

САВОСТЬЯНОВА ІРИНА АНДРІЇВНА

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ  
ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ҐРУНТОВИХ СХИЛІВ В УМОВАХ  
МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

192 Будівництво та цивільна інженерія  
магістр

2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7	
<b>РАЗДЕЛ 1</b>		
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ В УСЛОВИЯХ г. ДНЕПРА.		
ЦЕЛЬ РАБОТЫ, ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ...	11	
1.1. Актуальность исследований оползневых процессов для Украины и Днепропетровского региона.....	11	
1.2. Общая характеристика оползней и их последствий.....	12	
1.3. Анализ инженерно-геологических свойств тела оползня и зоны скольжения.....	15	
1.4. Причины и условия развития деформационных процессов оползневого грунтового массива.....	26	
1.5. Анализ способов стабилизации оползневых процессов.....	32	
1.6. Цель, идея работы, основные задачи и методы исследований.....	41	
ВЫВОДЫ.....	43	
<b>РАЗДЕЛ 2</b>		
АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕВЫХ ГРУНТОВ.....		44
2.1. Аналитические исследования геомеханических процессов в области скольжения .....	44	
2.2. Исследование наиболее рациональной области укрепления оползнеопасного участка массива.....	51	
ВЫВОДЫ.....	57	

### **РАЗДЕЛ 3**

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПОСОБА НАПОРНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ.....	59
3.1. Обоснование эффективности напорной цементации грунтов в зоне скольжения оползня.....	59
3.2. Численное моделирование оползневого склона методом конечных элементов.....	65
ВЫВОДЫ .....	84

### **РАЗДЕЛ 4**

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОСНОВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ .....	85
4.1. Безопасная организация производства работ. Земляные работы.....	85
4.2. Охрана труда при работе на персональном компьютере.....	96
ВЫВОДЫ .....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	103
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	110
Приложение А. Отзыв руководителя на магистерскую работу.....	111
Приложение Б. Рецензия на магистерскую работу.....	113
Приложение В. Презентация магистерской работы.....	114

## ВВЕДЕНИЕ

Большая часть территории Украины подвержена действию экзогенных геологических процессов, что обусловлено её геологическим строением и геоморфологическими условиями. Обширное распространение среди указанных опасных геологических процессов получили оползневые процессы, количество которых уже превысило 20 тыс. и постоянно увеличивается.

Оползневые процессы на сегодняшний день распространены на территориях Черновицкой, Одесской, Закарпатской, Полтавской, Ивано-Франковской областей, на побережьях Азовского и Черного морей. Так как на всей территории Украины развитие опасных инженерно-геологических процессов приводит к значительным разрушениям и катастрофическим последствиям, проводится изучение причин возникновения и степени опасности оползней.

На всей территории Украины выполняются комплексные мероприятия инженерной защиты по предотвращению и предупреждению активизации склоновых гравитационных процессов как природного, так и техногенного характера. Противооползневые сооружения и мероприятия должны обеспечивать восприятие оползневого давления при нормативном коэффициенте запаса устойчивости склона. Наибольшее распространение для этих целей получили свайные и анкерные конструкции. Кроме того, используются физико-химические способы закрепления грунтов. Часто, для повышения эффективности мероприятий и снижения затрат используют их комбинацию.

Опыт показывает, что существующие физико-химические способы закрепления грунтов позволяют увеличить их прочность и, за счет этого, повысить устойчивость оползнеопасных склонов. Так, применение напорной цементации грунтов для стабилизации оползней позволит увеличить физико-механические характеристики зоны скольжения и стабилизировать оползневые грунты.

Задача изменения физико-механических характеристик зоны скольжения оползня может быть решена на основе глубокого изучения как самого процесса формирования и возникновения оползня, так и способа стабилизации оползневых грунтов. Надежное и обоснованное решение подобных геомеханических задач можно получить, если расчетная схема и метод решения позволяет учесть комплекс влияющих факторов. Широкие возможности дают численные методы решения задач – метод конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов (МГЭ) и другие.

В настоящее время имеется ряд программных комплексов, реализующих МКЭ для решения различных задач горной и строительной механики: «Phase», «Ли́ра», «Solid Works», «Ansis» и другие. Полученные с помощью этих программ результаты имеют достаточную точность и позволяют принимать обоснованные решения.

В связи с этим актуальной научно-технической задачей является разработка численной модели объекта и исследование закономерностей поведения оползнеопасных грунтовых массивов от основных влияющих факторов, в том числе при использовании эффективных способов стабилизации оползневых структур, что позволит принимать обоснованные проектные и технологические решения.

**Цель работы** – обоснование геомеханических параметров способа инъекционной стабилизации оползнеопасных грунтовых структур.

Для достижения цели работы были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Анализ состояния вопросов об активизации и стабилизации оползневых систем в условиях г. Днепра.
2. Разработка геомеханической модели оползнеопасного склона для условий г. Днепра.
3. Аналитические исследования геомеханических процессов при стабилизации оползневых грунтов.

4. Обоснование геомеханических параметров способа инъекционного закрепления оползнеопасных грунтовых структур.

**Основная идея** работы состоит в учете закономерностей изменения деформационных характеристик зоны скольжения при разработке геомеханической модели и обеспечении стабилизации оползневого массива способом цементации грунтов.

**Объект исследований** – напряженно-деформированное состояние оползневых грунтов.

**Предмет исследований** – физико-механические свойства грунтов и распределение касательных напряжений в зоне скольжения и в оползневом теле.

**Методы исследований.** Методическую основу исследований составляет комплексный подход, который включает в себя анализ и обобщение литературных данных по теме работы, аналитические исследования, выполненные с целью обоснования геомеханической модели оползнеопасного склона и геомеханических параметров инъекционного закрепления оползнеопасных грунтовых структур.

**По результатам исследований установлена зависимость:**

– инъекция оползневого грунта, осуществляемая в области равенства сдвигающих и удерживающих сил, приводит к увеличению касательных напряжений в 2...2,5 раза на начальном участке зоны продольного сдвига оползня и к затуханию напряжений в языковой части при увеличении коэффициента устойчивости в 1,2...1,3 раза, что позволяет определить рациональный участок закрепления оползневого грунта.

**Научная новизна полученных результатов:**

– впервые установлена закономерность распределения касательных напряжений в зоне скольжения и в оползневом теле до и после инъекционного закрепления грунта в буферной области;

**Практическое значение полученных результатов:**

– разработана расчетно-исследовательская модель, которая может быть использована для определения зон, опасных по величине касательных напряжений и для обоснования параметров инъекционного закрепления оползневых грунтов;

– обоснованы геомеханические параметры способа инъекционного закрепления оползнеопасных грунтовых структур.

**Личный вклад автора.** Автором самостоятельно сформулированы цель и задачи исследований, идея работы и выводы, выбраны методы аналитических исследований. Автор непосредственно принимал участие в теоретических исследованиях и компьютерном моделировании, разработке математических моделей.

**Апробация результатов работы.** Основные положения, результаты и содержание работы докладывались на 5-й всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодь: наука та інновації» (Днепр, 2017) и 2-й международной научно-технической интернет-конференции «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (Кривой Рог, 2017).

**Публикации.** Основные положения работы изложены в 2 статьях, опубликованных в сборниках конференций.

**Структура и объём.** Дипломная работа магистра состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 61 наименований на 109 страницах и 3 приложений на 4 страницах. Содержит 109 страниц машинописного текста, в том числе 40 рисунков и 10 таблиц. Общий объем работы составляет 114 страниц.

## РАЗДЕЛ 1

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ В УСЛОВИЯХ Г. ДНЕПРА. ЦЕЛЬ РАБОТЫ, ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 1.1 Актуальность исследований оползневых процессов для Украины и Днепропетровского региона

На значительной территории Украины (около 60 % площади) в наиболее густонаселенных, индустриальных областях имеется опасность образования различных по масштабам оползней. Оползнеопасные территории занимают сравнительно небольшие площади (табл. 1.1), но по числу аварий, катастроф и наносимому ущербу оползни занимают первое место и в Украине, и в мире.

Таблица 1.1

Расположение оползневых и подтопленных районов в Приднепровье [1]

Административно-территориальные единицы (области)	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Площадь развития, км <sup>2</sup>	
		Оползней	Подтоплений
Киевская	28,1	17,7	1130,0
Черкасская	20,9	17,9	780,0
Полтавская	28,8	96,7	2000,0
Кировоградская	42,6	1,9	140,0
Днепропетровская	31,9	145,0	1660,0
Запорожская	27,2	3,9	342,0

На сегодняшний день Днепр - один из самых оползнеопасных городов в Украине. Он построен на холмах, то есть фактически расположен на сети оврагов

и балок, в которых к тому же постоянно поднимается уровень грунтовых вод. За последние семь лет количество территорий, на которых формируются оползни значительно увеличилось.

В 1997 году в Днепропетровске на жилмассиве Тополь произошла трагедия: вследствие размыва грунта созданся так называемый гидравлический прорыв, из-за которого под землю ушел 9-этажный дом, 2 детских сада и школа.

Комплексное исследование оползневых процессов является актуальной проблемой как при строительстве новых объектов, так и при эксплуатации уже возведенных. Для этого необходим системный подход к проблеме и постоянный мониторинг ситуации.

Оценка устойчивости естественных склонов и искусственных откосов и разработка комплекса противооползневых мероприятий для предупреждения аварийных ситуаций является одной из главных задач инженерно-геологических изысканий практически для всех видов строительства [1].

## **1.2 Общая характеристика оползней и их последствий**

Активизация большинства оползней, зафиксированных на территории г. Днепропетровска, происходит в техногенном рельефе, сформированном под влиянием градостроительной деятельности в течение 230 лет. Началом урбанизационных процессов считают год основания г. Екатеринослава (1776).

Влияние на формирование техногенного рельефа оказывали следующие виды строительства: селитебное, промышленное и рекреационное. Влияние на геоморфологию города было оказано техногенными факторами в несколько периодов:

1840-1850 гг. – первые заметные деформации природного рельефа в результате срезания холма, разделявшего нагорную и низменную части города. В целом на протяжении XIX ст. были сформированы характерные черты техногенного рельефа города.

Конец XIX – начало XX ст. – период начала нового воздействия на рельеф – динамического (вибрационного).

1930-е гг. – период изменения геоморфологии вследствие добычи сырья (разработка карьеров), сооружение Днепровского водохранилища, проведены значительные подрезания, изменены профили склонов, трансформирована овражно-балочная сеть.

1941-1945 гг. и послевоенное время – возникновение беллигеративных форм рельефа, ускоренная послевоенная урбанизация (которая увеличила статичную нагрузку на рельеф вследствие увеличения жилищного строительства, в т. ч. и верхних частей склонов балок), повысился процент использования асфальтового покрытия для дорог, что изменило характер поверхностного стока.

1960-е годы – активизация рельефообразующих процессов вследствие активного развития транспортного и коммунального хозяйства.

1970-1980 гг. – расширения города по оси, перпендикулярной к руслу Днепра (северная и южная окраины), повышение этажности строений. Это период наиболее интенсивной техногенной нагрузки на рельеф за всю историю существования города. Создание техногенных и архитектурных форм рельефа.

С 1990-х гг. – переход от радиально-кольцевой к линейно-узловой структуре системе планирования города. Увеличение плотности застройки города (путем достройки и реконструкции старых строений), увеличение площадей техногенных форм рельефа (свалок и т.д.), геоморфологические изменения вследствие строительства метрополитена (по глубине – 11-65 м).

В основном оползневые процессы происходят исключительно на склонах и откосах, в строении которых принимают участие глинистые и лёссовидные породы. Оползни опасны для всех видов зданий и инженерных сооружений, расположенных на склонах. Они представляют собой связанное движение земляных масс или скальных пород, совершающееся по некоторой поверхности скольжения. Наибольшее развитие и широкое распространение оползни имеют в связных породах (в глинах, суглинках, лёссах, глинистых мергелях и т. п.) на естественных склонах и в откосах выемок. Существующее множество оползней различается размерами, формой, глубиной захвата и формой поверхности

скольжения, характером смещения земляных масс, их скоростью, периодичностью, состоянием поверхности, условиями видимости и т. д.

Активизация оползневых процессов на территории Украины на сегодняшний день является ярко выраженной проблемой, ежегодно приносящей все больший материальный ущерб. В последнее время тенденция увеличения частоты сходов оползней наблюдается почти во всех регионах Украины, особенно в Карпатском регионе, Днепропетровской, Харьковской, Киевской, Полтавской и Черкасской областях. Особый интерес и опасность представляют собой оползневые участки, находящиеся на территории плотно застроенных городов. Трагедия, произошедшая на ж/м Тополь в 1997 году в Днепропетровске до сих пор остается одной из самых масштабных оползневых аварий в Украине (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Разрушение здания на ж/м Тополь-1 вследствие оползня

Днепропетровск является одним из крупнейших городов Украины, в котором ежегодно наблюдается прогрессирующая оползневая активность. В Днепропетровске и его окрестностях насчитывается более 30 крупных оврагов и балок, общая длина которых превышает 130 км, общая площадь составляет более 5 тыс. га. Город расположен на берегах реки Днепр и имеет высокий правый берег

в большей степени подверженный эрозионным процессам, и более низкий левый берег. Средние параметры балок правого берега составляют:

- длина – 2,5-4,0 км;
- ширина – 1,2 км;
- глубина – 50 м.

Наибольшие морфометрические параметры имеют следующие городские балки: Сухой Яр, Войцеховича, Красноповстанческая, Тоннельная, Красная, Евпаторийская, Самышина, Аптекарская [2-5].

Рассматриваемая территория Днепропетровской области находится в пределах Днепровско-Донецкого артезианского бассейна и гидрогеологической области Украинского щита. В рамках агломерации выделяют следующие водоносные горизонты и комплексы:

- антропогенные отложения (аллювиальные, аллювиально-делювиальные, эолово-делювиальные);
- нерасчлененные палеоген-неогеновые отложения полтавской серии;
- трещиноватые кристаллические породы архея-протерозоя и коры [3, 4, 5, 18].

### **1.3 Анализ инженерно-геологических свойств тела оползня и зоны скольжения**

Для практических целей все известные оползни, образующиеся на естественных склонах, разделены на три группы [6]:

- в однородных связных породах (в глинах, суглинках, лессах, глинистых мергелях и т. п.);
- в связных породах, залегающих в виде пластов с хорошо выраженными поверхностями напластования;
- в связных породах, залегающих в чередовании с пластами и линзами водоносного песка.

Каждая из этих групп объединяет собою несколько видов оползней, отличающихся друг от друга как по структуре оползневых склонов, по характеру оползневых процессов, так и по механизму их развития [7] (рис. 1.2).

В состав первой группы оползней, образующихся в однородных связных породах, входят структурные, просадочные, пластические (консистентные) и оползни-обвалы.

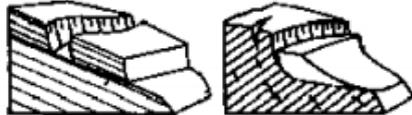
№ п/п	Название оползня по его механизму смещения	Типовые схемы
1	Скольжение	
2	Выдавливание	
3	Выплывание	
4	Течение	
5	Проседания	
6	Разжижение	

Рис. 1.2. Классификация оползней по механизму нарушения равновесия массива пород

Структурные оползни – смещение земляных масс по явно выраженной криволинейной поверхности скольжения. Смещающиеся массы земли почти не изменяют первоначальной структуры и не образуют у подошвы склонов хаотических нагромождений сползшего грунта, оползневых гряд-валов, бугров. Оползни данного вида возникают в основном на естественных склонах

возвышенностей, в котлованах, в глубоких разрезах для открытой разработки месторождений полезных ископаемых, насыпях.

Площадь распространения структурных оползней обычно небольшая, однако на крутых склонах и в прибрежных зонах она может быть очень большой.

Мощность оползневого массива довольно велика. В глубоких выемках и на крутых склонах оврагов и берегов рек она нередко достигает 1/5 длины оползня, в разрезах глубина захвата бывает больше его длины.

Скорость движения оползневого массива неравномерная. Максимальная скорость достигается в начальный период развития оползневого процесса, а с течением времени она постепенно затухает. При своевременном осуществлении противооползневых мероприятий структурные оползни переходят в стабильное состояние и редко возобновляются.

Оползни проседания – смещение пород на крутых участках естественных склонов вначале в вертикальном направлении, а затем в направлении склона (рис. 1.2). Эти оползни образуются в лёссах и лёссовидных суглинках, имеющих широкое распространение на Украине. Лёсс и лёссовидные суглинки от других пород отличаются большой однородностью и мелкозернистостью с преобладанием фракций 0,01 – 0,005 мм в диаметре.

Процесс деформации развивается более интенсивно, если одновременно с обводнением лёссовых пород на поверхности земли происходит увлажнение их снизу, при повышении уровня подземных вод.

При обводнении залегающих у основания толщи лёссовых пород, мелкозернистых пылеватых песков вследствие действия внешних вод или при движении в них подземных вод развиваются суффозионные процессы. В этих случаях оползневые деформации склонов происходят не только в связи с уплотнением лёссовых пород и нарушением в них структурных связей, но и с массовым выносом разжиженного мелкозернистого пылеватого песка из основания толщи лёсса. В образовании оползней типа суффозионно-просадочных большую роль играет искусственное обводнение лёссовых и

лессовидных суглинков на склонах из водопроводов, канализации и открытых водотоков.

Пластические или консистентные оползни образуются на склонах в связи с изменением естественной структуры и консистенции глинистых пород, слагающих естественные склоны возвышенностей или откосы искусственных земляных сооружений. Глины под воздействием воздуха и атмосферных осадков, а также резких колебаний температуры интенсивно выветриваются и становятся неустойчивыми. Нарушенные выветриванием глинистые породы легко переходят из твердого и рыхлого в пластическое и текучее состояние и начинают сползать по наклонной поверхности склона даже при небольшой его крутизне.

Скорость смещения земляных масс данного типа оползней в вертикальной плоскости неодинакова: на поверхности скорость смещений наибольшая, а с увеличением глубины она постепенно затухает.

Если глинистые породы на склоне увлажнены атмосферными осадками во время дождей или таяния снега, то скорость смещающихся масс в зоне, ближайшей к дневной поверхности, может превысить скорость смещения их в нижележащую зону. В этом случае смещающиеся массы грунта движутся по нескольким поверхностям скольжения, как бы опережая друг друга. При очень большом увлажнении грунтов (более 45 %) оползни пластические переходят в оползни-обвалы.

Оползни-обвалы образуются в водонасыщенных рыхлых глинистых породах, которые подвергаются интенсивному выветриванию на крутых участках склона. Поверхность скольжения в оползнях этого типа выражена достаточно четко. В верхней части оползневого массива она обычно проходит по границе между рыхлыми породами элювиальной зоны и коренными породами, в нижней – поверхностью скольжения служит дневная поверхность склона.

На крутых участках естественных склонов при водонасыщении почвенно-растительного слоя и рыхлых недоуплотненных пород образуются оплывины.

В состав второй группы оползней в связных породах, залегающих в виде пластов с хорошо выраженными поверхностями напластования, входят оползни

трех видов: контактные (скольжения); срезающие (скальвающие); структурно-пластические (выдавливания) (рис. 1.2).

Контактные (скольжения) оползни образуются на естественных склонах возвышенностей, долин рек и косогорах, сложенных слоистыми породами, у которых падение слоев направлено в сторону склона. В зависимости от высоты расположения поверхности скольжения над подошвой склона и от его крутизны оползни могут переходить в оползни-обвалы. Поверхностью скольжения является плоскость напластования, которая predetermined геологическим строением оползневого участка. Сползает обычно один либо одновременно несколько слоев, в зависимости от того, в какой последовательности залегают смещающиеся породы. Скольжение по чистым, лишенным глинистой промазки плоскостям напластования может вызвать гидростатическое боковое давление подземных вод, заполняющих трещины в породах, или одну только добавочную нагрузку.

Срезающие или скальвающие оползни – смещение земляных масс по криволинейной поверхности скольжения, близкой к крутой логарифмической кривой, почти вертикальной у поверхности земли и почти прямолинейной у подошвы склона. В верхней части склона поверхность скольжения скальвает напластования различных по возрасту связных пород, в том числе нередко и скальных. В нижней – она переходит в плоскость напластования с прямолинейным очертанием, если в основании сползающих пород залегают плотные твердые. Если же в основании залегают мягкие глинистые породы, то поверхность скольжения имеет криволинейное, но более пологое очертание. Оползни данного вида образуются на естественных склонах возвышенностей и долин рек, сложенных слоистыми породами, залегающими горизонтально или с уклоном, противоположным склону.

Структурно-пластические оползни (выдавливания) – смещение земляных масс в результате пластического изменения формы мягких глинистых пород под влиянием вертикального давления, которое создают вышележающие более твердые породы. Оползни такого типа имеют широкое распространение на

крутых берегах Днепра, Днестра, Дуная и других рек, а также склонах балок. Структурно-пластические оползни с течением времени по мере разрушения и сползания твердых пород верхнего слоя к подошве склона могут перейти в оползни пластического типа.

Оползни, залегающие в связных породах, чередующихся с пластами и линзами водоносного песка входят в состав третьей группы и делятся на: суффозионно-структурные, суффозионно-пластические и суффозионно-просадочные. Они значительно отличаются от описанных выше по структуре оползневого склона и характеру развития оползневых процессов. Склоны, на которых образуются оползни указанной группы, по своему строению разделяются на два вида:

- сложенные глинами, мергелями, известняками, песчаниками и водоносными песками, залегающие в виде хорошо выраженных горизонтальных или наклонных слоев;
- сложенные глинистыми породами с невыдержанными элементами залегания.

В первом случае, при наличии одного водоносного слоя в толще горных пород, слагающих склон, образуются простые или одноярусные оползни, а при наличии нескольких слоев – сложные или многоярусные. В оползневых процессах могут участвовать либо верхний глинистый, либо суглинистый слой, сползающий по первому от поверхности песчаному слою, насыщенному грунтовыми водами, либо сразу несколько слоев, сползающих по одному или нескольким из ниже залегающих слоев.

Во втором случае водоносный песок залегает в слоях глины в виде отдельных прослоек и линз или, наоборот, глина и суглинки залегают в виде неправильных линз. Таким образом, водой насыщается вся глинисто-песчаная толща, представляющая собой водоносный горизонт с сохранением гидравлической связи в грунтовом потоке во всех ее частях. Меры борьбы с оползнями, образующимися в породах с несколькими водоносными горизонтами,

будут несколько иными, более сложными, чем для случаев с одним водоносным горизонтом [8].

Многими исследователями отмечается возникновение оползней в том случае, когда по расчетным данным склон является устойчивым. Это объясняется тем, что в предшествующий оползню период при слабой деформации склона или откоса в условиях ползучести глинистых грунтов нарушается структурное сцепление и образуются ослабленные на сдвиг зоны. Этот процесс может завершиться формированием сплошной поверхности скольжения. Бурное развитие оползня возникает, как правило, после смещения оползневого тела на несколько десятков сантиметров.

В настоящее время почти не вызывает сомнения значительная роль реологических явлений в развитии оползневых процессов. Отсюда следует, что при прогнозе оползней необходимо учитывать постепенное развитие во времени поверхности скольжения с прогрессирующим развитием трещин и возрастанием напряженного состояния в тех или иных зонах массива грунта. Появление в этот период трещин в зданиях, разрывы дорожных покрытий не должны оставаться без внимания, так как они указывают на возможность катастрофы.

В результате возникновения оползня формируются характерные геоморфологические элементы (рис. 1.3):

- оползневое тело;
- поверхность скольжения, форма которой может быть цилиндрической, волнистой, плоской;
- бровка срыва, там, где произошел отрыв оползневого тела от основного массива пород;
- террасовидные уступы или оползневые террасы
- вал выпучивания, разбитый трещинами;
- подошва оползня — место выхода на поверхность плоскости скольжения, оно может располагаться выше и ниже подошвы склона или быть на его уровне.

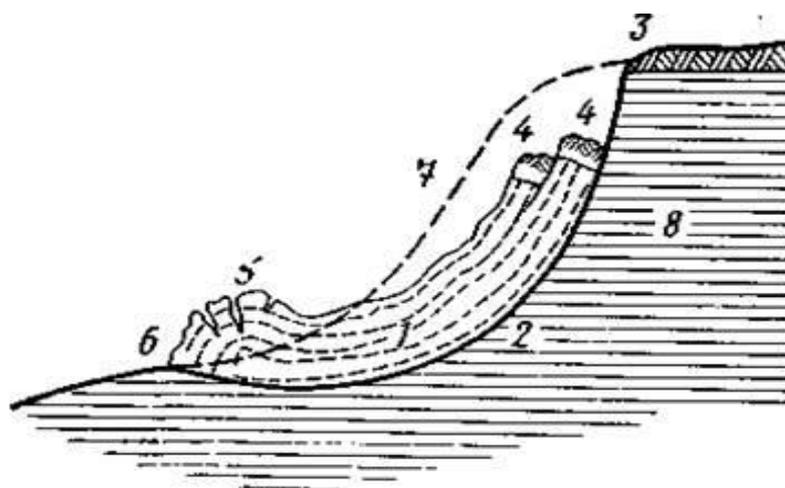


Рис. 1.3. Элементы оползня: 1 — оползневое тело; 2—поверхность скольжения; 3 — бровка срыва; 4 — оползневые террасы; 5 — вал выпучивания с трещинами; 6 — подошва оползня; 7 — положение склона до оползня; 8 — коренной массив пород

Граница оползневого тела в плане может быть выражена четко в виде резкой бровки. Однако нередки случаи, особенно для пластичных глинистых пород, когда эта граница трудно различима.

Оползневые тела могут иметь сложное строение. На одном и том же участке может быть одна или несколько поверхностей скольжения. В этом случае различают оползни одно-, двух- и многоярусные. В однородных грунтах плоскость скольжения приобретает примерно форму цилиндрической поверхности, в сложно построенных склонах она может совмещаться с плоскостями напластования или, наоборот, пересекать их (рис.1.4).

Скорость движения оползневого тела различна. Принципиально все оползни можно разделить на соскальзывающие и постепенно сползающие. При соскальзывании тело оползня перемещается мгновенно, в один прием. Большинство оползней смещается постепенно, хотя и с различной скоростью — от долей миллиметра в сутки до нескольких десятков метров в час. Движение медленных оползней определяют по наблюдениям реперами, установленными в теле оползня и за его пределами, а так же по маякам, которые укрепляют по обеим сторонам шин [9].

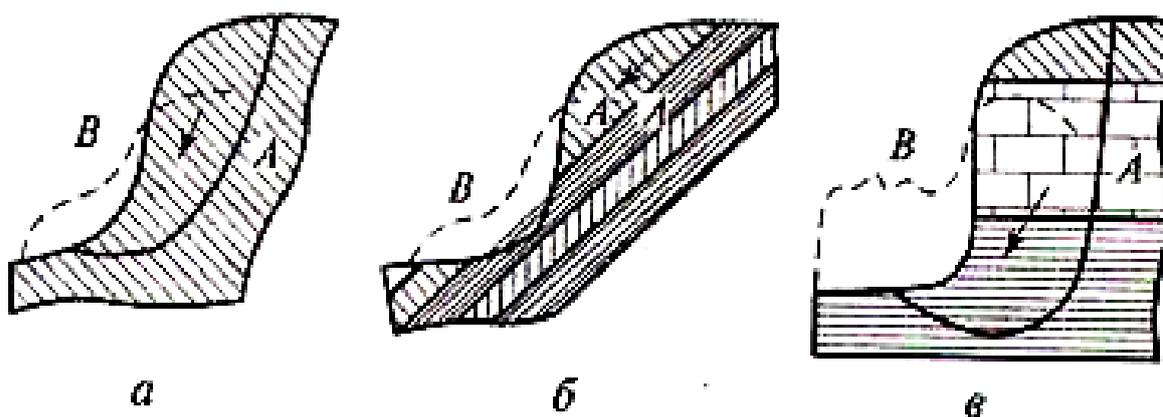


Рис. 1.4. Развитие оползней и положение плоскостей скольжения в зависимости от геологического строения склона. *а*- в однородных породах; *б*-при наклонном залегании слоев; *в*-при выдавливании глин из под скальных пород; *А* - плоскость скольжения

По характеру нарушения равновесия грунтового массива, особенностям деформирования, которые в значительной степени определяются преобладающим силовым воздействием и механизмом развития процесса, оползни, возникающие на платформенных урбанизированных территориях, можно подразделить на три основных типа [10]:

- блоковые, фронтальные оползни сжатия-выдавливания (преобладающий механизм развития деформаций при формировании оползня – гравитационное сжатие деформирующегося горизонта под весом покрывающих пластов массива);
- оползни сдвига-скольжения (преобладающая схема формирования и развития деформаций в массиве – сдвиг (срез) покровных масс по наклонной кровле коренных пород, по плоскостям напластования, по слабым прослоям, соскальзывание неуравновешенных грунтовых масс с крутых уступов;
- оползни разжижения-течения; здесь оползнеобразующим фактором является силовое воздействие подземных вод, вызывающее увеличение

порового давления в грунтах с частичным или полным их разжижением и смещение водо-насыщенных грунтовых масс вниз по склону.

Тип оползня и механизм развития деформаций грунтового массива является определяющим фактором в оценке состояния исследуемой территории, в определении степени оползневой опасности для инженерного объекта, в проектировании и осуществлении комплекса мероприятий по стабилизации устойчивого состояния склона и предотвращения развития оползневых деформаций.

Нередки случаи одновременного действия нескольких механизмов деформирования грунтов. Образовавшиеся при этом оползни иногда называют сложными или комбинированными. Однако и в таких проявлениях оползней возможно выявление преобладающего механизма нарушения равновесия массива и формирования оползня, определяющего основные закономерности развития оползневого процесса на рассматриваемом участке.

В настоящее время существует более 100 классификаций оползней, и, тем не менее, недостаточно изучены особенности формирования оползней различных типов, большинство существующих классификаций по механизму смещения слабо учитывает механизм отделения оползня, т.е. начальный процесс деформирования массива грунта и, соответственно, особенности развития оползня в катастрофическую фазу смещения, некоторые термины, применяемые к различным типам оползней вносят определенную путаницу в их классифицирование.

Среди перечисленных выше типов оползней наиболее сложным, как по механизму, так и в части организации эффективной защиты, являются оползни сжатия-выдавливания.

Н.Ф. Петровым [11] рассмотрены 30 наиболее известных классификаций оползней отечественных и зарубежных авторов с позиций соблюдения в них существенных, терминологических и логических принципов классифицирования, в результате чего автором была предложена классификация простых оползневых механизмов. Автором, в частности, анализируется использование понятия

«блокового оползня». Использование данного термина в отношении оползней разного типа вносит определенную путаницу и при их классифицировании, так как к блоковым разные авторы относят оползни с различными механизмами. На основе механизма формирования оползневых блоков по схеме «сжатия» и с учетом наиболее распространенного названия рассматриваемого типа, как оползень выдавливания, целесообразно наименовать в дальнейшем: оползень сжатия-выдавливания. Данный термин отражает особенность механизма оползня и понятен для большинства специалистов в соответствии с известными классификациями оползней [12, 13, 14, 15]. В данной работе понятие блокового оползня применяется в отношении оползней сжатия-выдавливания.

Под «глубокими» понимаются оползни, связанные, в основном, с деформированием и захватом юрских глинистых отложений. Как правило, «глубокими» называют оползни, захватывающие смещениями склон на всю его высоту, с вовлечением в смещения коренных отложений, мощностью более 10-15 м.

По характеру развития смещения (по классификации А.П. Павлова) данный тип оползней относится к детрузивным (толкающим) – начинающимся в верхней части склона, которая после отделения давит на нижележащие массы и приводит их в движение, вызывая их смятие и выдавливание.

По возрасту и фазам развития по классификации И.В. Попова, оползни подразделяются на [16]:

- современные оползни – образовавшиеся при современном базисе эрозии и уровне абразии: а) движущиеся; б) приостановившиеся; в) остановившиеся, г) закончившиеся.
- древние оползни — образовавшиеся при ином базисе эрозии и уровне абразии: д) открытые (ничего кроме почвы и элювия на поверхности не имеют); е) погребенные (перекрытые позднейшими отложениями).

Помимо данных терминов, перечисленных в этой классификации, часто используются термины [16]:

- «старые» оползни – приостановившиеся, остановившиеся и закончившиеся, морфологические черты которых на поверхности земли сглажены поверхностными процессами;
- «свежие» оползни, морфологические черты которых почти не изменены последующими процессами;
- «активные» оползни, которые в течение определенного периода время от времени смещаются или деформируются.

#### **1.4 Причины и условия развития деформационных процессов оползневого грунтового массива**

Активизация большинства оползней, зафиксированных на территории г. Днепр, происходит в техногенном рельефе, сформированном под влиянием градостроительной деятельности в течение 230 лет. Началом урбанизационных процессов считают год основания г. Екатеринослава (1776).

На сегодняшний день формы рельефа г. Днепр подразделяют на функционально-генетические типы в следующем процентном соотношении:

- селитебные – 41%;
- рекреационные – 19%;
- промышленные – 14%;
- транспортно-коммуникационные – 6%;
- промышленно-селитебные – 4%.

Техногенные воздействия положительного, то есть восстановительного, характера наблюдаются в пределах лишь рекреационной зоны. Это озеленение, рекультивация, устройство сооружений, направленных на обеспечение устойчивости форм рельефа.

Степень интенсивности проявления техногенного воздействия по городу представлена на рис. 1.5 [18].

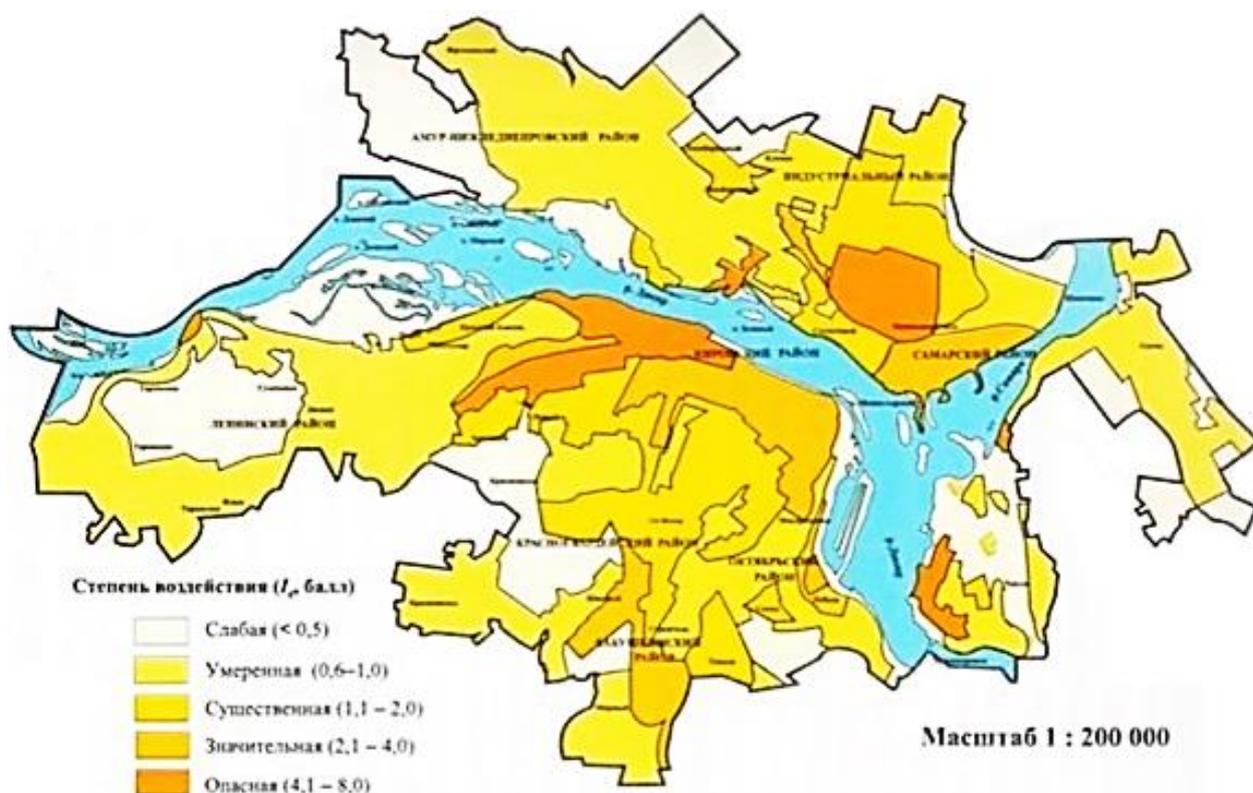


Рис. 1.5. Степень интенсивности техногенного воздействия на рельеф [17]

Особенности проявления экзогенных процессов в балках г. Днепра  
 Развитию эрозионных процессов в г. Днепропетровске (рис. 1.6) содействуют следующие факторы [18]:

- мощная толща лессовидных легкоразмываемых пород, которые залегают выше уровня русла Днепра;
- сильное расчленение поверхности с амплитудой 100м;
- ливневый характер выпадения атмосферных осадков в теплый период года.

Проведенные обследования балок города (Тоннельная, Красноповстанческая, Войцеховича, Самышина) подтвердили интенсивное развитие эрозионных процессов, которые проявляются в виде промоин, борозд, развития донных оврагов.

Эрозионные процессы значительно усугубляет наличие сосредоточенного поверхностного стока, формируемого за счет выпуска дождевых вод 14-ю

предприятиями города, а также разрыхление и выемка грунта в ходе работ на строительных площадках.

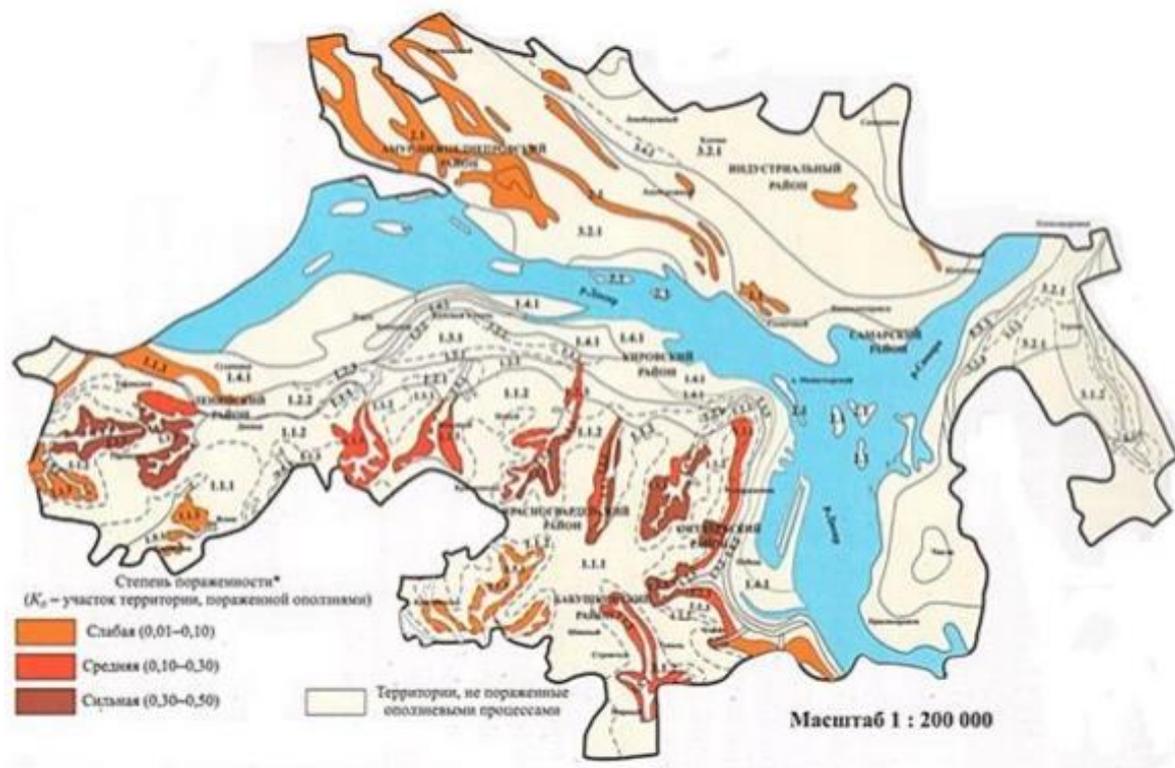


Рис. 1.6. Пораженность территории г. Днепр оползневыми процессами [18]

На период 2012 года в подтопленном состоянии находились 85 км<sup>2</sup> (18,2%) площади города Днепропетровска.

При этом глубина залегания грунтовых вод составляет:

- пойма и низкие трассы Днепра – 0-3 м;
- на склонах балок – до 5-10 м
- на водораздельном плато – 7-15 м и более.

Практически повсеместно сформирован техногенный водоносный горизонт, приходящийся на толщу лессовидных суглинков.

За период 1981-2002 самый высокий уровень грунтовых вод был отмечен в балках Войцеховича, Евпаторийской и Попова.

На данной территории всего обнаружено 200 оползневых участков:

- 134 участка общей площадью 143 000 м<sup>2</sup> в Днепропетровске;

– 66 участков общей площадью 123 000 м<sup>2</sup> в Днепродзержинске.

Среди площадей отдельных оползневых участков были выделены:

- от 90 м<sup>2</sup> – балки Войцеховича, Краснополянская и др.;
- до 5000-6000 м<sup>2</sup> - Красноповстанческая, Евпаторийская;
- до 45 000 м<sup>2</sup> – балка Деевская.

По форме в плане наиболее распространены циркообразные и фронтальные оползни.

Развитие оползневых процессов также обусловлено наличием тектонических разломов, к которым приурочена овражно-балочная сеть [17, 19, 20, 21, 22].

Оползневая активность в г. Днепропетровске прогрессирует последние 40 лет. Среди наиболее значимых проявлений следует выделить случаи:

- 1983г., б. Евпаторийская – смещение дорожного полотна и разрушение жилых домов по ул. Евпаторийская;
- 1997г., ж/м Тополь-1 – разрушение 9-этажного 72-квартирного дома, школы на 1500 чел., двух детских садиков, трансформаторной подстанции, нескольких гаражей, 3,5 км водопроводно-канализационной и газовой сетей;
- 2011 год, балка Рыбальская (Войцеховича) – разрушение гаражного кооператива по ул. Войцеховича;
- август 2015 года, ж/м Западный – территория ООО ТК «Автомир», которое расположено по улице Буденного в Новокодакском (Ленинском) районе.

Оползень на ж/м Тополь возник в лессовидных грунтах, слагавших склон, мощностью 20...25 м.

Основными причинами, вызвавшими оползень, являлись:

- подрезка и пригруз склона;
- снижение деформативных и прочностных свойств лессовых грунтов при замачивании;

- увеличение фильтрационного давления в направлении понижения рельефа;
- суффозия и гидродинамический выпор вокруг инженерных коммуникаций, располагавшихся на склоне;
- образование пазух замачивания на склоне;
- эрозия при неупорядоченном стоке и сбросе воды.

Указанные причины обусловили возникновение предельного напряженного состояния в грунтах склона, и незначительный дополнительный фактор, мог привести грунты в состояние активного сползания.

Таким фактором стал прорыв коммуникации в нижней части склона, в результате которого вынесенные в месте прорыва грунты перестали выполнять необходимую контрфорсную работу для вышележащих грунтов склона. Вслед за этим активно начали течь вышележащие водонасыщенные грунтовые массы. Очень быстро образовалась грунтовая река, которую можно назвать селом, оползнем-потокотом или оползнем течения или суффозионным выбросом [4, 5, 23, 24, 25].

Несколько случаев оползней в лессовых грунтах в пределах нашей области происходили в г. Днепродзержинске, где также отмечено перемещение больших масс грунта на значительные расстояния.

Современными оползнеопасными территориями г. Днепропетровска являются:

- балка Тоннельная - водонасосная станция по ул. Космическая (крутизна 12-15град.);
- балка Евпаторийская - ж/м Сокол, частный сектор вблизи него;
- балка Красноповстанческая - городской радицентр и малоэтажные жилые дома по ул. Сирка, Исполкомовская, насосная станция, территория кирпичного завода, частные дома по ул. Купянской;

- балка Войцеховича – 14-этажные дома по ул. Гавриленко и Рахимова, школа №75, школа №22, бассейн «Метеор» (рис. 1.7, а);
- балка Встречная – жилые дома по ул. Грушевая, пер. Франко;
- балка Деевская – дом по ул. Комиссаровская, гидротехнические сооружения завода «Авиаагрегат»;
- склон на ж/м Западный – на территории ООО ТК «Автомир» (рис.1.7, б).

Учитывая катастрофические последствия оползней, является необходимым условием обеспечивать устойчивое состояние потенциально опасных территорий.



*а*



*б*

Рис. 1.7. Последние крупные оползни в г. Днепропетровск: а – Рыбальская балка, ул. Войцеховича, ноябрь 2011 г.; б – ж/м Западный, на территории ООО ТК «Автомир», лето 2015 г.

### **1.5 Анализ способов стабилизации оползневых процессов**

Стабилизация оползневых процессов и предупреждение аварийных ситуаций и катастроф осуществляется за счет применения комплекса мероприятий, основой которых являются противооползневые и удерживающие конструкции.

Противооползневые и удерживающие конструкции – инженерные сооружения, которые воспринимают нагрузки от масс грунта и расположенных

на них сооружений. По своему назначению противооползневые конструкции разделены на две категории:

- призванные стабилизировать активные смещения грунтов (аварийные работы);
- предназначенные для обеспечения нормативной устойчивости территории строительных площадок, котлованов, участков дорог, прибрежной территории и т.д.

Многообразие противооползневых конструкций дает возможность в широком диапазоне варьировать их типами, создавать отдельные комплексы на разных территориях. Эффективность каждого типа конструкций может быть установлена в первую очередь конкретной инженерно-геологической обстановкой, возможной формой и природой проявления оползней, условиями работы склона или откоса, а также всей системы в целом требуемым принципам обеспечения их устойчивости.

Объединение противооползневых конструкций различного назначения для использования в конкретном проектом решении или решениях принято называть комплексом противооползневых мероприятий.

В зависимости от характера рельефа территорий, различными типами оползней, мощностью их залегания и массы наибольшее распространение получили свайные конструкции (буронабивные, буроинъекционные), анкерные конструкции в виде самостоятельных конструктивных решений или в комбинации с буронабивными сваями, подпорными стенами различного назначения [26, 27].

Кроме того, используются физико-химические способы закрепления грунтов – искусственное преобразование свойств грунтов путем увеличения их прочности, устойчивости, уменьшения водонепроницаемости, а также ослабление чувствительности природной прочности грунтов к изменению внешней среды, особенно влажности.

Рассмотрим устройство, принцип действия и эффективность некоторых противооползневых конструкций, применяемых в различных горно-геологических условиях.

#### Габрионные конструкции.

Эти конструкции используются при незначительных объемах оползневого тела. Их не следует использовать там, где оползневое тело имеет значительный объем, и где угроза населению, жилым и инфраструктурным объектам достаточно велика. Габрионные конструкции имеют ограничение по высоте – не более 12 метров. Другой недостаток – многоэтапный монтаж, требующий соблюдения определенной последовательности и правил. В частности, камни в сетках должны быть уложены определенным образом. Это требует использования ручного труда, что, в свою очередь, увеличивает сроки и стоимость работ (рис.1.8).

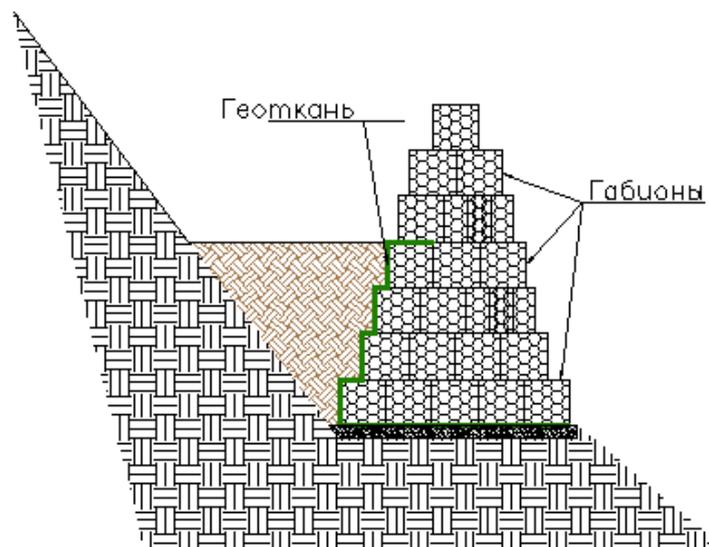


Рис.1.8. Габрионное сооружение

#### Подпорные стенки.

Обычные железобетонные стенки (рис. 1.9). Их применение требует проведения тщательных изысканий и предельно точной оценки нагрузки. Слабым звеном конструкции является ее основание. Если стенка возводится на слабом, подверженном размыву грунте, то возрастает риск перенапряжения под подошвой стенки и, соответственно, риск ее деформации или обрушения.

Одновременно плюсом и минусом подпорной стенки из железобетона является ее жесткость. Она позволяет конструкции надежно удерживать оползневое тело, но только при отсутствии локальных перенапряжений. Кроме того, жесткие конструкции отличаются низкой сейсмоустойчивостью. Еще один существенный недостаток стенок – высокая стоимость проекта. Она обусловлена необходимостью использовать значительные объемы бетонного раствора, задействовать миксеры для его доставки, возводить опалубку. Это сказывается и на сроках выполнения работ. При этом бетонные стенки требуют значительных эксплуатационных расходов, а восстановление разрушенной конструкции может обойтись дороже сооружения новой.

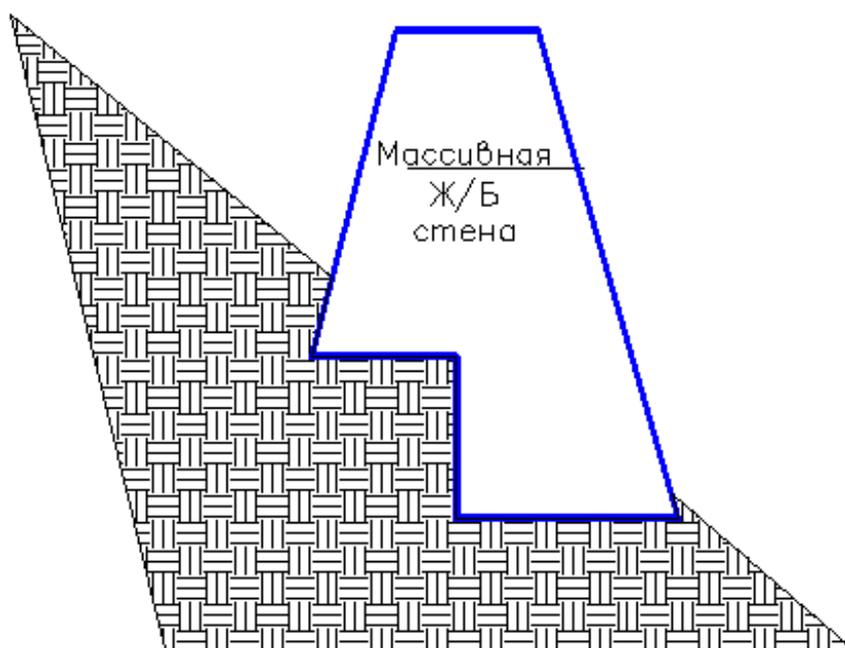


Рис. 1.9. Железобетонная стенка

Железобетонные стенки на свайном основании отличаются высокой несущей способностью. Они способны выдержать значительные оползневые массы. Их несомненное преимущество состоит в том, что сваи позволяют «пройти» слабые грунты и закрепиться на прочном основании – например, скальном. Это дает возможность возводить надежные противооползневые конструкции даже на слабых грунтах. Однако стоимость возведения свайного

основания достаточно велика. К ней следует прибавить стоимость возведения самой стенки (рис. 1.10). Потребуется использование тяжелой техники, существенно возрастут расходы на планирование и менеджмент. Кроме того, возведение стенки на сваях невозможно в местах, затруднительных для прохода техники и доставки строительных материалов. А проведение таких работ вдоль автомобильной или железнодорожной магистрали, скорее всего, потребует приостановки движения. При этом сроки реализации проекта довольно велики.

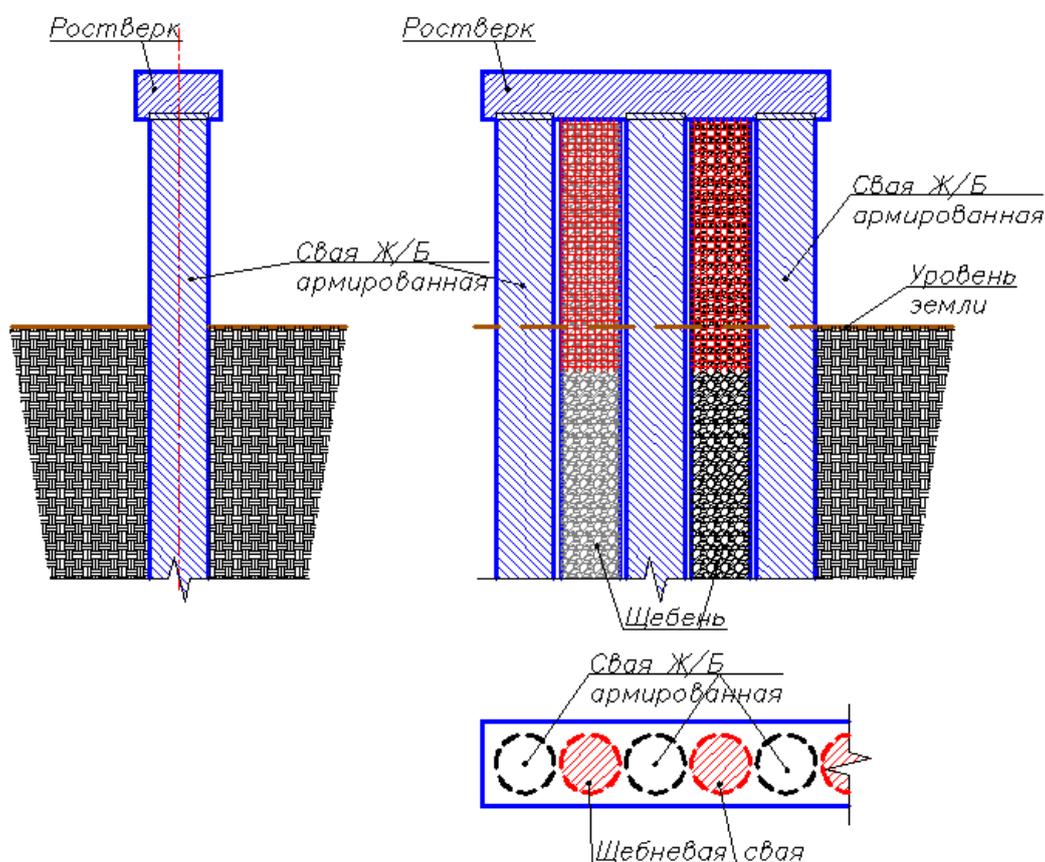


Рис. 1.10. Железобетонная подпорная стенка на свайном основании

Подпорные стенки на буронабивных сваях имеют преимущество за счет использования второго ряда свай, что резко увеличивает их несущую способность (рис. 1.11) [28].

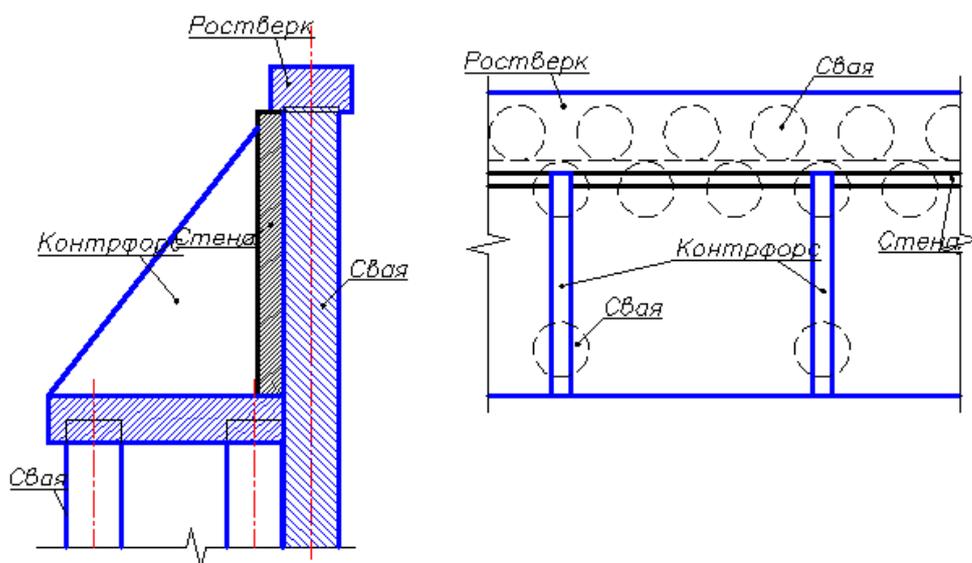


Рис. 1.11. Подпорная стенка на буронабивных сваях

Практика строительства и эксплуатации подпорных стен позволяет сделать вывод, что железобетонные стенки хорошо работают на свайном основании или в случае опоры на прочное (скальное) основание. На слабых грунтах, подверженных размыву, риски перенапряжения под подошвой довольно велики за счет вымывания опорного грунта и локального возрастания удельного давления на грунт, превышающего его допустимое значение. Жестким конструкциям свойственна пониженная сейсмостойкость по причине распространения сейсмического воздействия в них без поглощения и потерь до наиболее слабого места, которое разрушается в первую очередь.

#### Анкерные конструкции.

Являются одним из типов удерживающих противооползневых сооружений, которые могут быть использованы в виде самостоятельных конструктивных решений или в комбинации с буронабивными сваями, подпорными стенами различного назначения (рис.1.12).

Механическая стабилизация грунтового массива достигается за счет создания локального сопротивления сдвигу железобетонными стержнями. В результате в грунте образуются участки с повышенными механическими характеристиками, т.е., происходит армирование в объеме.

Расчет нагельного поля осуществляется за счет подбора диаметра и прочности стержней анкеров, плотности их распределения по склону, глубины заделки, диаметра ствола скважины, а также наклона анкера и усилия преднапряжения.

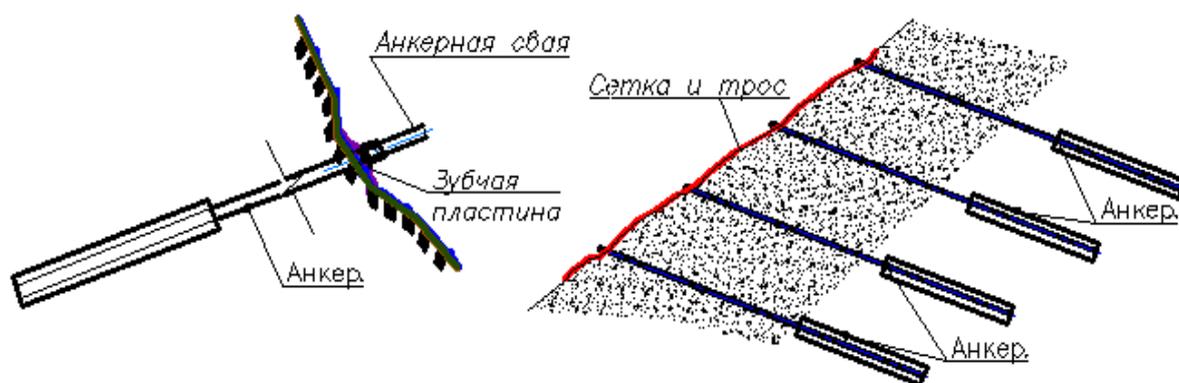


Рис. 1.12 Схема устройства анкеров.

Для повышения эффективности анкеров можно комбинировать диагональные связи из высокопрочных тросов с покровной полимерной или металлической сеткой для механического объединения всех анкеров в единую систему. Можно одновременно применять покровную сетку с минимальной деформационной способностью в направлении основных нагрузок, а для передачи усилий анкера на максимальную площадь грунта использовать железобетонные, металлические или деревянные балки (рис. 1.13).. «Вжимание» покровной сетки и тросов в грунт по оси анкера позволит распределить напряжение в системе «грунт-поверхность-анкер».

Буроинъекционные анкеры имеют недостаточную эффективность во влажных, песчаных, дресвяных слабосвязанных грунта, когда цементация в теле скважины не дает достаточного сцепления со стенками. Приходится либо забуриваться на большие глубины, либо делать пучок анкеров с малой несущей способностью, объединяя на восприятие точечной нагрузки. Это удорожает работы и не всегда приводит к цели.

В этих случаях хорошей альтернативой являются самораскрывающиеся анкеры американской фирмы FORESIGHT. Грунтовые анкеры Duckbill, Manta Ray и Stingray – это своеобразные самораскрывающиеся грунтовые «якоря».

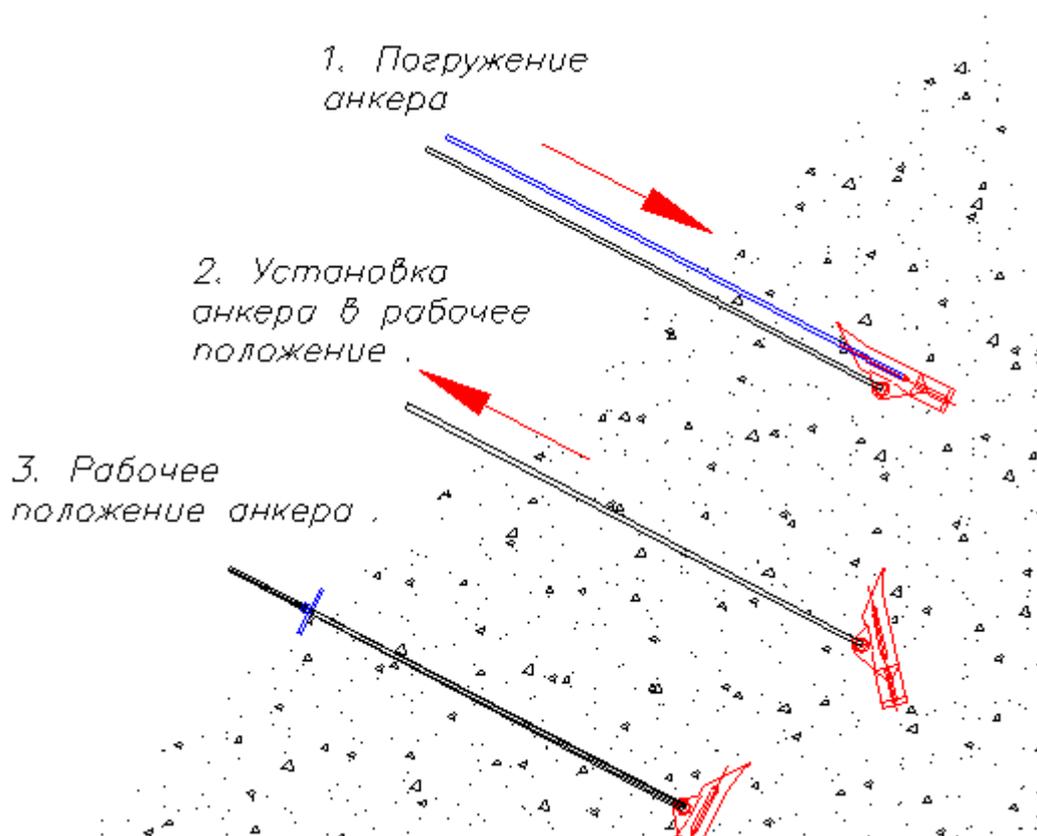


Рис. 1.13 Схема установки анкеров Manta Ray (Sting Ray)

### Торкретирование.

Представляет собой струйное нанесение бетонной смеси на поверхность откоса (рис. 1.14).. Как правило, до торкретирования на поверхность склона монтируется арматурная сетка с анкерным креплением к склону. Затем происходит набрызг бетона, в результате чего возникает прочная система «грунт-арматура-бетон», которая противостоит механическим нагрузкам и эрозии.



Рис. 1.14. Нанесение бетонной смеси при торкретировании

Плюсом этого способа удержания оползневого массива является независимость от основания – сетка крепится к склону анкерами. Торкретирование осуществляется с помощью специального оборудования, но без использования тяжелой техники и дополнительных насыпных материалов, таких как грунт, щебень, песок. Можно применять на склонах с большим уклоном (как правило, торкретирование применяется на вертикальных склонах) [28].

#### Физико-химические способы закрепления грунтов.

Этот способ предполагает искусственное преобразование строительных свойств грунтов, используемых в строительстве, различными физико-химическими способами в условиях их естественного залегания [29].

Искусственное преобразование грунтов предполагает увеличение их прочности, устойчивости, уменьшение водонепроницаемости, сжимаемости, а также ослабление чувствительности природной прочности грунтов к изменению внешней среды, особенно влажности.

Применение физико-химических способов закрепления грунтов решает следующие вопросы строительной практики [30]:

- усиление фундаментов под существующими сооружениями;
- строительство промышленных и гражданских сооружений на просадочных грунтах;
- вскрытие насухо котлованов в водонасыщенных грунтах;
- проходка подземных выработок;
- создание противofiltrационных завес;
- защита бетонных сооружений (фундаментов) от вредного влияния агрессивных грунтовых вод;
- увеличение несущей способности свай и опор большого диаметра.

Улучшение строительных свойств грунтов основания производится нагнетанием под давлением скрепляющего раствора в грунт природного сложения с использованием одного из инъекционных способов, которые, в зависимости от применяемого раствора делятся на следующие виды [31]:

- цементация: скальные трещиноватые горные породы с раскрытием трещин не менее 0,15-0,2 мм, гравелистые горные породы, крупнозернистые пески, разуплотненные грунты;
- глинизация применяется для формирования водоизоляционных завес в основании плотин, дамб и других инженерных сооружений;
- битумизация применяется при проходке вертикальных стволов горнодобывающих предприятий;
- силикатизация:
  - двухрастворная, применяют для силикатизации песков с коэффициентом фильтрации 2-80 м/сут поочередным нагнетанием в грунт растворов силиката натрия и хлористого кальция через скважины;
  - однорастворная, используют для силикатизации тонкозернистых и лёссовидных пород с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 5 м/сут, путем введения гелеобразующих растворов малой вязкости;

- газовая, применяют для силикатизации песков с коэффициентом фильтрации 0,2 - 20 м/сут, тонкозернистых и лёссовидных пород с коэффициентом фильтрации ниже 0,1 м/сут.
- смолизация применяется для создания противofильтрационных завес при проходке подземных выработок в обводненных песках с коэффициентом фильтрации 0,5-5 м/сут.

## **1.6 Цель, идея работы, основные задачи и методы исследования**

Среди опасных геологических процессов значительное распространение получили оползневые процессы, количество которых уже превысило 20 тыс. и постоянно увеличивается. Большая часть территории Украины подвержена воздействию этих процессов, что обусловлено её геологическим строением и геоморфологическими условиями. Для города Днепра, правобережная часть которого находится на отрогах Приднепровской возвышенности оползни являются огромной проблемой.

Развитие оползневых процессов приводит к значительным разрушениям и катастрофическим последствиям, что предполагает масштабное и детальное изучение причин возникновения и степени опасности оползней.

На всей территории Украины выполняются комплексные мероприятия инженерной защиты по предотвращению и предупреждению активизации склоновых гравитационных процессов природного и техногенного характера.

Сегодня все виды сооружений инженерной защиты основываются на механической стабилизации гравитационных процессов за счет жесткости основных несущих элементов. Существующие физико-химические способы закрепления грунтов позволяют увеличить их прочность и устойчивость. Так, применение напорной цементации грунтов для стабилизации оползней позволит увеличить физико-механические характеристики зоны скольжения и стабилизировать оползневые грунты.

Задача изменения физико-механических характеристик зоны скольжения оползня может быть решена на основе развития и применения метода напорной цементации грунтов. В связи с этим, актуальность работы состоит в обосновании геомеханических параметров способа инъекционного закрепления оползнеопасных грунтовых структур.

**Целью работы** является обоснование геомеханических параметров способа инъекционной стабилизации оползнеопасных грунтовых структур.

**Основная идея** работы состоит в учете закономерностей изменения деформационных характеристик зоны скольжения при разработке геомеханической модели и обеспечении стабилизации оползневого массива способом цементации грунтов.

**Объект исследований** – напряженно-деформированное состояние оползневых грунтов.

**Предмет исследований** – физико-механические свойства грунтов и распределение касательных напряжений в зоне скольжения и в оползневом теле.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Анализ состояния вопросов об активизации и стабилизации оползневых систем в условиях г. Днепра.
2. Разработка геомеханической модели оползнеопасного склона для условий г. Днепра.
3. Аналитические исследования геомеханических процессов при стабилизации оползневых грунтов.
4. Обоснование геомеханических параметров способа инъекционного закрепления оползнеопасных грунтовых структур.

**Методы исследований.** Методическую основу исследований составляет комплексный подход, который включает в себя анализ и обобщение литературных данных по теме работы, аналитические исследования, выполненные с целью обоснования геомеханических параметров способа инъекционного закрепления оползнеопасных грунтовых структур.

## ВЫВОДЫ

1. Оползни и процессы, происходящие в сдвигающемся массиве, в разное время были изучены и классифицированы многими учеными и организациями. Определены параметры оползневых склонов, механизм формирования рельефа, выделены основные группы оползней. Изучены и систематизированы физико-механические характеристики грунтов по основным районам их распространения. Рассмотрены основные инженерно-геологические особенности оползней, их геометрические параметры и генезис.

2. Для оползневых грунтов выполнен анализ деформаций в течение длительного времени, стадии развития оползневых процессов, предел развития потери устойчивости, причины развития вязкопластических деформаций.

3. Различные виды противооползневых сооружений дают возможность использовать их в борьбе с оползневыми процессами, обеспечивать устойчивость откосов и склонов. Эффективность каждого типа конструкций определяется конкретной инженерно-геологической обстановкой. Рассмотренные классические виды противооползневых сооружений для условий Днепра стабилизируют оползневые процессы путем механического сдерживания оползневых масс. В свою очередь, разнообразие способов искусственного преобразования строительных свойств грунтов, используемых в строительстве, позволяет улучшить свойства оползневых грунтов изменяя вид деформаций зоны скольжения.

## РАЗДЕЛ 2

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕВЫХ ГРУНТОВ

#### 2.1 Анализ аналитических исследований геомеханических процессов в области скольжения оползневого массива

Оползневые массы в течение длительного времени испытывают различный характер деформаций и находятся в состоянии от стабилизации до катастрофических смещений. Это дало возможность выделить две стадии развития оползневого процесса [32, 33]:

- временной стабилизации, которая характерна отсутствием глубоких смещений, а поверхность склона близка к циклоиде.
- смещений, которые в зависимости от характера и величин деформаций расчленяется на 4 фазы:
  1. регрессивных;
  2. общих медленных;
  3. общих катастрофических;
  4. затухающих смещений.

Стадия смещений начинается с фазы регрессивных смещений, для которой характерно наличие локально-активных участков, расширяющихся вверх по склону. Наиболее интенсивное развитие отмечается в пределах абразионного уступа. В фазе общих медленных смещений (скорость от 0,2 до 1 м/год) поверхность оползня приобретает пологоступенчатую форму, а породы полностью вовлекаются в смещение. Фаза общих катастрофических смещений начинается с необычайно сильного повышения (до 2 м/сутки) скоростей смещения нижних частей, после чего повышается скорость средних, а затем и верхних частей. Происходит существенное перераспределение масс на склоне, изменяется профиль склона (от полого-ступенчатого к циклоидному),

формируются зоны сжатия (для предыдущих фаз характерны зоны растяжения). Эти обстоятельства обусловили затухания скоростей движения от нижней части оползня к верхней.

Существует предел развития потери устойчивости грунтового массива. Это происходит в результате нарушения баланса между силами, сдвигающими оползневое тело ( $T_{cd}$ ) и удерживающими его контрсилами ( $T_{yd}$ ). Следовательно, оползневое тело находится в предельном равновесии, коэффициент его устойчивости больше или равен единице.

$$T_{cd} \leq T_{yd} \quad (2.1)$$

Если это равновесие нарушается, происходит обрушение или мгновенная потеря устойчивости. Тело оползня смещается по линии, называемой плоскостью скольжения. Фактически, нарушается баланс не оползневого тела, а происходят вязкопластические деформации в плоскости скольжения, за счет которых и происходит сдвиг грунтового массива [34, 35].

Устойчивость склонов (откосов) рассчитывают по первому предельному состоянию. При этом расчеты проводят на основное и особое сочетание нагрузок, которые действуют на склон [36].

Расчет устойчивости оползневого склона (откоса) производят по выражению [37]:

$$\frac{R}{N_p} = \frac{\psi_c \gamma_h}{\gamma_c}, \quad (2.2)$$

где  $R$  – общее предельное значение сопротивления грунтов сдвигу;

$N_p$  – общее расчетное значение усилий, которые действуют на оползневой массив, выраженное в силовой или моментной форме;

$\gamma_c$  – коэффициент сочетания нагрузок;

$\gamma_h$  – коэффициент надежности;

$\psi_c$  – коэффициент условий работы.

Развитие вязкопластических деформаций в плоскости скольжения происходит по нескольким характерным причинам [38]:

- при насыщении водой грунтового массива, слагающего оползневое тело и, как следствие, увеличение его общей массы;
- при контакте с водой непосредственно плоскости скольжения происходит потеря прочностных характеристик плоскости скольжения;
- при пригрузке головной части тела оползня и, как следствие, увеличение его общей массы (прогрессивный);
- при подсечке языковой части оползня, в результате чего происходит потеря устойчивости, за счет выемки грунта контрфорсной части, которая служит подпором для вышележащих масс (регрессивный).

Обрушение, как и любая форма потери устойчивости грунтового массива, связано с преодолением действующих на некоторых площадках касательными сдвигающими напряжениями, сил сопротивления грунта сдвигу. Касательные напряжения в толще откоса возникают под воздействием собственного веса грунтовой толщи, а так же дополнительной перегрузке и фильтрационного давления через толщу воды [39].

Сопротивление грунта сдвигу, как и во всех иных случаях, определяется возникающими в его массиве силами внутреннего трения и сцепления. При вещественном значении угла внутреннего трения ( $\varphi > 0$ ) силы трения возникают под собственным весом грунтовой толщи. Очевидно, что сдвиг происходит по площадкам с относительно наибольшим значением отношения касательного напряжения к сопротивляемости сдвигу в данной точке и по наиболее напряженной поверхности. В пределе все эти площадки сливаются в некоторую криволинейную поверхность скольжения.

В модели Маслова [40], предполагается, что обрушение может произойти лишь в результате вращения оползающего грунтового массива вокруг центра  $O$  (рис. 2.1).

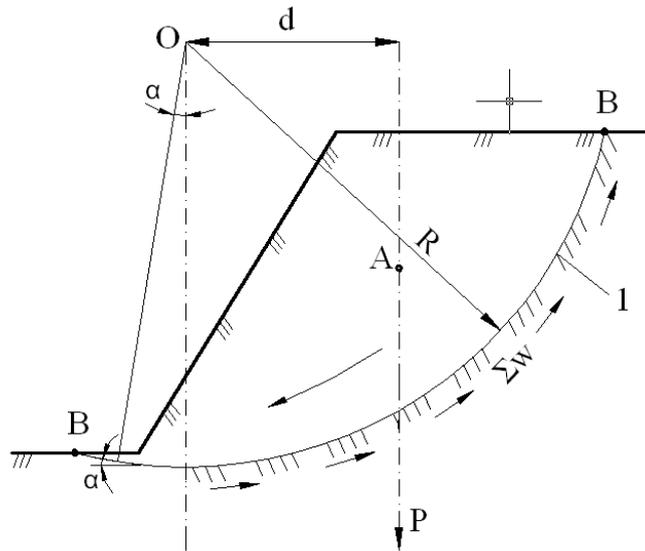


Рис. 2.1. Условия оценки степени устойчивости грунтового массива по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения

Следовательно, поверхность скольжения  $B-B$  будет представлена дугой некоторого круга радиусом  $R$ , очерченного из центра  $O$ . Оползающий массив в данном случае рассматривается как некоторый твердый блок, всеми своими точками участвующий в одном общем движении.

Оползающий массив находится под воздействием двух моментов: вращающего массив  $M_{ep}$ , удерживающего массив  $M_{yd}$ . Коэффициент устойчивости массива ( $K_{уст}$ ) будет определяться величиной соотношения этих моментов:

$$K_{уст} = \frac{M_{yd}}{M_{ep}}. \quad (2.3)$$

Задача решается в двух вариантах в условиях:

- однородного массива, сложенного пластичными глинистыми породами ( $\varphi = 0$ ;  $c \neq 0$ );
- массива, сложенного жесткими и скрыто-пластичными глинами ( $\varphi \neq 0$ ;  $c \neq 0$ ).

**Случай  $\varphi = 0$ ;  $c \neq 0$ .** Вес оползающего массива обозначается через  $P$ , эта сила приложена в центре тяжести сечения массива  $A$  и действует относительно центра вращения  $O$ , с плечом  $d$  (см. рис. 2.1).

Тогда:

$$M_{\text{вп}} = Pd. \quad (2.4)$$

При откосах, сложенных исключительно пластичными глинами, когда сопротивляемость сдвигу породы определяется лишь ее связанностью  $\Sigma w$ , величина удерживающего момента  $M_{y\partial}$ , определяется выражением:

$$M_{y\partial} = \Sigma wLR, \quad (2.5)$$

величина коэффициента устойчивости рассчитывается:

$$K_{\text{уст}} = \frac{\Sigma wLR}{Pd}. \quad (2.6)$$

**Случай  $\varphi \neq 0$ ;  $c \neq 0$ .** В данном случае появляется необходимость учета переменных значений сил трения  $T$ , возникающих при сдвиге по поверхности скольжения в разных её точках:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.7)$$

где  $N$  – нормальная составляющая веса  $P$  некоторой части массива к касательной поверхности скольжения в данной ее точке, например, в точке  $A$  (рис. 2.2).

Тогда нормальная составляющая вычисляется по формуле:

$$N_i = P_i \cos \alpha_i, \quad (2.8)$$

где  $i$  – угол наклона касательной линии в точке  $A$  к поверхности скольжения относительно горизонта, численно равный углу с вертикалью радиус-вектора  $R$ , проведено к этой точке (см. рис. 2.1).

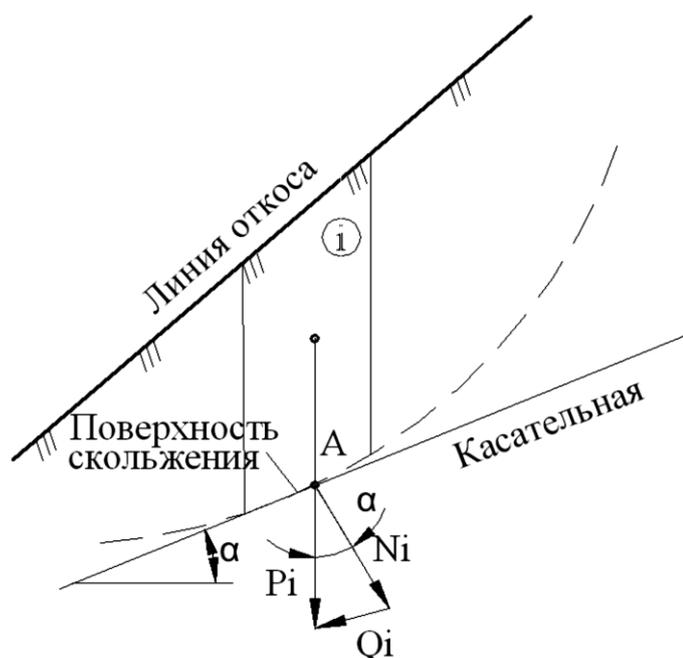


Рис. 2.2. Расчетная схема по оценке степени устойчивости оползневого откоса

Помимо угла  $\alpha$ , в разных точках кривой скольжения может изменяться и величина  $P_i$ . Все эти обстоятельства позволяют находить величину коэффициента запаса устойчивости в рассматриваемых условиях:

$$K_{зан} = \frac{\Sigma M_{y\delta}}{\Sigma M_{вр}}. \quad (2.9)$$

Для этого расчленяют оползневой массив на ряд блоков, для каждого из которых необходимо определить силы сопротивления сдвигу [41].

$$K_{зан} = \frac{\Sigma P_i \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i}{\Sigma P_i \sin \alpha_i}. \quad (2.10)$$

Наиболее рациональным методом для определения коэффициента устойчивости и оползневого давления при проектировании противооползневых сооружений и оценки состояния оползневых склонов является метод проф. Г.М. Шахунянца [41].

В данной модели коэффициент устойчивости склона определяется по формуле:

$$K_{ycm} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} [N_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + T_{i y \delta}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=m} T_{i c \delta \theta} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}, \quad (2.11)$$

где  $T_{i c \delta \theta}$  и  $T_{i y \delta}$  – соответственно тангенциальные силы в блоках активной и пассивной частей склона.

Каждый ограниченный предполагаемой поверхностью скольжения отсек разбивают на отдельные блоки вертикальными плоскостями, проведенными в местах перелома поверхности скольжения так, чтобы в пределах каждого блока, по его основанию, сдвиговые характеристики грунтов были одинаковы (рис. 2.3).

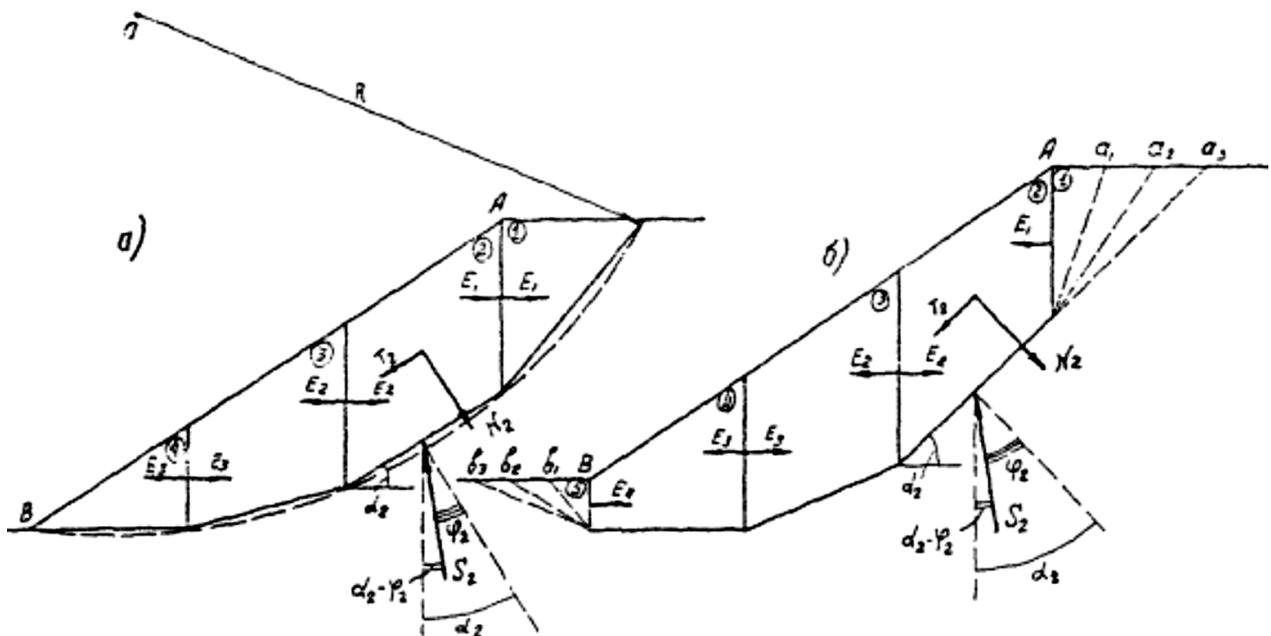


Рис. 2.3. Расчетная схема к методу Г.М. Шахунянца: а – поверхность смещения проходит через подошву склона; б – поверхность смещения проходит через основание склона

Определяются величины нормальной  $N_i$  и тангенциальной  $T_i$ , составляющих силы веса по блокам, а также силы сцепления  $c_i$ .

Оползневое давление рассчитывается по формуле:

$$E_{on} = \sum_{i=1}^{i=n} \left[ K_{уст} (P_i \sin \alpha_i Q_{ci}) - (P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i) \right] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} \quad (2.12)$$

где  $P_i$  – вес грунтовой толщи между поверхностью рельефа и плоскостью скольжения;

$K_{уст}$  – нормативный коэффициент устойчивости;

$\alpha$  – угол наклона поверхности скольжения к горизонту в  $i$ -том блоке;

$\varphi_i$  – угол внутреннего трения;

$c_i$  – структурное сцепление;

$l_i$  – длина расчетного блока.

Удерживающие противооползневые сооружения должны обеспечивать восприятие оползневого давления при принятом нормативном коэффициенте запаса устойчивости склона (откоса) [42].

Коэффициент  $K_{зан}$  определяется в соответствии с требованиями обеспечения нормативного запаса устойчивости оползневого склона, который должен отвечать требованиям ДБН В.1.2-14-2009, ДБН В.1.1-24:2009.

Много исследований посвящено изучению реологических процессов в вязкопластичных системах, к которым относят оползни [43-49].

## **2.2 Исследование наиболее рациональной области инъецирования оползнеопасного участка массива**

В развитии оползневых явлений весьма существенной является форма склона. Характерными параметрами, определяющими его форму, являются высота и крутизна. Необходимо учитывать, что наблюдаемая форма склона обуславливается совокупным воздействием всей естественно исторической обстановки. Очевидно, что при искусственном изменении этой обстановки (подтопление, изменение гидрогеологического режима, подрезки и т.д.), наблюдаемая форма рельефа склона может оказаться уже несоответствующей новым условиям. При подобных условиях неизбежно возникновение оползневых явлений.

Динамика сдвижения пород, слагающих склон или толщу откоса, имеет чрезвычайно большое значение. Следует отметить, что склоны и откосы представлены коренными породами и покровными отложениями. Породы в значительной мере определяют собой и степень устойчивости склона, и характер возможного развития оползневых процессов.

Для рассмотрения вопроса поведения оползневого массива, анализа его состояния и определения равновесной зоны оползня ( $T_{cd} \approx T_{yd}$ ) применялся метод проф. Г. М. Шахунянца [50-52]. В качестве рассматриваемой геомеханической задачи был выбран типичный оползневой склон в г. Днепр (балка Встречная).

Исследуемая территория расположена в южной части склона с отметками поверхности 4,3÷29,1 м.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория осложнена овражно-балочной сетью, по которой в основном осуществляется поверхностный сток при выпадении атмосферных осадков на вышерасположенной территории (рис. 2.4).

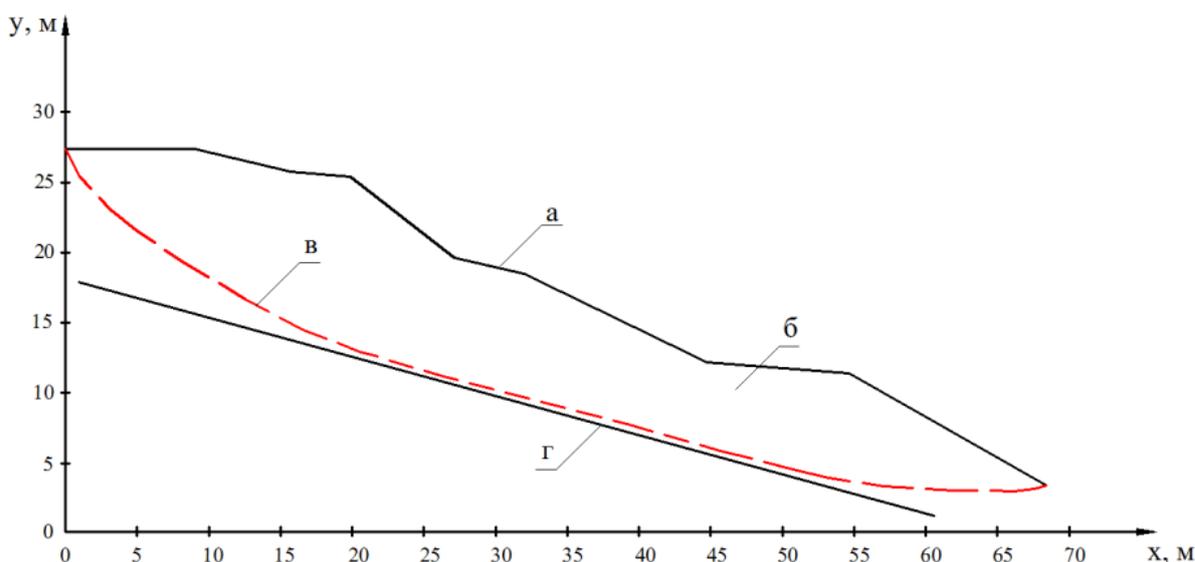


Рис. 2.4. Продольный разрез оползневого склона: *а* – поверхность существующего рельефа; *б* – тело оползня; *в* – предполагаемая поверхность скольжения

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие флишевые породы Приднепровской серии, перекрытые чехлом верхнечетвертично-современных накоплений делювиально-провиллюального, оползневого и техногенного генезиса. Глубина залегания кровли коренных пород в пределах участка варьируется от 2-3 м до 12,5-17,5 м относительно древней поверхности.

Сейсмичность, относится к зоне интенсивности сотрясений на средних грунтах равной 6-ми баллам.

Для определения физико-механических свойств зоны скольжения применим способ обратного расчета методом проф. Г. М. Шахунянца [52]:

$$K_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} [N_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + T_{i \text{ уд}}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=m} T_{i \text{ сдв}} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}, \quad (2.13)$$

где  $K_{уст}$  – коэффициент устойчивости;

$N_i$  – нормальная сила;

$T_i$  – тангенциальная сила;

$c_i$  – сила сцепления;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта;

$\alpha_i$  – угол наклона зоны скольжения к горизонту.

Методика расчета заключается в следующем: каждый отсек, ограниченный предполагаемой поверхностью скольжения, разбивают на отдельные блоки вертикальными плоскостями, проведенными в местах перелома поверхности скольжения так, чтобы в пределах каждого блока по его основанию сдвиговые характеристики грунтов были одинаковы.

Определяются величины нормальной  $N_i$  и тангенциальной  $T_i$  составляющих силы веса по блокам, а также сила сцепления  $c_i$ . Вычисляется коэффициент устойчивости всего отсека обрушения.

Сравнением результатов расчета, полученных по рассмотренным вариантам, устанавливается значение минимального коэффициента

устойчивости и соответствующее ему положение критической поверхности смещения. Коэффициент устойчивости  $K_{уст}$  подбирается близкий к 1 (без учета сейсмического воздействия), путем изменения физико-механических характеристик грунта  $c$  и  $\varphi$  для определения предельного равновесия оползневого склона (метод обратного расчета). Объемная масса грунта  $\gamma$  принималась равная среднему значению исходя из инженерно-геологического строения склона. Свойства грунтов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Физико-механические характеристики грунта

Объемная масса $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $c$ , МПа
1,95	16	0,007

Для определения сдвигающих  $T_{сдв}$  и удерживающих  $T_{уд}$  сил воспользуемся формулами (2.14) и (2.15) соответственно:

$$T_{сдв} = \frac{P_i \sin \alpha_i \cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}, \quad (2.14)$$

$$T_{уд} = \frac{P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i \cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}, \quad (2.15)$$

где  $P_i$  – внешняя активная сила, действующая на  $i$ -й отсек;

$\alpha_i$  – угол наклона поверхности скольжения к горизонту;

$l_i$  – длина блока.

Подставляя значения для блока № 7 получим значения  $T_{сдв} = 22,3$  т/м,  $T_{уд} = 22,7$  т/м.

Аналогичным образом расчет выполнялся по всем блокам.

Расчет на особое сочетание нагрузок (сейсмическое воздействие) выполнялся с учетом коэффициента сейсмичности  $\mu = 0.042$ .

При рассмотрении результатов расчета по блокам № 7-12 можно выделить область, в которой  $T_{\partial} \approx T_{уд}$ .

На основании полученных результатов построены следующие зависимости:

1. Зависимость изменения коэффициента устойчивости от длины оползневого массива при основном и особом сочетании нагрузок (рис 2.5):

$$K_{уст} = f(l_{он}).$$

Коэффициент устойчивости  $K_{уст}$  на участке, соответствующий блокам № 7-12 (27-47м), характеризуется линейной зависимостью, а его значения изменяются в сравнительно малых пределах от 0,614 до 0,754.

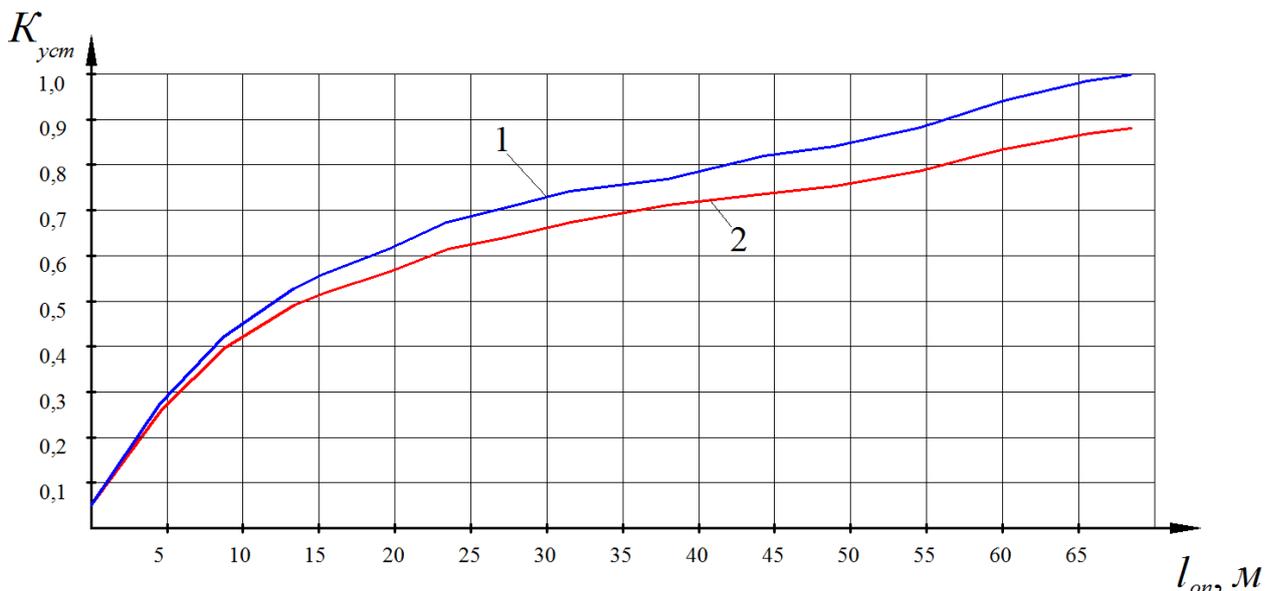


Рис. 2.5. Зависимость коэффициента устойчивости от длины оползневого склона: 1 – для основного сочетания нагрузок; 2 – для особого сочетания нагрузок

2. Зависимость изменения сдвигающих и удерживающих сил от длины оползневого склона при особом и основном сочетании нагрузок (рис. 2.6):

$$T = f(l_{он}).$$

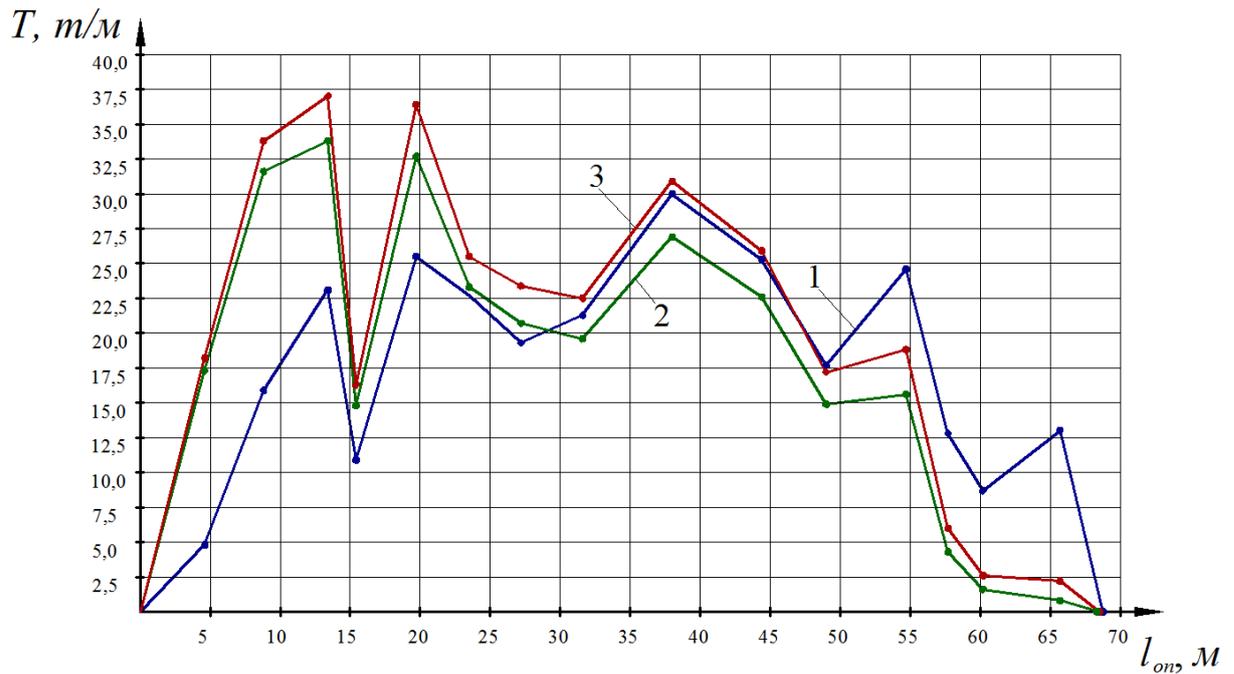


Рис. 2.6. Зависимость изменения сдвигающих и удерживающих сил от длины оползневого склона: 1 –  $T_{уд}$ ; 2 –  $T_{сд}$  при основном сочетании нагрузок; 3 –  $T_{уд}$  при особом сочетании нагрузок

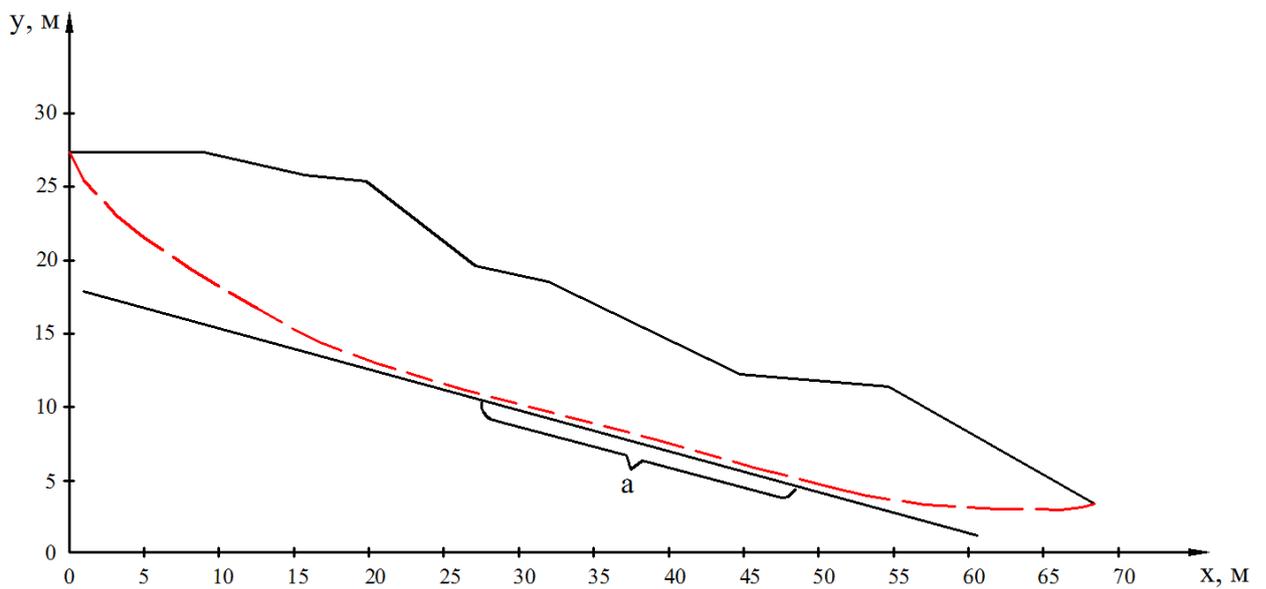


Рис. 2.7. Продольный разрез оползневого склона: а - зона предельного равновесия сил

Рассматривая графики зависимостей и полученные результаты расчета в пределах блоков № 7-12, можно выделить зону (рис. 2.7), в которой удерживающие силы  $T_{уд}$  будут примерно равны  $T_{сд}$  как для основного, так и для особого сочетания нагрузок.

Как правило, зона равновесия наблюдается на оползневых участках в стабилизированной части оползня, так называемая зона продольного сдвига [53], в которой сдвиг при потере устойчивости происходит прогрессивно. Оползневые блоки воспринимают не только собственную нагрузку, а и нагрузку от выше лежащих блоков. Передавая ее на блоки нижних ярусов, таким образом, выполняя функцию буферной области.

Следовательно, применение метода напорной цементации будет наиболее эффективно в области буфера, так как вероятность переползания вышележащего массива через область инъецирования крайне мала вследствие повышения устойчивости закрепленного участка, изменения его физико-механических характеристик и резкого увеличения угла предполагаемой поверхности скольжения. Возможность смещения массива ниже зоны буфера и вероятность регрессивных перемещений оползневых блоков так же не представляется возможным в связи с недостаточным углом наклона поверхности и характерной формой контрфорсной части оползня, в которой коэффициент устойчивости максимальный.

## **ВЫВОДЫ**

1. Для оползневых грунтов выполнен анализ деформаций в течение длительного времени, стадии развития оползневых процессов, предел развития потери устойчивости, причины развития вязкопластических деформаций. Рассмотрен основной принцип определения коэффициента запаса устойчивости, выделены две геомеханические модели оползневого массива, которые рассматривают процессы, протекающие непосредственно в теле оползня, расчлененного на блоки.

2. Метод напорной цементации оползневых грунтов позволяет стабилизировать деформационный процесс. Применение метода напорной цементации наиболее эффективно в зоне предельного равновесия сил.

## РАЗДЕЛ 3

# ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПОСОБА НАПОРНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ

### 3.1 Обоснование эффективности напорной цементации грунтов в зоне скольжения оползня

Для стабилизации оползневых процессов применяются различные методы механического воздействия на оползневой массив с целью его закрепления [54-56]. В данной работе рассматривается метод напорной цементации как способ стабилизации в контексте изменения физико-механических свойств оползневого тела и зоны скольжения (рис. 3.1).

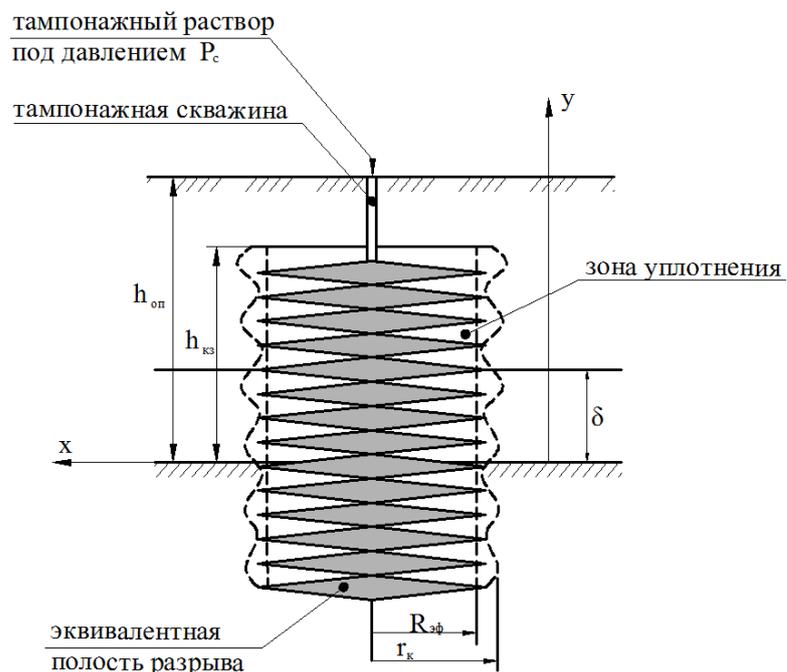


Рис. 3.1. Принципиальная схема закрепления оползневого тела методом напорной цементации:  $h_{оп}$  – мощность оползневого тела;  $h_{кз}$  – мощность консолидированной зоны;  $\delta$  – мощность зоны скольжения;  $R_{эф}$  – эффективный радиус распространения;  $r$  – максимальный радиус распространения раствора

В качестве рассматриваемого объекта исследований был выбран оползневой склон в районе г. Днепр. Исследование оползневой системы и инженерно-геологической ситуации были выполнены ООО НПП «ГИИНТИЗ» в 2010 году. Исследуемая территория расположена на южном склоне балки Встречная в районе средне крутого и крутого откоса. В абсолютных отметках 0.0...31.1 м.

Рельеф участка и склона сформирован денудационными, абразионными, древне оползневыми и современными оползневыми процессам и осложнен техногенным воздействием.

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие коренные флишевые породы Днепровской серии, перекрытые древнеоползневыми и современными оползневыми отложениями. В виду перепланировки склона под благоустройство территории и строительство сооружений в пределах изучаемой территории широко распространены техногенные образования.

Глубина залегания кровли коренных грунтов в пределах участка варьируется от 5,5 м до 10,5 м относительно древней поверхности. Сейсмичность относится к зоне интенсивности сотрясений на средних грунтах равная 6-ю баллам.

Форма оползневого склона с учетом проектируемого сооружения имеет вид, показанный на рис. 3.2.

Расчет коэффициента устойчивости производим по предполагаемым поверхностям смещения (А-Б, А-С, А-Д), используя метод проф. Г.М. Шахунянца.

Сущность метода заключается в следующем: каждый отсек, ограниченный предполагаемой поверхностью скольжения, разбивают на отдельные блоки вертикальными плоскостями, проведенными в местах перелома поверхности скольжения так, чтобы в пределах каждого блока по его основанию сдвиговые характеристики грунтов были одинаковы. Определяются величины нормальной

$N_i$  и тангенциальной  $T_i$ , составляющих силы веса по блокам, а также сила сцепления  $c_i$ . Вычисляется коэффициент устойчивости всего отсека обрушения.

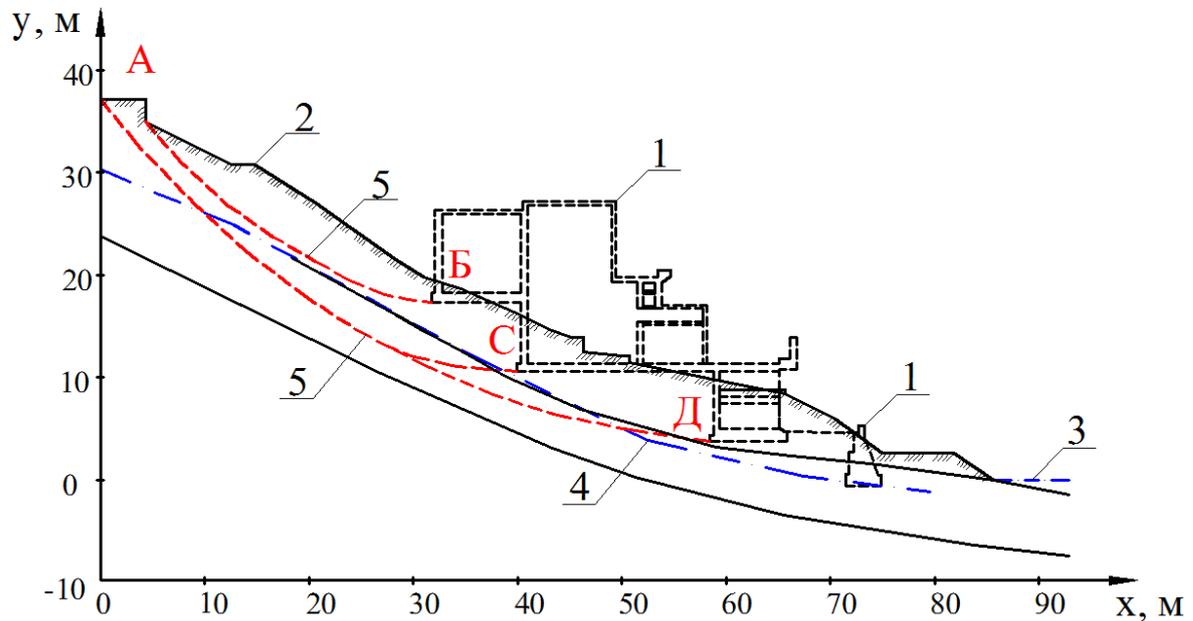


Рис. 3.2. Продольный разрез оползневого склона: 1 – контур проектируемых сооружений; 2 – линия естественного рельефа; 3 – урез реки; 4 – уровень грунтовых вод; 5 – предполагаемые поверхности смещения оползня

Для расчета устойчивости и определения оползневого давления были использованы следующие физико-механические характеристики грунта, приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Физико-механические характеристики грунта

Объемная масса $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $c$ , МПа
2,18	18	0,023

Выполним расчет сдвигающих  $T_{сов}$  и удерживающих  $T_{уд}$  сил для блока № 5 по расчетной кривой А-Б:

$$T_{сдв} = \frac{P_5 \sin \alpha_5 \cos \varphi_5}{\cos(\alpha_5 - \varphi_5)} = \frac{9,2 \sin(46) \cos(18)}{\cos(46 - 18)} = 7,1 \text{ т/м},$$

$$T_{yd} = \frac{P_5 \cos \alpha_5 \operatorname{tg} \varphi_5 + c_5 l_5 \cos \varphi_5}{\cos(\alpha_5 - \varphi_5)} = \frac{9,2 \cos(46) \operatorname{tg}(18) + 5,28 \cos(18)}{\cos(46 - 18)} = 8,0 \text{ т/м}.$$

Для остальных блоков расчет выполнялся аналогично.

Далее определим оползневое давление и коэффициент устойчивости для блока № 5 по расчетной кривой А-Б:

$$E_{он} = T_{сдв} K_{уст\ норм} - T_{yd}, \quad (3.1)$$

где  $K_{уст-норм}$  – нормативный коэффициент запаса устойчивости как для класса ответственности сооружения СС-3 в соответствии с [57].

$$E_{он} = 7,1 \cdot 1,32 - 8,0 = 1,37 \text{ т/м}.$$

Коэффициент устойчивости будет равен:

$$K_{уст} = \frac{\Sigma T_{yd}}{\Sigma T_{сдв}}, \quad (3.2)$$

$$K_{уст} = \frac{12,9}{14,5} = 0,889.$$

Таким образом, суммарное оползневое давление будет равно:

$$\Sigma E_{он} = \Sigma T_{сдв} K_{уст-норм} - \Sigma T_{yd} = 101,9 \cdot 1,32 - 117,2 = 17,3 \text{ т/м}.$$

Коэффициент устойчивости для всего оползневого массива будет равен:

$$K_{уст} = \frac{\Sigma T_{yd}}{\Sigma T_{сдв}} = \frac{117,2}{101,9} = 1,15.$$

Аналогичным образом выполнялись расчеты оползневого давления и коэффициента устойчивости для всех кривых. Результаты расчета приведены в таблице 3.2.

Следовательно, полученные оползневые давления и коэффициенты устойчивости свидетельствуют о необходимости устройства противооползневых

сооружений для восприятия расчетного оползневоего давления и обеспечения нормативного коэффициента запаса устойчивости ( $K_{зан} = 1,32$ ) по каждой поверхности смещения (рис. 3.3).

Таблица 3.2

Результаты расчета оползневого склона

Расчетная кривая	$K_{уст}$	$E_{он}, \text{т/м}$
А-Б	1,15	17,3
А-С	0,77	62,9
А-Д	0,83	100,4

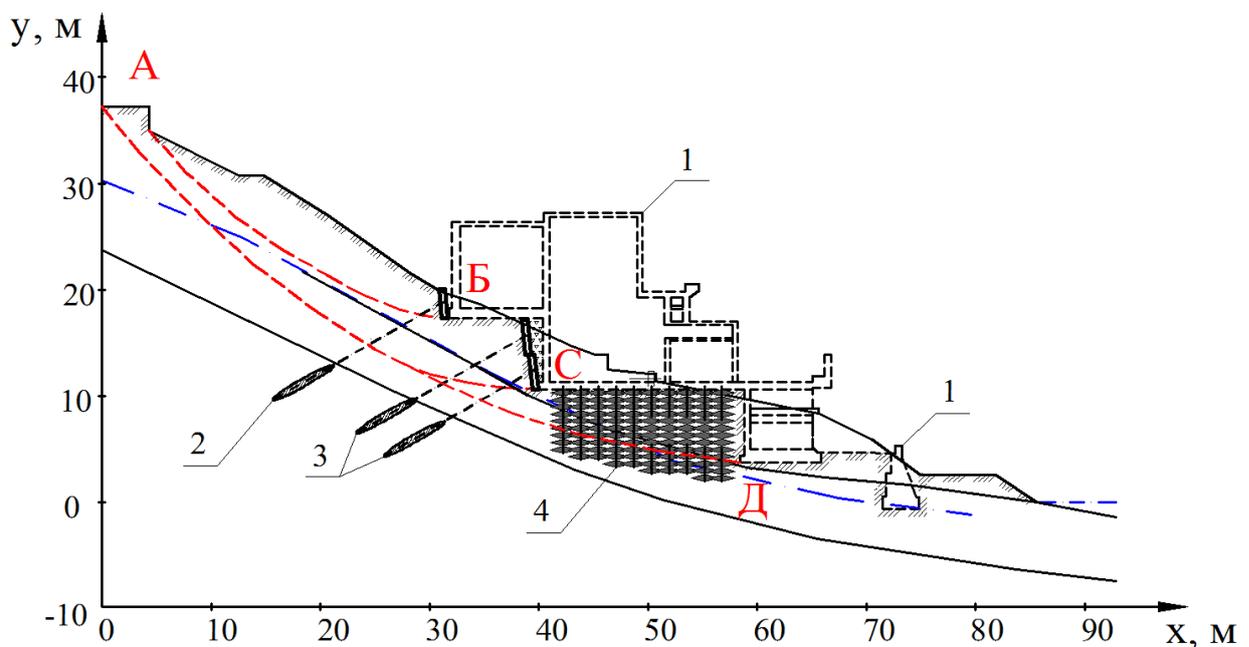


Рис. 3.3. Продольный разрез оползневого склона: 1 – проектируемые сооружения; 2 – анкерный ростверк кривая А-Б; 3 – анкерный ростверк кривая А-С; 4 – область инъекирования

На основании полученных результатов предложено применить комбинированные анкерные системы (монолитные железобетонные плиты, прижатые к склону буроинъекционными канатными анкерами), которые обеспечивают нормативный коэффициент устойчивости и воспринимают

оползневое давление по расчетным кривым А-Б, А-С (параметры приведены в табл. 3.3).

Таблица 3.3

Параметры анкерных систем

Расчетная кривая	$E_{on}$ , т/м	Усилие в анкере, т	Угол наклона анкера, град.	Шаг анкеров, м	Кол-во рядов, шт.	Воспринимаемая нагрузка, т/м
А-Б	16,9	53,4	30	3	1	16,3
А-С	62,9	53,4	30	1,5	2	62,8

При проектировании здания в связи с недостаточной несущей способностью основания возникла необходимость его усиления. Для усиления основания был применён метод напорной цементации. Для этого через вертикальные скважины заходками «снизу-вверх» осуществляется нагнетание цементного раствора в грунт.

Скважины расположены таким образом, чтобы область инъектирования перекрывала всю зону скольжения и заглублялась в коренной грунт (см. рис. 2.7).

В соответствии с инженерно-геологическими условиями и технологической схемой нагнетания цементного раствора принимается следующая схема расположения скважин: 0-10,0 м – диаметр бурения 112 мм; диаметр обсадки 75 мм; шаг 1,5×1,5 м, плотность нагнетаемого раствора 1800 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, при помощи метода напорной цементации были изменены физико-механические характеристики основания, расположенного под зданием и зоны скольжения оползня. Принимаем, что после проведения инъектирования грунтов получены следующие их физико-механические характеристики (табл. 3.4).

Таблица 3.4

## Физико-механические характеристики грунта после инъекции

Объемная масса $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $c$ , МПа
2,36	25	0,035

После выполнения расчета с полученными новыми физико-механическими характеристиками оползневое давление и коэффициент устойчивости определяются следующими показателями, приведёнными в табл. 3.5.

Таблица 3.5

## Результаты расчета оползневого склона

Расчетная кривая	$K_{уст}$	$E_{on}$ , т/м
А-Д	1,07	31,8

Таким образом, суммарное оползневое давление по предполагаемым поверхностям смещения (А-Б, А-С) воспринимаемое комбинированными анкерными конструкциями составляет 79,1 т/м. Максимальная нагрузка полученная по кривой А-Д составляет 100,4 т/м.

Следовательно, остаточное давление по кривой А-Д с учетом восприятия анкерными конструкциями составляет 21,3 т/м, которое воспринимается грунтом, усиленным при помощи метода напорной цементации.

### 3.2 Численное моделирование оползневого склона методом конечных элементов

Решение современных задач строительной механики связано с использованием новых материалов, учетом многих факторов, а также более сложных расчетных схем близких к реальным конструкциям и природным объектам. Поэтому при исследовании напряженно-деформированного

состояния, устойчивости и колебаний конструкций усложняется расчет и требует применения численных методов исследования, заимствованных из механики твердого деформируемого тела [58]. Наиболее эффективные из них – метод конечных элементов (МКЭ) и метод граничных элементов (МГЭ). Более сложным и активно развивающимся является метод дискретных элементов (МДЭ), который применяют для решения задач, связанных с изучением процессов разрушения горных пород и массивов.

Эти методы представляют собой мощные вычислительные средства, получившие в последние годы особую ценность с развитием компьютерной техники и программного обеспечения. Они достаточно гибки в отношении решения большого разнообразия задач для многосвязных областей с различным типом неоднородностей. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки в зависимости от конкретных условий рассматриваемой модели и поставленных целей.

Для решения различных задач в области геотехники и геомеханики, чаще используется метод конечных элементов, который имеет более широкие возможности для моделирования разных неоднородностей среды и нелинейности физических соотношений. С учетом этого МКЭ выгодно отличается возможностью получения решений в нелинейной постановке, т.е. в предположении, что среда деформируется неупруго, допускает пластические деформации или хрупкое разрушение и это делает его удобным и мощным средством решения различных нелинейных задач.

Аппроксимация объекта исследования на конечное число элементов, принятая в МКЭ, имеет хорошо выраженную физическую природу, что делает удобным представление результатов расчетов. МКЭ присущи легкость расчета напряженного состояния тел из нескольких материалов с нерегулярными границами, простота учета различных граничных условий.

Аппарат МКЭ применим не только к решению плоских задач, пространственная область массива также может быть аппроксимирована объемными конечными элементами.

Таким образом, учитывая достоинства МКЭ при решении нелинейных задач, хорошую разработанность его математического аппарата, большое удобство при его алгоритмизации для ЭВМ, широкое распространение при решении задач геомеханики, он принят в настоящей работе в качестве численного метода исследований.

Основные положения метода конечных элементов сформулированы в работах Розина Л.А., Зенкевича О., Норри Д. и де Фриза Ж. и др. Применительно к задачам геомеханики положения метода разработаны Фадеевым А.Б., Амусиным Б.З., Ержановым Ж.С. и Каримбаевым Т.Д.

На кафедре строительства, геотехники и геомеханики Национального горного университета уже около 20 лет при решении исследовательских и производственных задач как в области геомеханики, так и в геотехнике, используется численное моделирование процессов, протекающих в массивах горных пород и грунтов, что позволило разработать ряд оригинальных методологических подходов, отработать некоторые методические и программные модули и, на этой основе, получить необходимые результаты с достаточной для инженерных обоснований точностью.

Математическую основу метода составляют вариационные принципы, заимствованные из строительной механики.

Алгоритм определения напряженно-деформированного состояния породного массива методом конечных элементов заключается в следующем.

Из бесконечного массива выделяется некоторая интересующая нас область, например, в окрестности подлежащей изучению области породного массива (рис. 3.4, а).

Действие отброшенной части массива заменяем усилиями, приложенными на границе области:

$$\sigma_y = -\gamma H ; \quad \sigma_x = -\lambda \gamma H . \quad (3.3)$$

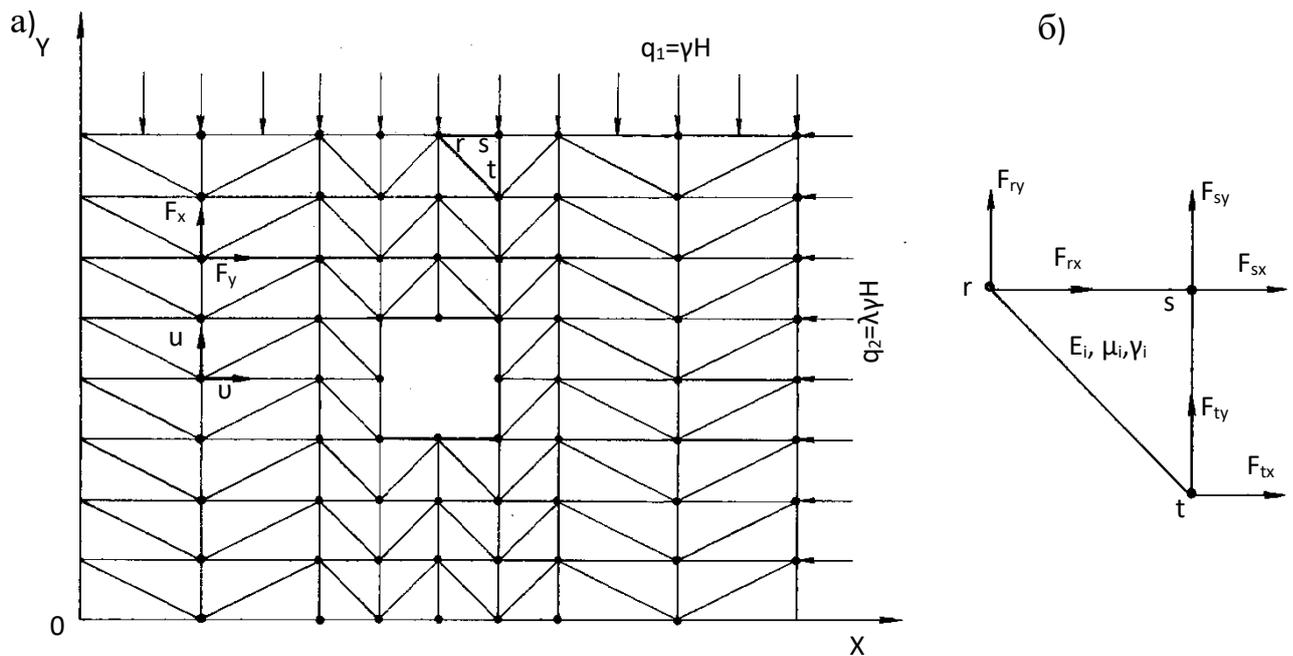


Рис. 3.4. Конечно-элементная аппроксимация исследуемой области (а) и ее произвольный  $i$ -й элемент (б)

Вся исследуемая область делится на подобласти, достаточно малые, чтобы считать внутри них среду однородной и изотропной (рис. 3.4, б). Поэтому свойства среды в каждой из подобластей описываются постоянными (для данной подобласти) характеристиками:  $E, \mu, \gamma$ . Эти подобласти называются конечными элементами. Они взаимодействуют друг с другом в узлах через узловые силы  $\bar{F}$  и узловые перемещения  $\delta$ . В таком виде исследуемая область подобна некоторой стержневой системе. Сообщая одному узлу усилие или перемещение, получим отклик во всей системе, в каждом из ее узлов. Компоненты вектора перемещений произвольной внутренней точки связывают с компонентами вектора перемещений узлов (подробный вывод опускаем).

Из множества векторов  $\{F\}_e$  и  $\{\delta\}_e$  формируется обобщенный вектор сил  $\{F\}$  и вектор перемещений узлов  $\{U\}$ , которые связаны между собой равенством:

$$\{F\} = K \{U\}. \quad (3.4)$$

Здесь  $K$  – обобщенная матрица жесткости системы, элементами которой являются матрицы жесткости каждого конечного элемента:

$$K = \begin{bmatrix} \sum_{e=1}^m k_{1,1}^{(e)} & \sum_{e=1}^m k_{1,2}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{1,j}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{1,2n}^{(e)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{e=1}^m k_{i,1}^{(e)} & \sum_{e=1}^m k_{i,2}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{i,j}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{i,2n}^{(e)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{e=1}^m k_{2n,1}^{(e)} & \sum_{e=1}^m k_{2n,2}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{2n,j}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{2n,2n}^{(e)} \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

Принцип ее построения подробно приводится в [54-56].

Это равенство, записанное в матричной форме, представляет собой систему линейных уравнений.

$$\begin{aligned} U_1 K_{11} + V_1 K_{12} + U_2 K_{13} + V_2 K_{14} + \dots + U_{2n} K_{1,2n-1} + V_{2n} K_{1,2n} &= F_{x1} \\ U_1 K_{21} + V_1 K_{22} + U_2 K_{23} + V_2 K_{24} + \dots + U_{2n} K_{2,2n-1} + V_{2n} K_{2,2n} &= F_{y1} \\ \dots & \\ \dots & \\ U_1 K_{2n-1,1} + V_1 K_{2n-1,2} + U_2 K_{2n-1,3} + V_2 K_{2n-1,4} + \dots + U_{2n} K_{2n-1,2n-1} + V_{2n} K_{2n-1,2n} &= F_{xn} \\ U_1 K_{2n,1} + V_1 K_{2n,2} + U_2 K_{2n,3} + V_2 K_{2n,4} + \dots + U_{2n} K_{2n,2n-1} + V_{2n} K_{2n,2n} &= F_{yn} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Определив в результате решения для каждого узла компоненты вектора перемещений, через координатную матрицу переходят к деформациям в центре тяжести конечного элемента  $\{\varepsilon\}$ , а от деформаций через матрицу параметров упругости к напряжениям  $\{\sigma\}$ . Таким образом, в центре каждого элемента получены значения полного тензора напряжений, деформаций, перемещений.

Неизвестными здесь являются перемещения узлов конечноэлементной сетки  $\{U\}$ . Коэффициенты при неизвестных – элементы матрицы жесткости,

которые включают в себя координаты узлов и параметры упругости (модуль Юнга, коэффициент Пуассона). Если область разбита на  $m$  элементов, которые соединяются между собой в  $n$  узлах, то мы получим систему  $2n$  уравнений относительно  $2n$  неизвестных перемещений. Полученную систему можно решить одним из известных методов (Гаусса, Зейделя и др.).

Укрупненно алгоритм метода конечных элементов показан на рис. 3.5.

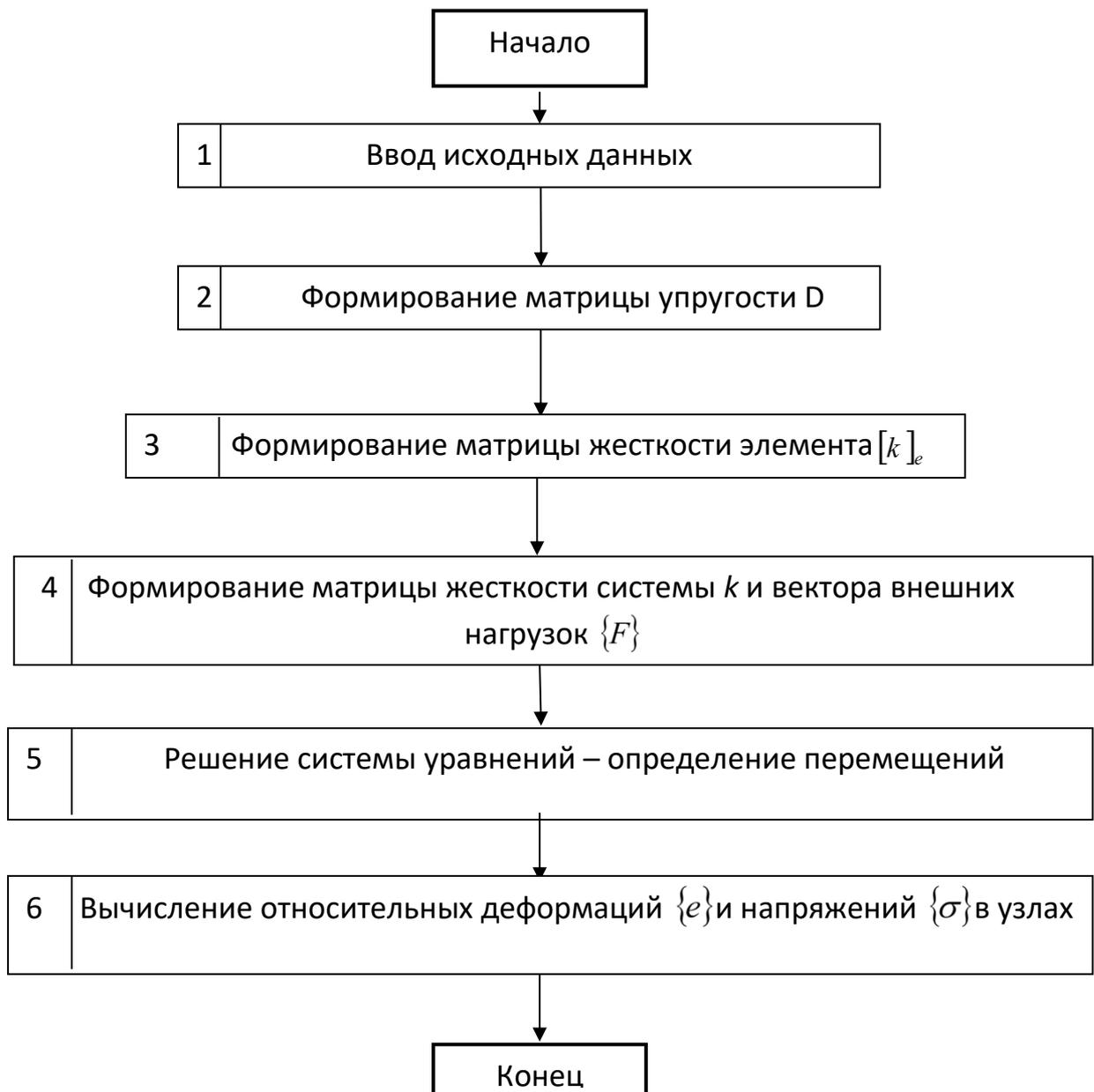


Рис. 3.5. Блок-схема программы, реализующей метод конечных элементов  
Вводимая в расчетную схему исходная информация состоит из следующих параметров: число конечных элементов при этом разбиении и координаты этих

узлов; число типов элементов с разными физико-механическими свойствами; значения физико-механических свойств для каждой группы элементов, значения напряжений и перемещений, характеризующие граничные условия.

Применительно к задачам определения напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности исследуемого объекта задаются глубина заложения участка, размеры объекта, структура массива (стратиграфическая колонка), показатели трещиноватости и других нарушений, влияющих на прочностные и деформационные свойства пород.

Для реализации метода конечных элементов в данной работе используется лицензионная вычислительная программа «Phase 2» канадской компании *Rocscience*, полученная специалистами Национального горного университета, как грант Научно-образовательного центра (НОЦ), созданного при поддержке Фонда гражданских исследований и развития (CRDF, США) [59].

Для решения рассматриваемой задачи был выбран оползневой склон в г. Днепре. Исследование оползневой системы и инженерно-геологической ситуации были выполнены ООО НПП «ГИИНТИЗ».

Исследуемая оползнеопасная территория расположена в южной части макросклона балки на склоне юго-восточной экспозиции с отметками поверхности 3,2-27,7 м.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория осложнена овражно-балочной сетью, по которой в основном, осуществляется поверхностный сток при выпадении атмосферных осадков на вышерасположенной территории.

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие флишевые породы Днепровской серии, перекрытые чехлом верхнечетвертично-современных накоплений делювиально-провилюального, оползневого и техногенного генезиса. Глубина залегания кровли коренных грунтов в пределах участка варьируется от 2-3 м до 12,5-17,5 м относительно древней поверхности.

Оползневой склон состоит из следующих инженерно-геологических элементов (ИГЭ): ИГЭ-1 – насыпной грунт техногенного происхождения, ИГЭ-2 – не смещаемые породы Днепровской серии (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Таблица жесткостей

№ п/п	$E$ , МПа	$\nu$	$H$ , см	$\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	$c$ , МПа	$R_t$ , МПа	$\varphi$ , град	$k_e$
1(ИГЭ1)	14,71	0,35	100	1,96	0,0049	0,0005	16	3
2(ИГЭ2)	44,13	0,35	100	2,27	0,0580	0,0060	23	3
3(ИГЭ3)	24,51	0,27	100	2,10	0,0340	0,0035	25	3

Здесь обозначены:  $E$  – модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $H$  – расчетная толщина элемента;  $\gamma$  – удельный вес грунта;  $k_e$  – коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения  $E_e = k_e E$ ; – структурное сцепление;  $R_t$  – предельное напряжение при растяжении;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, при этом  $\varphi < 90^\circ$ ,  $c \geq R_t \operatorname{tg} \varphi$ ; ИГЭ-3 – грунт после инъекционного закрепления.

Сейсмичность относится к зоне интенсивности сотрясений на средних грунтах равной 6-и баллам. Форма оползневого склона приведена на рис. 3.6.

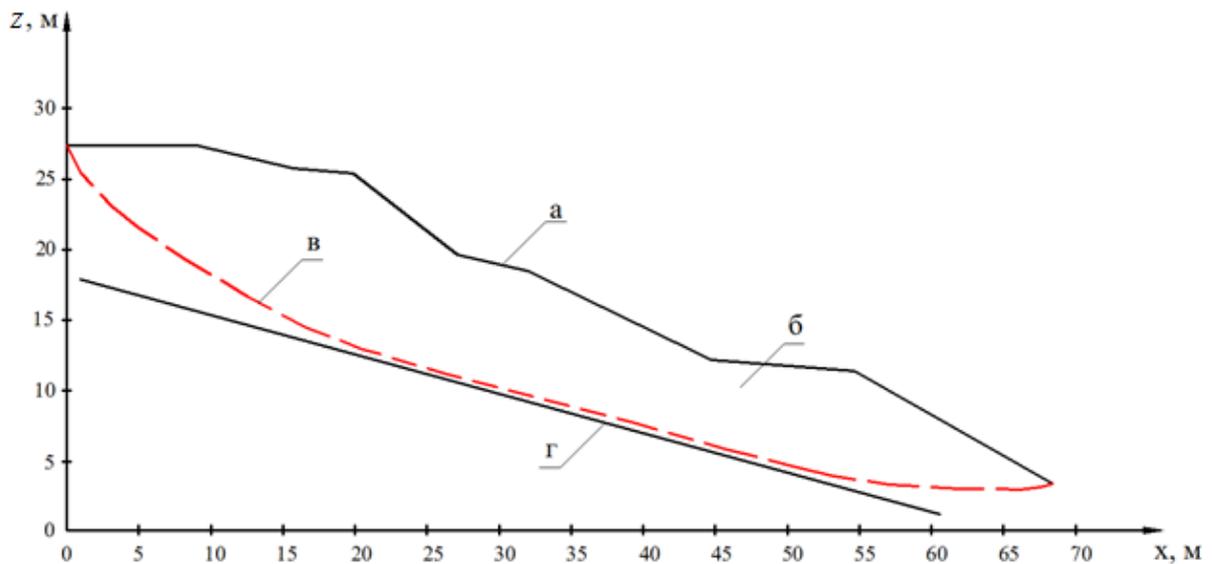


Рис. 3.6. Поперечный разрез оползневого склона: *а* – поверхность существующего рельефа; *б* – тело оползня; *в* – предполагаемая поверхность смещения; *г* – не смещаемые породы

Для моделирования оползневого склона в программном комплексе «Phase 2» применялись конечные элементы плоской деформации грунтов (КЭ 281, 282, 284). Данные элементы учитывают специфику грунтов на основании зависимости Мора-Кулона для максимального касательного напряжения:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \leq -\sin \varphi (\sigma_1 + \sigma_2) + c \cos \varphi, \quad (3.7)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – главные напряжения;

$c$  – сдвиговое сцепление;

$\varphi$  – угол внутреннего трения.

Модель характеризуется следующими параметрами: грунт однородный, движение происходит в изотропной среде, признак схемы – шесть степеней свободы. Шаг триангуляции при разбивке расчетной схемы на конечные элементы  $0,5 \times 0,5$  м. Связи в узлах – связь по оси  $y$ . Граничные контуры – связи по всем направлениям (рис. 3.7). Жесткости элементов модели приведены в табл. 3.6.

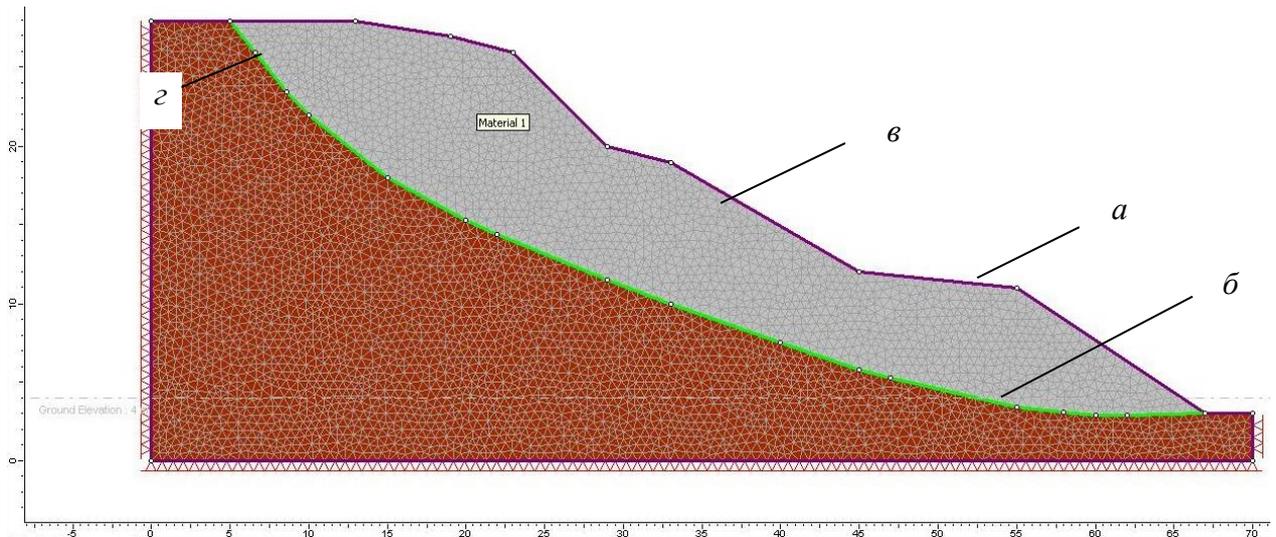


Рис. 3.7. Расчетная модель оползневого склона: *a* – поверхность существующего рельефа; *б* – предполагаемая плоскость скольжения; *в* – ИГЭ-1; *г* – ИГЭ-2

Так как оползневой массив моделируется в естественном состоянии, то единственным нагружением для него будет собственный вес, который присваивается исходя из назначенных характеристик ИГЭ-1. Физико-механические свойства массива задаются в окне программы (рис. 3.8).

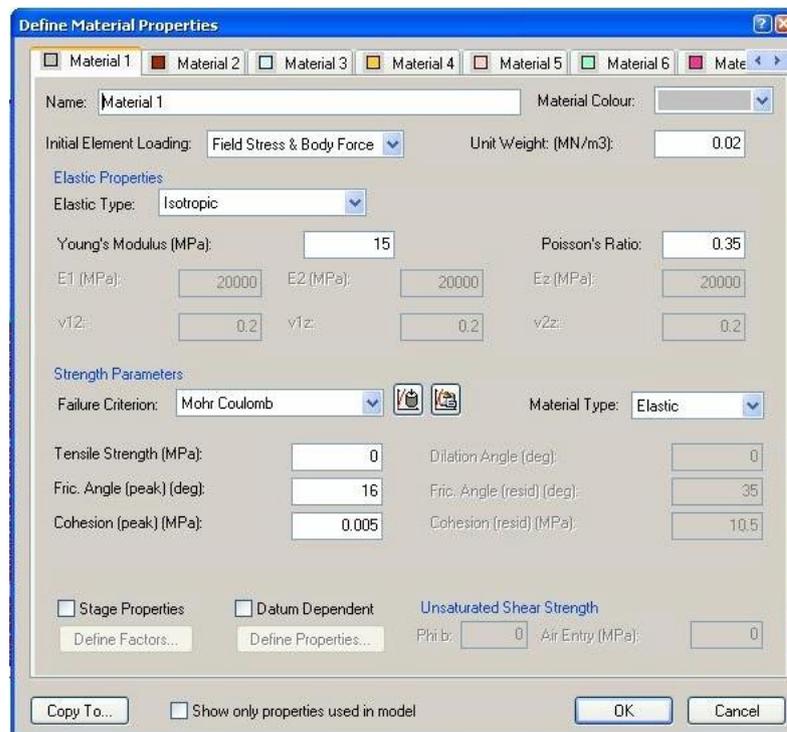


Рис. 3.8. Назначение свойств материала модели оползневого склона

Для расчета схемы моделируется нелинейное нагружение оползневого массива.

Исходя из полученных результатов, на модели выделены элементы оползневого массива подверженные растягивающим, сдвигающим усилиям, объемным деформациям и разрушению, которые выделены цветами, величина которых соответствует цветовой шкале (рис. 3.9-3.11).

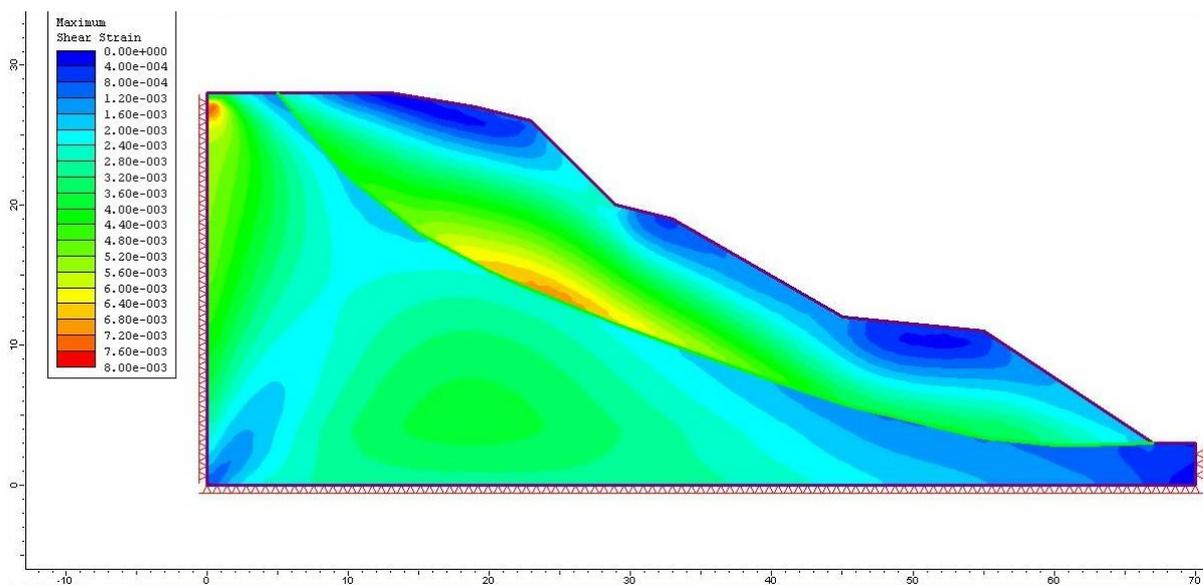


Рис. 3.9. Расчет оползневого массива. Распределение касательных напряжений  $\tau_{xz}$

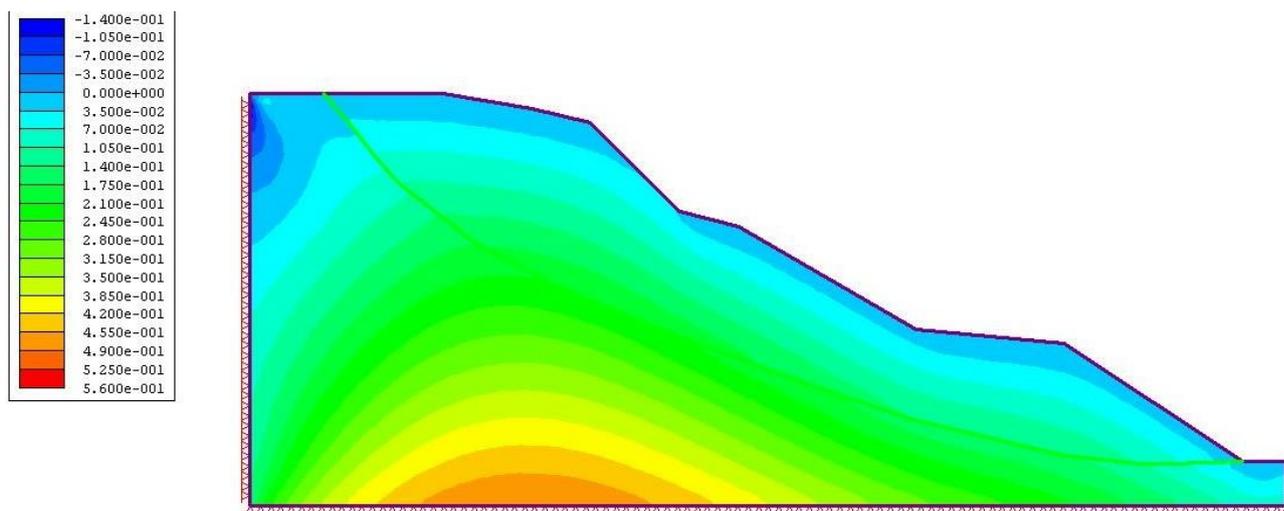


Рис. 3.10. Расчет оползневого массива. Распределение растягивающих напряжений  $\sigma_{yy}$ .

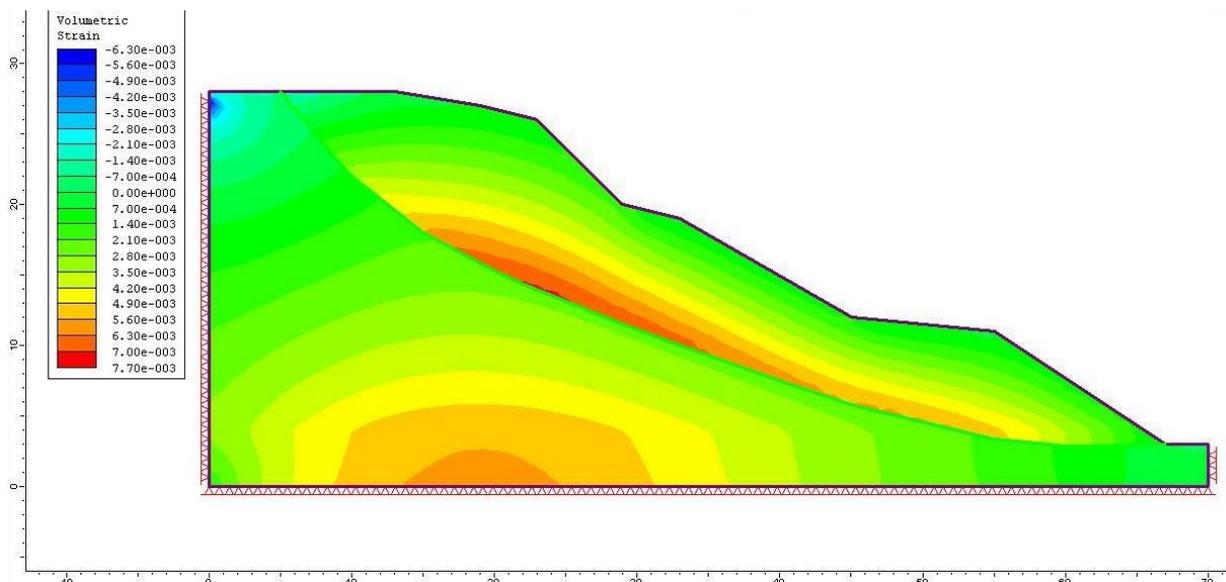


Рис. 3.11. Расчет оползневого массива. Величина объемных деформаций

В данном случае поверхность рельефа по форме близка к циклоиде. Разрушение и растяжение элементов приурочено к поверхности естественного рельефа и показывает связь между натурными деформациями склона и полученной моделью. Сдвиговые деформации распространены по всему оползневому массиву, что свидетельствует о вовлечении нестабильных масс грунта в движение и подтверждает характер происходящих медленных деформаций.

Рассмотрим полученные результаты расчета по касательным напряжениям  $\tau_{xz}$  (рис. 3.9).

Анализ распределения касательных напряжений непосредственно в зоне скольжения свидетельствуют о том, что, как и предполагалось, сдвижение оползневого массива происходит именно по поверхности смещения, используемой для моделирования оползневого процесса.

При смещении оползневых масс грунта на контакте с не смещаемыми породами касательные напряжения  $\tau_{xz}$  развиваются от контактной зоны к оползающему массиву формируя зону скольжения. Следовательно, в зависимости от стадии сдвижения зона скольжения изменяет свои параметры и

может быть описана вязкопластической реологической моделью Бингама-Шведова

Так же в зоне скольжения исследуемые касательные напряжения  $\tau_{xz}$  чередуются с напряжениями растяжения и напряжениями сжатия. Построим зависимость распределения касательных напряжений  $\tau_{xz}$  в зоне скольжения от длины оползневого массива (рис. 3.12):

$$\tau_{xz-зоны} = f(l_{оп}).$$

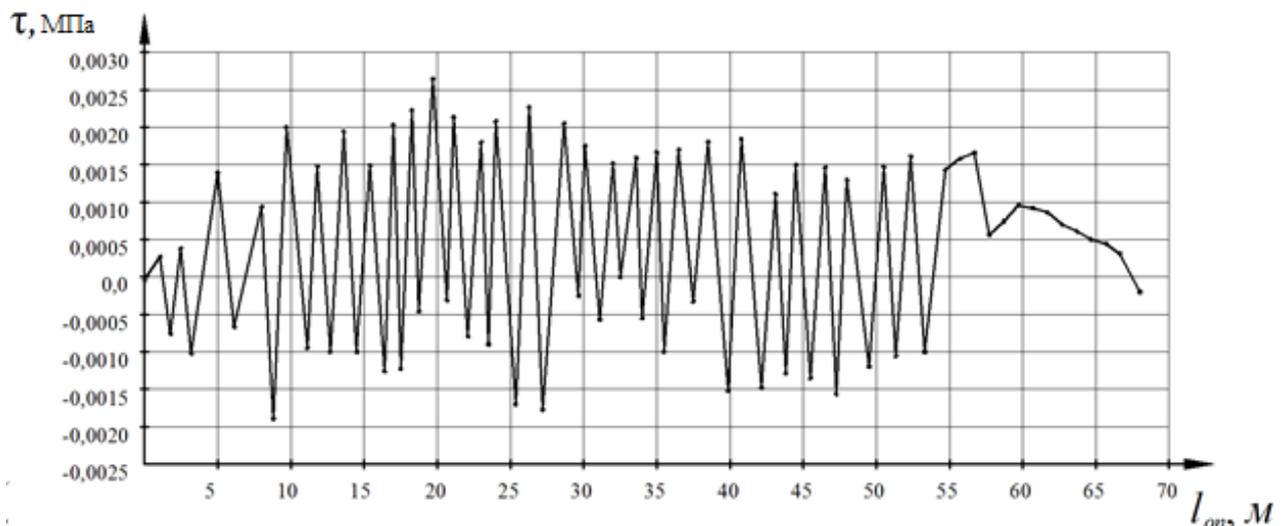


Рис. 3.12. Распределения касательных напряжений  $\tau_{xz}$  зоне скольжения, по длине оползневого массива

Исходя из построенной зависимости, касательные напряжения  $\tau_{xz}$  увеличиваются от головной к центральной части оползня, затем затухая к базису разгрузки. Касательные напряжения  $\tau_{xz}$  характеризуются изменением градиента давления. Будем считать, что на конце рассматриваемого участка градиент давления максимальный и его закон распространения близок к гармоническому.

Далее рассмотрим напряжения  $\tau_{xz}$ , возникающие непосредственно в самом оползневом теле. На рис. 3.9 и 3.10 видно, что распределение касательных напряжений  $\tau_{xz}$  имеет иной характер, переходя от напряжений растяжения в головной части к напряжениям сжатия в зоне продольного сдвига, которые, в свою очередь, затухают в языковой части оползня.

Построим зависимость распределения касательных напряжений  $\tau_{xz}$  в оползневом теле от длины оползневого массива (рис. 3.13):

$$\tau_{xz-on} = f(l_{on}).$$

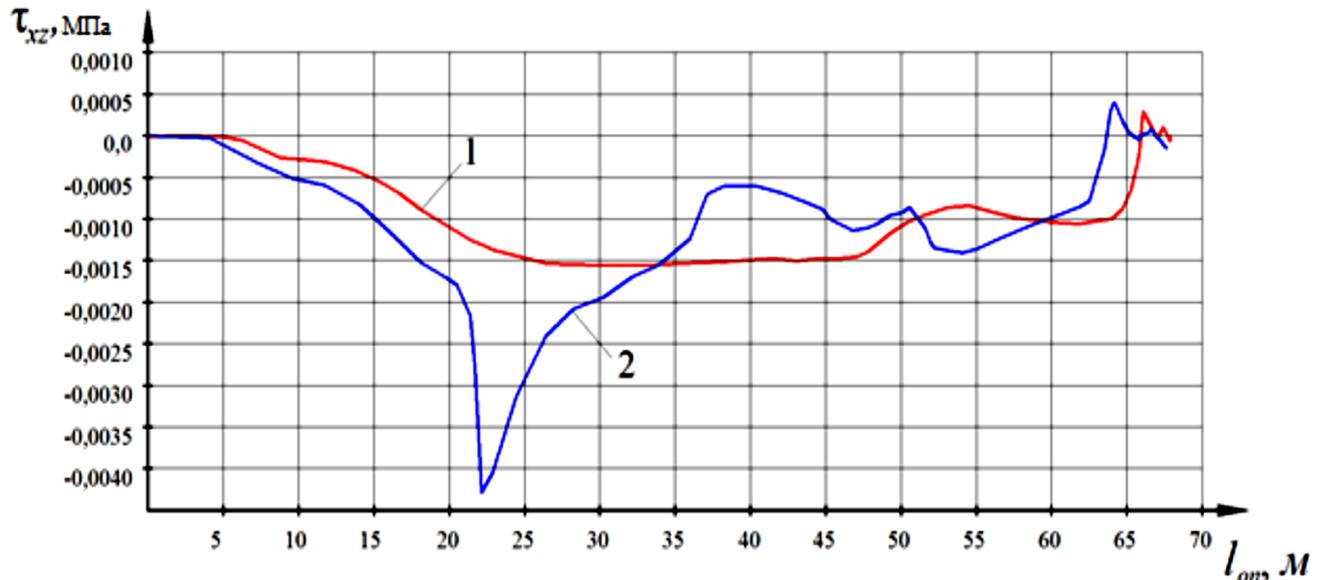


Рис. 3.13. Зависимость распределения касательных напряжений  $\tau_{xz}$  в оползневом теле по длине оползневого массива: 1 – в естественном состоянии; 2 – после закрепления при помощи метода напорной цементации

Касательные напряжения сжатия в зоне сдвига на участке от 27 м до 47 м распространяются, подчиняясь линейной зависимости, а их величины практически не изменяются, что свидетельствует о наличии буферной зоны и обосновании наиболее эффективной области для проведения инъекционных работ. Тем самым, подтверждая исследования которые проводились в данной работе аналитическими методами по определению наиболее рациональной области для инъектирования.

Состояние массива может быть оценено также на основе strength-фактора ( $S_{\phi}$ ), определяемого в ПП «Phase 2». Strength-фактор – некоторая величина, эквивалентная коэффициенту устойчивости  $k_y$  (запасу прочности). Значение strength-фактора меньше единицы, означает разрушение массива пород. На рис. 3.14 показаны картины распределения  $S_{\phi}$ .

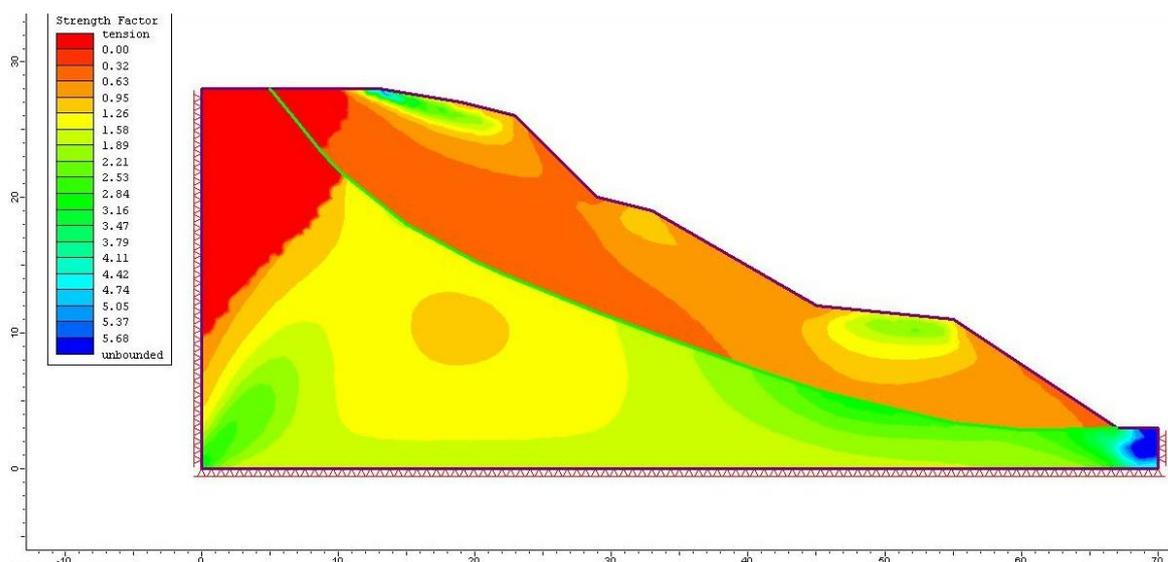


Рис. 3.14. Расчет оползневого массива. Распределение коэффициента устойчивости  $k_y$  (strength-фактора  $S_\phi$ )

Анализ картины распределения коэффициента устойчивости массива  $k_y$  ( $S_\phi$ ), показывает, что его опасная величина ( $k_y < 1$ ) располагается от средней части оползневого тела и выше. В верхней части склона значение  $k_y$  имеет минимальное значение. Полученные результаты подтверждают образование трещин, ориентированных вдоль склонов в реальных условиях, которые предшествуют оползням.

Моделирование работы оползневого массива усиленного при помощи метода напорной цементации проводилось исходя из пространственно-геометрических и физико-механических характеристик. В соответствии с инженерно-геологическими условиями и технологической схемой нагнетания цементного раствора принимается следующая конструкция скважин: длина – 0-8,0 м; диаметр бурения – 112 мм; диаметр обсадки – 75 мм; плотность нагнетаемого раствора – 1800 кг/м<sup>3</sup>; шаг скважин – 1,5 × 1,5 м.

При помощи метода напорной цементации достигается изменение сдвиговых свойств области скольжения и оползневого тела. После проведения инъекций получены новые физико-механические характеристики закрепленного участка массива (табл. 3.6, строка 3).

Скважины для инъекции грунтов располагаем в области буфера, где касательные напряжения характеризуются напряжениями сжатия.

После построения оползневого массива и усиления его методом напорной цементации расчетная модель примет вид, показанный на рис. 3.15.

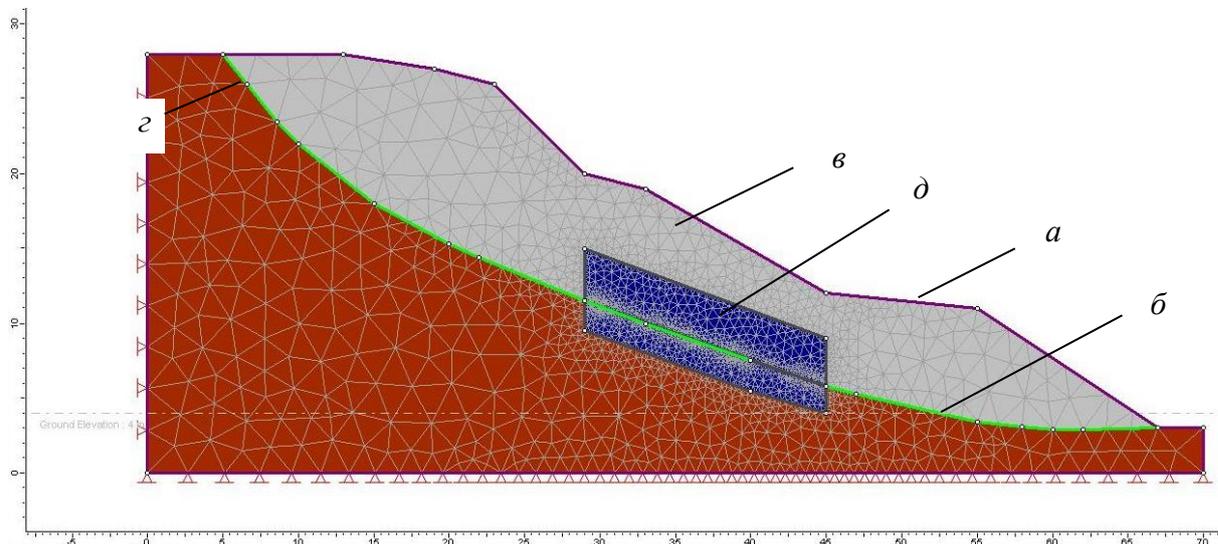


Рис. 3.15. Модель оползневого склона, укрепленного методом напорной цементации: *a* – поверхность существующего рельефа; *б* – предполагаемая плоскость скольжения; *в* – ИГЭ-1; *г* – ИГЭ-2; *д* – усиление грунта методом напорной цементации

На модели получены элементы оползневого массива подверженные растягивающим и сдвигающим усилиям (рис. 3.16-3.18).

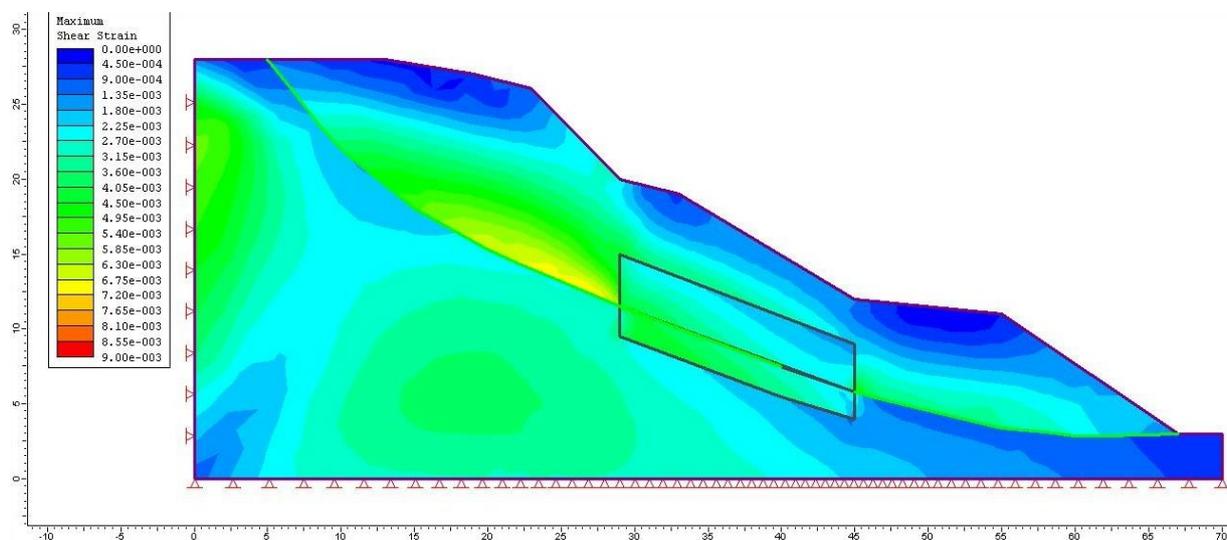


Рис. 3.16. Расчет укрепленного оползневого массива. Распределение касательных напряжений  $\tau_{xz}$

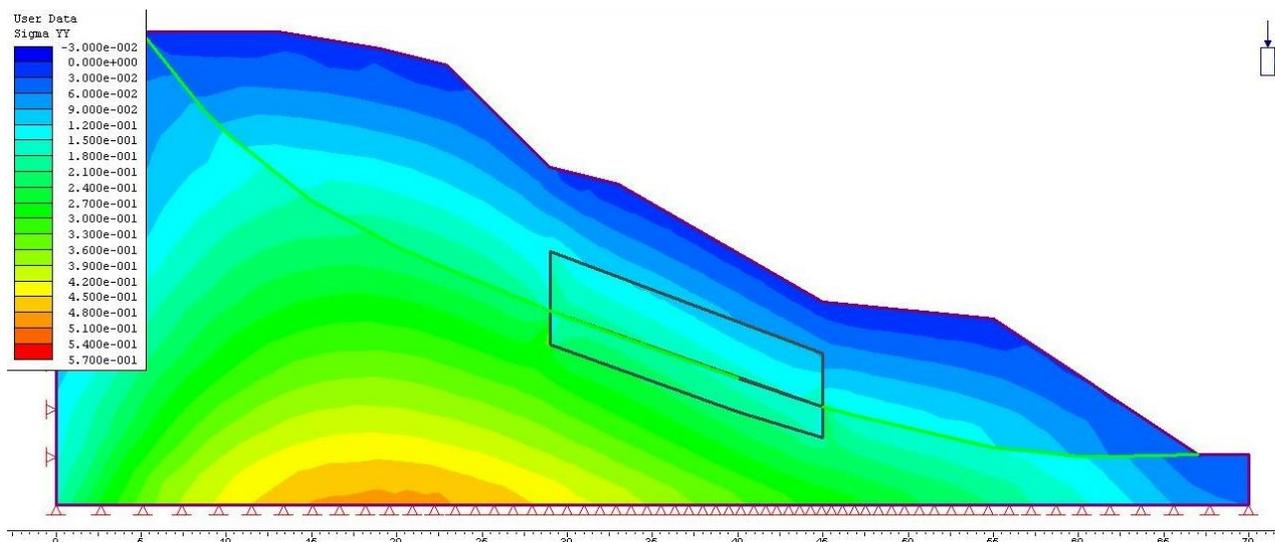


Рис. 3.17. Расчет укрепленного оползневого массива. Распределение растягивающих напряжений  $\sigma_{yy}$

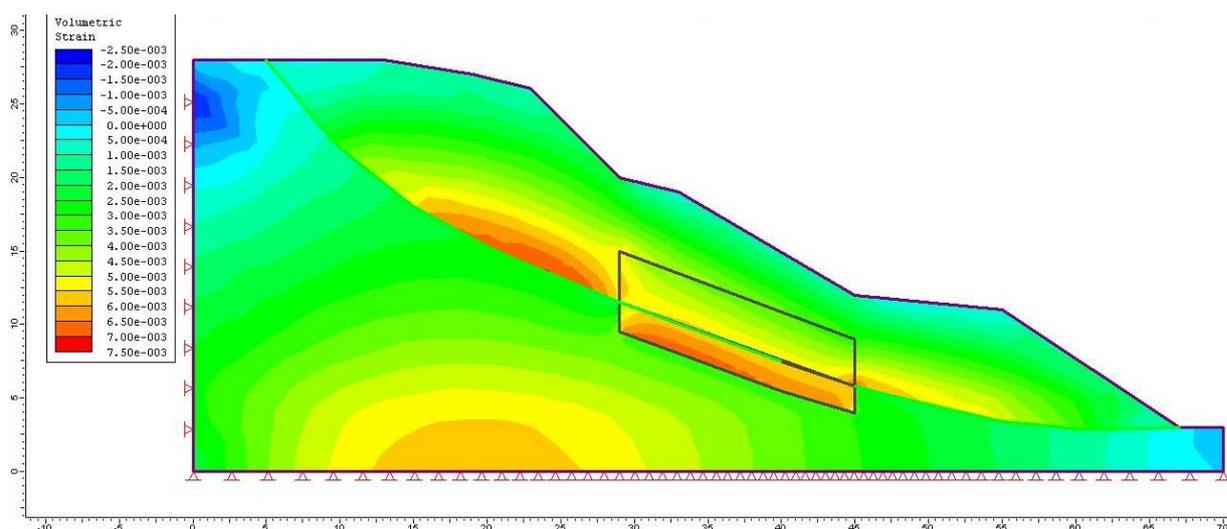


Рис. 3.18. Расчет укрепленного оползневого массива. Величина объемных деформаций

В области, где смоделировано закрепление грунтов методом напорной цементации, сдвиг не происходит, растягивающие напряжения отсутствуют, а разрушения структурных элементов нет.

Построим зависимость распределения касательных напряжений  $\tau_{xz}$  в оползневом теле после инъекционного закрепления от длины оползневого массива (см. рис. 3.13):

$$\tau_{xz-on} = f(l_{on}).$$

На начальном участке зоны продольного сдвига оползня напряжения увеличились в 2...2,5 раза по сравнению с моделью склона в естественном состоянии. Максимальные величины касательных напряжений сжатия  $\tau_{xz}$  концентрируются в верхней части области усиления ( $\tau_{xz} = -0,043$  МПа), далее по склону наблюдается значительное уменьшение этих напряжений и их затухание.

Характер полученной зависимости свидетельствует о том, что деформации изменили свой вид, переходя от вязкопластичных в естественном состоянии, к упругожестким после закрепления.

Для определения коэффициента устойчивости ( $K_{уст}$ ) оползневого массива усиленного при помощи метода напорной цементации выполним расчет по методу проф. Г.М. Шахунянца для основного и особого сочетания нагрузок (сейсмическое воздействие, коэффициент сейсмичности  $\mu = 0,042$ ), результаты представлены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Таблица коэффициентов устойчивости

Условие	Основное сочетание ( $K_{уст}$ )	Особое сочетание ( $K_{уст}$ )
В естественном состоянии	1,00	0,88
После закрепления	1,35	1,19

По результатам расчета оползневого массива для особого сочетания нагрузок получен коэффициент устойчивости  $K_{уст} = 1,19$ , при нормативном  $K_{уст} = 1,15$  это соответствует 2 классу ответственности сооружения, СС-2 [43], что свидетельствует о достижении нормативного коэффициента запаса устойчивости.

Анализ картины распределения коэффициента устойчивости укрепленного оползневого массива  $k_y$  ( $S_\phi$ ) (рис. 3.19), показывает, что его величина на наиболее опасном участке в верхней части склона возросла на 45%, что также

подтверждает эффективность принятого способа укрепления массива с помощью напорной цементации.

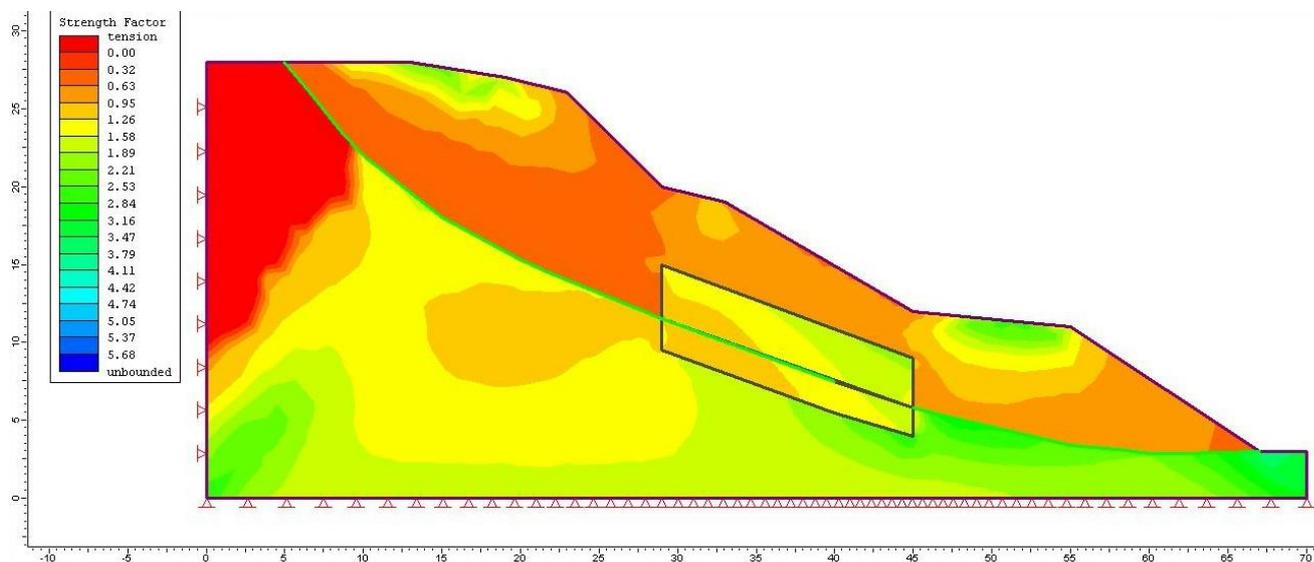


Рис. 3.19. Расчет укрепленного оползневого массива. Распределение strength-фактора ( $S_{\phi}$ )

## ВЫВОДЫ

1. Компьютерное моделирование оползневого склона показало, что касательные напряжения в зоне скольжения  $\tau_{xz}$  характеризуются напряжениями растяжения и напряжениями сжатия. Касательные напряжений  $\tau_{xz}$  зоны скольжения увеличиваются от головной к центральной части оползня, затухая к базису разгрузки. Так же напряжения характеризуются изменением градиента давления и закон их распространения близок к гармоническому.

2. Касательные напряжения сжатия в зоне сдвига распространяются, подчиняясь линейной зависимости, а их величины практически не изменяются, что подтверждает наличие буферной зоны.

3. Установлены закономерности распределения касательных напряжений в грунте после закрепления оползневого массива методом напорной цементации. Деформации изменили свой вид, переходя от вязкопластичных к упруго жестким.

4. Коэффициенты устойчивости массива, полученные как аналитическим расчетом, так и численным моделированием, позволяют говорить об эффективности данного метода укрепления оползнеопасных склонов.

## РАЗДЕЛ 4

# ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОСНОВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

### 4.1 Безопасная организация производства работ. Земляные работы

Основная причина несчастных случаев при выполнении земляных работ – обрушение грунта в процессе его разработки и при последующих работах в траншеях и котлованах. Обрушение происходит из-за превышения нормативной глубины разработки выемки без креплений или неправильного устройства их; разработки траншей и котлованов с недостаточно устойчивыми откосами; нарушения технологии производства земляных работ; возникновения неожиданных нагрузок от строительных материалов и конструкций, землеройных и транспортных машин, а также при отсутствии или неправильном устройстве водоотлива. Несчастные случаи могут также иметь место при несоблюдении определенных расстояний от действующих электрокабелей и трубопроводов, неправильной эксплуатации строительных машин и механизмов.

Мероприятия по безопасности труда при выполнении земляных работ заключаются, главным образом, в предупреждении обвалов грунта. Предотвратить обрушение можно двумя способами: устройством откосов и установкой креплений.

Все особенности производства земляных работ должны быть указаны в проекте производства работ (ППР), который согласовывают с соответствующими организациями. За два месяца до начала работ ППР вручают прорабу (мастеру).

При наличии действующих подземных коммуникаций (электрических кабелей, газопроводов), расположенных вблизи места предстоящих земляных работ, необходимо получить разрешение на проведение этих работ от

организации, ответственной за эксплуатацию коммуникаций. К разрешению прикладывают план (схему) с указанием расположения и глубины заложения коммуникаций, который составляют на основании исполнительных чертежей. До начала работ на площадке устанавливают знаки безопасности, указывающие расположение и глубину заложения существующих подземных коммуникаций.

Вблизи действующих подземных коммуникаций земляные работы необходимо выполнять под наблюдением прораба или мастера, а в непосредственной близости от них, кроме того, под наблюдением работников организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций. Во избежание повреждения электрических кабелей или трубопроводов разработка грунта механизированным способом разрешается на расстоянии не менее 2 м от боковой стенки и не менее 1 м над верхом трубы, кабеля, сооружения. Оставшийся грунт дорабатывают вручную только при наличии лопат, не допуская резких ударов. Не разрешается пользоваться ударными инструментами (ломами, кирками, пневматическими инструментами).

При обнаружении на разрабатываемом участке подземных сооружений, не указанных в рабочих чертежах, а также взрывоопасных материалов, земляные работы необходимо приостановить вплоть до точного выяснения характера обнаруженных сооружений или предметов и получения разрешения на дальнейшее производство работ.

Если в процессе выполнения работ возможно появление вредных газов, инженерно-технический персонал и рабочие должны быть предупреждены об этом и проинструктированы о способах борьбы с ними, а также о способах индивидуальной защиты. Строительный участок должен быть обеспечен достаточным количеством противогозов и индикаторов для определения состава газа. Применять открытый огонь и курить в таких местах запрещается. При обнаружении газов работы немедленно прекращают, рабочих удаляют из опасных зон вплоть до их обезвреживания и выявления причин появления газа.

При рытье траншей или котлованов в местах движения людей и транспорта вокруг места производства работ устанавливают сплошное ограждение высотой 1,2 м. В ночное время на нем должно быть сигнальное освещение. Расстояние между ограждением и осью ближайшего рельса железнодорожного пути должно быть не менее 2,5, а для узкой колеи не менее 2 м.

В пределах призмы обрушения грунта при устройстве траншей и котлованов без креплений запрещается складирование материалов и оборудования, установка и движение машин и механизмов, прокладка рельсовых путей, размещение лебедок, установка столбов для линий электропередачи или связи.

До начала разработки траншей и котлованов необходимо выполнить все мероприятия по отводу поверхностных и грунтовых вод. Во избежание оползания грунта при появлении грунтовых вод на откосах выемок следует принять меры к отводу или понижению уровня грунтовых вод (устройство дренажей, лотков или откачка воды).

Способ защиты котлованов и траншей от притока поверхностных и грунтовых вод, определенный в зависимости от геологических и гидрогеологических условий, указывают в проекте. Рабочие чертежи на установки для искусственного глубинного водопонижения, замораживания или химического закрепления грунтов и шпунтовые ограждения разрабатывают на стадии составления проекта организации работ в строительстве. Разрабатывать грунт способом подкопа (подбоя) запрещается. При образовании козырьков, а также наличии (появлении) на откосах траншей камней, валунов и других предметов, рабочих необходимо вывести из опасной зоны, после чего козырьки обрушивают, валуны и камни удаляют.

В местах перехода рабочих через траншеи глубиной более 1 м должны быть устроены переходные мостики шириной не менее 0,6 м с перилами высотой 1,1 м. Для спуска в траншеи и котлованы необходимо устанавливать стремянки

шириной не менее 0,6 м с перилами или приставные лестницы. Запрещается спуск рабочих в траншее по распоркам креплений.

Грунт, вынимаемый из траншей или котлована, необходимо размещать на расстоянии не менее 0,5 м от бровок, которые следует содержать в чистоте. За их состоянием необходимо систематически наблюдать и при обнаружении трещин, сдвигов или оползней немедленно ставить об этом в известность начальника участка или главного инженера строительства. Особенно внимательно нужно следить за состоянием бровок траншей и котлованов, находящихся в непосредственной близости от надземных, подземных сооружений и коммуникаций.

В зоне действия установок, генерирующих вибрацию, необходимо принимать меры против обрушения откосов траншей и насыпей.

Земляные работы в зимних условиях следует выполнять по специальному проекту производства работ.

Разработка грунта с откосами. Перед разработкой траншей и котлованов необходимо заранее определить крутизну откосов, обеспечивающую безопасность производства работ с учетом глубины траншеи или котлована, и выбрать способ их формирования.

В глинистых и суглинистых грунтах, увлажненных и переувлажненных поверхностными водами, крутизну откосов траншей и котлованов необходимо уменьшить до величины естественного откоса. Об этом производитель работ должен составить акт.

При разработке переувлажненных песчаных, супесчаных, насыпных и лессовых грунтов следует обязательно устанавливать крепления.

Строительные и монтажные работы иногда приходится выполнять на откосах, держаться на которых, особенно при влажной поверхности глинистых грунтов, очень трудно. Поэтому при работе на откосах выемок глубиной более 3 м крутизной более 1:1 (а при влажной поверхности откоса более 1:2) необходимо

применять стремянки или работать в предохранительных поясах, закрепленных за надежные опоры.

Во время перерывов в работе запрещается садиться у основания откоса, так как это может привести к несчастному случаю в результате падения с откоса или бровки какого-либо предмета.

Разработка грунта с устройством креплений. При рытье траншей и котлованов с вертикальными стенками для предотвращения обвалов и оползней устанавливают крепления. Крепления выемок глубиной до 3 м должны быть, как правило, инвентарными. Их следует выполнять по типовым проектам с учетом требований табл. 4.1.

Таблица 4. 1

Виды креплений траншей с вертикальными стенками

№ п/п	Виды грунта	Глубина траншей, м	Щиты
1	Грунты связные, естественной влажности при отсутствии или незначительном притоке грунтовых вод	До 3	С просветами
2	То же	3...5	Сплошные
3	Грунты песчаные и разные повышенной влажности	Независимо от глубины	То же

Примечание. При сильном притоке грунтовых вод и возможном выносе частиц грунта применяют шпунтовое ограждение.

При отсутствии инвентарных и типовых деталей для крепления траншей и котлованов глубиной до 3 м необходимо:

- использовать для крепления грунтов естественной влажности (кроме песчаных) доски толщиной не менее 4 см, а для грунтов песчаных и

повышенной влажности – толщиной не менее 5 см, закладывая их за вертикальные стойки с распорками;

- устанавливать стойки креплений на расстоянии не более 1,5 м одна от другой;
- распорки креплений стоек устанавливать на расстоянии по вертикали не более 1 м одна от другой, а под их концами (сверху и снизу) прибивать бобышки;
- верхние горизонтальные доски креплений, основное назначение которых – препятствовать случайному падению в траншею грунта, камней и прочих предметов, следует выпускать над бровками выемки не менее чем на 15 см.

При разработке траншей в водоносных грунтах при глубоком заложении трубопроводов или в случае, когда траншея проходит вблизи фундаментов зданий и подземных сооружений, применяют металлические шпунтовые крепления.

Для устройства креплений траншей и котлованов глубиной до 2 м применяют деревянный шпунт, более 2 м – металлический (например, шпунт Ларсена), более 3 м – в каждом отдельном случае разрабатывают индивидуальный проект с расчетом элементов крепления.

Крепежный материал, независимо от длины и массы, следует подавать в выемку механизированным способом. Сбрасывать его в траншеи или котлованы запрещается.

За состоянием креплений необходимо вести систематическое наблюдение. С наступлением морозов и оттепелей их нужно ежедневно проверять и результаты проверки заносить в журнал производства работ. Крепления, установленные зимой, с наступлением потепления нужно осматривать особенно тщательно и при необходимости усиливать.

Разбирать дощатые крепления траншеи и котлованов в устойчивых грунтах необходимо в направлении снизу вверх по мере обратной засыпки грунта, удаляя одновременно не более трех досок, а в сыпучих или неустойчивых

грунтах – не более одной. При этом следует соответственно переставлять распорки. Разбирают крепления под наблюдением прораба или мастера.

Обратную засыпку (одностороннюю) траншей и котлованов, в которых выложены подпорные стенки, стены подвалов и фундаментов, можно выполнить только после достижения бетоном (раствором) необходимой прочности и проверки расчетом устойчивости кладки. При рытье траншей роторными или траншейными экскаваторами особенно целесообразно применять инвентарные крепления, устанавливая которые можно только сверху.

Механизированная разработка грунта. Механизированным способом земляные работы необходимо вести в соответствии с проектной документацией, содержащей конкретные решения по основным вопросам безопасного ведения механизированных работ. Наиболее распространенные машины, используемые для механизации земляных работ: экскаваторы (одноковшовые, ценные скребковые, цепные многоковшовые, роторные), бульдозеры, скреперы, грейдеры, корчеватели, кусторезы, рыхлители. При комплексной механизации строительных процессов следует всегда увязывать работу машин выполняющих смежные технологические процессы. В таких случаях при определении опасных зон необходимо учитывать характер работы и степень взаимодействия соседних машин.

Машины, используемые при разработке траншей и котлованов, необходимо оборудовать звуковой сигнализацией, причем значение сигналов следует разъяснять всем работающим на данном участке. На машине или в зоне ее работы должны быть вывешены инструкция по эксплуатации, предупредительные надписи, знаки безопасности. Для работы в ночное время машины необходимо оборудовать световой сигнализацией. Запрещается работать на неисправных машинах. Чистить, смазывать и ремонтировать машины можно лишь после их полной остановки. При установке, монтаже (демонтаже), ремонте и перемещении строительных машин должны быть

приняты меры, предупреждающие их опрокидывание под действием ветра, собственной массы и при воздействии других возможных причин.

При разработке выемок с устройством уступов ширина каждого из них должна быть не менее 2,5 м. Разработка и перемещение грунта машинами (бульдозерами, скреперами) при движении на подъем или под уклон с углом наклона, превышающим указанный в паспорте машины, запрещается. При обнаружении в разрабатываемом грунте крупных камней или других предметов машину необходимо остановить и удалить с ее пути эти предметы. Самая распространенная машина для выполнения земляных работ – экскаватор. На его долю приходится более 50 % всего объема земляных работ в строительстве. Выбор типа экскаватора зависит от глубины и ширины разрабатываемой траншеи, от размещения грунта (в отвал или на транспорт), от грунтовых условий, а также от сроков строительства. Экскаватор для работы устанавливают на спланированной площадке, имеющей уклон не более указанного в паспорте. При разработке грунтов экскаватором проводить другие работы со стороны забоя в радиусе действия экскаватора плюс 5 м не разрешается. Расстояние между поворотной платформой экскаватора и выступающими частями зданий, сооружений, штабелями груза и другими предметами должно быть не менее 1 м. Во время перерывов в работе экскаватор необходимо отвести от края выемки на расстояние не менее 2 м, а ковш опустить на землю.

Транспортные средства, ожидающие погрузки, должны быть за пределами опасной зоны работы экскаватора. Подавать их под погрузку и отъезжать по ее окончании можно только после сигнала машиниста.

Для выполнения планировочных работ, снятия растительного слоя, рытья неглубоких котлованов, засыпки траншей, ям применяют бульдозеры. Эксплуатировать их следует в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Перед началом работы разрабатываемый участок необходимо очистить от больших камней и других предметов. Запрещается разрабатывать грунт бульдозером на расстоянии ближе 2 м от расположения подземных

коммуникаций. При засыпке выемок, во избежание обрушения грунта и опрокидывания бульдозера, его отвал нельзя выдвигать на край откоса. При устройстве высокой насыпи расстояние от края гусеницы или колеса бульдозера до края насыпи должно быть не менее 1 м.

Запрещается во время движения бульдозера входить в кабину и выходить из нее, становиться на раму или отвал, устранять неисправности, регулировать, смазывать машину. Нельзя допускать к техническому обслуживанию и устранению неисправностей бульдозера лиц, не имеющих удостоверения на право его обслуживания.

Машинист должен наблюдать за тем, чтобы между трактором и бульдозерным отвалом не находились люди. Запрещается оставлять без присмотра бульдозер с работающим двигателем, а также находиться под поднятым отвалом, удерживаемым штоками гидравлических цилиндров или канатом блочной системы.

При одновременной работе двух или нескольких бульдозеров, идущих друг за другом, расстояние между ними должно быть не менее 10 м. При передвижении по дорогам и населенным пунктам необходимо соблюдать правила дорожного движения. По плохой дороге и пересеченной местности разрешается движение только на первой и второй скоростях. Переезжать через рельсовую колею следует при наличии сплошного настила из брусьев или шпал, уложенного вдоль рельсов по обе стороны.

Запрещается переезжать мосты, грузоподъемность которых меньше массы бульдозера, останавливаться на переездах, переключать передачи, выключать сцепление. Запрещается перемещать грунт бульдозером на подъем или под уклон более 30°. При передвижении на подъем надо следить, чтобы отвал не врезался в грунт. Нельзя делать резкие развороты при работе на крутом косогоре, это может привести к сползанию или опрокидыванию машины, а также к поломке задней оси.

Чтобы предотвратить сползание или опрокидывание бульдозера, запрещается работать в дождливую погоду при глинистых грунтах. Для

разработки котлованов, возведения насыпей, выполнения планировочных и других работ применяют скрепер. Это комплексная землеройно-планировочная машина, которую широко используют при выполнении больших объемов земляных работ. Скрепер разрабатывает, транспортирует, укладывает грунт с послойным разравниванием и предварительным уплотнением. Работы скрепером без предварительного рыхления выполняют только в грунтах I и II категорий.

В процессе работы запрещается садиться на скрепер и становиться на его раму, находиться посторонним лицам в непосредственной близости от машины.

Очищать ковш от налипшего на него грунта разрешается только после полной остановки скрепера, применяя для этого лопату или скребок. Другие способы очистки применять запрещается.

Не допускается приближение тракторных скреперов к откосу выемки на расстояние менее 0,5 м и к откосу свежесыпанной насыпи на расстояние менее 1 м.

При устройстве высоких насыпей и разработке глубоких выемок для движения груженных скреперов должны быть устроены въезды и съезды с уклонами, не превышающими 10. Запрещается работа скрепера в мокрых глинистых грунтах или в дождливую погоду.

Для срезки, планировки, перемещения и смещения грунта, разравнивания сыпучих материалов, ремонтных и профилировочных работ на грунтовых дорогах применяют грейдеры и автогрейдеры. Работа автогрейдера и грейдера на участках, где имеются деревья и крупные камни, запрещается. При развороте в конце профилирующего участка, а также на крутых поворотах скорость перемещения машины должна быть минимальной. Разравнивать грунт на свежесыпанных насыпях высотой более 1,5 м необходимо под наблюдением ответственного лица. Расстояние между бровкой земляного полотна и внешними (по ходу) колесами автогрейдера или гусеницей трактора должно быть не менее 1 м.

Порядок трембования грунта в непосредственной близости от подпорных стенок, фундаментов, стен подвальных этажей и других подземных конструкций и расстояния до этих объектов указывают в ППР. При использовании для уплотнения грунта самоходного гидровиброуплотнителя запрещается включать в сеть пезануленный преобразователь частоты. Нельзя перекручивать токоведущий кабель, он должен лежать свободно, без натяжения. Вибратор уплотняющей машины необходимо выключать при ее прохождении по твердому основанию. Уплотнять грунт катками нужно слоями толщиной не более 30 см. При изменении направления движения самоходных катков необходимо подавать предупредительный звуковой сигнал.

#### **4.2 Охрана труда при работе на персональном компьютере**

Трудовой процесс осуществляется в определенных условиях производственной среды, которые характеризуются совокупностью элементов и факторов материально-производственной среды. Психо-физиологические показатели характеризуются следующими значениями: продолжительность сосредоточенного наблюдения составляет 50 % от рабочего времени, число важных объектов наблюдения – 10, продолжительность повторяемых операций – 54 с. Выполняемые работы относятся к малой точности зрительных работ.

Специфика использования ПЭВМ (персональная электронно-вычислительная машина) состоит в том, что в процессе диалога человека и машины пользователь воспринимает интеллектуальную машину как равноправного собеседника. Поэтому возникает много совершенно новых психологических и психофизиологических проблем, суть которых нужно учитывать при проектировании трудового процесса. Другой особенностью является значительная информационная нагрузка. Значительная нагрузка на центральную нервную и зрительную системы вызывает повышение нервно-эмоционального напряжения, и, как следствие, негативно влияет на сердечно-

сосудистую систему. Важной стороной функционирования организма пользователя является влияние на него комплекса факторов трудовой среды, включающих действие электромагнитных волн разных частотных диапазонов, статического электричества, шума, микроклиматических факторов и др. Воздействие этого специфического комплекса может оказать на здоровье человека отрицательное влияние. При работах с использованием компьютеров возникает целый ряд эргономических проблем, решение которых может значительно снизить нагрузку. В этом случае имеются в виду только вопросы конструирования рабочего места пользователя и не охватываются вопросы формирования рационально построенных символов на экране и других, изменение которых возможно только при конструировании новой техники. Работа пользователя ЭВМ чаще всего проходит при активном взаимодействии с другими людьми. Поэтому возникают вопросы межличностных взаимоотношений, включающие как психологические, так и социально-психологические аспекты. Таким образом, на пользователя ЭВМ воздействуют 4 группы факторов трудовой среды: физические, эргономические, информационные и социально-психологические [60, 61].

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» все производственные факторы делятся на опасные и вредные. Опасные и вредные производственные факторы в свою очередь делятся на физические, химические, биологические и психофизиологические факторы.

Опасный производственный фактор – фактор, воздействие которого может привести к травме или другому резкому внезапному ухудшению здоровья. Вредный производственный фактор – это фактор, воздействие которого на работающего может привести к снижению работоспособности человека, заболеванию или профессиональному заболеванию.

Пользователи ПЭВМ в основном подвергаются воздействию физических и психофизиологических производственных факторов [60, 61].

При работе с компьютером на человека могут воздействовать следующие опасные производственные факторы:

- поражение электрическим током;
- возникновение пожара;
- возможность механического травмирования;
- ожоги в результате случайного контакта с горячими поверхностями внутри лазерного принтера.

К вредным физическим производственным факторам относятся:

- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;
- повышенное содержание положительных и отрицательных ионов в воздухе рабочей зоны;
- пониженная или повышенная влажность и подвижность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума;
- нерациональная организация освещения рабочего места.

К психофизиологическим производственным факторам относятся:

- напряжение зрения;
- напряжение внимания;
- интеллектуальные и эмоциональные нагрузки;
- длительные статические нагрузки;
- монотонность труда;
- большие информационные нагрузки;
- нерациональная организация рабочего места (эргономические факторы).

Вероятность воздействия химических и биологических факторов незначительная, но она значительно возрастает в переполненных и неправильно вентилируемых помещениях.

Важнейшими факторами являются электромагнитные поля в диапазоне от 3 Гц до 300 МГц, электростатические поля, напряжение зрения, большие нагрузки различного характера.

ПЭВМ является источником нескольких видов электромагнитных полей и излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного, видимого, низкочастотного, сверхнизкочастотного и высокочастотного. Электромагнитные поля (ЭМП) негативно влияют на центральную нервную систему, вызывая головные боли, головокружения, тошноту, депрессию, бессонницу, отсутствие аппетита, возникновение синдрома стресса. Низкочастотное ЭМП может явиться причиной кожных заболеваний (угревая сыпь, экзема, розовый лишай и др.), болезней сердечно-сосудистой системы и желудочно-желудочного тракта; оно воздействует на белые кровяные тельца, что приводит к возникновению опухолей, в том числе и злокачественных.

Основным источником электростатического поля (ЭСП) является положительный потенциал, подаваемый на внутреннюю поверхность экрана для ускорения электронного луча. ЭСП образуется за счет разности потенциалов экрана монитора и человека. На его величину оказывают существенное влияние потенциалы окружающих предметов и влажность воздуха (при влажности выше 50% ЭСП практически отсутствует). Напряженность поля может колебаться от 8 до 75 кВ/м. Заметный вклад в общее ЭСП вносят электризующиеся от трения поверхности клавиатуры и мыши. Электростатическое поле большой напряженности способно изменять и прерывать клеточное развитие, а также вызывать катаракту с последующим помутнением хрусталика.

Работа на ПЭВМ предполагает визуальное восприятие отображенной на экране монитора информации, поэтому значительной нагрузке подвергается зрительный аппарат. Симптомы нарушения зрения можно условно разделить на две группы:

- глазные симптомы (боль, раздражение, жжение, краснота, зуд);
- зрительные симптомы (пелена перед глазами, двоение или мелькание).

По данным ВОЗ глазные и зрительные нарушения наблюдаются у 40–92 % пользователей ПЭВМ время от времени, а у 10–40 % – ежедневно [60].

Можно выделить следующие основные нарушения здоровья пользователей ПЭВМ:

- зрительный дискомфорт и болезни органов зрения;
- перенапряжение опорно-двигательной системы;
- расстройства ЦНС и болезни сердечно-сосудистой системы;
- заболевания кожи;
- нарушение репродуктивной функции.

Кроме того, выявлено негативное влияние на другие системы организма – снижение иммунитета, атеросклероз, аритмия, гипертония, инфаркт миокарда, болезни органов пищеварения, застойные процессы в области малого таза и др.

Нарушения здоровья и заболевания пользователей ПЭВМ являются, как правило, результатом воздействия не какого-либо отдельного фактора, а всего комплекса. Так, поражения кожи многие авторы связывают с наличием электростатического поля и воздействием психоэмоционального стресса, гинекологические нарушения – с комплексным влиянием электромагнитных полей, стресса, застойных явлений и других компонентов трудовой среды.

## **ВЫВОДЫ**

1. Обеспечение охраны труда на производстве, жизни и здоровья граждан является одним из главных направлений государственной политики.

2. Основными причинами несчастных случаев являются: отсутствие контроля за обеспечением безопасных условий труда на рабочем месте; не соблюдение работником требований правил и норм охраны труда.

3. Вышеизложенные требования норм и правил охраны труда, контроль за соблюдением требований инструкций по охране труда, трудовой и технологической дисциплины, являются основой безопасного и здорового труда.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломная работа магистра является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основе впервые установленных зависимостей повышения устойчивости оползневых грунтов способом напорной цементации, обоснованы рациональные геомеханические параметры стабилизации оползней с учетом структурно-геологических, гидрогеологических и горно-технологических факторов, что позволяет решить актуальную научно-техническую задачу по обоснованию технологических параметров инъекционной стабилизации оползнеопасных грунтовых структур.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Определены параметры оползневых склонов, механизм формирования рельефа, выделены основные группы оползней. Изучены и систематизированы физико-механические характеристики грунтов по основным районам их распространения. Рассмотрены основные инженерно-геологические особенности оползней, их геометрические параметры и генезис.

2. Показано, что различные виды противооползневых сооружений дают возможность использовать их в борьбе с оползневыми процессами, обеспечивать устойчивость откосов и склонов. Эффективность каждого типа конструкций определяется конкретной инженерно-геологической обстановкой.

3. Для оползневых грунтов выполнен анализ деформаций в течение длительного времени, стадии развития оползневых процессов, предел развития потери устойчивости, причины развития вязкопластических деформаций. Рассмотрен основной принцип определения коэффициента запаса устойчивости, выделены две геомеханические модели оползневого массива, которые рассматривают процессы, протекающие непосредственно в теле оползня, расчлененного на блоки.

4. Доказано существование в оползневом грунте вязкопластичной зоны скольжения и области с равенством сдвигающих и удерживающих сил, что

позволило обосновать эффективность напорной цементации оползней и определить наиболее рациональную область инъектирования.

5. Впервые методом компьютерного моделирования установлена зависимость изменения касательных напряжений и деформаций в зоне скольжения и в оползневом теле после инъекционного закрепления грунта.

6. Доказано, что применение напорной цементации для стабилизации оползневых грунтов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния зоны скольжения и трансформации деформаций из вязкопластичных в упругожесткие. Введен критерий повышения устойчивости оползневого грунта, составляющий 1,5-2,0.

7. Значения коэффициентов устойчивости массива, полученные как аналитическим расчетом, так и численным моделированием, доказывают эффективность инъекционного метода укрепления оползнеопасных склонов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Черный Г.И., Черный В.Г. Геотехнические процессы в сложных грунтовых условиях Украины // Світ геотехніки. – К.: НДІБК, 2000. – С. 4-9.
2. Иванова М. С. Устойчивость оползневых склонов и способ определения его характеристик / Иванова М. С. // Сборник научных трудов. – Алчевск: ДГМИ, 2000. – Вып. 11. – С. 285.
3. Інженерний захист правого схилу балки Тунельна в районі залізничного тунелю в м. Дніпропетровську, вишукувальні роботи: науково-технічний звіт по об'єкту (у трьох книгах). – Дніпропетровськ: Укрвосток- ГИИНТИЗ, Днепропетровский філіал. – 2010. – Книга 2: Інженерно-геологічні роботи (текст звіту з табличними, текстовими і графічними додатками).
4. Інженерний захист правого схилу балки Зустрічна в м. Дніпропетровську, вишукувальні роботи: науково-технічний звіт по об'єкту. – Дніпропетровськ: Укрвосток-ГИИНТИЗ, Дніпропетровський філіал. – 2012.
5. Панасевич В.Г. Пояснительная записка к изысканиям по катастрофическому оползню на ж/м Тополь-1 в г. Днепропетровске / В.Г. Панасевич. – Днепропетровск: Укрвосток-ГИИНТИЗ, Днепропетровский филиал.
6. Клевцов И.А. Оползни Северного Кавказа, их типы, условия образования и меры борьбы с ними / И.А. Клевцов // Оползни и борьба с ними: тр. Северо-Кавказ. науч.-производ. семинара по изучению оползней и опыта борьбы с ними. – Ставрополь: Кн. изд-во, 1964. – С. 85–133.
7. Постоев Г.П. Классификация оползней по механизму нарушения равновесия массива пород / Г.П. Постоев // Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах интенсивного хозяйственного освоения: сб. науч. тр. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. – С. 52–64.

8. Зуска А.В. Кинематическая модель оползневых склонов: монография /А.В. Зуска; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014-С 9– 13 .
9. Оползни. Исследование и укрепление. М., 1981.
10. Постоев Г.П. Классификация оползней по механизму нарушения равновесия массива пород // Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах интенсивного хозяйственного освоения. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. С. 52-64.
11. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Простые оползни (аспекты классификации). – Кишинев: Изд-во «Штиинца», 1987. – 161 с.
12. Постоев Г. П. Классификация оползней по механизму нарушения равновесия массива пород // Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах интенсивного хозяйственного освоения. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. – С. 52-64.
13. Оползни и сели / Шеко А.И., Постоев Г.П., Кюнтцель В.В. и др. / Под общ. ред. Козловского Е.А. — М.: Произв.-изд. комбинат ВИНТИ, 1984. – Т.1. – 352 с.
14. Саваренский Ф.П. Опыт построения классификации оползней // Тр. I Всесоюзн. оползневое совещ. – Л.-М.: ОНТИ, 1935. – С.29-37.
15. Cruden D.M., Varnes D.J. Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. Landslides: Investigation and Mitigation: Transportation Research Board, US National Research Council. -Washington, D.C., 1996. -Spec. Rep. No. 247. – P. 36-75.
16. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 308 с.
17. E. Vallejo L. Shear band formation and propagation in clay / L. E. Vallejo // Slope Stability Engineering: Proceedings of the international symposium on slope stability engineering in Shikoku'99, 11, November, 1999, Japan. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1999. – Vol.1. – P. 287- 292.

18. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): [под ред. Г.И. Рудько, В.А. Осиюка]. – Черновцы: Букрек, 2012. –Т. 1. – 592 с.
19. Koo Y. C. Some important aspects of design of soil slopes in Hong Kong / Y. C. Koo // Slope Engineering in Hong Kong: Proceedings of the annual seminar on slope engineering in Hong Kong, 2, May, 1997. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1998. – P. 21–29.
20. Mukhlisin M., Baidillah M., Taha M., El-Shafie A., Effect of soil water retention model on slope stability analysis / M. Mukhlisin, M. Baidillah, M. Taha, A. El-Shafie // International Journal of the Physical Sciences. – 2011. – Vol. 6(19). – P. 4629-4635.
21. Оползень в Вайоминге разрезал надвое жилой дом [Электронный ресурс]: НАША ПЛАНЕТА. – 21 апреля 2014 г. – 3 мая 2014 г. – Режим доступа: [http://nashaplaneta.su/blog/opolzen\\_v\\_vajominge\\_razrezal\\_nadvoe\\_zhiloj\\_dom/2014-04-21-25402](http://nashaplaneta.su/blog/opolzen_v_vajominge_razrezal_nadvoe_zhiloj_dom/2014-04-21-25402).
22. Оползни и инженерная практика : [под ред. Э.Б. Эккеля / сокращ. пер. с англ. проф. М.Н. Гольдштейна]. – М.: Трансжелдориздат, 1960.
23. Деревягина Н. И. Обоснование параметров гидрогеомеханической устойчивости лессовых массивов с учетом их генезиса и энергетических характеристик: дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.15.09 / Наталья Ивановна Деревягина. – Днепропетровск, НГУ, 2015. – 170 с.
24. Маркова М. А., Колобанов В. И. Оценка оползневой опасности склонов из лессовых напластований [Электронный ресурс] / М. А. Маркова, В. И. Колобанов. – Режим доступа: [http://www.nbuu.gov.ua/old\\_jrn/natural/Bud\\_kon/2010\\_73/Markov.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/old_jrn/natural/Bud_kon/2010_73/Markov.pdf).
25. Садовенко И. А. О потенциале активации оползневого лессового массива / И. А. Садовенко, Н. И. Деревягина // Научный вестник Национального горного университета. – 2012. – № 2. – С. 80–84.
26. Савостьянова И.А. К вопросу обеспечения устойчивости оползнеопасных склонов в условиях городской застройки // Молодь: наука та інновації

- 2017: Матеріали V Всеукраїнської наук.-техн. конф студентів, аспірантів і молодих учених (Дніпро, 28-29 листопада 2017 р.). Том 7. Геомеханіка. – Д.: ДВНЗ НГУ, 2017. – С. 28-29.
27. Солодянкін А.В., Савостьянова І.А. К обоснованию параметров способа обеспечения устойчивости оползнеопасных склонов // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: Матеріали II Міжнар. наук.-техн. інтернет-конференції. Кривий Ріг, 14 грудня 2017 р. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – С. 163.
28. Инженерная защита. Оползни. Режим доступа: <http://www.alcomp.ru/proectirovanie/inzhenernaya-zashchita-opolzni>
29. Гончарова Л. В. Основы искусственного улучшения грунтов / Л. В. Гончарова. – М.: Изд-во МГУ, 1973.
30. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты / под общ. ред. М. И. Смородинова. – М.: Стройиздат, 1974. – 327 с.
31. ТСН 50-306-2005. Основания и фундаменты повышенной несущей способности.
32. Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты)/ Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш – К.: Задруга, 2006. – 596-620 с.
33. Бессмертный А. Ф. Комплексные геофизические исследования оползней и построение прогнозных моделей их активности (на примере Южного берега Крыма): автореф. дис. к-та геолог. наук: спец. 04.00.22 / А. Ф. Бессмертный. – К., 2004. – 20 с.
34. Гинсбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции / Л. К. Гинсбург. – М. : Стройиздат, 1979. – 80 с.
35. Оползни и инженерная практика / под ред. проф. Д.А. Леонардиса; пер. с англ. М. Н. Гольдштейна. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – 324 с.
36. Державні будівельні норми В.1.1-24-2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі.

37. Довідник «Інженерний захист та освоєння територій» – К.: «Основа», 2000. – 344 с.
38. Золоторев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований / Г.С. Золоторев. – М. : МГУ, 1956. – 67 с.
39. Противооползневые конструкции на автомобильных дорогах / [Браславский В. Д., Львович Ю. М., Грицюк Л. В. и др.] – М. : Транспорт, 1985. – 301 с.
40. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии / Н.Н. Маслов – М.: Высшая школа, 1968. – 623 с.
41. Гинсбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции / Л. К. Гинсбург. – М. : Стройиздат, 1979. – 80 с.
42. Державні будівельні норми України. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування: ДБН В.1.1-24:2009.
43. Билеуш А. И. Оползни и противооползневые мероприятия / А. И. Билеуш. – К.: Наукова думка, 2009. – 560 с.
44. Добров Э. М. Обеспечение устойчивости склонов и откосов с учетом ползучести грунтов / Э. М. Добров. – М.: Транспорт, 1959. – 180 с.
45. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных систем / П. А. Ребиндер. – М. : Наука, 1966. – с.3-16.
46. Должиков П. Н., Кипко А. Э. Физика движения вязкопластичных тампонажных растворов / П. Н Должиков., А. Э. Кипко – Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 237 с.
47. Михайлов Н. В. Физико-химическая механика дисперсных структур / Н.В. Михайлов., Н. А. Михайлов – М. : «Наука», 1996. – 285 с.
48. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие для строительных вузов / С. С. Вялов. – М. : Высш. Школа, 1997. – 447 с.
49. Воларович М. П. Течение пластично вязкого тела между двумя параллельными плоскими стенками и в кольцевом пространстве между двумя коаксиальными цилиндрами / М. П. Воларович, А. М. Гуткин – ЖТФ. т.16, 1946. – С. 321-328.

50. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь / Г.М. Шахуняц. – М.: Транспорт, 1969. – 220 с.
51. Шахуняц Г.М. Земляное полотно железных дорог / Г.М. Шахуняц. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 167 с.
52. Шахуняц Г.М. Расчет устойчивости склонов и откосов против скольжения пород / Г.М. Шахуняц // Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. – К.: Изд-во Киевского университета, 1964. – С. 61-63.
53. Эккель Э.Б. Оползни и инженерная практика / Э.Б. Эккель. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – 216 с.
54. Инженерная подготовка территорий в сложных условиях / Билеуш А.И., Марченко А.Г., Середняк Я.И., Штекель А.С. – К. : Будивельник, 1981. – 205 с.
55. Peck R. B. Investigation of stability problems / R.B. Peck, H.D. Ireland – Amer: Railroad Eng. Assoc, 1971. – p. 112-133.
56. Vauanat J. Slope movements: a geotechnical perspective / J. Vauanat, S. Leroueil, R. M. Faure 7th Int. IAEG Congr. – 1994. – Vol.3. – P. 1637-1646.
57. Державні будівельні норми України : В.1.2-14-2009. (Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ).
58. Моделирование геомеханических процессов численными методами / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев и др. // Перспективы развития Восточного Донбасса. Часть 1: сб. науч. тр./ Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ, 2008. – С. 282-298.
59. Phase2. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 // <https://www.roscience.com/products/3/Phase2>.
60. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98, затверджені 10.12.1998 № 7.

61. Примірна інструкція з охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, затверджену наказом Міністерства доходів і зборів України від 05.09.2013 № 443.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ВІДГУК**

**на дипломну роботу магістра на тему:  
"Обґрунтування способу підвищення стійкості зсувонебезпечних  
грунтових схилів в умовах міської забудови"  
студентки групи 192м-16-1 ФБ Савостьянової Ірини Андріївни**

1. Мета дипломної роботи – обґрунтування геомеханічних параметрів способу ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних ґрунтових масивів.

2. Обрана тема актуальна, оскільки значна площа України є небезпечною з виникнення зсувних процесів, які провокуються інтенсивною забудовою на ділянках природних схилів, при наявності лесових ґрунтів, підняттям рівня ґрунтових вод, в тому числі внаслідок техногенного підтоплення. Всі названі небезпечні фактори є характерними для міста Дніпра.

3. Тема дипломного проекту безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності спеціаліста фаху "Промислове та цивільне будівництво" – питанням визначення параметрів способу закріплення ґрунтів зсувонебезпечних схилів з урахуванням гірничо-геологічних чинників та напружено-деформованого стану ґрунтів від зміщуючих зусиль.

4. Задачі дипломної роботи (вибір найбільш ефективного методу досліджень, виконання аналізу за темою досліджень, обґрунтування чисельної моделі ґрунтового масиву, оцінка напружено-деформованого стану масиву при діючих навантаженнях та технологічних засобах захисту методом чисельного моделювання) віднесені в освітньо-кваліфікаційній характеристиці фахівця до класу продуктивно-синтетичних, вирішення яких засноване на глибокому розумінні навчального об'єкту, здатності здійснювати синтез, генерувати нові уявлення, переносити засвоєні знання на нетипові ситуації.

5. Оригінальність наукових результатів полягає в комплексному вивченні об'єкта досліджень, глибокому всебічному аналізі та узагальненні досвіду будівництва та моделювання різних геомеханічних ситуацій, аналітичних досліджень на підставі сучасних ефективних чисельних методів, що забезпечило їх достатню обґрунтованість.

6. Практичне значення результатів досліджень полягає в обґрунтуванні розрахункової моделі, яка може бути використана при проектуванні параметрів способу ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних ґрунтових структур.

7. Обґрунтованість і вірогідність отриманих результатів підтверджується коректністю поставлених задач, використанням апробованих методів механіки суцільного середовища, ефективних методів чисельного моделювання, використанням для створення чисельної моделі параметрів реальних гірничо-геологічних даних.

8. Оформлення пояснювальної записки в т.ч. рисунків, таблиць, списку використаних джерел виконано згідно відповідним стандартам.

9. Ступінь самостійності виконання дипломної роботи висока.

10. Дипломна робота в цілому заслуговує оцінки "відмінно", а студентка Савостьянова Ірина Андріївна – присвоєння кваліфікації магістра.

11. Пропозиції щодо удосконалення підготовки магістрів фаху "Промислове та цивільне будівництво": посилити навички роботи з літературними джерелами, зокрема уміння аналізувати і систематизувати результати досліджень, розширити комп'ютерну підготовку, зокрема із застосування методів чисельного моделювання геомеханічних задач.

**Керівник дипломної роботи,  
професор кафедри БГГМ**

**О.В. Солодянкін**

## **РЕЦЕНЗИЯ**

на дипломную работу магистрантки  
Савостьяновой Ирины Андреевны

### **«ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ ГРУНТОВЫХ СКЛОНОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ»**

Среди опасных геологических явлений значительное распространение получили оползневые процессы, количество которых с каждым годом увеличивается. Большая часть территории Украины подвержена воздействию этих процессов, что обусловлено её геологическим строением и возросшей техногенной нагрузкой. Для города Днепра, правобережная часть которого находится на отрогах Приднепровской возвышенности оползни являются огромной проблемой.

Развитие оползневых процессов приводит к значительным разрушениям и катастрофическим последствиям, что предполагает масштабное и детальное изучение причин возникновения и степени опасности оползней, а также разработку комплекса мероприятий и эффективных способов по предотвращению этого опасного явления.

На всей территории Украины выполняются комплексные мероприятия инженерной защиты по предотвращению и предупреждению активизации склоновых гравитационных процессов природного и техногенного характера. Тем не менее, их надежность в ряде случаев недостаточна.

Поставленная в дипломной работе задача оценки состояния оползневого массива и обоснования параметров закрепления грунта в зоне сдвижения неустойчивого массива актуальна, решается комплексно, как с применением традиционных методов исследований, так и с использованием современного программного комплекса «PHASE 2», ориентированного на изучение геомеханических процессов.

Полученные результаты представляют интерес, как в научном, так и в практическом плане. Дипломная работа заслуживает оценки «отлично», а магистрант Савостьянова Ирина Андреевна присуждения квалификации магистра.

Профессор кафедры строительства,  
геотехники и геомеханики  
Национального горного университета  
доктор технических наук

В.Г. Шаповал

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ**

**магистерской работы**

**«ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ  
УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ ГРУНТОВЫХ  
СКЛОНОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ»**