00	286.56

-334.50	286.46	-340.00	286.36	-345.00	286.27	-350.00	286.18
-355.00	286.09	-360.00	286.00	-365.00	286.00	-370.00	286.00
-376.00	285.70	-381.33	287.60	-386.67	289.96	-388.70	290.83

ПРОТИВООПОЛЗНЕВАЯ ЗАЩИТА БЕРЕГА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

На крутых бортах Куйбышевского водохранилища наблюдаются склоновые процессы, вызванные переработкой и размывом береговой линии, а также особенностями геологического строения и гидрогеологического режима. После заполнения водохранилища последние 50 лет берег во многих местах отступает со скоростью 1.5 – 1.8 м в год, что сопровождается оползнями.

Рассматриваемый участок расположен в 112 км выше плотины ГЭС и в 3.5 км ю.-в. С. Криуши. Здесь высота крутой части склона, ограничивающей полого наклоненное плато, составляет всего 10 - 15 м и оползневый участок опасно примыкает к трассе подводного перехода трубопровода. Общий вид оползневого склона показан на рис. 1.



Рис.1. Общий вид оползневого склона

Целью работы была разработка мероприятий по устранению оползневой опасности для трубопровода.

Для исследований и проектирования, выполненных в 2007 г., геотехники и проектировщики располагали геоподосновой в масштабе 1: 500 с фрагментом в масштабе 1:200 по данным 2004 г, инженерно-геологическим описанием объекта и инженерно-геологическими разрезами. Кроме того, были сопоставлены топосъемки 1963 и 2002 и 2004 гг., которые показали, как шло разрушение берега, и дали важный материал для контрольных расчетов склона.

В то же время анализ указанных материалов показал, что рассматриваемый участок строительства недостаточно полно обеспечен материалами инженерно-геологических изысканий с точки зрения требований к ним в районах развития склоновых процессов. Горными выработками не освещена территория за пределами существующего оползневого тела, не выявлено зеркало сдвига и не определены параметры прочности глинистых грунтов вдоль зеркала сдвига и вблизи горизонта грунтовых вод в проницаемом грунтовом массиве. Поэтому при построении геомеханических моделей склона (расчетных схем) потребовалось сделать ряд существенных допущений, касающихся геологического строения и пр. и оказывающих влияние на результаты расчетов.

При гидроморфологическом описании участка было отмечено, что тело современного оползня представляет собой смещенный массив связных грунтов оползневой террасы, сложено перемятыми суглинками «с **выжатым** по фронту валиком подстилающей глины на побережье водохранилища» (рис. 2), прочностные характеристики которой, тем не менее, не были определены. Нижняя граница оползневого тела «по предварительной оценке находится на отметке 51.5 м». При описании оползня его базис отнесен к отметке 52.25 м.

В материалах изысканий были построены пять геологических разрезов, обозначенных номерами 5а – 9а (рис.3). Положение расчетных разрезов, также показанное на рис. 3, несколько отличается от указанных выше. Они по-

строены по направлению наиболее вероятного сползания и обозначены соответственно номерами 5б – 9б.

Инженерно-геологическое строение по этим разрезам с незначительными изменениями затем было отражено в геомеханических моделях и проверено и уточнено на основании большого количества контрольных расчетов (математического моделирования) склона до начала строительства.



Рис.2. Выходы пластичных черных глин

Критерием достоверности геомеханической модели является близкое к 1 расчетное значение коэффициента устойчивости склона, находящегося, как в рассматриваемом случае, в состоянии предельного равновесия, хотя бы для одного из возможных уровней воды в водохранилище.

Уровенный режим Куйбышевского водохранилища характеризуется следующими данными (с округлением), имеющими отношение к оценке оползневой опасности:

- нормальный подпорный уровень 5% обеспеченности – 53.9 м;
- максимальный уровень 1% обеспеченности – 54.2 м;
- минимальный уровень летом по ближайшему водпосту – 48.7 м;
- минимальный уровень зимой по ближайшему водпосту – 45.6 м;

- максимальная высота волны 5% обеспеченности

- 2.5 м.

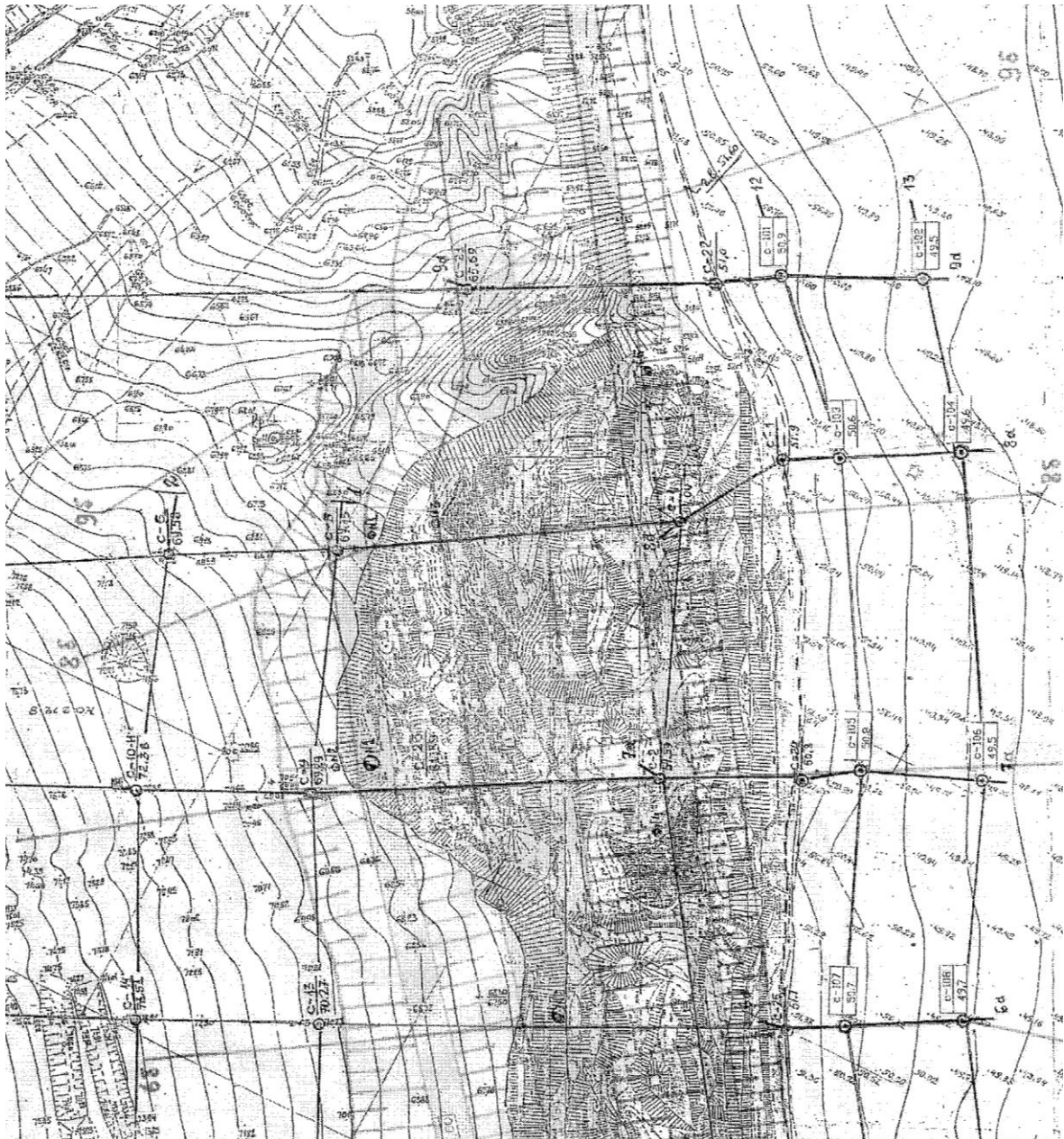


Рис. 3. Расположение геологических и расчетных разрезов

Для обеспечения согласования геологического строения с результатами наблюдений пришлось ввести дополнительный тонкий слой ослабленной глины, не отраженный на геологическом разрезе, но обнаруженный при осмотре склона (рис. 2 и 4) названный нами ИГЭ2г, вдоль предполагаемого зеркала сдвига и в зоне попеременного длительного увлажнения и высыхания глины. Параметры ее прочности подобраны на основании контрольных расчетов такие, которые можно было бы ожидать (по аналогам) при повтор-

ном сдвиге образцов в условиях водонасыщения («плашка по плашке») глины ИГЭ2в. Они оказались одинаковыми для всех разрезов.



Рис. 4. Выход черных глин, по поверхности которых видны выходы грунтовых вод

Расчеты устойчивости выполнены в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83, СНиП 22-02-2003, СП 11-105-97, часть II.

Расчеты выполнялись по программе “RUST-53”, исходя из предположения, что определяющим, как это чаще всего и бывает при неоднородной толщине грунтов, является поступательное перемещение.

Чтобы учесть вертикальное давление грунтовой воды, приложенное к поверхности водоупора, его имитировали тонким слоем водоупорного грунта, вес которого приблизительно равен весу воды в порах вышележащего грунта между водоупором и кривой депрессии с учетом веса столба воды над дном водоема.

Для этого тонкого слоя приняты параметры прочности, угол внутреннего трения и удельное сцепление, глины ИГЭ3.

Учитывая, что склон является оползневым, было необходимо в соответствии с требованиями п. СП 11-105-97, часть II.4.2.10 данные лабораторных определений прочностных свойств сопоставить и в случае необходимости откорректировать “по результатам контрольных и обратных расчетов устойчивости склонов и выявленных оползневых масс”.

Поэтому с целью проверки и уточнения геомеханических моделей основания, включая параметры прочности грунтов и положение ИГЭ и РГЭ, были выполнены контрольные расчеты склона до начала берегоукрепительных работ на принятые расчетные прочностные параметры грунтов.

Для контрольных расчетов коэффициенты безопасности по ответственности и сочетания нагрузок приняты равными 1.

Расчеты были выполнены при ожидаемом высоком и относительно низком положении УГВ, с учетом и без учета закольной трещины.

Основные результаты расчетов приведены в таблице 1, исходные данные и результаты расчетов для трех характерных разрезов – на рисунках 5 – 7 (в том виде как они выдаются на печать в ACAD).

На основании выполненных расчетов бы разработаны мероприятия по стабилизации склона, включившие отсыпку берегоукрепительного банкета из камня и тетраподов и уположение откоса.

Таблица 1. Результаты контрольных расчетов общей устойчивости

№ п/п	Файл, разрез	Рис.	УВ в реке, м, наличие закольной трещины	Результаты расчета		
				Е, kN/m	K_s	Примечание
1	U15n31 5б		54.2 (ФПУ), есть	13.38	0.99	Предельное равновесие
2	U15n32 5б		54.2 (ФПУ), нет	-	1.08	Склон устойчив
3	U15n32 5б		48.6 (низкий), есть	7.81	0.99	Предельное равновесие

4	U16n31 6б	5	54.2 (ФПУ), есть	22.15 (склон) 12.6 (урез)	0.98 0.96	Предельное равновесие откос неустойчив
5	U16n32 6б		54.2 (ФПУ), нет	- (склон) 12.6 (урез)	1.06 0.96	Склон устойчив откос неустойчив
6	U16n33 6б		48.6 (низкий), есть	- (откос) 3.34 (урез)	1.00 0.99	Предельное равновесие Предельное равновесие
7	U17n31 7б		54.2 (ФПУ), есть	34.81	0.97	Склон неустойчив
8	U17n32 7б		54.2 (ФПУ), нет	-	1.03	Склон устойчив
9	U17n33 7б		48.6 (низкий) есть	24.27	0.98	Предельное равновесие
10	U18n31 8б	6	54.2 (ФПУ), есть	27.20	0.96	Склон неустойчив
11	U18n32 8б		54.2 (ФПУ), нет	-	1.06	Склон устойчив
12	U18n33 8б		48.6 (низкий), есть	23.63	0.97	Склон неустойчив
13	U19n31 9б		54.2 (ФПУ), есть	28.86	0.98	Предельное равновесие
14	U19n32 9б		54.2 (ФПУ), нет	-	1.01	Предельное равновесие
15	U19n33 9б	7	48.6 (низкий), есть	34.51	0.97	Склон неустойчив
16	U19n34 9б		54.2 (ФПУ), нет	-	1.01	Предельное равновесие

ВЫВОДЫ.

1. Расчеты показали, что при принятых геомеханических моделях основания склон устойчив против сдвигов, но без больших запасов, или близок к

состоянию предельного равновесия, если не учитывать образование закольной трещины. После образования закольной трещины склон уже неустойчив.

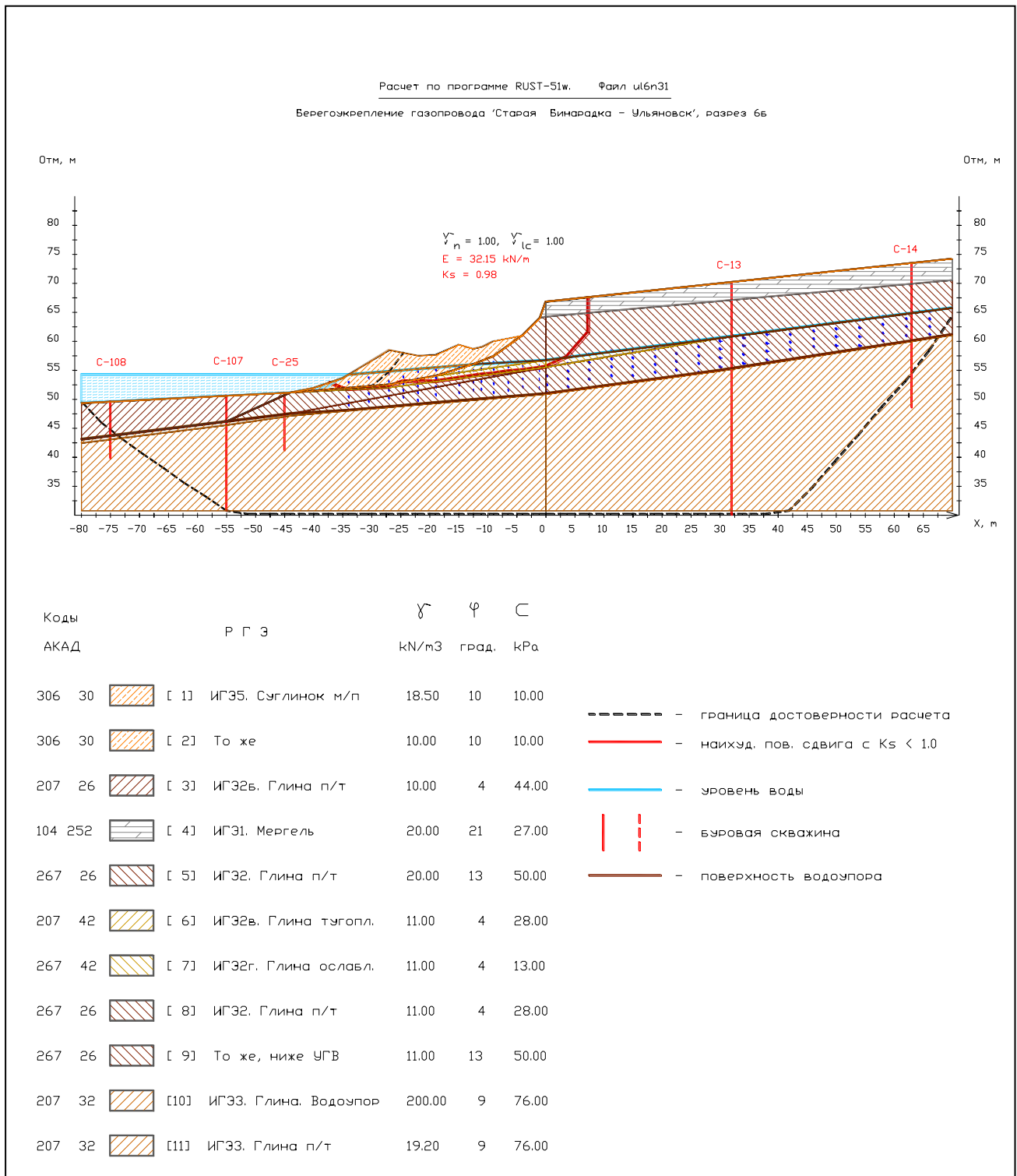


Рис. 5. Контрольный расчет склона по разрезу б.б

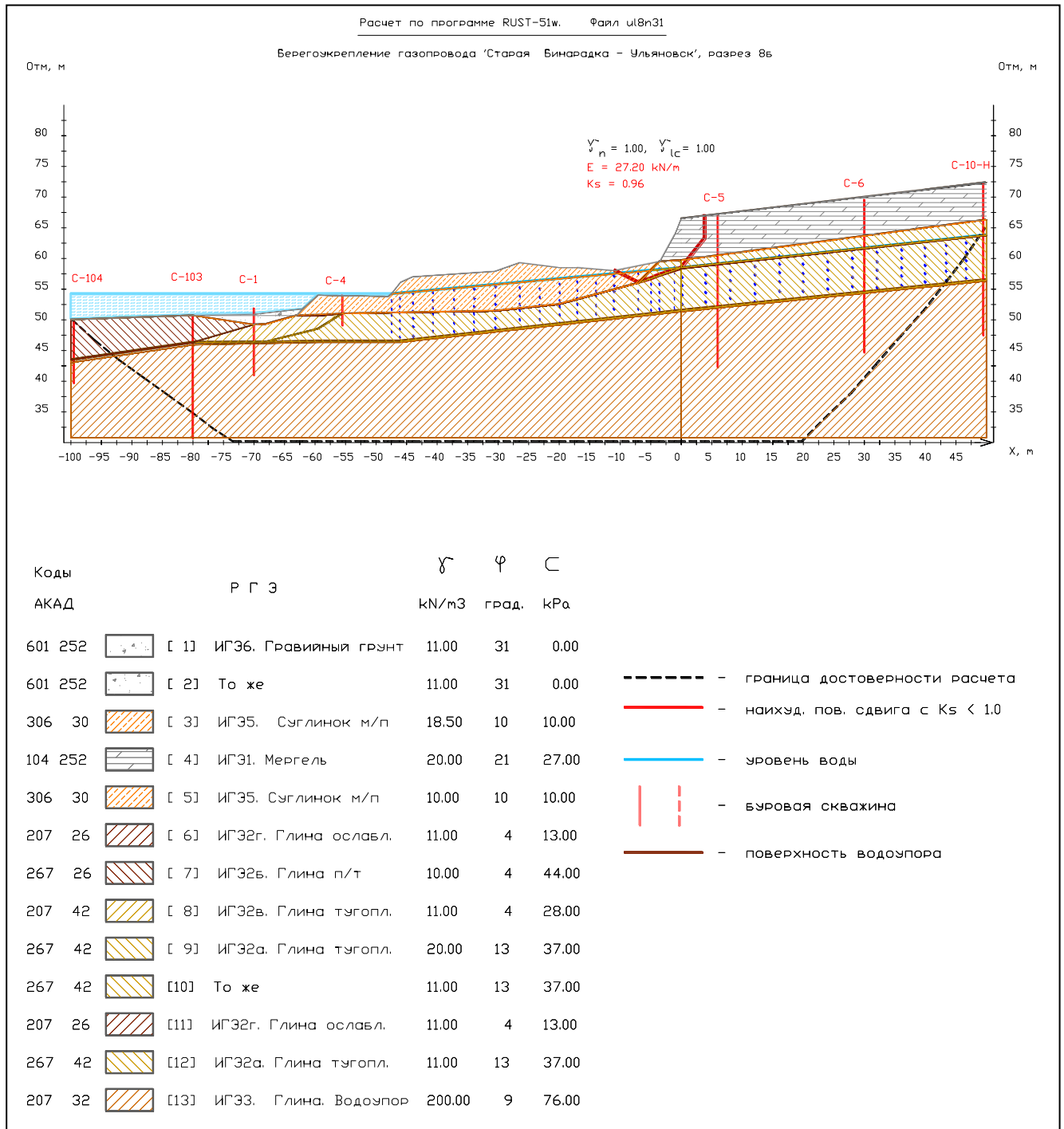


Рис. 6. Контрольный расчет по разрезу 8.б

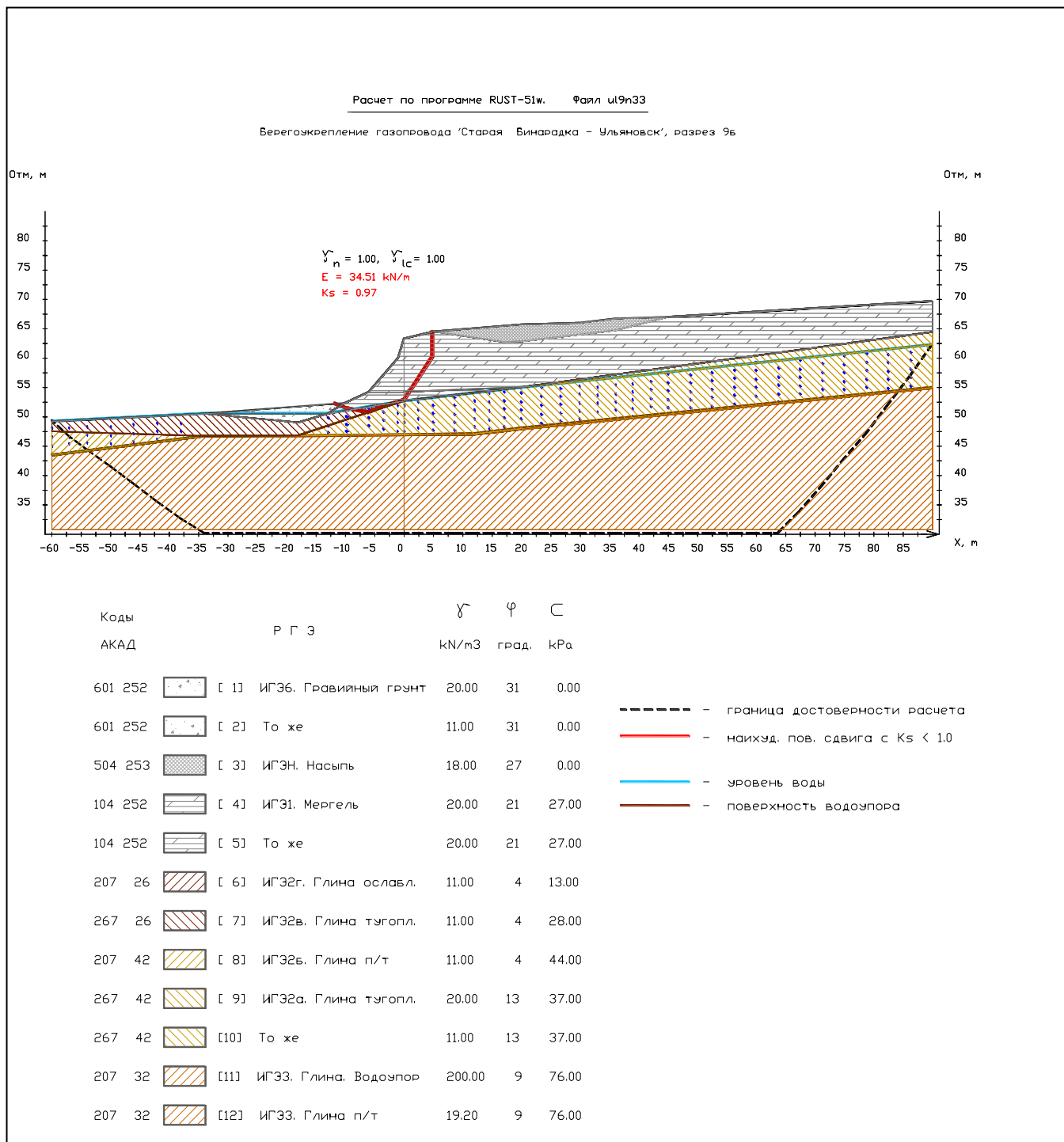


Рис. 7. Контрольный расчет по разрезу 9.б

Оползневая терраса, образовавшаяся в результате оползней, как это обычно и бывает в таких случаях, в основном устойчива и может быть подвержена мелким подвижкам и обвалам (см. расчет по разрезу 6б).

Все это не противоречит описанию в материалах изысканий. Поэтому рассмотренные геомеханические модели были использованы для оценки устойчивости склона в эксплуатационный и строительный периоды.

2. Расчеты показали, что из всех методов инженерной защиты склона от оползневой опасности наиболее подходящим в конкретных условиях является перераспределение грунтовых масс путем срезки гребня склона и подсыпки основания откоса выше примерно выше отметки 110.5 м, устройство на отдельных участках контрбанкета, дополненные организацией поверхностного стока и благоустройством территории.

3. Контрольные расчеты, не учитывающие тонкую, слабо наклоненную пластичную глинистую прослойку, не обнаруженную при бурении, не смогли объяснить причину и характер наблюдаемого склонового процесса. А такие прослойки достаточно часто присутствуют на границе водоупора. Таким образом, на рассматриваемом объекте контрольные расчеты оказались хорошим средством уточнения не только параметров прочности грунтов, но литологического строения склона.

Но для выполнения таких расчетов необходимо использовать достаточно совершенные программы, которые автоматически ищут наиболее слабые поверхности скольжения и которые находятся в руках квалифицированных специалистов-геотехников.