



М. Б. Мариничев

А.В. Макушева

**ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ
ОТ КАМНЕПАДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

М. Б. Мариничев, А. В. Макушева

**ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ
ОТ КАМНЕПАДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Краснодар

2017

УДК 624.137(075.8)

ББК 26.3

M26

Р е ц е н з е н т ы :

д-р техн. наук, профессор Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина С. И. Маций,
канд. геогр. наук, генеральный директор
ООО «ГЕОБРУГГ» А. Ю. Баринов

Мариничев М. Б.

M26 Защита территорий от камнепадных процессов : учеб. пособие / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева. – Краснодар: Изд-во ИЦ МНИФ «Общественная наука», 2017. – 97 с.

ISBN 978-5-9909673-0-4

Изложены основные положения проектирования защиты территорий от камнепадных процессов. Значительное внимание уделено вопросам расчета и конструирования защитных сооружений.

Предназначены для студентов-магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство». Может быть полезно аспирантам и инженерно-техническим работникам проектных и строительных организаций.

УДК 624.137(075.8)

ББК 26.3

ISBN 978-5-9909673-0-4



© Мариничев М. Б.,
Макушева А. В., 2017
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2017
© ИЦ МНИФ «Общественная
наука», 2017

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
1 КАМНЕПАДНЫЙ ПРОЦЕСС.....	7
1.1 Причины развития камнепадного процесса	7
1.2 Обзор методов защиты территорий от камнепадных процессов.....	10
1.3 Определение траектории камнепадного процесса.	23
1.4 Структура рельефа и инженерно-геологических условий территории, подверженной риску камнепадного процесса	23
2 МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КАМНЕПАДНЫХ ПРОЦЕССОВ	25
2.1 Классификация защитных конструкций по способу взаимодействия с обломком.....	25
2.2 Классификация типов защитных сооружений по сдерживаемой энергии воздействия	25
2.3 Рекомендации по применению типов защитных конструкций в зависимости от предполагаемой траектории падения обломка	26
2.4 Практические примеры установки противокамнепадных конструкций.....	29
2.4.1 Дамбы.....	29
2.4.2 Галереи.....	30
2.4.3 Гибкие барьеры и их системы	31
3 РАСЧЕТЫ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ	32
3.1 Особенности учета геометрических размеров и формы обломка	32
3.2 Основы расчета и конструирования сооружений из гибких противокамнепадных барьеров.....	34
3.3 Расчетные алгоритмы и программные комплексы, используемые для анализа камнепадного процесса	37
3.3.1 RockFall 7.1	38

3.3.2	FARO	40
3.3.3	PLAXIS	43
3.4	Способы моделирования движения обломка и траектории камнепадного процесса	46
3.4.1	Скольжение	46
3.4.2	Вращение	47
3.4.3	Отрыв камня	47
3.4.4	Движение камня без контакта со склоном	48
3.4.5	Отскок	48
3.4.6	Свободное падение	49
3.5	Основные характеристики модели	49
3.6	Рекомендации по проведению геотехнического мониторинга территории, подверженной риску развития камнепадного процесса	52
3.6.1	Мониторинг гравитационных процессов	52
3.6.2	Параметры, наблюдаемые в ходе мониторинга гравитационных процессов	53
3.6.3	Современные методы проведения мониторинга гравитационных процессов	54
4	КОНСТРУИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОТИВОКАМНЕПАДНЫХ БАРЬЕРОВ.....	60
4.1	Основные элементы в составе конструкции гибкого противокамнепадного барьера	61
4.2	Фундаменты опор гибких противокамнепадных барьеров	63
4.2.1	Требования к фундаментам	63
4.2.2	Типы фундаментов опор	63
4.2.3	Расчеты фундаментов и анкеров	64
4.3	Анкеры в составе фундамента опор барьеров и анкерное крепление оттяжек опор	66
4.3.1	Типы анкеров.....	66
4.3.2	Характеристики инъекционного раствора	67
4.4	Опоры барьеров.....	69
4.5	Опорные пластины.....	70

4.6	Оттяжки опор.....	72
4.7	Несущие канаты	73
4.8	Стальная сеть.....	75
4.9	Амортизирующие элементы	77
4.10	Тормозные элементы	77
5	МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ	
	ИСПЫТАНИЙ ГИБКИХ ПРОТИВОКАМНЕПАДНЫХ	
	БАРЬЕРОВ.....	80
5.1	Основные термины и обозначения.....	80
5.2	Описание стадий натурального испытания	
в г.	Валенштадт, Швейцария.....	84
5.2.1	Географическая ситуация.....	84
5.2.2	Монтаж гибкого противокамнепадного барьера	84
5.3	Многофакторные тесты (А, В, С, D)	86
5.3.1	Предварительный тест А с небольшими энергиями воздействия (крайние секции).....	87
5.3.2	Предварительный тест В с энергией воздействия 50 % (промежуточная/средняя секция)	88
5.3.3	Основной тест С с энергией воздействия 100% (промежуточная/средняя секция).....	88
5.3.4	Тест D гибкого противокамнепадного барьера в соответствии со специальными критериями	89
5.4	Отчет по результатам натуральных испытаний.....	92
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	95
	Основная	95
	Дополнительная	95
	Нормативная	96

ВВЕДЕНИЕ

Освоение территорий со сложным рельефом часто сопряжено с необходимостью учета неблагоприятных природных воздействий, к числу которых относится камнепадный процесс.

Объекты туристического кластера в горах Северного Кавказа располагаются у подножия скальных уступов. Такие инфраструктурные объекты, как лыжные трассы, канатные дороги, коттеджные комплексы и ведущие к ним автомобильные и железные дороги должны быть надежно защищены от воздействий камнепадного процесса, который может иметь весьма разрушительные последствия.

Для обеспечения безопасной эксплуатации таких объектов необходима установка противокамнепадных сооружений, которые имеют различную конструкцию в зависимости от ряда исходных параметров.

Современные противокамнепадные барьеры должны не только сдерживать энергию от камнепадного процесса, но также быть технологичными, экономичными, долговечными и оказывать минимальное воздействие на окружающую среду в процессе установки.

В учебном пособии представлен общий обзор существующих методов защиты от камнепадных процессов, приведены описания возможных противокамнепадных конструкций.

1 КАМНЕПАДНЫЙ ПРОЦЕСС

1.1 Причины развития камнепадного процесса

Изменчивый климат, антропогенное воздействие, сейсмические процессы, протекающие в недрах Земли, могут повлечь опасные последствия в форме схода обломков породы и земляных масс.

Источники дают несколько трактовок понятия камнепада:

1. *Камнепад* – обрушение крупных каменных глыб, обломков пород, а также свободное падение камней на горных склонах под действием силы тяжести;

2. *Камнепад (обвал)* – некоторый объем камней, свободно падающих с поверхности скалы;

3. *Камнепад* – это форма движения грунтовых масс, при которой обломки отделяются от материнской породы, падают вниз, подпрыгивая и катясь по склону.

В отечественной литературе с определением «камнепад» можно столкнуться крайне редко, чаще применяется такой термин, как «обвал».

Обвал – отчленение и обрушение блоков и глыб горных пород с крутых склонов.

Камнепад, как и обвал – экзогенный геодинамический процесс, обусловленный влиянием внешних факторов, действующих либо на поверхности литосферы, либо в верхних ее слоях. Различие между двумя этими терминами можно пояснить так: если падают или скатываются крупные обломки, – это камнепад; когда по склону сходит большая масса породы, которая в процессе движения дробится, перемешивается, – это обвал. Траекторию камнепадного процесса необходимо рассматривать в контакте со склоном, тогда как обвалы как форма склоновых процессов характеризуются движением с потерей контакта с материнской породой.

Камнепад относится к гравитационным геологическим процессам – процессам изменения поверхности Земли под действием силы тяжести. Камнепадный процесс – разновидность склоновых процессов.

Анализируя отечественный и зарубежный опыт, основные факторы возникновения камнепада можно поделить на две группы: естественные и техногенные, которые, в свою очередь, делятся на кратковременные и длительные (рисунок 1.1).

Часто камнепады являются следствием развития процессов выветривания пород на склонах. Под влиянием процессов физического выветривания обычная для скалистых пород трещиноватость прогрессирует. В развитии этого процесса существенную роль играют температурные напряжения (в особенности суточные колебания температур), а также вода. Замерзая в трещинах, она развивает боковое давление, создавая дополнительные условия для дальнейшего расчленения скального массива и отрыва отдельных блоков.

Неконтролируемый камнепад чаще всего связан с техногенными воздействиями на массив. Причиной отрыва блока от склона может стать строительство в горной местности:

- прокладка ж/д и автодорог;
- проходка тоннелей;
- строительство зданий и сооружений в горнолыжном кластере;
- динамическое воздействие на склон в результате аварий (взрывы) и др.

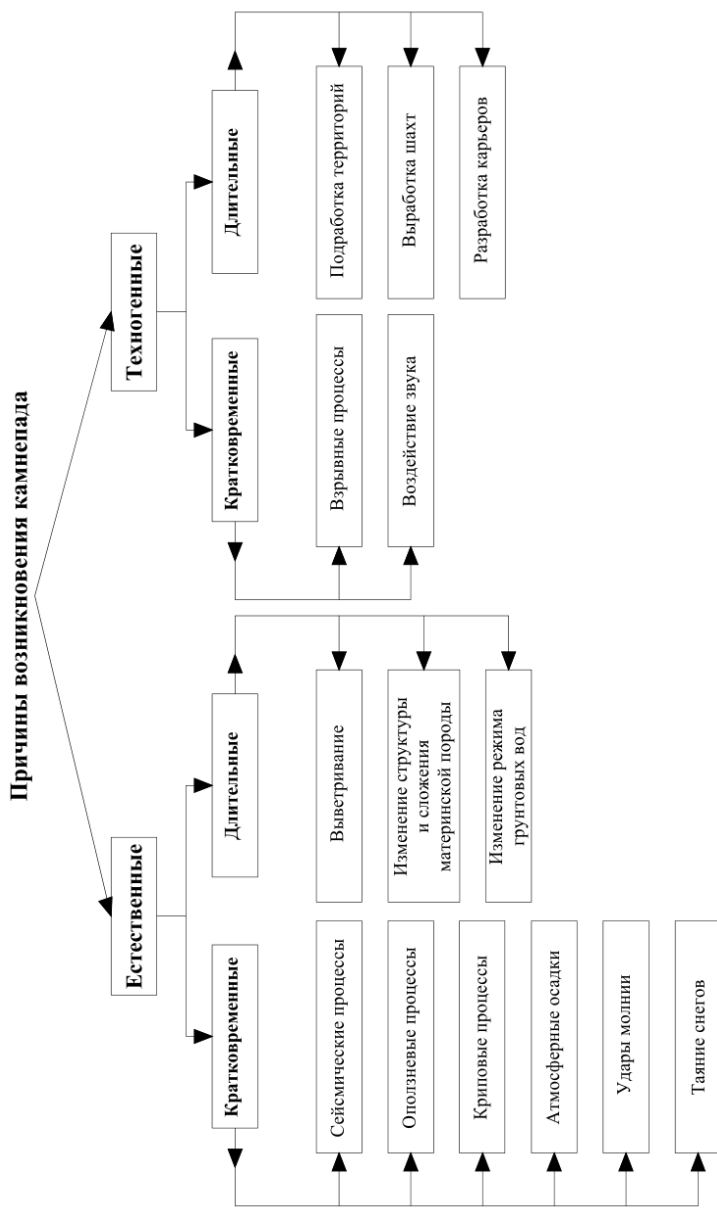


Рисунок. 1.1 – Причины возникновения камнепада

1.2 Обзор методов защиты территорий от камнепадных процессов

Превентивные мероприятия защиты территорий и объектов инфраструктуры от камнепадных процессов должны быть направлены на ликвидацию условий, приводящих к отсоединению блоков от материнской породы.

Следует выделить виды защитных мероприятий от выветривания:

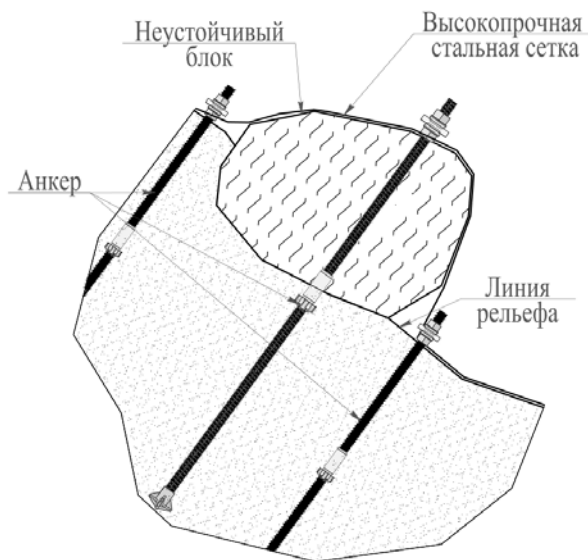
- отвод атмосферных, поверхностных и подземных вод;
- повышение устойчивости горных пород тампонажем трещин и карстовых пустот;
- организация мониторинга разного уровня на территориях интенсивного выветривания на искусственных и естественных обнажениях.

Своевременный мониторинг гравитационных процессов позволяет своевременно выделять опасные участки горных склонов, устранять или минимизировать влияние природных и техногенных факторов на образование камнепадного процесса.

Действующие нормы РФ включают следующую классификацию противообвальных сооружений, применимых в качестве защитных сооружений от камнепадов.

1.2.1 *Удерживающие сооружения* (рисунок 1.2), предусматриваемые для предотвращения сдвига, обрушения, обвалов и вывалов грунтов при невозможности или экономической нецелесообразности изменения рельефа склона (откоса).

а



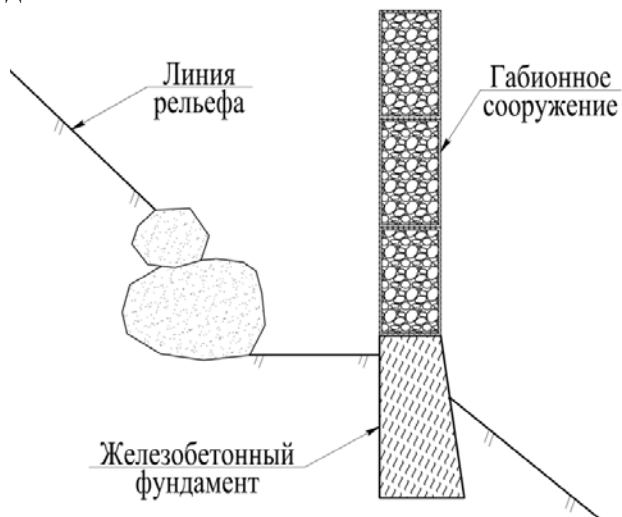
б



Рисунок 1.2 – Анкерное крепление неустойчивого блока с применением высокопрочной сетки:
а – схема сооружения; б – общий вид

1.2.2 Улавливающие сооружения и устройства (рисунки 1.3 – 1.9) (стены, габионы, сетки и др.), предусматриваемые для защиты объектов от воздействия осыпей, вывалов, падения отдельных скальных обломков.

а



б



Рисунок 1.3 – Защитное сооружение из габионов:
а – схема сооружения; б – общий вид

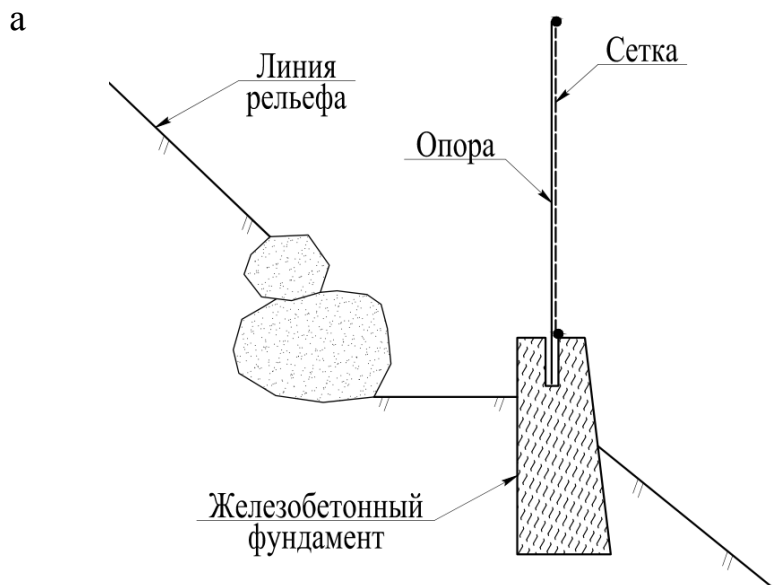


Рисунок 1.4 – Защитное сетчатое ограждение с вертикальными стойками:
а – схема сооружения; б – общий вид

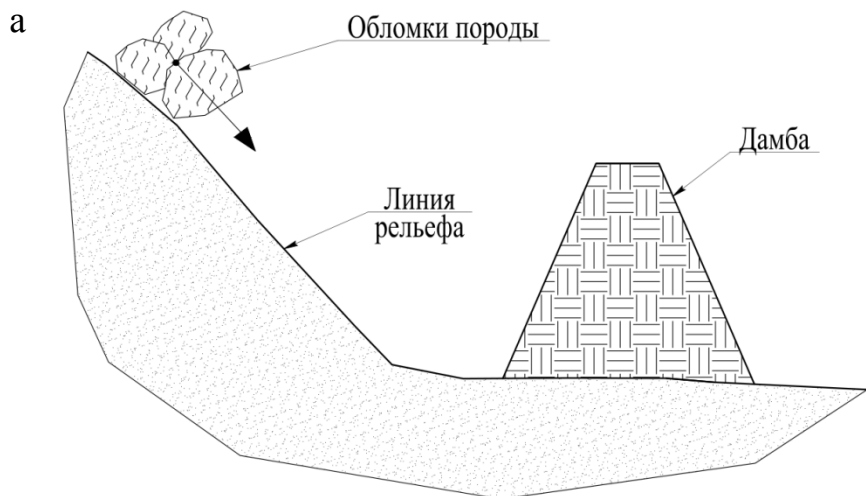


Рисунок 1.5 – Защитная дамба:
а – схема сооружения; б – общий вид

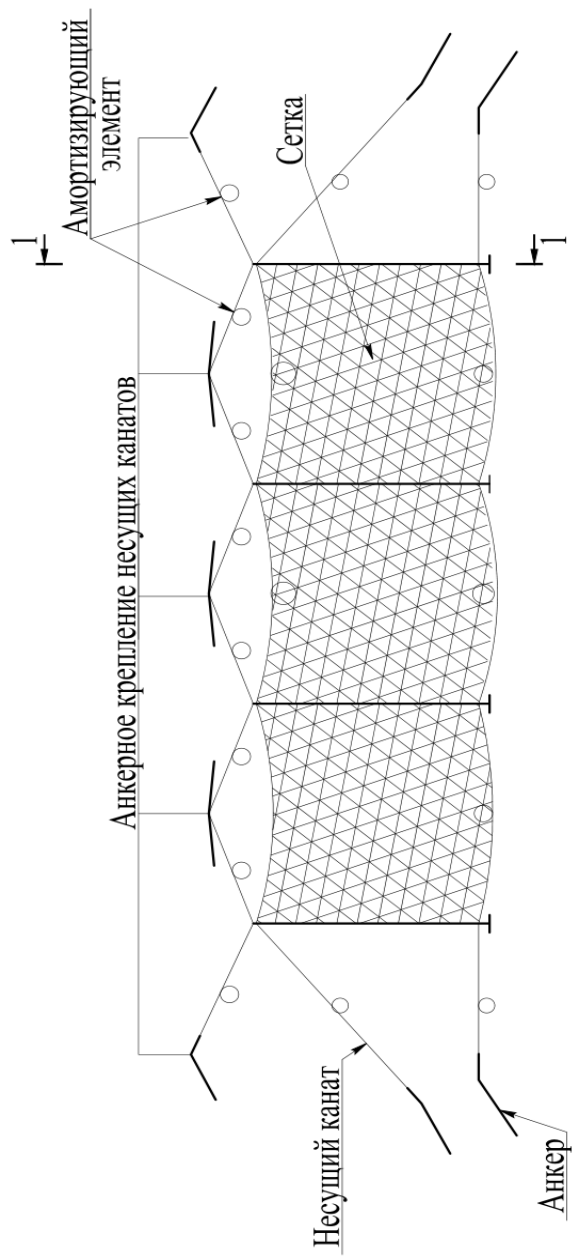
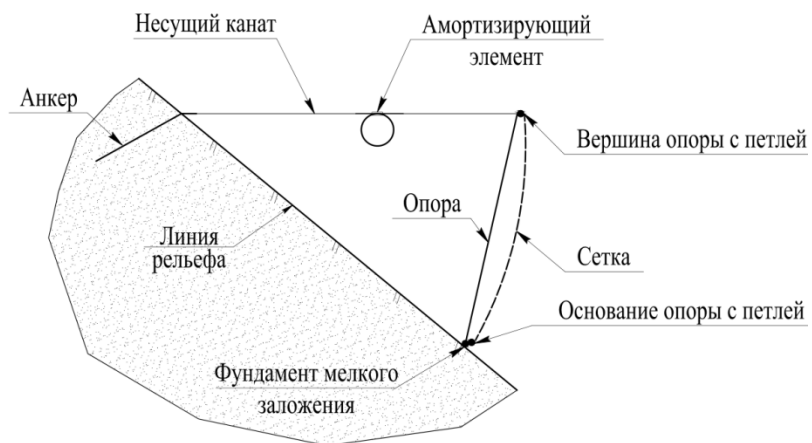


Рисунок 1.6 – Гибкий противокамнепадный барьер

а



б



Рисунок 1.5 – Гибкий противокаменная падный барьер:
а – схема сооружения (сечение 1-1); б – общий вид

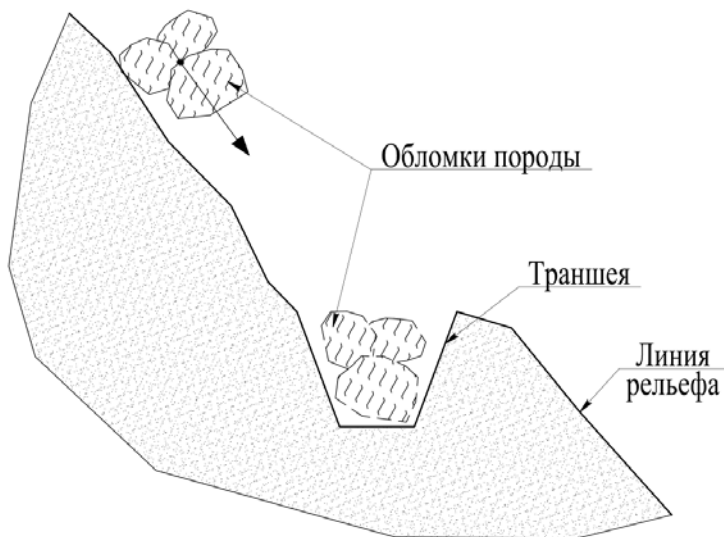


Рисунок 1.9 – Траншея для улавливания падающих обломков породы

1.2.3 Противообвальные галереи

Галереи до недавнего времени считались необходимым и единственным техническим решением, направленным на защиту обвальных участков железнодорожных путей, автодорог федерального значения, пешеходных маршрутов. И действительно, такие конструкции из сборного, монолитного железобетона и штучных материалов во всем мире применяются как надежное инженерное сооружение (рисунки 1.10, 1.11).

К достоинствам галерей можно отнести следующие характеристики:

- широкая область применения;
- возможность устройства амортизирующей отсыпки позволяет смягчить эффект от удара.

В то же время у противообвальных галерей имеется ряд недостатков:

- падающие обломки с энергией воздействия 5000-8000 кДж разрушают железобетонные конструкции галерей;
- огромные трудозатраты при возведении капитальных конструкций на склонах;
- вследствие трудозатрат высокая стоимость строительства;
- капитальное строительство влечет за собой вмешательство в сложившуюся экологическую ситуацию на склоне.

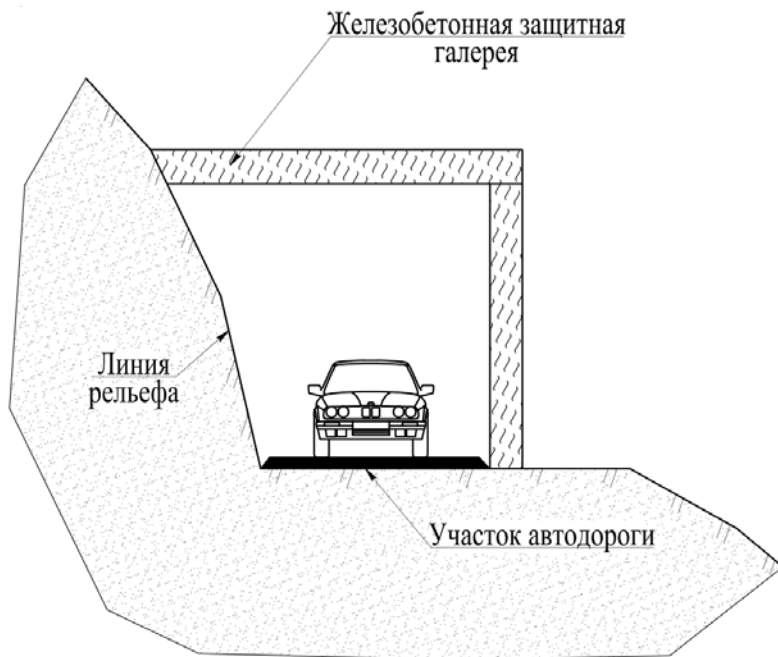


Рисунок 1.10 – Железобетонная защитная галерея

а



б



Рис. 1.11. Противообвальная железобетонные галереи:
а – противообвальная галерея, США; б – галерея на Кругобайкальской железной дороге, Россия

Последние разработки в области защиты от камнепадов с помощью гибких противокамнепадных барьеров (рисунок 1.12) позволяют обеспечить защиту на тех участках, где ранее это считалось невозможным либо слишком затратным.

Такое техническое решение имеет широкую область применения, что делает его альтернативой традиционным системам защиты склонов.

Барьеры способны поглощать удары с энергией, достигающей 8000 кДж, что сопоставимо с падением блока весом 20 т на скорости более 100 км/ч.

Поглощающие характеристики барьеров получены путем натуральных испытаний, которые проведены при наиболее строгих условиях вертикального падения, в соответствии с европейским нормативом ETAG 027 и швейцарскими нормативами по типовым испытаниям противокамнепадных барьеров.

Последовательность выполнения эксперимента включает следующие основные этапы:

1. Выбор места проведения эксперимента, в котором возможно обеспечить высоту свободного падения обломка не менее 70 м;
2. Установка подъемного оборудования и тестируемых барьеров;
3. Установка измерительных систем;
4. Обеспечение безопасности для персонала, находящегося в зоне проведения эксперимента;
5. Проведение эксперимента в соответствии с согласованной программой;
6. Сбор сведений по факту проведенного эксперимента и их последующая обработка.

Подробная информация о конструировании и испытаниях барьеров представлена в разделах 4 и 5.



Рисунок 1.12 – Гибкие противокаменные барьеры

Выбор того или иного типа защитного сооружения обусловлен особенностями рельефа местности, инженерно-геологическими условиями, требованиями экологии и технико-экономическими показателями тех или иных инженерных решений.

В качестве примера ниже рассмотрены параметры защитной земляной дамбы и гибкого противокамнепадного барьера (рисунок 1.13):

- дамбы требуют большого количества материала и занимают обширные территории;
- 1 м гибкого барьера, способного погасить энергию воздействия камня в 8000 кДж, требует около 1 т конструкционного материала;
- 1 м земляной дамы (8000 кДж) требует около 100 т конструкционного материала.

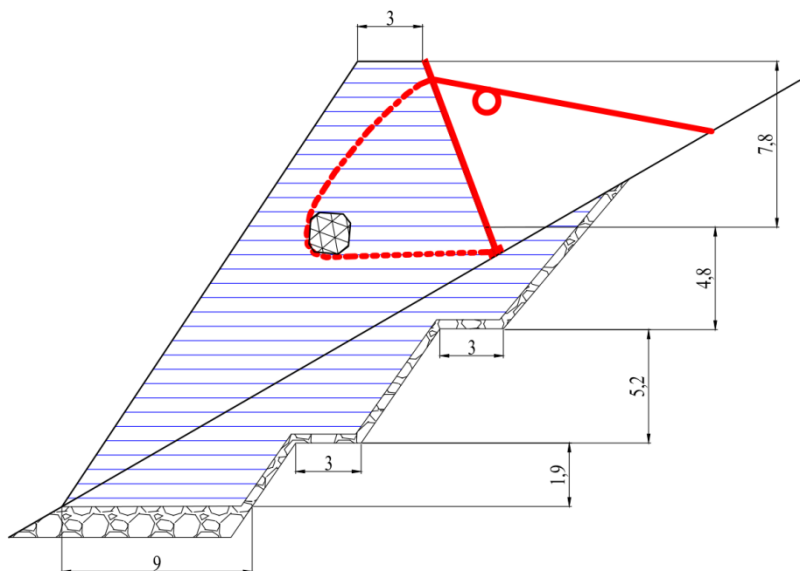


Рисунок 1.13 – Графическое сопоставление гибкого противокамнепадного барьера с защитной дамбой

1.3 Определение траектории камнепадного процесса

Траектория камнепада – линия движения камней во времени, начиная от отрыва неустойчивого обломка от материнской породы до полной его остановки. При построении данной линии учитывается взаимодействие блока со склоном и их параметры.

Параметры исследуемого склона:

- естественный уклон;
- конфигурация (схема поперечного профиля);
- физико-механические характеристики грунта, расположенного на поверхности склона;

Параметры неустойчивых обломков породы:

- фактическая крупность неустойчивых блоков (средний диаметр d обломков, их количество, вес;
- характер поверхности обломка (гравелистый, щебенистый);
- физико-механические характеристики грунта, слагающего обломки.

Траектория камнепадного процесса определяется в каждом конкретном случае по результатам натурных испытаний или с применением специализированных программных комплексов (прим.: ПК RockFall, Германия).

1.4 Структура рельефа и инженерно-геологических условий территории, подверженной риску камнепадного процесса

Как форма склоновых процессов камнепады обычно свойственны породам с преобладанием жестких структурных связей – природных и техногенных скальных и полускальных грунтов. Массивы из таких пород обычно уже изначально расчленены различными трещинами и состоят из больших и малых по величине блоков, которые удерживаются в массиве

силами трения. Каждый последующий шаг в естественном развитии склона может создать условия, при которых отдельный блок может оказаться в состоянии предельного равновесия.

К подклассу природных скальных грунтов относятся грунты с прочными кристаллизационными и цементационными структурными связями, к подклассу природных полускальных – с ослабленными, преимущественно цементационными связями. Условная граница между скальными и полускальными грунтами принимается по прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии: $R_c \geq 5$ МПа – скальные грунты, $R_c < 5$ МПа – полускальные.

Техногенные скальные грунты обладают такими же, как и природные, структурными связями, которые могут взаимно преобразовываться при техногенном воздействии. Наиболее подвержены камнепадным процессам подклассы техногенных скальных и полускальных грунтов. По генезису (условиям и способу образования) среди них выделяются типы: техногенно-измененных в условиях естественного залегания (на месте); техногенно-перемещенных грунтов и антропогенных (созданных человеком или искусственных).

Подробная классификация грунтов представлена в ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».

2 МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КАМНЕПАДНЫХ ПРОЦЕССОВ

2.1 Классификация защитных конструкций по способу взаимодействия с обломком

На основании исследования отечественных и зарубежных систем защиты от камнепадов сформирована следующая классификация защитных сооружений по способу взаимодействия с обломком:

1 Удерживающие сооружения:

- облицовочные стены, используемые для предохранения грунтов от выветривания и осыпаний. К ним можно отнести защитные покрытия из торкрет-бетона, набрызг-бетона и аэроцема (вспененного цементно-песчаного раствора);
- анкерные крепления, используемые в качестве самостоятельного удерживающего сооружения в виде крепления отдельных скальных блоков к прочному массиву на скальных склонах (откосах), также с использованием высокопрочных проволочных сетей;

2 Улавливающие сооружения и устройства – стены, габионы, сетки, валы, траншеи, гибкие барьеры;

3 Противообвальные галереи из железобетона либо в виде системы гибких барьеров.

Стоит выделить такие улавливающие устройства, как гибкие противокамнепадные барьеры, которые позволяют обеспечить экономичную защиту даже на тех участках, где ранее это считалось невозможным либо слишком затратным.

2.2 Классификация типов защитных сооружений по сдерживаемой энергии воздействия

На основе многолетнего опыта наблюдений за камнепадными процессами компанией Geobrugg (Швейцария) была сформирована классификация типов защитных сооружений по

сдерживаемой в результате воздействия камня энергии (рисунок 2.1):

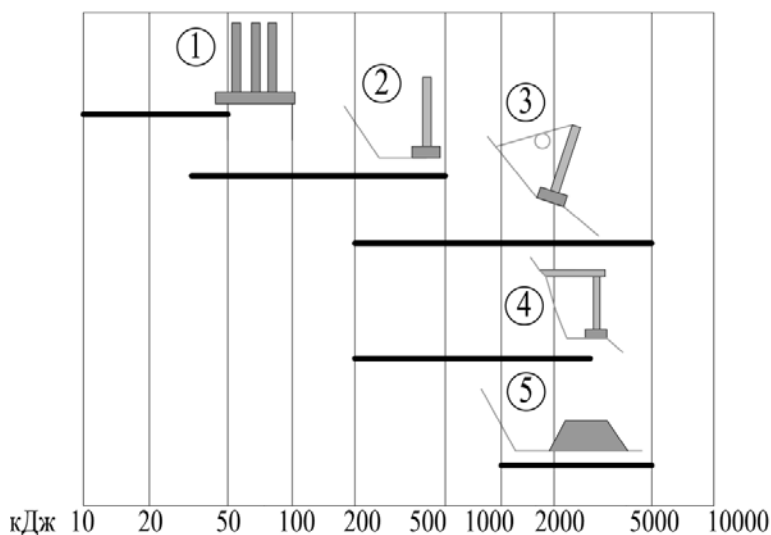


Рисунок 2.1 – Классификация типов защитных сооружений по сдерживаемой энергии воздействия:

- 1 – сетчатое ограждение с вертикальными стойками; 2 – гибкие барьеры без удерживающих тросов; 3 – гибкие барьеры с удерживающими тросами; 4 – бетонные галереи; 5 – дамбы

2.3 Рекомендации по применению типов защитных конструкций в зависимости от предполагаемой траектории падения обломка

В зависимости от инженерно-геологических и топографических условий местности можно выделить три расчетные ситуации:

1. Блок в неподвижном состоянии с потенциальной опасностью отрыва (рисунок 2.2);
2. Движение блока по кривой (рисунок 2.3);
3. Падение блока с отвесной скалы (рисунок 2.4).

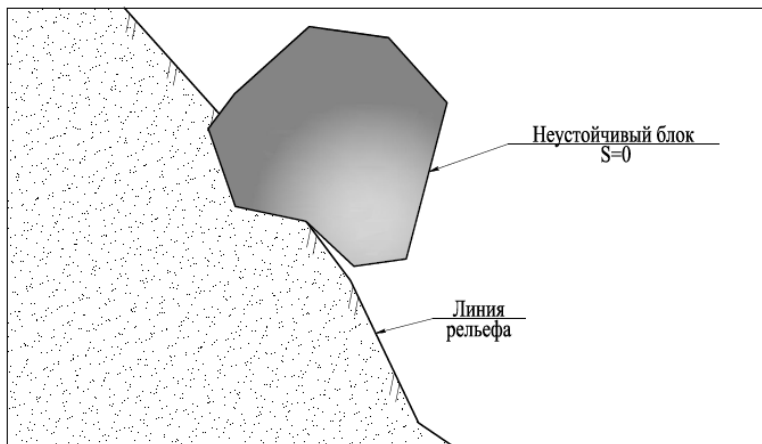


Рисунок 2.2 – Расчетная ситуация 1 – блок в неподвижном состоянии с потенциальной опасностью отрыва

Типы защитных сооружений для расчетной ситуации 1

Удерживающие сооружения – анкерное крепление неустойчивого блока. Как вариант возможно использование с применением сети проволочных канатов или высокопрочной стальной сети.

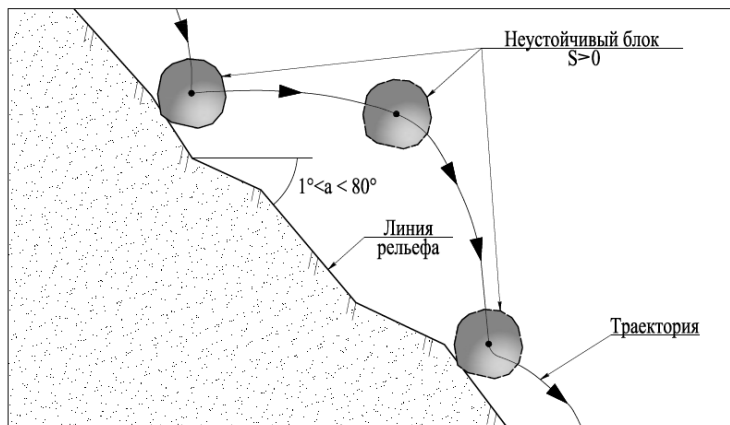


Рисунок 2.3 – Расчетная ситуация 2 – движение блока по кривой

Типы защитных сооружений для расчетной ситуации 2

Улавливающие сооружения – дамбы, конструкции из габионов, ограждающие металлические и ж/б стены, гибкие барьеры, траншеи.

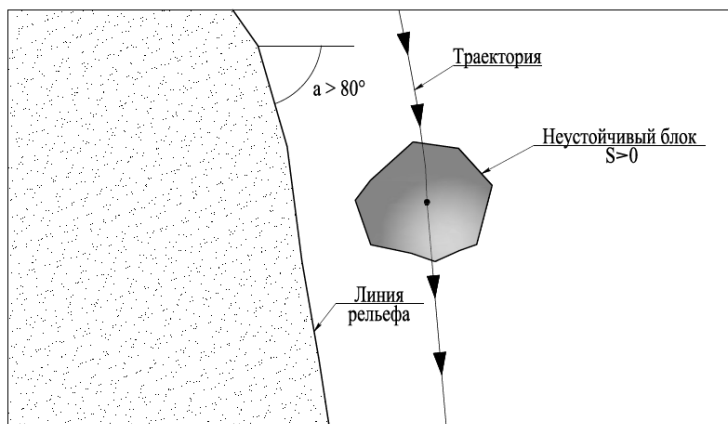


Рисунок 2.4 – Расчетная ситуация 3 – падение блока с отвесной скалы

Типы защитных сооружений для расчетной ситуации 3

Галереи – сооружения из железобетона или металла, предназначенные для защиты опасных участков железнодорожных путей, автодорог федерального значения, пешеходных маршрутов; защитные навесные сетки, траншеи.

Данные рекомендации по применению защитных конструкций в зависимости от траектории движения обломка породы по склону с учетом пройденного обломком пути S , (м) составлены на основании анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования защитных конструкций.

2.4 Практические примеры установки противокамнепадных конструкций

2.4.1 Дамбы



Рисунок 2.5 – Конструкции дамб для защиты пешеходных дорожек от камнепада и осыпей, Европа

2.4.2 Галереи



Рисунок 2.6 – Железобетонные галереи на Байкало-амурской магистрали, Россия

2.4.3 Гибкие барьеры и их системы



Рисунок 2.7 – Конструкции противокамнепадных барьеров в Швейцарии (сверху) и России (снизу)

3 РАСЧЕТЫ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ

3.1 Особенности учета геометрических размеров и формы обломка

Расчетная величина скальных обломков включает в себя средний диаметр d блоков, их предполагаемое количество (от одного и более) и вес.

Расчетная величина обломков учитывается при определении энергии воздействия камня (обломка) в каждой точке траектории.

Энергия воздействия единичного обломка или группы обломков обычно определяется путем статистической обработки результатов натуральных наблюдений или численного моделирования траекторий камнепада, которые строятся для каждого отдельного случая. Расчет кинетической энергии блока выполняется с учетом его массы m и скорости v движения в каждой точке с применением формулы (3.1) для определения кинетической энергии тела из классической физики:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3.1)$$

Скорость движения обломка по склону зависит от многих факторов и определяется в зависимости от траектории движения обломка, которая, в свою очередь, учитывает параметры блока и самого склона.

Эти геометрические и динамические параметры камнепадного процесса определяются по результатам статистической обработки результатов многолетнего геотехнического мониторинга гравитационных процессов на конкретном потенциально опасном участке.

В случае если мониторинг камнепадных процессов на участке не проводился, расчетная величина скальных облом-

ков может быть определена по потенциальной блочности массива. По результатам определения этой характеристики производится численное моделирование траекторий камнепада.

Для определения потенциальной блочности следует учитывать трещины шириной свыше 10 см. Допускается объединять трещины в одну систему, если они имеют одинаковую или близкую ориентацию. Обследование трещин проводят равномерно по всей площади откоса при числе замеров не менее 50. В случае однородности геологического строения расстояние между участками замеров следует принимать 150–300 м, при неоднородности элементов залегания скальных грунтов его следует сократить до 25–50 м.

Трещины необходимо обследовать в зависимости от сложности на различных горизонтах через 10–20 м по высоте откоса. При наличии литологических разностей трещины целесообразно измерять в каждой из них.

Расстояние между трещинами вычисляют по методу наименьших квадратов с доверительной вероятностью 0,85.

На основе полученных данных определяют размер Z потенциального блока (принимаемый за ребро куба или диаметр шара) по формуле (3.2):

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_i} \right)}, \quad (3.2)$$

где n – количество систем трещин;

l_1, l_2, \dots, l_i – расстояние между трещинами первой, второй, i -той систем, м.

Уточняется расчетная величина блока путем опытного сбрасывания его с нагорного откоса (склона) по направлению проектируемого защитного сооружения. Расчет также может производиться при помощи ЭВМ.

Расчетную скорость падающих обломков рекомендуется определять в зависимости от типа поперечного профиля

нагорного откоса или склона. Она также может быть вычислена с помощью ЭВМ.

3.2 Основы расчета и конструирования сооружений из гибких противокампнепадных барьеров

Инженерные сооружения в виде гибких противокампнепадных барьеров представляют собой систему защиты территорий от камнепадных процессов, все составляющие которой взаимодействуют друг с другом. Основными элементами являются: высокопрочная стальная сетка (рисунки 3.1, 3.2), растягиваемая на шарнирных опорах перпендикулярно склону, анкеры и стальные канаты.

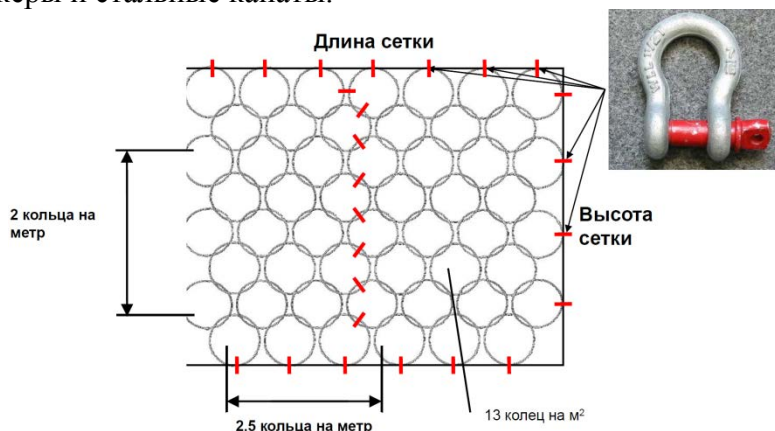


Рисунок 3.1 – Фрагмент высокопрочной стальной сетки

Такая система сохраняет свою эффективность, когда все отдельные ее компоненты включены в работу.

Основные расчетные положения приведены в СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов».

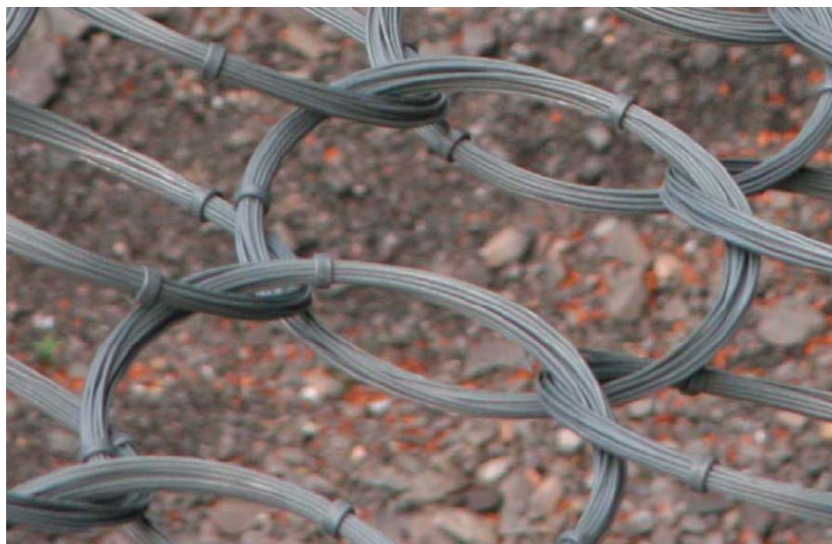


Рисунок 3.2 – Фрагмент стыковки звеньев высокопрочной стальной сетки

1. Защитные сооружения и их конструкции проектируются по методу предельных состояний. При этом расчеты производятся по двум группам предельных состояний.

1.1. Первая группа – полная непригодность сооружения к дальнейшей эксплуатации):

- расчеты общей прочности и устойчивости системы сооружение – грунтовый массив (откос, склон);

- расчеты прочности и устойчивости отдельных элементов сооружения, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружения;

- расчеты перемещений сооружений и конструкций, от которых зависит прочность или устойчивость сооружения в целом, а также прочность или устойчивость объектов на защищаемой территории и др.;

1.2. Вторая группа – непригодность к нормальной эксплуатации:

– расчет оснований, откосов, склонов и элементов конструкции, разрушение которых не приводит все сооружение в непригодное состояние, на местную прочность;

– расчеты по ограничению перемещений и деформаций сооружений, прилегающих территорий и объектов, на них расположенных; расчеты по образованию или раскрытию трещин и строительным швам.

2. Расчет защитных сооружений, проектируемых откосов и склонов производится исходя из условия 3.3:

$$\psi F \leq \frac{\gamma_d}{\gamma_n} R, \quad (3.3)$$

где F – расчетное значение обобщенного силового воздействия на сооружение или его конструктивные элементы (сила, момент, напряжение), определяемое в соответствии с СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия», деформации (смещения) или другие параметры, по которым производится оценка предельного состояния;

ψ – коэффициент сочетания нагрузок, принимающий значения:

при расчетах по предельным состояниям первой группы для основного сочетания эксплуатационного периода $\psi = 1,0$;

то же для строительного периода и ремонта $\psi = 0,95$;

для особого сочетания нагрузок, в том числе сейсмической нагрузки на уровне проектного землетрясения (ПЗ) годовой вероятностью $0,01 \psi = 0,95$;

прочих нагрузок максимального уровня расчетного землетрясения (МРЗ) и годовой вероятностью $0,001 \psi = 0,90$;

при расчетах по предельным состояниям второй группы на основное сочетание нагрузок $\psi = 1,0$;

R – расчетное значение обобщенной несущей способности, прочности, деформации (смещения) или другого параметра, устанавливаемого соответствующими нормами проектирования в зависимости от типа конструкции и используемых материалов с учетом коэффициентов надежности по материалу γ_m и (или) грунту γ_g ;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения:

при расчетах по предельным состояниям первой группы в зависимости от уровня ответственности согласно ГОСТ Р 54257;

1а – $\gamma_n = 1,25$; 1б – $\gamma_n = 1,20$; 2 – $\gamma_n = 1,15$;
3 – $\gamma_n = 1,10$.

при расчетах по предельным состояниям второй группы $\gamma_n = 1,00$.

γ_d – коэффициент условий работы, учитывающий характер воздействий, возможность изменения свойств материалов со временем, степень точности исходных данных, приближенность расчетных схем, тип сооружения, конструкции или основания, вид материала и другие факторы; устанавливается в диапазоне $0,75 \leq \gamma_d \leq 1,00$ нормами проектирования отдельных видов сооружений.

3. В расчетах защитных сооружений нагрузки и воздействия следует определять с учетом воздействия падающих скальных обломков, размеры которых допускается определять в соответствии с Приложением Д СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия».

3.3 Расчетные алгоритмы и программные комплексы, используемые для анализа камнепадного процесса

Для анализа камнепадного процесса, который представляет собой прогнозирование вероятных траекторий падения обломков со склона, а также расчета и конструирования совре-

менных защитных сооружений, используются следующие программные комплексы:

3.3.1 RockFall 7.1

Программа позволяет задавать геометрические параметры обломков и конфигурацию склона для построения траекторий падения обломков.

Возможности ПК RockFall 7.1 (рисунки 3.3, 3.4, 3.5):

- моделирование камнепадного процесса с участием от 1 до 10000 камней (обломков);
- физически точное моделирование траектории камнепада;
- учет вращения обломка;
- определение координат точки воздействия обломка на сооружение инженерной защиты;
- определение энергии воздействия обломка на сооружение инженерной защиты;
- определение энергии и высоты отскока обломка при движении по склону;
- статистическая оценка высоты отскока обломка и энергии воздействия на препятствия.

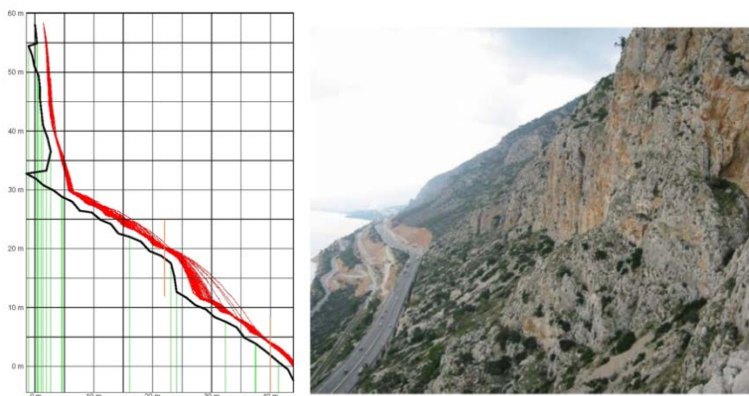


Рисунок 3.3 – Траектория и энергия удара в ПК RockFall

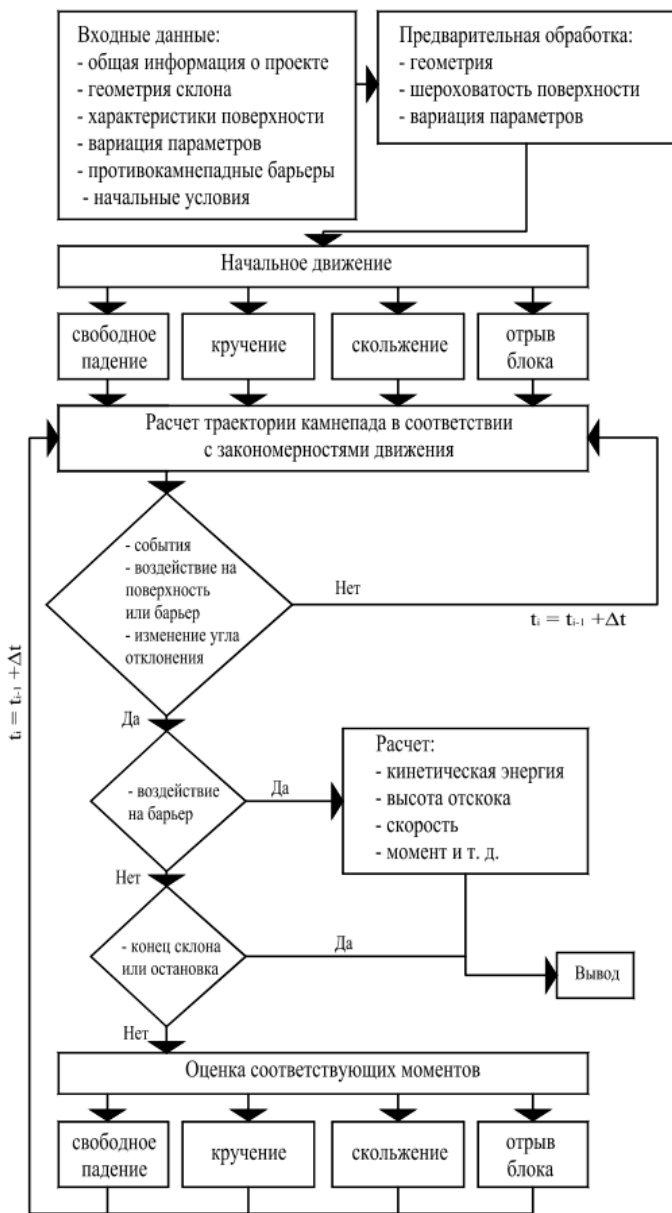


Рисунок 3.4 – Блок-схема ПК RockFall

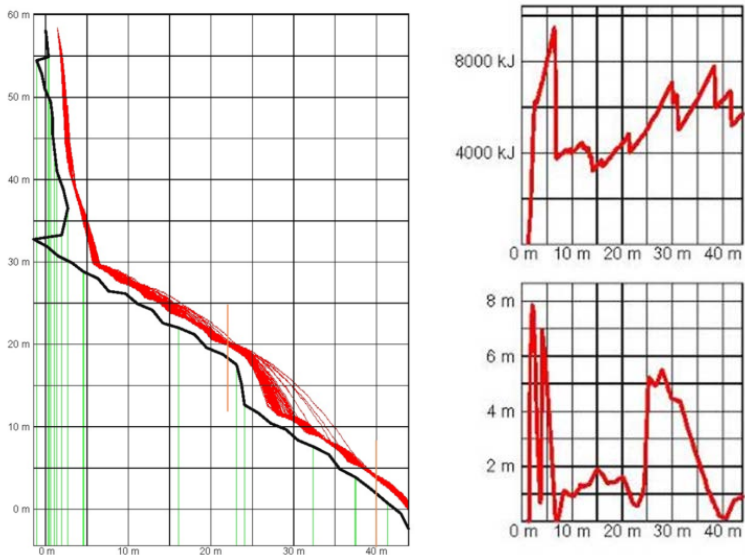


Рисунок 3.5 – 2D-моделирование в ПК RockFall

3.3.2 FARO

При работе с программным комплексом FARO (рисунки 3.6, 3.7) обработка исходных данных происходит одновременно с трехмерным моделированием защитных конструкций. Относительно небольшие размеры модели (в основном меньше 2000 узлов и элементов) обеспечивают высокую производительность и совместимость с процессорами современных ПК.

Существует множество программных продуктов, принцип действия которых основан на методе конечных элементов. Специалистами Швейцарского федерального института исследований леса, снега и ландшафтов (WSL) был разработан программный комплекс, который применим для проектирования конструкций инженерной защиты от камнепадных процессов

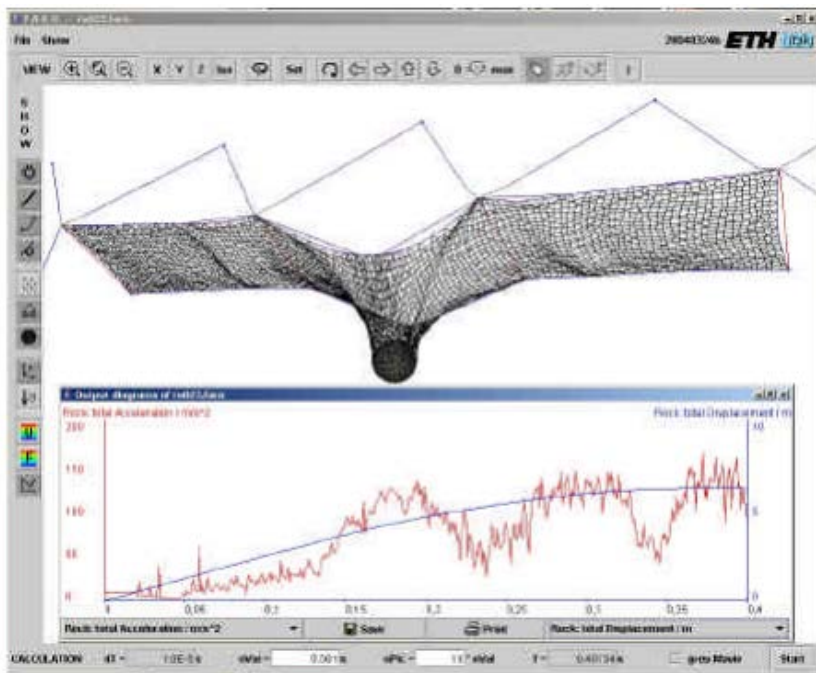


Рисунок 3.6 – Графический интерфейс ПК FARO. Моделирование вертикального падения камня в гибкий противокаменная барьер и окно с графиком для контроля выходных параметров

Камень моделируется в программе как твердое тело, его форма сферическая. Пространственное вращение осуществляется за счет применения параметров Эйлера. Условия вращения в зависимости от скорости и уровня ускорения сохраняются как пространственные векторы. Это позволяет привести уравнения движения в гораздо более простую форму. На рисунке 3.6 приведена гибкая защитная галерея из металла над участком автодороги и ее математическая модель в ПК FARO.

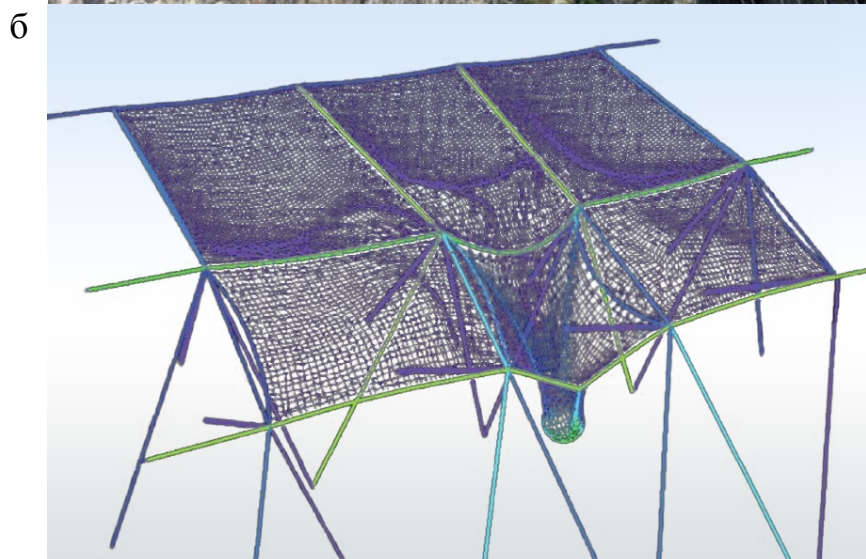


Рисунок 3.7 – Моделирование конструкции гибкой защитной галереи в ПК FARO:
а – общий вид сооружения; б – конечно-элементная модель галереи

3.3.3 PLAXIS

ПК PLAXIS представляет собой пакет конечно-элементных программ для выполнения расчётов сложных комплексных геотехнических задач.

В процессе двухмерных и трехмерных расчетов, доступных в программах PLAXIS, определяются напряжения, деформации, прочность (устойчивость) в сложных геотехнических системах с учетом совместной работы инженерных конструкций и их взаимодействия с грунтом на этапах строительства, эксплуатации и реконструкции.

Механическое поведение грунтов в PLAXIS может быть смоделировано при помощи различных моделей:

1. *Модель Кулона – Мора* – упругопластическая модель, содержащая 5 основных параметров:

E и ν – параметры упругости грунта,
 c и ϕ – параметры прочности грунта,
 ψ – угол дилатансии.

Модель Кулона – Мора представляет собой аппроксимацию первого порядка поведения грунта или скальной породы. Для каждого слоя грунта рассчитывается постоянная средняя жесткость. При постоянной жесткости расчеты выполняются довольно быстро, давая первое представление о напряжениях и деформациях в пределах выбранного грунтового основания. Кроме параметров грунта, характеризующих его идеальное пластическое поведение, важную роль при решении большинства задач, связанных с деформацией грунта, играет его начальное состояние. При расчетах с использованием модели Кулона – Мора (как и для остальных моделей грунтов), реализованной в PLAXIS, генерируются начальные горизонтальные напряжения в грунте.

Пластичность в данной модели связана с возникновением необратимых деформаций. Чтобы определить, встречается пластичность в расчете или нет, функция текучести f задается в виде функции напряжений и деформаций. Часто функция

текучести может быть представлена как поверхность в пространстве главных напряжений (рисунок 3.8).

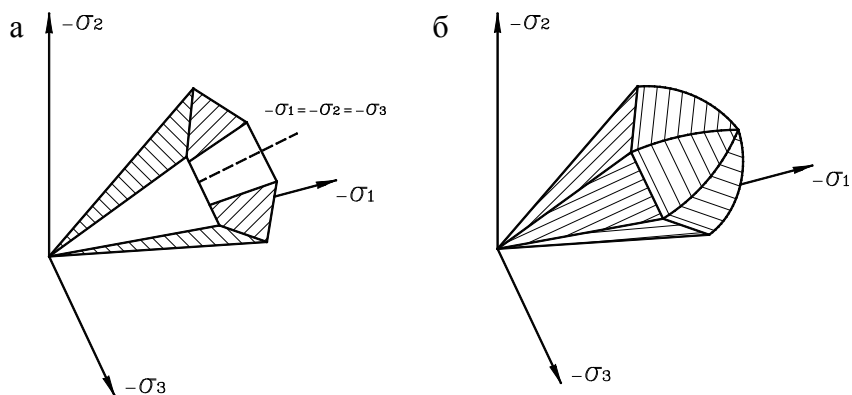


Рисунок 3.8 – Поверхность текучести в пространстве главных напряжений (при $c = 0$):

а – Кулона – Мора; б – упрочняющегося грунта

Модель Кулона – Мора имеет фиксированную поверхность текучести, т. е. такую поверхность, которая полностью определяется параметрами модели и на которой не отражается пластическое деформирование. При напряженных состояниях, представляемых точками в пределах поверхности текучести, поведение грунта является строго упругим, а деформации – обратимыми.

Основной принцип упругопластичности заключается в том, что деформации и их скорости разделяются на упругие и пластические составляющие.

2. *Модель упрочняющегося грунта* – более усовершенствованная, чем модель Кулона – Мора. В последней предельное напряженное состояние описывается с помощью угла внутреннего трения φ , сцепления c и дилатансии ψ . Жесткость грунта можно описать намного точнее с помощью трех ее различных вводных параметров: жесткости при трехосном

нагрузении E_{50} , при трехосной разгрузке E_{ur} и при нагружении в одометре E_{oed} . В качестве средних значений для различных типов грунтов можно записать $E_{ur} \approx 3E_{50}$ и $E_{oed} \approx E_{50}$, хотя очень мягкий и очень жесткий грунт обычно имеют другое отношение E_{oed}/E_{50} .

В отличие от модели Мора – Кулона, модель упрочняющегося грунта учитывает также зависимость модуля деформации от напряжений, т. е. все параметры жесткости увеличиваются с повышением давления. Все три входных параметра имеют отношение к контрольному напряжению, которое обычно принимается равным 100 кПа.

Кроме того, поверхность текучести модели пластического упрочняющегося грунта не зафиксирована в пространстве главных напряжений, в отличие от упругой идеально-пластической модели. Существует два основных типа упрочнения – при сдвиге и при сжатии. Упрочнение при сдвиге применяется для моделирования необратимых деформаций, появившихся в результате первичного девиаторного нагружения; при сжатии – для моделирования необратимых пластических деформаций, обусловленных первичным сжатием при одометрическом или изотропном нагружении.

Это усовершенствованная модель, предназначенная для наблюдения за работой различных видов грунта, как слабых, так и прочных.

3. Модель ползучести слабого грунта (реологическое поведение). В этой модели, реализованной разработчиками в PLAXIS, под слабыми грунтами подразумеваются глины, глинистые илы, торфы в состоянии уплотнения, близком к естественному. Для таких грунтов характерна высокая степень сжимаемости. И хоть большинство задач с подобными типами грунтов могут быть решены при использовании модели упрочняющегося грунта, однако она не пригодна для рассмотрения вопросов ползучести.

Все типы грунтов обладают определенной ползучестью, т. е. после первичной консолидации всегда следует вторичная. Если предположить, что вторичная консолидация, которая может длиться десятки лет, составляет определенный процент от первичной, то следует вывод, что явление ползучести требует обязательного учета в тех задачах, которые связаны со значительной первичной консолидацией. Подобные ситуации возникают, например, при строительстве насыпей на слабых грунтах. В таких случаях желательно учитывать ползучесть с использованием метода конечных элементов.

В PLAXIS включены следующие основные характеристики модели ползучести слабого грунта: зависимость жесткости от напряжений, различие между первичным нагружением и режимом разгрузки-нагрузки, вторичное (зависящее от времени) уплотнение, информация о напряжениях предварительного уплотнения, разрушение в соответствии с критерием Кулона – Мора.

3.4 Способы моделирования движения обломка и траектории камнепадного процесса

Отрыв обломка от материнской породы и его движение по склону до полной остановки – сложный процесс, который зависит от множества внешних и внутренних факторов.

Современные программные комплексы позволяют следующие виды движения камня по склону:

3.4.1 Скольжение

Скольжение (рисунок 3.9) – это движение с ускорением и с заданной траекторией параллельно поверхности склона. При данном виде движения вращением камня пренебрегают.

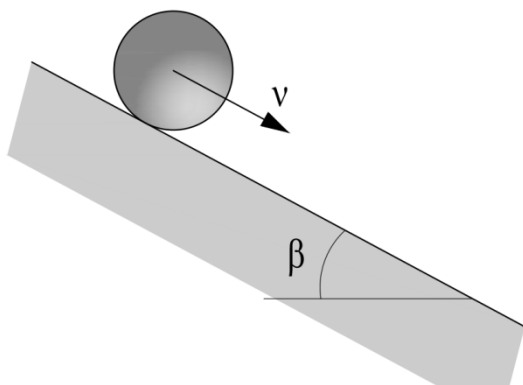


Рисунок 3.9 – Скольжение камня по склону

3.4.2 Вращение

Вращение (рисунок 3.10) – это движение с ускорением и заданной траекторией параллельно поверхности склона, учитывающее кручение объекта.

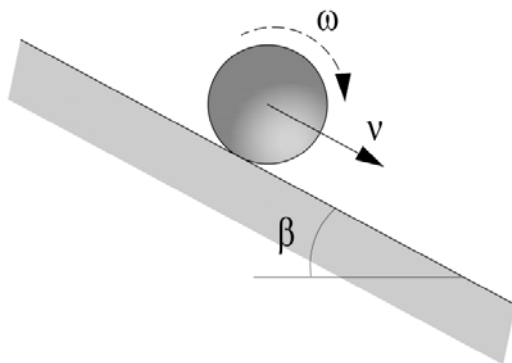


Рисунок 3.10 – Движение камня по склону с вращением

3.4.3 Отрыв камня

Отрыв камня (рисунок 3.11) – это движение при участии крутящего момента, с условием скольжения в точке между краем поверхности и падением тела.

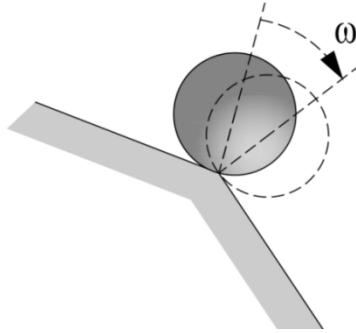


Рисунок 3.11 – Отрыв камня от материнской породы

3.4.4 Движение камня без контакта со склоном

Движение камня без контакта со склоном (рисунок 3.12) – это ускоренное движение по параболической траектории. При данном виде движения вращением камня пренебрегают.

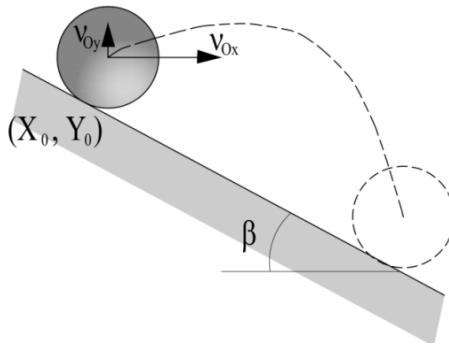


Рисунок 3.12 – Движение камня без контакта со склоном

3.4.5 Отскок

Отскок (рисунок 3.13) – вид движения камня, который моделируется как взаимодействие обломка и контактной поверхности, проходящее с поэтапным затуханием нормальных и касательных сил этого взаимодействия.

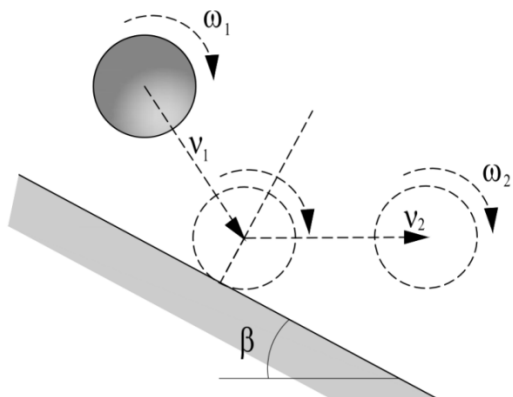


Рисунок 3.13 – Отскок камня

3.4.6 Свободное падение

Свободное падение (рисунок 3.14) – движение с ускорением по вертикальной траектории без контакта со склоном.

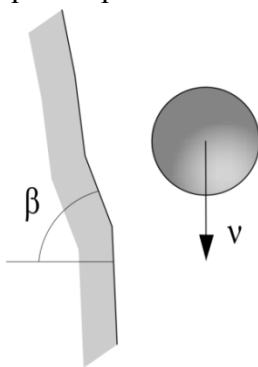


Рисунок 3.14 – Свободное падение обломка породы

3.5 Основные характеристики модели

При моделировании процесса камнепада (рисунок 3.15) профиль скола в двумерном отображении делится на слои согласно данным инженерно-геологических изысканий, задаются граничные условия.

Основные характеристики модели:

R_g – динамический угол трения, град. – регулирует трение между поверхностью склона и камнем при его скольжении по склону; диапазон допустимых значений от 0° до 89° ;

R_h – статический угол трения, град. – регулирует трение между поверхностью склона и камнем при статическом контакте; диапазон допустимых значений от 0° до 89° . Статический угол трения R_h должен быть больше или равным динамическому углу трения R_g ;

D_n – нормальное демпфирование – регулирует демпфирование составляющей скорости по нормали к поверхности склона во время столкновения камня с поверхностью склона; диапазон допустимых значений: от 0 (пластичное взаимодействие) до 1 (абсолютно упругий удар);

D_t – тангенциальное демпфирование – регулирует демпфирование тангенциальной составляющей скорости во время столкновения камня с поверхностью склона; диапазон допустимых значений: от 0 (пластичное взаимодействие) до 1 (абсолютно упругий удар);

R_w – сопротивление кручению – определяет потери энергии камня за счет кручения в процессе движения по поверхности склона; диапазон допустимых значений: от 0 (нет сопротивления кручению) до 0,35 (экстремальное сопротивление кручению);

Δt – шаг по времени в секундах – выбранный пользователем интервал времени, определяющий точность вычисления траектории обломка. Значение интервала времени не может превышать 0,05 с;

V_n – нормальная минимальная скорость, м/с;

V_t – тангенциальная минимальная скорость, м/с. Камень останавливается при достижении минимальных значений скоростей V_n и V_t .

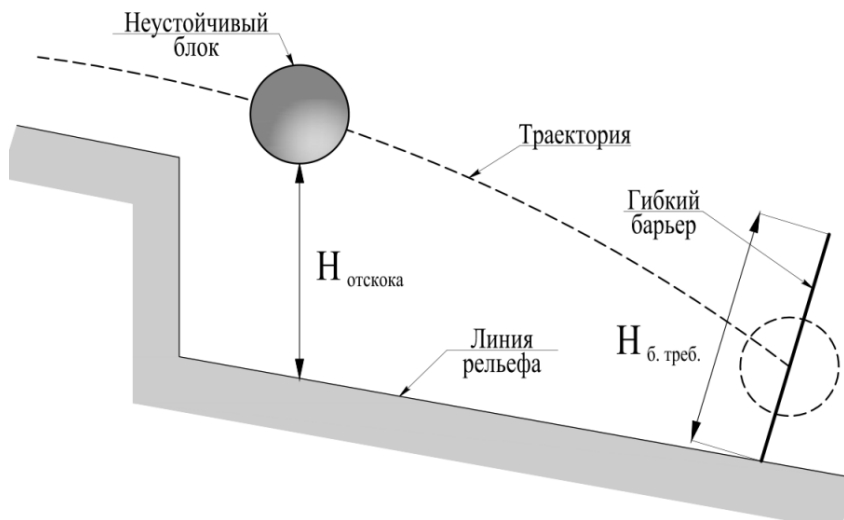


Рисунок 3.15 – Моделирование взаимодействия обломка со склоном и защитным сооружением:

$H_{\text{отскока}}$ – высота отскока неустойчивого блока;
 $H_{\text{б.треб.}}$ – требуемая высота защитного сооружения.

По результатам расчетов возможно получить следующие выходные данные:

- 1) общая энергия воздействия обломка на защитное сооружение;
- 2) высота отскока;
- 3) поступательная кинетическая энергия обломка;
- 4) вращательная кинетическая энергия обломка;
- 5) поступательная скорость движения обломка;
- 6) угловая скорость движения обломка;
- 7) момент инерции обломка;
- 8) момент импульса обломка.

3.6 Рекомендации по проведению геотехнического мониторинга территории, подверженной риску развития камнепадного процесса

Геотехнический мониторинг – регулярное инструментальное наблюдение и оперативное управление ходом работ, позволяющее выявить развитие неблагоприятных тенденций в период производства работ нулевого цикла, возведения сооружений и в первый период его эксплуатации.

Целью геотехнического мониторинга является обеспечение качества и соответствия техническим регламентам как возводимых строительных конструкций, так и зданий и сооружений окружающей застройки.

Задачей геотехнического мониторинга является регулярное отслеживание поведения строящегося сооружения, окружающих зданий и грунтового основания, а также принятие мер по обеспечению дальнейшего безопасного строительства.

Все наблюдения должны вестись в соответствии с утверждённой программой мониторинга, включающей в себя наблюдения за всеми опасными природными процессами, происходящими на участке строительства.

3.6.1 Мониторинг гравитационных процессов

Мониторинг гравитационных процессов должен входить в состав программы комплексных наблюдений за опасными природными процессами.

Наблюдения за камнепадными процессами должны включать:

- закладку скальных марок и геодезические наблюдения за перемещениями потенциально опасных блоков (определение текущих координат и высот точек);
- описание точек наблюдений, включая фотофиксацию.

Маршруты наблюдения и зона проведения мониторинга выбираются по результатам устного опроса местных жителей либо уточняются в ходе наблюдений.

Продолжительность любого периода мониторинга после окончания строительства должна корректироваться в соответствии с результатами наблюдений в период строительства, которые представляются в табличном виде.

Мониторинг сооружений, которые могут неблагоприятно повлиять на важные компоненты окружающей физической среды или разрушение которых может привести к повышенному риску для объектов инфраструктуры или человеческих жизней, следует проводить не менее чем в течение 10 лет после окончания строительства или в течение всего срока эксплуатации сооружения.

3.6.2 Параметры, наблюдаемые в ходе мониторинга гравитационных процессов

В ходе мониторинга гравитационных процессов отслеживаются следующие параметры:

- 1) размер существующих обломков;
- 2) подстилающая поверхность (состав, шероховатость, твердость и т. д.);
- 3) растительность (лес, кустарники, ...);
- 4) топография (ущелья, выступы, ...);
- 5) метки от ударов на земле, деревьях (рисунок 3.16), высота отскока.

При необходимости проводятся расчеты и моделирование по данным о прошедших событиях, полевые эксперименты.

Параметры камнепада, такие как расчетная крупность обломков породы, траектория падения блоков, должны определяться по итогам многолетнего мониторинга гравитационных процессов на рассматриваемом объекте. В то же время наблюдения за камнепадами должны входить в состав комплексного мониторинга опасных природных процессов на

объекте. Именно такой метод исследований позволит выбрать рациональный тип защитной конструкции.



Рисунок 3.16 – Метка от удара обломка

3.6.3 Современные методы проведения мониторинга гравитационных процессов

GPS-мониторинг

Методика GPS-мониторинга во многом сходна с методикой традиционных геодезических наблюдений. При создании системы мониторинга в пределах габаритов исследуемого объекта на отдельных участках или конструктивных элементах устанавливаются высокоточные GPS приемники, а также создается опорная сеть, на основе базовых станций, расположенных вне зоны влияния объекта. Определяя координаты контрольных точек и сопоставляя результаты измерений в отдельных точках, получают изменение пространственного положения объекта в целом и перемещение отдельных наблюдаемых элементов относительно друг друга.

Лазерное сканирование

Суть технологии заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта посредством измерения расстояния до всех точек с помощью лазерного безотражательного дальномера. При каждом измерении луч дальномера отклоняется от своего предыдущего положения так, чтобы пройти через узел некой мнимой нормальной сети, называемой сканирующей матрицей. Количество строк и столбцов матрицы может регулироваться. Чем выше плотность точек матрицы, тем выше плотность точек на поверхности объекта. Результатом измерений является некое множество точек с трехмерными координатами.

В большинстве конструкций сканеров используется импульсный лазерный дальномер. На пути к объекту импульсы лазерного излучения проходят через систему зеркал, которые осуществляют пошаговое отклонение лазерного луча. Наиболее распространенной является конструкция, состоящая из двух подвижных зеркал, одно из которых отвечает за вертикальное смещение луча, а другое за горизонтальное.

Лазерное сканирование – самый быстрый, точный и эффективный метод геодезической съёмки на сегодняшний день.

При наземном лазерном сканировании сканер снимает всё вокруг себя независимо ни от чего, при тахеометрической съёмке снимаются только те объекты, которые определил оператор; по облаку точек легко определить формы объектов съёмки, геометрические параметры и их точное местоположение (рисунок 3.17).

При необходимости сканер можно установить на любой носитель и доставить в очень опасные места, где нахождение человека запрещено, и выполнить съёмку дистанционно.



Рисунок 3.17 – Оборудование для лазерного сканирования:
а – лазерный тахеометр;
б – станция обработки информации;
в – электронный нивелир

Все данные получаются в цифровом виде, многие процедуры обработки автоматизированы и требуют минимального вмешательства специалиста. Получаемые при этом данные можно использовать во всех сферах геодезии и картографии, а также при проектировании и 3D-проектировании объектов любой сложности.

По результатам проведенных изысканий создается трехмерная модель рельефа местности.

Первоначальный результат работы сканера представляет собой облако точек. В процессе съемки для каждой из них записываются три координаты (XYZ) и численный показатель интенсивности отраженного сигнала. Он определяется свойствами поверхности, на которую падает лазерный луч. Облако точек раскрашивается в зависимости от степени интенсивно-

сти и после сканирования выглядит как трехмерное цифровое фото.

В процессе лазерного сканирования удастся получить детальную пространственную модель рельефа, которая в дальнейшем используется для расчетной оценки параметров опасных природных процессов. Результаты сканирования представляются в виде изоповерхностей (рисунок 3.18).

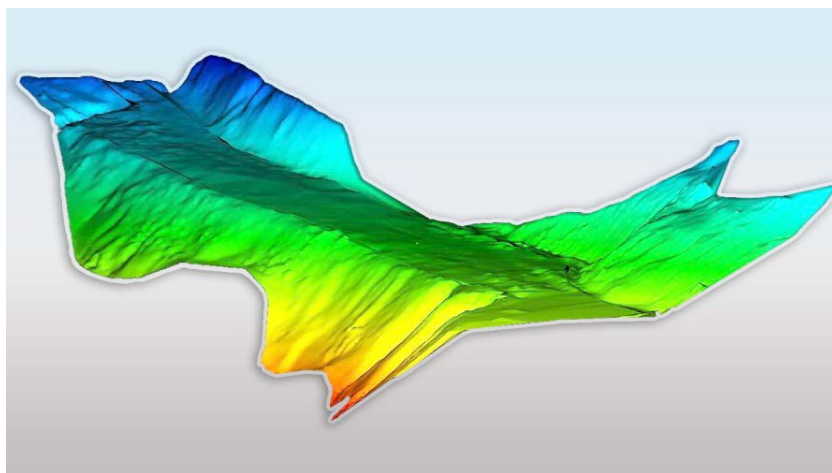
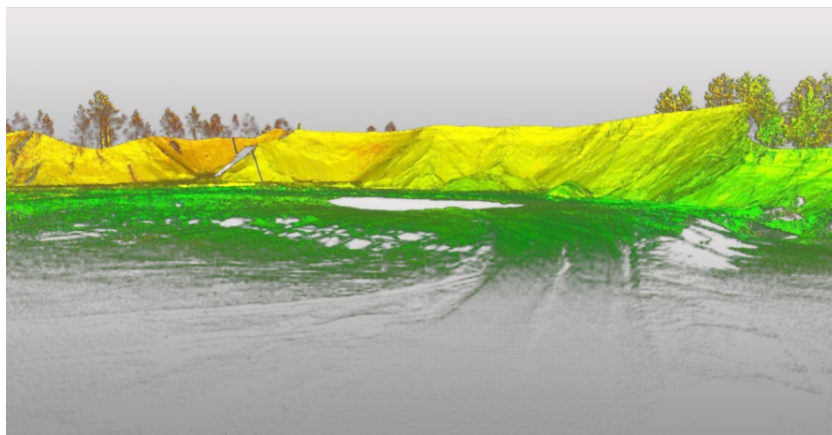


Рисунок 3.18 – Облако точек при лазерном сканировании местности

Оцифрованные данные лазерного сканирования взаимовязываются с имеющимися данными геотехнического мониторинга, в результате чего получается расчетная модель, после анализа которой могут быть установлены такие параметры, как траектория падения и высота отскока обломка, максимальная энергия воздействия камня (рисунок 3.19-3.21).

На основе установленных расчетных параметров может быть определена наиболее эффективная конструкция инженерной защиты (рисунок 2.1).

Точный прогноз развития опасных процессов позволяет избежать неточностей при выборе протяженности и рядности защитных сооружений, что снижает не только затраты на их строительство, но, в первую очередь, минимизирует риск повреждений и аварий рассматриваемых площадных и линейных объектов. При накоплении исходных данных в ходе геотехнического мониторинга, расчетная модель может быть уточнена с целью учета возможных изменений территории вследствие опасных воздействий.

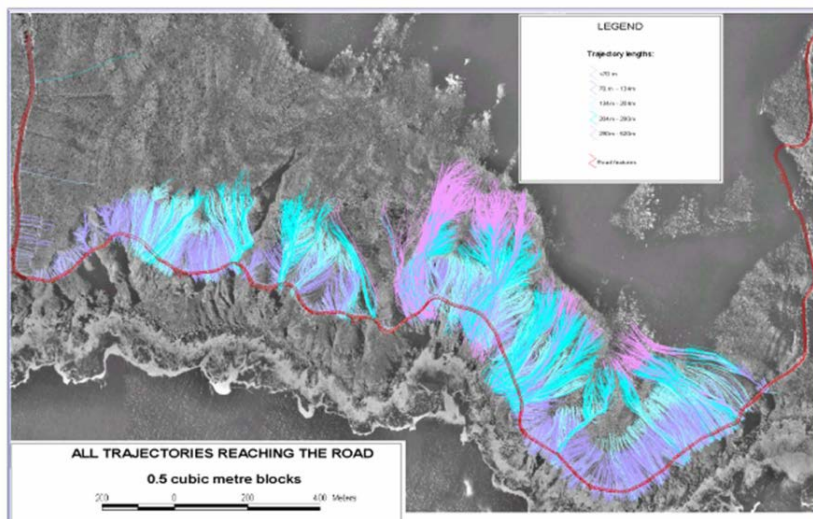


Рисунок 3.19 – Расчетные траектории, достигающие рассматриваемого объекта

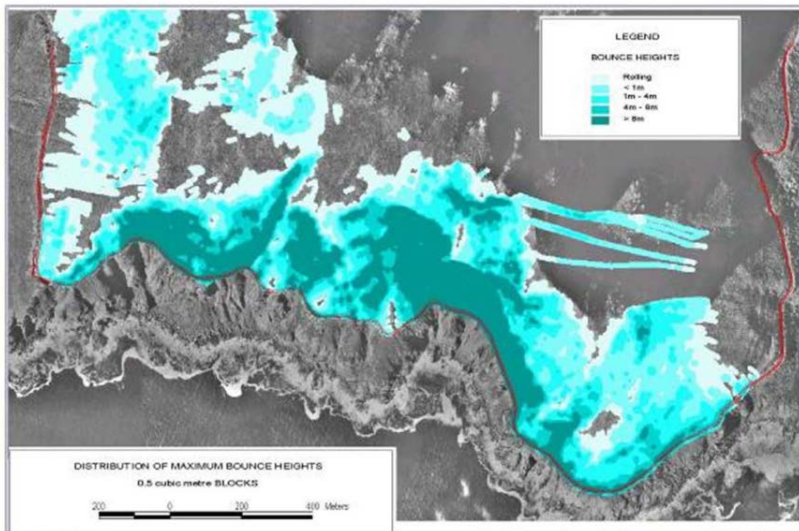


Рисунок 3.20 – Оценка высоты отскока обломка

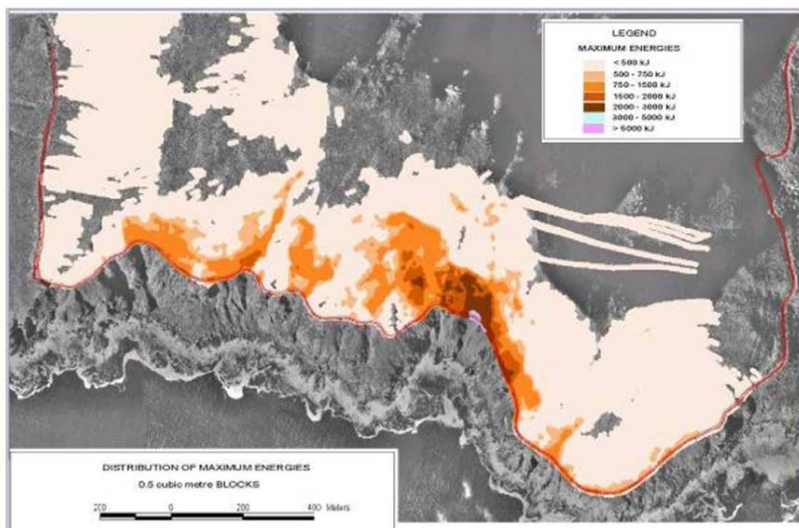


Рисунок 3.21 – Распределение максимальной энергии от воздействия обломка

4 КОНСТРУИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОТИВОКАМНЕПАДНЫХ БАРЬЕРОВ

Гибкий противокаменная падный барьер (рисунок 4.1) – это инженерное сооружение, предназначенное для защиты территорий, зданий, сооружений, железнодорожных путей, пешеходных троп, автодорог и других объектов инфраструктуры от камнепадных и прочих гравитационных процессов, представляющее собой систему элементов (секции сеток, опоры, оттяжки, фундамент с анкерами), взаимодействующих между собой.

Основная задача гибкого противокаменная падного барьера – остановить движение камней и обломков породы. В реальных условиях это чаще всего достигается при взаимодействии падающего обломка с грунтом во время торможения. Это означает, что защитное сооружение фактически воспринимает лишь часть кинетической энергии камня, тогда как другая часть поглощается грунтом основания.

Конструкция барьера должна быть в состоянии поглотить всю кинетическую энергию камня, приходящую к нему в момент удара. Максимальные упругие и пластические деформации в момент события не должны превышать конкретных максимальных значений, зависящих от параметров защитной системы и свойств применяемых материалов.

Полезная площадь барьера должна оставаться как можно большей после события, необходимо также сохранять расчетную высоту конструкции. Особые требования предъявляются к остаточной полезной высоте барьера после взаимодействия с обломком.

Эффективная толщина барьера не должна изменяться после события.

4.1 Основные элементы в составе конструкции гибкого противокамнепадного барьера

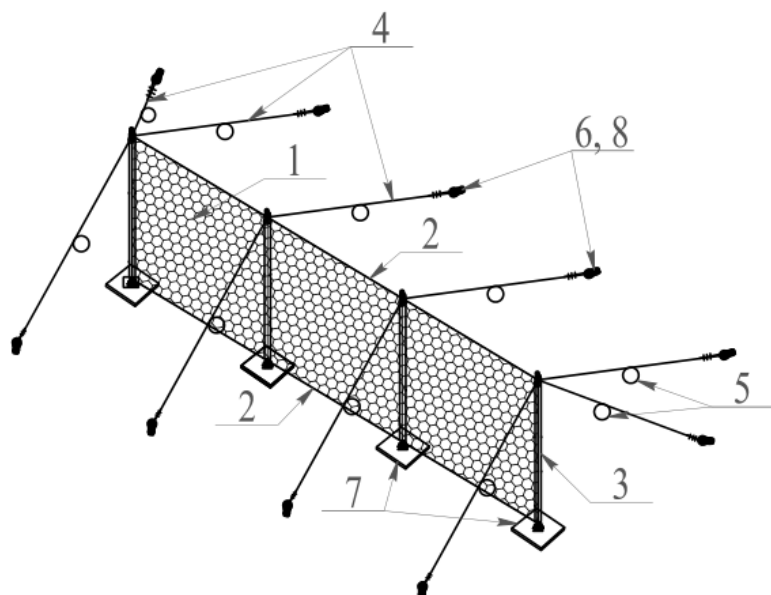


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема гибкого противокамнепадного барьера:

1 – высокопрочная стальная сеть; 2 – несущие канаты; 3 – опора; 4 – оттяжки; 5 – амортизирующие элементы; 6 - тормозные элементы; 7 - опорные пластины; 8 - анкерное крепление

На рисунке 4.1 представлены следующие основные элементы в составе гибкого противокамнепадного барьера:

1. Сеть
несущий элемент, выполняет функцию улавливания попадающего в нее обломка породы. Типы сетей: с ромбовидными или с прямоугольными ячейками, гибкие сети, сети из колец

- | | |
|------------------------------|--|
| 2. Несущие канаты | несущие элементы, служат для равномерного переноса усилий к опорам, элементам фундамента и оттяжкам опор. |
| 3. Опора | металлическая стойка из прокатного металлического профиля двутаврового сечения расчетной величины. |
| 4. Оттяжки (натяжные канаты) | канаты, свитые из высокопрочной стальной проволоки, устраиваются выше по склону (в частных случаях могут устраиваться по обе стороны), служат для передачи усилий анкерам. |
| 5. Амортизирующие элементы | элементы в оттяжках опор и несущих канатах, служат для поглощения энергии воздействия обломка. |
| 6. Тормозные элементы | специальные клипсы из металла, снижающие нагрузку на оттяжки и несущие канаты в составе секции сетки. |
| 7. Опорная пластина | элемент конструкции фундамента. На ней закрепляются опоры и в некоторых случаях нижние несущие канаты |
| 8. Анкерное крепление | несущий элемент, передающий нагрузку от оттяжек и опор к грунту основания. Типы анкеров: буроинъекционные, троссовые. |

4.2 Фундаменты опор гибких противокампнепадных барьеров

4.2.1 Требования к фундаментам

Взаимодействию с падающими обломками породы подвергаются надземные конструкции защитного сооружения. Именно здесь образуются усилия, которые фундаменты и анкеры в их составе должны передать на грунт основания. Верно рассчитанные фундаменты и анкеры, имеющие соответствующую несущую способность, являются необходимым условием для нормального функционирования всей конструкции во время события. Также особое внимание следует уделить не только проектированию фундаментов и анкерных конструкций, но и строительным работам, связанным с их устройством в грунте основания.

В основании опор должно быть обеспечено следующее требование: вся осевая нагрузка и усилие натяжения должны быть переданы на грунт основания. В некоторых случаях к конструкциям, которые не предусматривают анкеров глубокого заложения, приходит дополнительная нагрузка в виде крутящего момента. Фундаментная конструкция должна быть способна также передать момент на грунт основания.

4.2.2 Типы фундаментов опор

В целом, фундаментная конструкция барьера делится на 2 части: фундаменты опор (рисунок 4.2) и анкера в основании оттяжек опор (анкерное крепление оттяжек см. п. 4.3 пособия).

В зависимости от инженерно-геологических условий площадки и конструктивного решения барьера применяются различные типы фундаментов опор (рисунок 4.2). В данном пособии рассматриваются общие технические решения в части проектирования фундаментов опор гибких барьеров.

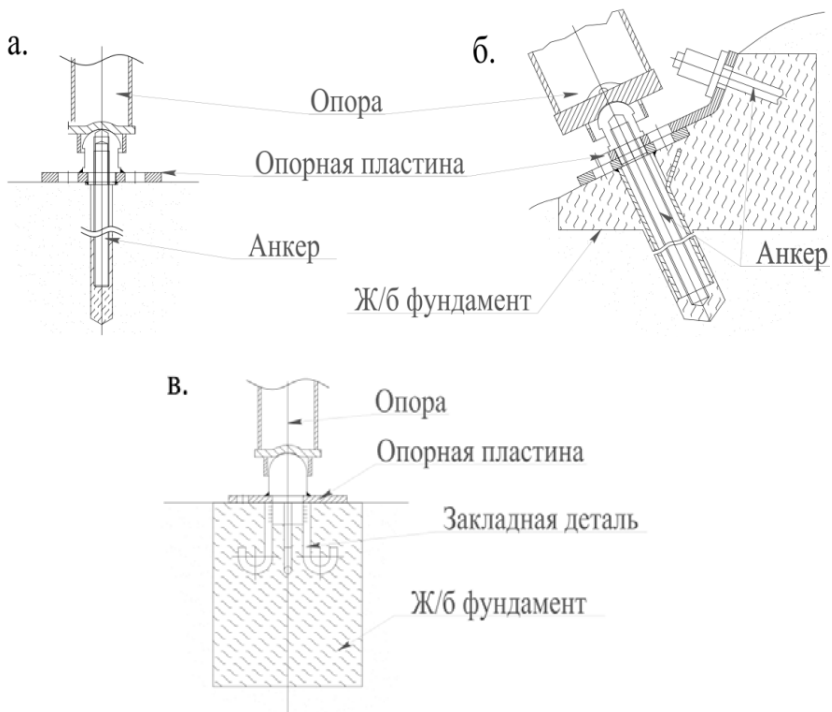


Рисунок 4.2 – Типы фундаментов под опоры гибкого противокамнепадного барьера:

а – тип фундамента, применимый для скальных грунтов; б – тип фундамента, применимый в слабых грунтах; в – конструкция ж/б фундамента без анкеров

4.2.3 Расчеты фундаментов и анкеров

Не существует метода для точного расчета усилий в фундаментах и анкерах, которые возникают в результате преобразования кинетической энергии камня в энергию деформации защитной конструкции. По этой причине производятся тесты, в ходе которых производится измерение таких усилий. В ходе измерения вертикального падения тестового тела, сила трения камня в момент между 0,3 и 0,9 с была выше на 10–25 % по

отношению к горизонтальному трению. В зависимости от момента времени может возникать большая сила трения.

Условие надежности

Усилия при испытаниях замеряются не только в жестких условиях вертикального падения, учитывается также эффект компенсации в центре секции, где происходит взаимодействие тестового тела с сетью. Смещенное относительно центра натяжение вблизи опор и несущих канатов может вынуждать опоры воспринимать дополнительные усилия.

Исходя из этого, измеренное в результате тестов 100%-е максимальное усилие F_{max} должно быть увеличено на 30 %. Эта увеличенная нагрузка может быть использована в дальнейших расчетах как статическая эквивалентная нагрузка Q_e (4.1):

$$Q_e = F_{max} \times 1,3. \quad (4.1)$$

Условие несущей способности и применимости

Значение статической эквивалентной нагрузки Q_e соответствует параметру Q_r согласно швейцарскому нормативу SIA 160, п. 3 23 2. Этот параметр рассматривается как основное усилие, и его расчетное значение Q_d может быть определено как (4.2).

$$Q_d = y_Q \times Q_r, \quad (4.2)$$

где $y_Q = 1,3$ – коэффициент надежности по нагрузке;

$Q_r = Q_e$ – нормативное значение нагрузки.

Требования в отношении применимости и результатов испытаний должны быть определены совместно авторами проекта и заказчиком. В большинстве случаев требования в достаточной мере охватывают испытания несущей способности.

4.3 Анкеры в составе фундамента опор барьеров и анкерное крепление оттяжек опор

4.3.1 Типы анкеров

Анкеры в составе фундамента гибкого противокампнепадного барьера могут выполнять две функции:

1. Анкер играет роль сваи-стойки в составе фундамента под опорой барьера и воспринимать сжимающую нагрузку;
2. При помощи анкера фиксируется оттяжка опоры, при этом анкер испытывает и поглощает разрывное усилие.

В первом случае часто применяются *буроинъекционные анкеры* (рисунок 4.3).

Буроинъекционный анкер – это анкер, устраиваемый в скважине при ее создании с выемкой грунта при бурении или его вытеснением в стороны за счет погружения скважинообразователя при одновременном или последующем формировании в скважине элементов (корня и тяги) анкерующего устройства с нагнетанием (инъекцией) твердеющей инъекционной смеси под избыточным давлением.

Буроинъекционные штанги могут иметь различный диаметр, стандартная длина стержня варьируется от 2 до 6 м, в процессе устройства штанги скрепляются между собой соединительными муфтами.

Для фиксации оттяжек опор часто применяются тросовые анкеры. Основным несущим элементом тросового анкера являются стальные арматурные стабилизированные канаты. В таких анкерах отсутствуют стыковые соединения, также возможно изготовить анкер любой длины.

Поскольку направление усилия в оттяжке и ось анкера совпадают очень редко, могут возникать поперечные усилия в переходной зоне между головой анкера и грунтом. В зависимости от величины угла отклонения и механической прочности грунта основания, эти поперечные силы могут вызывать различные изгибные деформации материала анкера.



Рисунок 4.3 – Элементы в составе буроинъекционного анкера, изготавливаемого по технологии ТИТАН

4.3.2 Характеристики инъекционного раствора

Качество инъекционного раствора, используемого для устройства анкеров, играет решающую роль в надежности всей конструкции противокампнепадного барьера.

Применимость инъекционного раствора устанавливается при помощи теста на пригодность, который должен быть про-

веден независимой лабораторией. Тест и отчет с данными проведения должны быть не старше трех лет.

Также необходимо отслеживать соответствие характеристик применяемого раствора в течение времени производства всех работ по устройству анкеров. Частота отбора проб может быть скорректирована в зависимости от объема раствора, таким образом, необходимо вести учет актуальных качеств инъекционного раствора. Указанные тесты должны проводиться независимой лабораторией.

Исследование применимости

Для теста на применимость используют образец раствора в жидкой форме. Тест должен включать в себя следующие исследования:

- характеристики свежего раствора: параметры схватывания и разжижения, насыщенность образца воздухом, объемный вес;
- исследования затвердевшего раствора: объемный вес, прочность на растяжение при изгибе и прочность на сжатие, исследование упругости материала, морозостойкость, продольное изменение размеров образца (усыхание, усадка).

Исследования соответствия

Изъятие образцов жидкого раствора и изготовление тестовых образцов выполняется в процессе строительства. Во время обычной работы миксера образец вынимается из конца насосного шланга в процессе проведения работ по устройству анкеров, из полученного раствора изготавливают один из следующих образцов:

- 9 призм 40/40/160 мм
- 2 цилиндра $\varnothing = h = 200$ мм
- или 2 куба 200/200 мм (либо тестовые образцы подобного объема).

Образцы должны быть надежно промаркированы. Транспортировка должна осуществляться с обеспечением минимального увлажнения образцов и при температуре не менее 10 °С. Доставка в лабораторию для испытаний должна занимать не более двух дней.

В лабораторию для достоверной интерпретации результатов испытаний вместе с образцами должна быть передана следующая информация:

- данные о заказчике;
- протокол производства инъекционного раствора;
- температура воздуха и раствора в момент изъятия образцов;
- время и дата производства образцов;
- условия хранения и перевозки образцов.

Тест на соответствие должен включать в себя следующие исследования:

- объемный вес и прочность на сжатие после 7 и 28 сут;
- определение морозостойкости образцов.

4.4 Опоры барьеров

Опоры (рисунки 4.4, 4.5) барьеров выполняются из прокатного металлического профиля двутаврового сечения. Размеры сечения и высота барьера принимаются по расчету.

Монтаж опор барьеров осуществляется после предварительной разметки точек установки на местности согласно проекту. Опоры могут устанавливаться рабочими вручную (если позволяет вес конструкции), монтаж конструкций выполняется также при помощи грузоподъемной техники или вертолетов.



Рисунок 4.4 – Подготовка опор гибкого противокамнепадного барьера к монтажу



Рисунок 4.5 – Монтаж опор гибкого противокамнепадного барьера

4.5 Опорные пластины

Опорная пластина (рисунки 4.6–4.8) – элемент в составе фундамента опоры гибкого противокамнепадного барьера. Опора, и в некоторых случаях – нижние несущие канаты закрепляются на данной пластине.



Рисунок 4.6 – Опорная пластина до стыковки с грунтовым анкером



Рисунок 4.7 – Опорная пластина после стыковки с грунтовым анкером



Рисунок 4.8 – Опорная пластина, совмещенная с опорой

4.6 Оттяжки опор

Оттяжка (рисунок 4.9) – канат, изготовленный из скрученной высокопрочной стальной проволоки.

Натяжные канаты (оттяжки) применяются для установки и удержания опор гибкого барьера в проектном положении. Оттяжки опор фиксируются в верхней точке опоры, а также в грунте при помощи тросовых анкеров или традиционных буринъекционных анкеров и гибких оголовков. По необходимости могут устраиваться два ряда оттяжек – верхний и нижний (рисунок 4.10).

Оттяжки позволяют минимизировать отклонение гибкого противокампнепадного барьера во время события с максимальной энергией удара.



Рисунок 4.9 – Натяжной канат (оттяжка) гибкого противокамнепадного барьера компании Massaferrì



Рисунок 4.10 – Натяжные канаты в верхней и нижней части барьера

4.7 Несущие канаты

Несущий канат (рисунки 4.11, 4.12) – металлический канат расчетного сечения, скрученный из высокопрочной стальной проволоки; элемент в составе секции из стальной сетки. Горизонтальные несущие канаты устраиваются в верхней и

нижней точке опор и натягиваются между ними. Впоследствии на них, как на карниз, натягиваются секции из высокопрочной стальной сетки (см. п. 4.7). Также в состав конструкции могут входить вертикальные несущие канаты, обычно они устраиваются параллельно опорам.



Рисунок 4.11 – Несущий канат в верхней части гибкого барьера



Рисунок 4.12 – Монтаж секции сетки на несущий канат

4.8 Стальная сеть

Сеть из колец (рисунок 4.13) производится из высокопрочной стальной проволоки диаметром 3 мм прочностью не менее 1770 Н/мм².



Рисунок 4.13 – Высокопрочная стальная сеть ROCCO®
компании Geobrugg

Секции из сетки легко адаптируются к рельефу местности. Для поглощения энергии воздействия обломков от 1000 до 8000 кДж используется от 7 до 19 витков проволоки в кольцо диаметром от 30 до 35 см. Для улавливания более мелких обломков породы между опорами также устраивается дополнительная мелкоячеистая сеть (рисунок 4.14). Сеть натягивается на несущие канаты по принципу занавеса (см. рисунок 4.12). Секции сети соединяются между собой при помощи специальных соединительных скоб.



Рисунок 4.14 – Высокопрочная стальная сеть ROCCO® компании Geobrugg в сочетании с мелкозернистой сетью, позволяющей сдерживать обломки породы мелкого диаметра

На сегодняшний день на рынке существует огромное множество разнообразных сетей для различных нужд проектирования и строительства. В таблице 1 приведены геометрические характеристики некоторых высокопрочных стальных сетей:

Таблица 1 – Характеристики стальной сети в составе гибкого противокаменпадного барьера (по материалам компании Geobrugg)

Тип барьера	RXE-1000	RXE-2000	RXE-3000	RXE-5000	RXE-8000
Сеть из колец ROCCO®	R7/3/300	12/3/350	16/3/350	R16/3/350	R19/3/300
Диаметр проволоки	3 мм	3 мм	3 мм	3 мм	3 мм
Диаметр кольца	300 мм	300-350 мм	300-350 мм	300-350 мм	300 мм

4.9 Амортизирующие элементы

Амортизирующий элемент (рисунки 4.15, 4.16) – виток на несущем канате или оттяжке опоры, скрепленный специальной скобой.



Рисунок 4.15 – Амортизирующий элемент на натяжном канате

Во время события с максимальной энергией удара скоба раскрывается, происходит удлинение натяжного каната, освобождая тем самым потенциальную энергию защитной системы. Это техническое решение позволяет конструкции воспринимать большие энергии воздействия от попадающих в нее обломков породы.

4.10 Тормозные элементы

В некоторых случаях секции гибких противокамнепадных барьеров оборудуются тормозными элементами U-brake (рисунок 4.17), которые устанавливаются на концах несущих канатов и оттяжек опор. Такой элемент представляет собой металлическую скобу из высокопрочного материала.

а



б

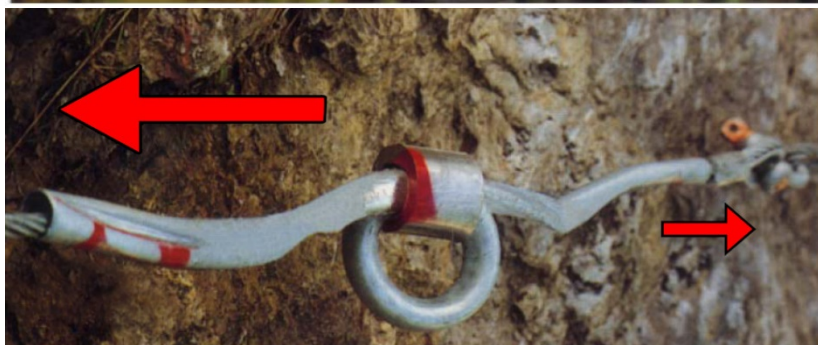


Рисунок 4.16 – Амортизирующие элементы на оттяжках опоры:
а – до поглощения энергии; б – после поглощения энергии

Стоит отметить, что особую важность имеет соблюдение последовательности сборки конструкции гибкого противокамнепадного барьера. Общая последовательность монтажа конструкции представлена ниже:

1. Разметка на местности точек бурения анкеров;
2. Устройство анкеров;
3. Устройство железобетонных фундаментов опор, установка опорных пластин;
4. Установка опор барьеров в совокупности с устройством оттяжек;

5. Устройство несущих канатов;
6. Монтаж секций высокопрочной стальной сети на несущие канаты.

Сборка барьера должна производиться согласно проекту производства работ.

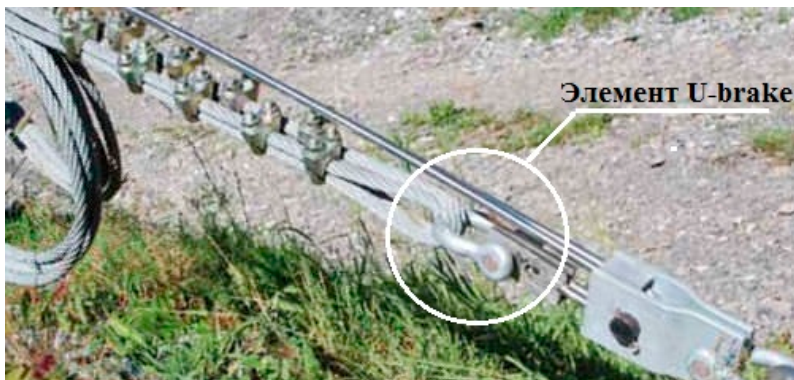


Рисунок 4.17 – Тормозной элемент U-brake
производства компании Geobrugg

5 МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИБКИХ ПРОТИВОКАМНЕПАДНЫХ БАРЬЕРОВ

5.1 Основные термины и обозначения

Основные термины:

Пройденный путь	тормозной путь b_s обломка до крайней точки траектории;
Категория энергии	распределение барьеров по 9 энергетическим категориям в зависимости от тестовой энергии;
Тестовая энергия	кинетическая энергия тестового тела при его первичном контакте с барьером;
Полутестовая энергия	кинетическая энергия тестового тела при его первичном контакте с барьером 50 %;
Высота сети	высота h_r сети перед нагружением в центре секции, измеренная под прямым углом к поверхности склона;
Тестовое тело	бетонный блок в форме тесанного камня с равной длиной ребер s , при этом углы блока срезаны от одной трети длины ребра от края.

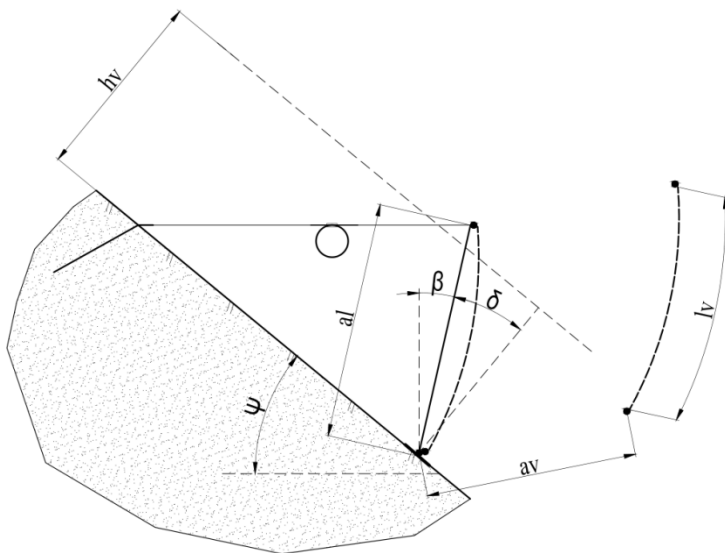


Рисунок 5.1 – Условные обозначения углов и размеров на схеме гибкого барьера

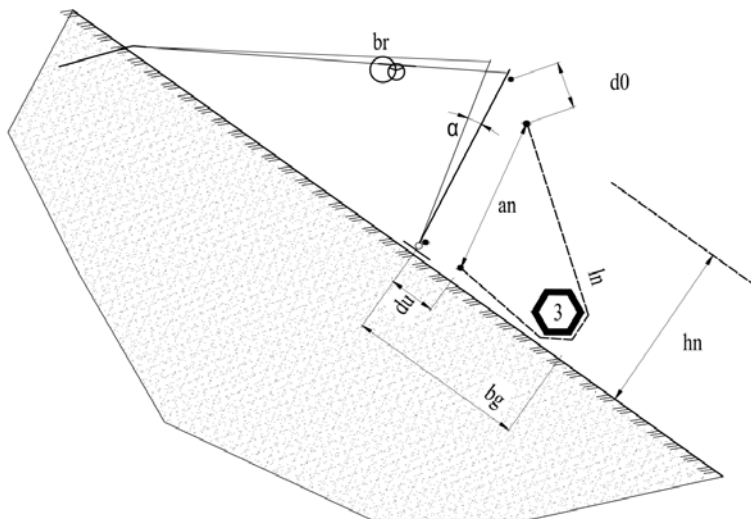


Рисунок 5.2 – Расположение амортизирующих элементов после взаимодействия обломка с барьером

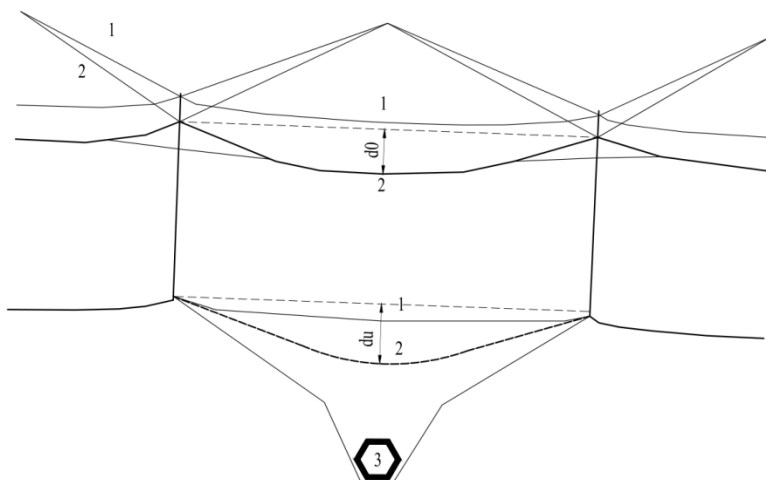


Рисунок 5.3 – Несущие канаты в средней секции барьера после взаимодействия с обломком (вид спереди):

1 – положение канатов до взаимодействия; 2 – положение канатов после взаимодействия; 3 – положение обломка после взаимодействия с барьером

Основные обозначения:

α , град	Перемещение опор – разница в уклоне опор барьера из-за деформации;
β , град	угол между опорой и перпендикуляром;
δ град	угол между опорой и перпендикуляром к склону;
ψ , град	уклон склона;
a_n , м	расстояние между канатами, равное минимальному расстоянию между верхними и нижними канатами до взаимодействия с обломком;
a_s , м	расстояние между опорами;

a_1 , м	длина опоры;
a_v , м	расстояние между канатами, равное минимальному расстоянию между верхними и нижними несущими канатами в момент взаимодействия с обломком;
b_e , м	конечное положение тестового тела после взаимодействия с барьером;
b_r , м	удлинение оттяжки, равное приращению длины оттяжки опоры после разрыва амортизирующего элемента;
b_s , м	тормозной путь тестового тела;
d_a , м	прогиб верхнего несущего каната в центре секции;
d_u , м	прогиб нижнего несущего каната в центре секции;
h_n , м	остаточная полезная высота, равная высоте сети после воздействия с обломком;
h_v , м	высота сети после воздействия с обломком, измеренная под прямым углом к склону;
l_n , м	длина сети между верхним и нижним несущим канатом после взаимодействия барьера с блоком;
l_v , м	длина сети между верхним и нижним несущим канатом до взаимодействия барьера с блоком;
s , м	длина ребра тестового блока;

t_s , м время торможения, равное времени, необходимому для прохождения тормозного пути b_s .

5.2 Описание стадий натурального испытания в г. Валенштадт, Швейцария

5.2.1 Географическая ситуация

Тестовая площадка располагалась в закрытом каменном карьере Лоцехена, 200 м выше о. Валензе.

Как правило, для испытаний выбирают закрытые карьеры, к которым есть доступ грузового или железнодорожного транспорта. Начальный этап включает доставку необходимого оборудования на место проведения испытаний, монтаж подъемного крана, который крепится также при помощи фундаментов с использованием анкеров, чаще всего буроинъекционных. Предварительно выбирается место установки крана и другой грузоподъемной техники на участке без трещин и признаков развития неблагоприятных процессов.

Доступ на объект осуществлялся при помощи фуникулера, нижняя станция которого была примерно в 2 км западнее г. Валенштадта. На место проведения испытаний также можно было добраться на грузовых автомобилях. Установка конструкции гибкого противокамнепадного барьера на местности проводилась жестко закрепленным подъемным краном (рисунок 5.4).

5.2.2 Монтаж гибкого противокамнепадного барьера

Гибкий противокамнепадный барьер был установлен на высоте 15 м, при этом опоры барьера были закреплены на четырех отдельно стоящих фундаментах, оттяжки закреплены анкерами в теле скалы. Угол наклона опор по отношению к горизонту 30° ; угол наклона оттяжек приблизительно 40° (рисунок 5.5).

Конструкция гибкого противокаменпадного барьера в первоначальном состоянии представляет собой три секции с расстоянием между опорами, равным 10 м. Были установлены 4 опоры и 3 секции стальной сети между ними.

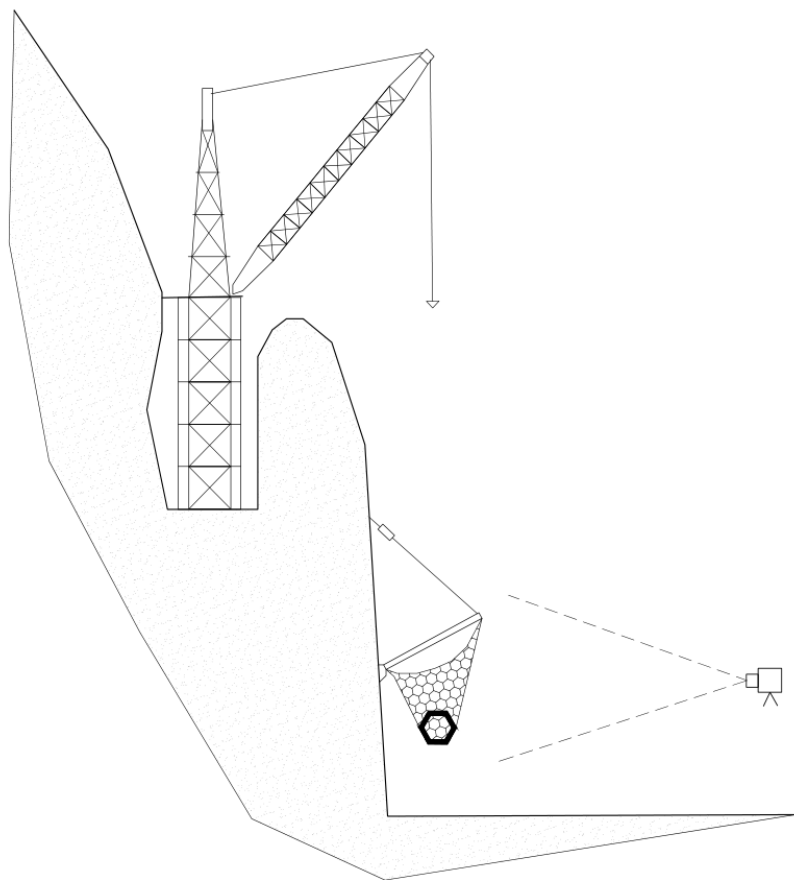


Рисунок 5.4 – Общий вид тестовой установки в г. Валенштадт с краном, гибким противокаменпадным барьером и видеокамерой.
Деформация барьера после взаимодействия

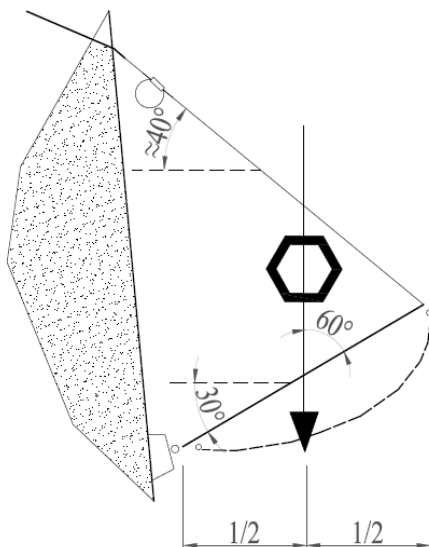


Рисунок 5.5 – Схема проведения испытаний гибкого противокаменепадного барьера

Высота опор выбрана в зависимости от категории энергии (таблица 5.1). Испытания проводились с опорами барьеров минимальной высоты. Однако после проведения теста производитель предложил испытать опоры в 1,5 раза длиннее предыдущих, в результате специалисты должны были получить несущую способность барьера.

5.3 Многофакторные тесты (А, В, С, D)

Гибкие противокаменепадные барьеры подразделяются на 9 категорий по воспринимаемой энергии воздействия от 100 до 5000 кДж. Эта градация принята на основе результатов испытаний. Конструкции могут проходить различные тесты (А – D) в зависимости от их энергетической категории, которые могут быть различными в зависимости от требований к защитной конструкции. В тестах А – С конструкции подвергаются частным исследованиям с тестовыми телами, тест D

содержит качественную оценку гибкого противокампнепадного барьера и прилагаемой документации.

Подробное описание тестов А – Д представлено ниже.

5.3.1 Предварительный тест А с небольшими энергиями воздействия (крайние секции)

Объекты исследования:	Предварительные исследования служат для контроля деформации сети в тот период, когда лишь часть несущих канатов или колец в составе сети воспринимают нагрузку от небольших тестовых тел;
Метод проведения испытаний:	Тестовые блоки сбрасываются одновременно на крайнюю секцию барьера, при этом в момент взаимодействия они имеют скорость, равную 25 м/с: <ul style="list-style-type: none">• 5 малых тестовых блоков 10х10х10 см, общий вес 12 кг, энергия воздействия $E = 3,8$ кДж;• 3 малых тестовых блока 20/20/20 см, общий вес 59 кг, $E = 18$ кДж;• 1 тестовый блок* 50х50х50 см, вес ≈ 300 кг, $E = 94$ кДж; *для барьеров с энергетической категорией 1, 2 данный блок не применяется;
Метод наблюдения и измерения:	Деформации сети и всех задействованных ее элементов измеряются и описываются для каждой размерной группы блоков; Повреждения участков сети или канатов фиксируются; Измерение усилий не производится;
Требования к конструкции барьера:	Тестовые блоки должны быть остановлены барьером; Никакие местные разрывы недопустимы; Работы по ремонту сети между спуском блоков не допускаются.

5.3.2 Предварительный тест В с энергией воздействия 50 % (промежуточная/средняя секция)

Объекты исследования:	Данный тест устанавливает требуемые ремонтные работы, ремонтпригодность барьера и тормозной путь для энергии воздействия, равной половине от проектной;
Метод проведения испытаний:	Тестовый блок с соответствующей энергией воздействия (см. таблицу 5.1) сбрасывают вниз в центр средней секции, при этом его скорость в момент взаимодействия равна 25 м/с;
Метод наблюдения и измерения:	<p>Перед началом испытаний предварительно измеряются и записываются координаты расположения несущих элементов барьера;</p> <p>В процессе теста измеряются и записываются усилия растяжения как минимум в 10 точках;</p> <p>Производится видеозапись испытания в двух направлениях;</p> <p>После теста должны быть получены следующие значения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • деформации оттяжек, амортизирующих элементов, опор и сети; • высота тестового блока от уровня земли; • разрушения элементов конструкции барьера; <p>Фиксируется время, требуемое для ремонта и необходимые материалы.</p> <p>Время до полной остановки блока t_s и максимальный тормозной путь b_s определяются при помощи анализа видеозаписи;</p>
Требования к конструкции барьера:	<p>Тестовый блок должен быть остановлен барьером;</p> <p>Никакие местные разрывы недопустимы;</p> <p>Допустимы небольшие ремонтные работы.</p>

5.3.3 Основной тест С с энергией воздействия 100 % (промежуточная/средняя секция)

Объекты исследования:	В этом тесте полная кинетическая энергия тестового блока трансформируется в энергию деформации барьера. Таким образом, барьер одновре-
------------------------------	--

	менно тестируется по несущей способности и деформативности;
Метод проведения испытаний:	Тестовый блок с соответствующей энергией воздействия (см. таблицу 5.1) сбрасывают вниз в центр средней секции, при этом его скорость в момент взаимодействия равна 25 м/с;
Метод наблюдения и измерения:	<p>Перед началом испытаний предварительно замеры и записываются координаты расположения несущих элементов барьера;</p> <p>В процессе теста измеряются и записываются усилия растяжения как минимум в 10 точках;</p> <p>Производится видеозапись испытания в двух направлениях;</p> <p>После теста должны быть получены следующие значения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • деформации оттяжек, амортизирующих элементов, опор и сети; • высота тестового блока от уровня земли; • разрушения элементов конструкции барьера. <p>Фиксируется время, требуемое для ремонта и необходимые материалы. Время до полной остановки блока t_s и максимальный тормозной путь b_s определяются при помощи анализа видеозаписи.</p>
Требования к конструкции барьера:	<p>Тестовый блок должен быть остановлен барьером, никакие местные разрывы недопустимы;</p> <p>Максимальный тормозной путь b_s не должен превышать значения, указанного в таблице 5.1;</p> <p>После взаимодействия с блоком высота h_s сети в средней секции должна быть не менее значения, указанного в табл. 5.1 (значения до извлечения тестового тела).</p>

5.3.4 Тест D гибкого противокамнепадного барьера в соответствии со специальными критериями

Объекты исследования:	Этот тест относится преимущественно к оценке критериев, которые не удается описать в практическом применении барьеров.
------------------------------	--

<p>Метод проведения испытаний:</p>	<p>Оценка документации</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сравнение проектных и фактических размеров противокамнепадного барьера. Необходимо гарантировать, что предоставленная документация соответствует установленному барьеру; • Производитель обязан указывать соответствующие нормы, которым отвечает их продукция (например, нормы антикоррозионной защиты); <p>Оценка конструкции</p> <ul style="list-style-type: none"> • Надзор за установкой конструкции и сравнение проводимых работ с инструкциями, обращая внимание на особые условия; • Оценивается простота возведения конструкции и ее адаптивность к условиям местности; • Оценивается срок эксплуатации конструкции в целом и отдельных ее частей по критериям, предоставленным поставщиком.
<p>Требования:</p>	<p>Фактически возведенная конструкция должна соответствовать проекту во всех деталях; Соответствие действующим нормам; Возведение конструкции должно проводиться в соответствии инструкциям; Простота конструкции должна иметь позитивный эффект на стоимость ее возведения; Должен быть обеспечен длительный срок эксплуатации.</p>

Таблица 5.1. Параметры тестов В, С гибких противокамнепадных барьеров

<p>В</p>	<p>Г</p>	<p>Ф</p>	<p>Н</p>	<p>Тест В (50%)</p>	<p>Тест С (100%)</p>
----------	----------	----------	----------	---------------------	----------------------

		Энергия E , кДж	Масса m тестового блока, кг	Длина s ребра блока, м	Энергия E , кДж	Масса m тестового блока, кг	Длина s ребра блока, м	Макс. допустимый тормозной путь b_3 , м	Минимальная высота сети h_p , м
1	1,5	50	160	0,41	100	320	0,52	4,0	0,9
2	2,0	125	400	0,56	250	800	0,70	5,0	1,2
3	3,0	250	800	0,70	500	1600	0,88	6,0	1,8
4	3,0	375	1200	0,80	750	2400	1,01	7,0	1,8
5	4,0	500	1600	0,88	1000	3200	1,11	8,0	2,4
6	4,0	750	2400	1,01	1500	4800	1,27	9,0	2,4
7	5,0	1000	3200	1,11	2000	6400	1,40	10,0	3,0
8	6,0	1500	4800	1,27	3000	9600	1,60	11,0	3,6
9	7,0	2500	8000	1,51	5000	16000	1,90	12,0	4,2

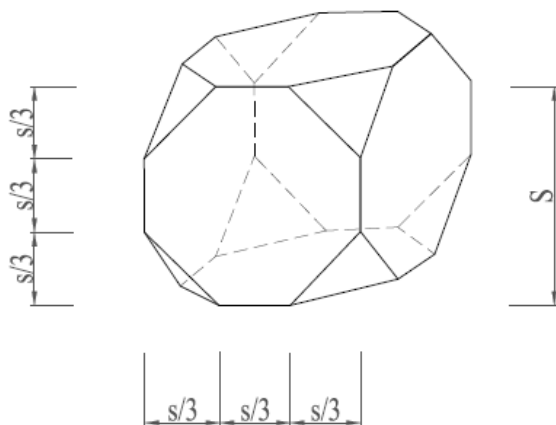


Рисунок 5.6 – Форма и геометрические параметры железобетонного тестового блока

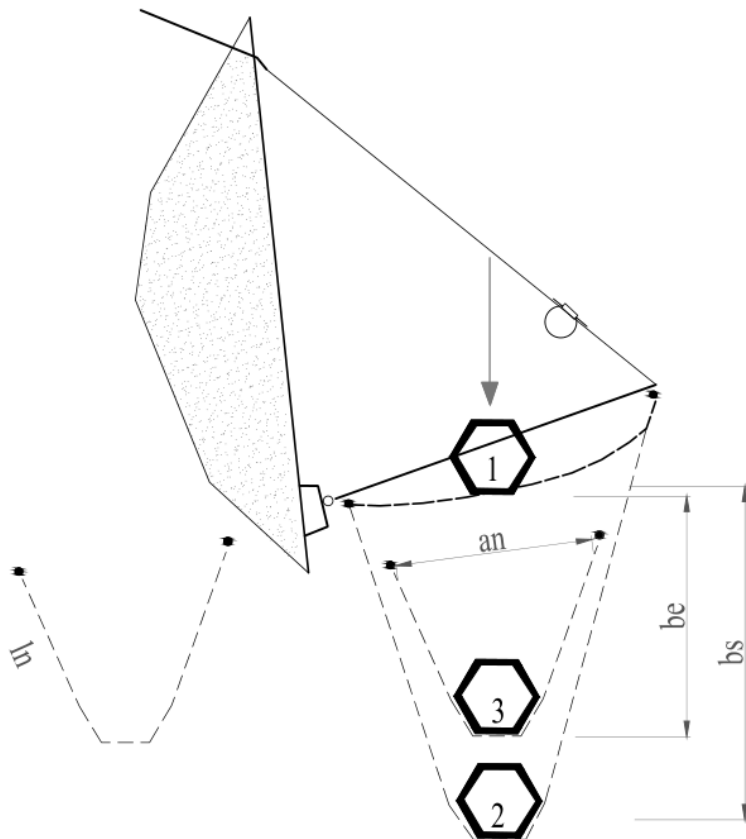


Рисунок 5.7 – Расположение тестового блока в ходе тестов В, С:
 1– начало взаимодействия блока с сетью; 2 – Максимальная деформация
 сети и соответствующий тормозной путь b_s ; 3 – Положение блока после
 окончания теста и соответствующее расстояние в конечной точке b_e

5.4 Отчет по результатам натуральных испытаний

Отчет содержит всю важную информацию и протоколы (записи) тестов А – D, которые могут быть приложены к заключению. Необходимые протоколы:

- Размеры конструкции гибкого противокамнепадного барьера и общая схема несущих конструкций;
- Протокол теста А, содержащий визуальное описание испытания;
- Протокол теста В, содержащий информацию об изменениях геометрии, измерении усилий, анализ видеозаписи и необходимости ремонта барьера после испытания;
- Протокол теста С, содержащий информацию об изменениях геометрии, измерении усилий, анализе видеозаписи и описание произошедших деформаций и разрушений;
- Протокол теста D. Визуальное описание критериев, которые невозможно вычислить эмпирически.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные в данном учебном пособии технические решения, позволяющие обеспечить защиту территорий от опасных природных воздействий, и в частности от камнепадных процессов, нуждаются в дальнейшем изучении в связи с возрастающими технологическими возможностями для реализации таких конструкций. Замена использовавшихся ранее массивных железобетонных конструкций на более рациональные аналоги позволяет существенно снизить затраты на инженерную защиту, сократить сроки строительства (монтажа), а также оказать минимальное воздействие на окружающую среду.

Возросший в последнее время интерес застройщиков к освоению горных участков, необходимость прокладки новых автомобильных и железных дорог на местности с переменным рельефом определяют необходимость выполнения более эффективных и экономичных мероприятий.

Ввиду слабой изученности камнепадных явлений следует уделять особое внимание исследованию траектории камнепадного процесса, а также разрабатывать и уточнять расчетные методики по оценке энергии воздействия обломка на защитное сооружение и фундаменты защитного сооружения. Особую важность имеет процесс геотехнического мониторинга территории, подверженной риску камнепадных воздействий. Периодические наблюдения позволяют уточнить расчетные параметры, опираясь на фактические данные.

Взаимоувязка перечисленных выше этапов в рамках единой системы позволяет при минимализированных затратах обеспечить максимальную безопасность площадных и линейных объектов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Королёв В. А. Инженерная защита территорий и сооружений: учеб. пособие / В. А. Королёв. – М. : ИД КДУ, 2013. – 470 с.
2. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии / Н. Н. Маслов. – М. : Высшая школа, 1968. – 511 с.
3. Коломенский Н. В. Инженерная геология / Н. В. Коломенский, И. С. Комаров. – М. : Высшая школа, 1964. – 480 с.
4. Gerber, W. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Guideline for the approval of rockfall protection kits / W. Gerber. – Berne : Swiss Federal Research Institute WSL Berne, 2001. – 39 с.
5. Мангушев Р. А. Основания и фундаменты: учебник / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров, А. И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПб ГАСУ, 2011. – с. 335, 336.

Дополнительная

1. Руководство по проектированию противооползневых и противообвальных защитных сооружений. Проектирование противообвальных защитных сооружений. с. М.: ЦНИИС, 1984.
2. Пармузин Ю. П. Словарь по физической географии / Ю. П. Пармузин, Г. В. Карпов. – М.: Просвещение, 1994. – 367 с.
3. Whittow, J. Dictionary of Physical Geography. 2-nd edition / J. Whittow. - London : Penguin, 2005. – 608 p.
4. Lerner, K. Lee. World of earth science/ K. Lee Lerner, B. W. Lerner – Detroit : WorldCat, 2003. – 600 p.
5. Горкин А. П. [ред.]. География. Современная иллюстрированная энциклопедия / А. П. Горкин. – М. : Росмэн-Пресс, 2006. – 624 с.

6. Молоков Л. А. Инженерно-геологические процессы / Л. А. Молоков. – М. : Недра, 1985. – с. 178.

7. Казарновский В. Д. Защита горных дорог от опасных геологических процессов / В. Д. Казарновский, Б. Б. Каримов, Х. Я. Мурадов [и др.]. – Киев : Логос, 1998. – с. 22.

8. Лазаревич К. С. Формы рельефа / К. С. Лазаревич. – М. : География. – 2001. – № 26.

9. Мариничев М. Б. Применение современных геотехнологий при защите территорий от камнепадных процессов / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева, А. Ю. Баринов // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы международной науч.-техн. конф., г. Новочеркасск, 13–15 мая 2015 г.). – 2015. – с. 350–360.

10. Мариничев М. Б. Особенности расчета и конструирования современных противокампнепадных сооружений / М. Б. Мариничев, А. В. Макушева, А. Ю. Баринов. – М. : ГеоРиск. – 2015. – № 2. – с. 32.

Нормативная

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: 2013.

2. СП 22.13330.2011. СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений. – М., 2011 (актуализированная ред.).

3. СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения (актуализированная ред. СНиП 22-02-2003). – М. : НИИОСП им. Н. М. Герсевича, 2012.

4. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М., 2010.

5. EOTA. ETAG 027 Guideline for European technical approval of falling rock protection kits. – 2013.

У ч е б н о е и з д а н и е

Мариничев Максим Борисович,
Макушева Анна Владимировна

**ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ
ОТ КАМНЕПАДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 07.02.2017. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Усл. печ.л. – 5,6. Уч.-изд. л. – 4,4.

Тираж 100 экз. Заказ № 1823

ИЦ МНИФ «Общественная наука»
350901, г. Краснодар, ул. Восточно-Кругликовская, д. 28