

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р**  
*(проект, дора-  
ботанная ре-  
дакция)*

---

**Дороги автомобильные общего пользования**  
**СТЕНЫ ПОДПОРНЫЕ ИЗ АРМИРОВАННОГО ГРУНТА**  
**Правила проектирования**

Настоящий проект стандарта не подлежит  
применению до его утверждения

Москва  
Стандартинформ  
2019

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «МИАКОМ СПб» (ООО «МИАКОМ СПб»), д-р техн. наук, проф., С.И. Мацием, инж. В.Ю. Тимошенко, канд. геол.-минерал. наук Е. В. Федоренко, инж. Д.Е. Ерченко; канд. техн. наук А.Д. Соколовым.

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 418 «Дорожное хозяйство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2019 г. №

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в годовом (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет ([www.gost.ru](http://www.gost.ru)).*

© Стандартиформ, 2019

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1	Область применения .....
2	Нормативные ссылки .....
3	Термины и определения .....
4	Общие положения .....
5	Материалы и изделия .....
5.1	Армирующие элементы.....
5.2	Облицовка.....
5.3	Грунт-заполнитель.....
6	Конструирование .....
6.1	Общие положения .....
6.2	Назначение основных конструктивных параметров .....
6.3	Прочие конструктивные требования .....
7	Расчеты.....
7.1	Общие положения .....
7.2	Устойчивость положения армогрунтового блока .....
7.2.1	Устойчивость положения армогрунтового блока на сдвиг по подошве.....
7.2.2	Устойчивость положения армогрунтового блока на сдвиг по армирующим элементам .....
7.2.3	Устойчивость положения армогрунтового блока на опрокидывание .....
7.3	Местная устойчивость.....
7.3.1	Общие рекомендации по оценке местной устойчивости .....
7.3.2	Устойчивость положения облицовочной системы на сдвиг по шву .....
7.3.3	Устойчивость положения облицовочной системы на опрокидывание .....
7.3.4	Прочность армирующих элементов .....
7.3.5	Несущая способность армирующих элементов по грунту .....
7.4	Несущая способность основания .....
7.5	Устойчивость положения армогрунтовой подпорной стены на сдвиг по поверхностям скольжения .....
7.6	Учет сейсмических воздействий.....
7.7	Вторая группа предельных состояний .....
7.8	Численное моделирование.....
8	Технология производства работ и контроль качества .....
9	Мониторинг .....
	Приложение А (справочное) Виды облицовок.....
	Приложение Б (справочное) Пример расчета армогрунтовой подпорной стены .....
	Библиография .....



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

**Дороги автомобильные общего пользования  
СТЕНЫ ПОДПОРНЫЕ ИЗ АРМИРОВАННОГО ГРУНТА**

**Правила проектирования**

Automobile roads of general use. Reinforced soil retaining walls. Design rules

---

**Дата введения –**

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает правила проектирования подпорных стен из армированного грунта при новом строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог общего пользования. Настоящий стандарт распространяется на подпорные стены из армированного грунта с горизонтальным армированием. При проектировании армогрунтовых подпорных стен следует также учитывать требования ГОСТ 33100 к проектированию автомобильных дорог, а при проектировании армогрунтовых подпорных стен в сложных условиях следует дополнительно учитывать требования ГОСТ 33149.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12536–2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава

ГОСТ 24846–2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений

ГОСТ 25607–2009 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия

ГОСТ 26633–2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

---

## **ГОСТ Р (проект, доработанная редакция)**

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

ГОСТ 32703–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования

ГОСТ 32730–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования

ГОСТ 32731–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению строительного контроля

ГОСТ 32755–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению приемки в эксплуатацию выполненных работ

ГОСТ 32756–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению промежуточной приемки выполненных работ

ГОСТ 32824–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования

ГОСТ 32836–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Изыскания автомобильных дорог. Общие требования

ГОСТ 32867–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Организация строительства. Общие требования

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

ГОСТ 33100–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог

ГОСТ 33149–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях

ГОСТ Р 19912–2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием

ГОСТ Р 52132–2003 Изделия из сетки для габионных конструкций. Технические условия

ГОСТ Р 54476–2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик сопротивляемости сдвигу грунтов в дорожном строительстве

ГОСТ Р 54477–2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов в дорожном строительстве

ГОСТ Р 55028–2012 Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения

ГОСТ Р 56338–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы

геосинтетические для армирования нижних слоев основания дорожной одежды.

Технические требования

ГОСТ Р 56353–2015 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов

**Примечание** – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 армированный грунт:** Массив грунта, в котором размещены армирующие элементы, обеспечивающие прочность и устойчивость массива за счет деформирования этих элементов и сил трения по поверхности их взаимодействия с грунтом.

**3.2 армирующий элемент:** Элемент, расположенный в грунте-заполнителе и воспринимающий растягивающие напряжения.

**3.3 армогрунтовая подпорная стена:** Подпорная стена из армированного грунта с углом наклона лицевой грани к горизонту более 70°.

**3.4 армогрунтовый блок:** Объем армированного грунта, рассматриваемый как единое тело.

**3.5 грунт-заполнитель (заполнитель):** Дисперсный материал, заполняющий основной объем армогрунтовой подпорной стены.

**3.6 облицовка (облицовочная стена, облицовочная система):** Элемент

армогрунтовой подпорной стены, образующий её наружную часть и выполняющий несущую, формообразующую, противозэрозийную и декоративную функции.

Примечание – Термины и определения в области геосинтетических материалов, примененные в настоящем стандарте, соответствуют ГОСТ Р 55028.

## **4 Общие положения**

4.1 Инженерные изыскания для строительства армогрунтовых подпорных стен следует выполнять в соответствии с ГОСТ 32836.

4.2 При проектировании армогрунтовых подпорных стен материалы и изделия должны соответствовать положениям раздела 5.

4.3 Конструирование и расчет армогрунтовых подпорных стен следует выполнять в соответствии с положениями разделов 6 и 7.

4.4 При проектировании армогрунтовых подпорных стен технологию строительства и мероприятия по контролю качества следует назначать с учетом требований раздела 8.

4.5 Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации армогрунтовых подпорных стен следует предусматривать с учетом требований раздела 9.

4.6 Расчетный срок службы для постоянных армогрунтовых подпорных стен следует принимать не менее 100 лет.

4.7 Защиту элементов армогрунтовых подпорных стен от коррозии следует предусматривать в соответствии с [1].

## **5 Материалы и изделия**

### **5.1 Армирующие элементы**

5.1.1 При проектировании армогрунтовых подпорных стен следует использовать армирующие элементы, выполненные из материалов, сохраняющих прочностные характеристики в условиях постоянного контакта с грунтом-заполнителем и облицовкой.

Армирующие элементы могут иметь форму листов, решеток, лент (полос), стержней и др. Они могут быть гладкими или, для повышения сопротивления сдвигу в грунте-заполнителе, шероховатыми (текстурированными) или с насечками. В этих

же целях применяют армирующие элементы с поперечными ребрами увеличенной высоты.

Долговечность материалов, применяемых для устройства армогрунтовых подпорных стен, должна быть не ниже расчетного срока службы сооружения (ГОСТ 27751) с учетом возможной агрессивности среды.

5.1.2 Для устройства армогрунтовых подпорных стен допускаются все виды геосинтетических материалов с функцией «армирование» по ГОСТ 55028 и удовлетворяющие требованиям таблицы 1 ГОСТ Р 56338, габионы с армирующей панелью ГОСТ Р 52132 и иные материалы, удовлетворяющие требованиям 5.1.1.

*Примечание* – При выборе армирующих элементов рекомендуется также учитывать положения [2], [3], [4].

5.1.3 При необходимости следует предусматривать испытания для оценки сопротивления армирующих элементов сдвигу по грунту и выдергиванию из грунта. При отсутствии результатов испытаний, рекомендуется принимать коэффициент взаимодействия геосинтетического армирующего элемента и грунта  $C_v = 0,7$ .

5.1.4 Соединения армирующих элементов между собой и с облицовкой в направлении действия активного давления грунта должны обеспечивать прочность и долговечность не менее прочности и долговечности соединяемых армирующих элементов.

## 5.2 Облицовка

5.2.1 Облицовка армогрунтовой подпорной стены в общем случае обеспечивает:

- восприятие нагрузок от армирующих элементов;
- защиту армирующих элементов от внешних воздействий, в т. ч. антивандальную защиту;
- местную устойчивость грунта в промежутках между слоями арматуры;
- требуемый внешний вид сооружения.

5.2.2 По характеру деформаций при осадке различают следующие типы облицовок армогрунтовых подпорных стен:

- гибкие облицовки (устроенные по методу обертывания и пр.);
- полужесткие облицовки (из габионов, геосотопого материала, каркасные и пр.);

– жесткие облицовки (из панелей, блоков и пр.).

Облицовки соответствующего типа следует назначать с учетом:

- возможности неравномерных осадок сооружения;
- типа грунта-заполнителя (см. таблицу 5.1);
- организации дренажных мероприятий;
- климатических воздействий.

#### Примечания

1 Процесс уплотнения грунта-заполнителя в период строительства и эксплуатации армогрунтовых подпорных стен может привести к неравномерным осадкам, чувствительность к которым зависит от типа применяемой облицовки.

2 При наличии связей между облицовкой и армирующими элементами осадка может привести к росту напряжений в армирующих элементах вплоть до их чрезмерного удлинения и разрыва. Во избежание подобных случаев на этапе проектирования следует уделять особое внимание выбору типа облицовки и соответствующего материала грунта-заполнителя, особенно при применении жестких облицовок. Элементы полужестких и гибких облицовок способны соответственно сдвигаться или деформироваться совместно с армированным грунтом, что обуславливает меньшую их чувствительность к неравномерности осадок.

5.2.3 Тип и параметры облицовки определяются в зависимости от физико-механических характеристик основания, размеров и формы сооружения, необходимости озеленения, архитектурного облика. Сведения о видах облицовок, широко применяемых в практике строительства, приведены в приложении А.

5.2.4 Облицовочные панели и блоки следует выполнять из тяжелого бетона класса по прочности не ниже  $B20$ , по водопроницаемости – не ниже  $W4$ , по морозостойкости – не ниже  $F_{200}$ .

В качестве мелкого заполнителя бетона следует применять природные обогащенные и фракционированные, а так же дробленные обогащенные пески с модулем крупности не менее  $M_k = 2,0$ , соответствующие ГОСТ 32730 или ГОСТ 32824 и удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26633.

В качестве крупного заполнителя бетона следует применять щебень из естественного камня, гравия, отвечающий требованиям ГОСТ 32703 и удовлетворяющий требованиям ГОСТ 26633. Применение фракции крупнее 20 мм не допускается. Для щебня из изверженных горных пород марка прочности на сжатие по дробимости должны быть не ниже 1200, марка щебня по морозостойкости  $F300$ , по истираемости – 1. Применение карбонатных пород для изготовления щебня при изготовлении бетона облицовочных блоков армогрунтовых стен не допускается.

5.2.5 При выборе облицовочных панелей и блоков предпочтение следует от-

давать таким, которые имеют упорные элементы, предотвращающими их взаимный сдвиг (выступы, пазы, полусферические и другие шипы, гребни и т.п.).

5.2.6 Параметры взаимодействия элементов облицовочной системы при сдвиге ( $\delta_{\text{бл}}$  – угол трения между блоками и  $R_{\text{бл}}$  – сопротивление упорного элемента при его наличии) определяется по результатам испытаний; при отсутствии материалов таких испытаний, а также для предварительных расчетов, следует принимать  $\delta_{\text{бл}} = 30^\circ$ ,  $R_{\text{бл}} = 0$ .

5.2.7 При необходимости, для перекрытия швов на тыльной поверхности облицовки в качестве изолирующих материалов следует использовать:

– фильтрующие ленты (полосы) из геотекстиля (фильтрация по швам ниже планировочной отметки);

– нефилтрующие пенополиуретановые ленты (полосы), мастично-полимерные и полимерно-битумные материалы или заполнение швов монтажной пеной с замкнутыми полостями (гидроизоляция выше планировочной отметки).

### 5.3 Грунт-заполнитель

5.3.1 В качестве материала грунта-заполнителя в общем случае следует использовать песчаные, гравийные и щебеночные материалы, а также их смеси (ГОСТ 25607) с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут. Наличие фракций крупнее 50 мм не допускается.

В качестве грунта-засыпки не допускается применение специфических (ГОСТ 33149) видов грунтов.

5.3.2 Определение физико-механических характеристик грунта-заполнителя следует производить на основании лабораторных испытаний грунта-заполнителя в приборах одноплоскостного среза или трехосного сжатия с предварительным заданием плотности и влажности, соответствующих плотности в теле сооружения (по заданному коэффициенту уплотнения  $K_u$  и максимальной плотности по испытаниям в приборе стандартного уплотнения). Интерпретацию результатов следует производить по остаточному значению прочности (остаточному углу внутреннего трения). Для предварительных расчетов прочностные характеристики грунта-заполнителя (расчетные) следует принимать: для песчаных грунтов угол внутреннего трения  $\varphi_{\text{зап}} = 30^\circ$ ; для гравелистых и щебеночных  $\varphi_{\text{зап}} = 36^\circ$ ; удельное сцепление принимается равным  $c = 0$  кПа.

## 6 Конструирование

### 6.1 Общие положения

6.1.1 Конструирование армогрунтовых подпорных стен предполагает назначение параметров сооружения в целом и отдельных его элементов по результатам выполненных расчетов (см. раздел 7) с учетом условий конкретной площадки строительства.

6.1.2 Перед началом конструирования следует проанализировать следующие факторы, влияющие на выбор основных параметров армогрунтовых подпорных стен:

- назначение и размер сооружения;
- характер и величины нагрузок и воздействий;
- план участка с контурами и отметками заложения существующих и возводимых зданий, сооружений и коммуникаций, конструкции и габариты фундаментов и подземных сооружений, примыкающих к возводимому объекту;
- геологические и гидрогеологические условия, характер рельефа, постоянные и временные водотоки;
- наличие сложных условий (по ГОСТ 33149);
- наличие и стоимость местных материалов (главным образом, грунта-заполнителя);
- опыт строительства и эксплуатации подобных сооружений в регионе, результаты натуральных испытаний (при их наличии) в условиях, схожих с условиями площадки строительства;
- требования архитектурной и ландшафтной эстетики и др.

6.1.3 Конструкция армогрунтовой подпорной стены приведена на рисунке 6.1 (для примера показан вариант с вертикальной жесткой облицовкой из панелей). Здесь и далее по тексту приняты следующие обозначения:

$\gamma_{зап}$  – удельный вес грунта-заполнителя, кН/м<sup>3</sup>;

$\varphi_{зап}$  – угол внутреннего трения грунта-заполнителя, град;

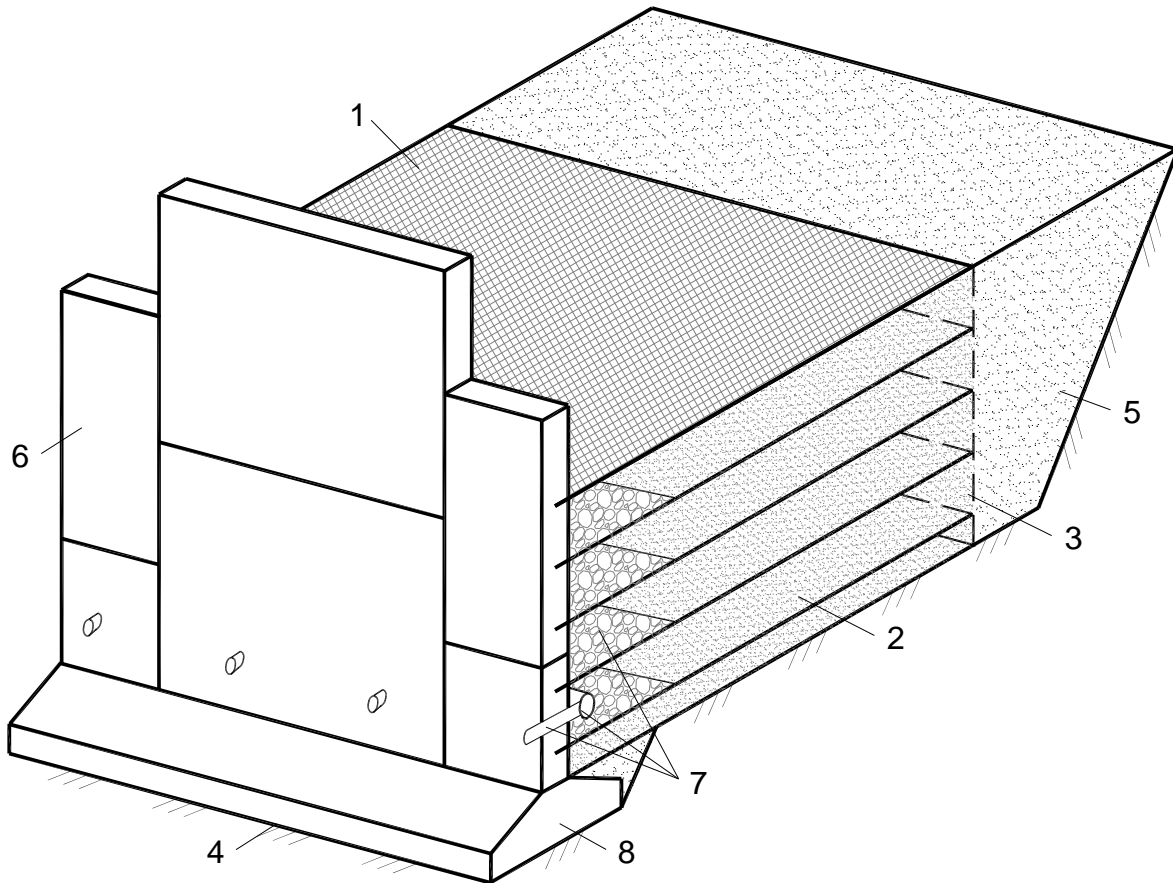
$\gamma_3$  – удельный вес грунта за пределами армогрунтового блока (обратная засыпка, грунт насыпи или грунт естественного склона), кН/м<sup>3</sup>;

$\varphi_3$  – угол внутреннего трения грунта за пределами армогрунтового блока (обратная засыпка, грунт насыпи или грунт естественного склона), град;

$\gamma_{осн}$  – удельный вес грунта естественного основания, кН/м<sup>3</sup>;

$\varphi_{осн}$  – угол внутреннего трения грунта естественного основания, град.

Примечание – Здесь и далее под удельным весом соответствующего материала следует понимать произведение его плотности на ускорение свободного падения.



1 – армирующий элемент; 2 – грунт-заполнитель; 3 – армогрунтовый блок;  
4 – грунт естественного основания; 5 – грунт обратной засыпки; 6 – облицовка;  
7 – дренажная система; 8 – фундамент

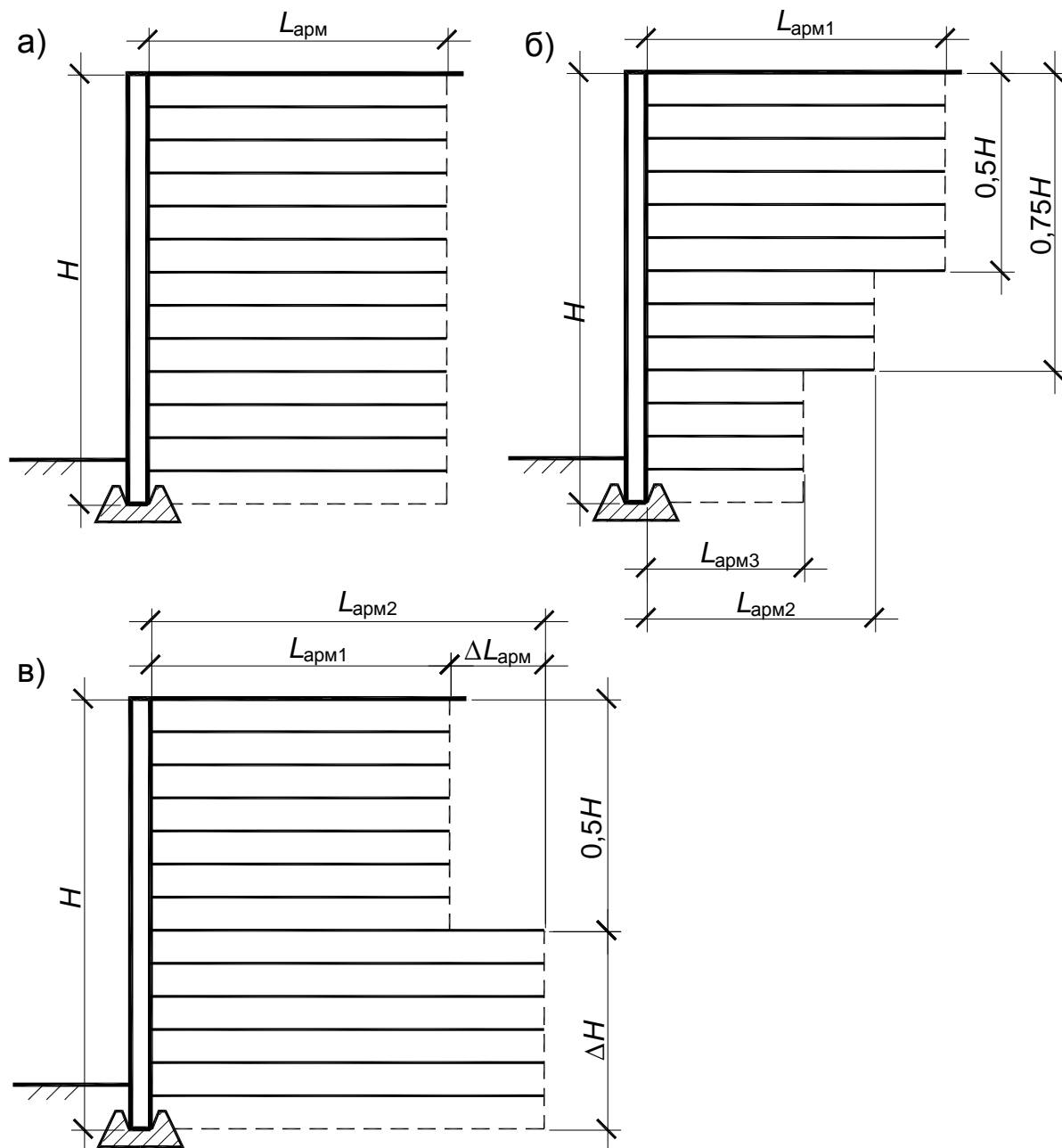
Рисунок 6.1 – Конструкция армогрунтовой подпорной стены  
(показано сооружение в процессе возведения)

6.1.4 Армогрунтовым подпорным стенам следует придавать в плане форму прямой, ломаной или плавной кривой линии, избегая острых внешних углов. При необходимости устройства острых внешних углов дефицит длины анкеровки армирующих элементов допускается компенсировать улучшением физико-механических и прочностных характеристик грунта-заполнителя путем цементации или иными методами.

## 6.2 Назначение основных конструктивных параметров

6.2.1 Тип, длину и вертикальный шаг армирующих элементов следует назна-

чать по расчету. Указанные параметры армирования допускается принимать как равными на всю высоту сооружения (определяется по рисунку 6.2, а), так и разделять сооружение на несколько участков по высоте и назначать различные параметры армирования для каждого участка (рисунок 6.2, б, в).



а – с постоянной длиной армирующих элементов по высоте сооружения;

б – с переменной длиной армирующих элементов по высоте сооружения:

б – укороченных в основании; в – удлиненных в основании

Рисунок 6.2 – Расположение армирующих элементов различной длины в сооружениях

Примечания

1 Возможны иные конфигурации сооружений при условии выполнения требований 6.2.2.

2 Вариант б) допускается при высокой несущей способности грунтов основания.

6.2.2 Для предварительных расчетов минимальную длину армирующих элементов следует принимать в соответствии с таблицей 6.1.

Т а б л и ц а 6.1 – Минимальная длина армирующих элементов

Тип сооружения	Минимальная длина армирующих элементов
С постоянной длиной армирующих элементов по высоте сооружения (рисунок 6.2, а)	$L_{\text{арм}} \geq 0,7H$ , но не менее 3 м
С переменной длиной армирующих элементов по высоте сооружения: – укороченных в основании (рисунок 6.2, б)  – удлинённых в основании (рисунок 6.2, в)	$L_{\text{арм1}} \geq 0,7H$ – от верха сооружения до $0,5H$ ; $L_{\text{арм2}} \geq 0,55H$ – от $0,5H$ до $0,75H$ ; $L_{\text{арм3}} \geq 0,4H$ , но не менее 3 м – от $0,75H$ до $H$ ;  $L_{\text{арм1}} \geq 0,7H$ – от верха сооружения до $0,5H$ , при этом должно выполняться условие $\Delta H \geq 2\Delta L_{\text{арм}}$ , где $\Delta L_{\text{арм}} = L_{\text{арм2}} - L_{\text{арм1}}$ .
Подпорные стены высотой менее 1,5 м	не нормируется
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1 Для подпорных стен с укороченными в основании армирующими элементами шаг изменения их длины по высоте <math>\Delta L_{\text{арм}}</math> не должен превышать <math>0,15H</math>.</p> <p>2 При проектировании многоярусных сооружений под высотой <math>H</math> следует понимать общую высоту всех ярусов.</p>	

6.2.3 Армирующие элементы следует располагать горизонтально. Вертикальный шаг армирующих элементов следует назначать с учетом уплотняющих механизмов от 0,15 до 0,8 м для жесткой облицовки и от 0,15 до 1,0 м для полужесткой и гибкой облицовок. Допускается увеличение вертикального шага армирующих элементов при обосновании расчетом.

6.2.4 Для армогрунтовых подпорных стен с жесткой облицовкой следует предусматривать заглубление ниже планировочной отметки площадки. Конструктивно величину заглубления следует предварительно принимать не менее значений, указанных в таблице 6.2, а также не менее 0,3 м от планировочной отметки. Армогрунтовые подпорные стены с полужесткой и гибкой облицовкой допускается возводить без заглубления.

П р и м е ч а н и е – При назначении глубины заложения фундаментов следует учитывать требования [5].

Т а б л и ц а 6.2 – Минимальное заглубление армогрунтовых подпорных стен с жесткой облицовкой

Уклон откоса у основания сооружения, град.	Минимальное заглубление сооружения высотой $H$ , м
0	$H/20$
18	$H/10$
27	$H/7$
34	$H/5$

### 6.3 Прочие конструктивные требования

6.3.1 Облицовку армогрунтовых подпорных стен следует проектировать с фундаментным или бесфундаментным опиранием. Фундаменты допускается проектировать ленточными (моноклитными, сборными или сборно-моноклитными) или свайными. Применение бесфундаментного опирания допускается для полужестких и гибких облицовок.

Следует предусматривать щебеночную подготовку толщиной:

- для бесфундаментного опирания – не менее 0,3 м.
- для ленточных фундаментов и ростверков свайных фундаментов – не менее 0,15 м.

6.3.2 Для предотвращения возникновения дополнительного гидростатического давления грунтовых вод на облицовочную систему следует предусматривать дренажные мероприятия. В зависимости от прогнозируемого расхода устраивается пристенный траншейный дренаж, пластовый дренаж, откосный дренаж и их комбинации.

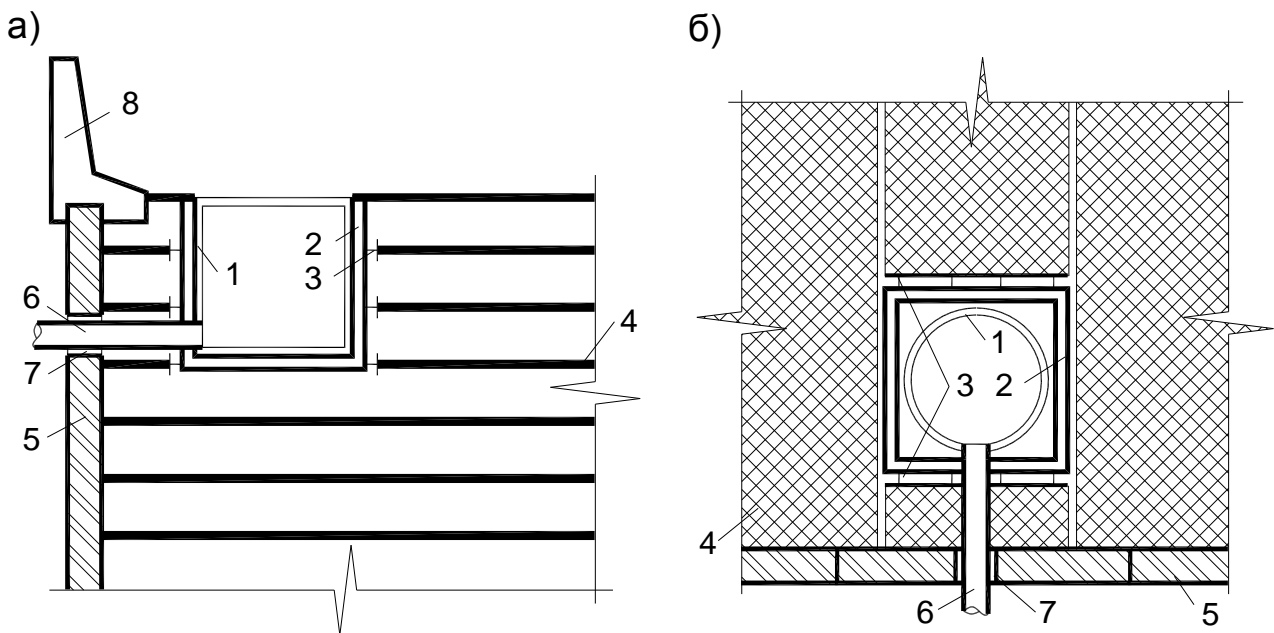
Пр и м е ч а н и е – Проектирование дренажных мероприятий следует выполнять с применением дренажных геосинтетических материалов с учетом [6] и [7].

6.3.3 При выборе материала армирующих элементов следует учитывать возможное агрессивное воздействие на них противогололедных реагентов. При необходимости, следует предусматривать изоляцию армированного грунта устойчивыми к таким реагентам герметичными мембранами, располагая их под элементами системы водосбора и водоотведения.

6.3.4 При проектировании в массиве армированного грунта препятствий – конструкций или инженерных сетей (фундаментов рамных опор для установки дорожных знаков и табло, стоек силовых ограждений, водопропускных труб и водопри-

емных колодцев, коллекторов и т. п.), следует предусматривать учет дополнительных напряжений, связанных с возможностью частичного или полного выключения из работы прилегающих армирующих элементов. В этом случае дополнительно следует проверять устойчивость на опрокидывание или сдвиг участка облицовки стены перед препятствием.

6.3.5 Допускается устройство вокруг препятствия рамной конструкции, с использованием ее в качестве соединительного узла между армирующими элементами перед препятствием и за ним (рисунок 6.3). Допускается соединение армирующих элементов и препятствия (за исключением инженерных сетей) для предотвращения опрокидывания облицовки.



а – вертикальное сечение; б – горизонтальное сечение

1 – препятствие (колодец); 2 – рамная конструкция;

3 – крепление армирующего элемента к рамной конструкции; 4 – армирующий элемент; 5 – облицовка; 6 – выпуск из колодца; 7 – обрамляющий воротник;

8 – парапетное ограждение

Рисунок 6.3 – Размещение препятствия в массиве армированного грунта

6.3.6 В случаях, когда препятствие выходит за лицевую поверхность облицовки, следует обеспечивать устойчивость элементов облицовки в районе узла их сопряжения, не допуская передачи значительных сосредоточенных нагрузок. При этом следует предусматривать мероприятия, предотвращающие высыпание грунта-заполнителя из пространства между облицовкой и препятствием, в частности путем

устройства вокруг препятствия обрамляющего воротника.

6.3.7 Следует обеспечивать целостность армирующих элементов в теле засыпки после возведения подпорной стены из армированного грунта. Не допускается деформация и разрушение материала армирующих элементов при последующем устройстве конструкций, сооружений и инженерных коммуникаций (например, забивкой свай и стоек барьерного и парапетного ограждения, бурением скважин для установки столбов освещения, опор дорожных знаков, фундаментов шумозащитных экранов и др.).

## **7 Расчеты**

### **7.1 Общие положения**

7.1.1 Выбор материалов и изделий, а также назначение начальных параметров сооружения следует выполнять в соответствии с положениями разделов 5 и 6 соответственно. Расчет армогрунтовых подпорных стен следует выполнять по первой и второй группам предельных состояний с учетом уровня ответственности (ГОСТ 27751). Расчеты следует выполнять для всех возможных проектных ситуаций и их сценариев. Пример расчета армогрунтовой подпорной стены приведен в приложении Б.

7.1.2 Расчеты по первой группе предельных состояний предусматривают проверки:

- устойчивости положения на сдвиг, опрокидывание и скольжение по различным поверхностям;
- устойчивости армогрунтовой подпорной стены во вмещающем грунтовом массиве (естественное основание; обратная засыпка или естественные грунты за армогрунтовым сооружением);
- определение геометрических параметров армогрунтового блока;
- определение требуемой прочности, вертикального шага и длины армирующих элементов.

Для подпорных стен с полужесткими и жесткими облицовками дополнительно следует выполнять проверку прочности их соединения с армирующими элементами.

Крутые откосы (угол наклона лицевой грани к горизонту  $70^\circ$  и менее) следует рассчитывать как многослойно-армированные насыпи в соответствии с положения-

ми 7.5.

7.1.3 Расчеты по второй группе предельных состояний предусматривают:

- определение величины осадки, скорости ее протекания во времени и неравномерности вертикальных деформаций сооружения;
- определение деформации облицовки в строительный период и в течение срока службы (с учетом ползучести материала армирующих элементов).

Отдельные конструктивные элементы дополнительно следует проверять в соответствии с требованиями сводов правил по проектированию соответствующих конструкций.

7.1.4 Величину нормативной нагрузки и расчетную схему нагружения от автотранспортных средств (АК, НК) следует принимать в соответствии с ГОСТ 32960, [8]. Удерживающие воздействия, вызываемые временной нагрузкой на поверхности засыпки, в расчетах не учитываются.

7.1.5 Расчетные значения нагрузок следует получать путем умножения нормативного значения нагрузок на коэффициенты надежности по нагрузке. Значения коэффициентов надежности представлены в таблице 7.1.

Т а б л и ц а 7.1 – Коэффициенты надежности по нагрузке

Нагрузка	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$
Вес грунта засыпки	1,15 (0,9)
Вес грунта основания и естественного откоса	1,10 (0,9)
Вес конструкции дорожной одежды	1,50 (0,9)
Давление грунта	1,40 (0,7)
Вес конструкций подпорной стены	1,10 (0,9)
Постоянная нагрузка на поверхности насыпи	1,20 (0,9)
<p>П р и м е ч а н и е – Для нагрузки от автотранспортных средств (АК, НК) коэффициенты надежности по нагрузке принимать в соответствии с ГОСТ 32960, [8].</p>	

7.1.6 Сдвигающие силы следует принимать с коэффициентами надежности по нагрузке  $\gamma_f > 1$ , удерживающие силы следует принимать с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f < 1$ .

7.1.7 Величина коэффициента активного давления призмы обрушения (трение грунта по стенке отсутствует,  $\delta = 0$ ) определяется по формуле:

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi_{ep} - \alpha)}{\cos^3\alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi_{ep} \cdot \sin(\varphi_{ep} - \beta)}{\cos\alpha \cdot \cos(\alpha - \beta)}}\right)^2}, \quad (7.1)$$

где  $\varphi_{ep}$  – угол внутреннего трения грунта (для расчетов устойчивости положения по п.7.2 принимает значения  $\varphi_3$ ; для расчетов местной устойчивости по п. 7.3  $\varphi_{зан}$ ), град;

$\alpha$  – угол наклона подпорной стенки, град;

$\beta$  – угол наклона поверхности засыпки ( $\beta > 0$ , если планировочные отметки увеличиваются по мере отдаления от облицовки), град.

7.1.8 Приближенное значение коэффициента активного давления  $\lambda_a$  в случае вертикальной стенки ( $\alpha = 0$ ) допускается определять по формуле для  $\beta \neq 0$ :

$$\lambda_a = \cos\beta \left[ \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi_{ep}}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi_{ep}}} \right], \quad (7.2)$$

**Примечание** – В расчете принимается активное давление, поскольку деформация, соответствующая переходу от давления в состоянии покоя к активному, меньше, чем деформация, реализующаяся в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

7.1.9 Активное давление грунта определяется по формуле:

$$E_a^{ep} = \frac{1}{2} \cdot \lambda_a \cdot \gamma_{ep} \cdot H^2, \quad (7.3)$$

где  $\lambda_a$  – коэффициент активного давления грунта, определяемый по формуле (7.1);

$\gamma_{ep}$  – удельный вес грунта (для расчетов устойчивости положения по 7.2 принимается  $\gamma_{ep} = \gamma_3$ , для расчетов местной устойчивости по 7.3  $\gamma_{ep} = \gamma_{зан}$ ), кН/м<sup>3</sup>;

$H$  – высота армогрунтовой подпорной стены, м.

7.1.10 В том случае, когда армогрунтовое сооружение выполняет функции подпорной стены для естественного склона, необходимо определить оползневое давление  $E_{оп}$  и активное давление от призмы обрушения  $E_a^{ep}$  и принять для дальнейшего расчета большее из значений.

## 7.2 Устойчивость положения армогрунтового блока

### 7.2.1 Устойчивость положения армогрунтового блока на сдвиг по подошве

7.2.1.1 В качестве расчетного допущения принимается, что армогрунтовый блок является единым квазиоднородным телом (рисунок 7.2). Пассивное давление на лицевую грань не учитывается. При необходимости учета расчет осуществляется в соответствии с положениями для расчета традиционных подпорных стен и выбором давления грунта в состоянии покоя или пассивного.

7.2.1.2 Устойчивость положения армогрунтового блока на сдвиг по подошве проверяется по формуле:

$$Q_r \leq \frac{\gamma_c \cdot Q_z}{\gamma_n}, \quad (7.4)$$

где  $Q_r$  – расчетная сдвигающая сила, кН/м;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от грунта основания:

- для песков (за исключением пылеватых) – 1,0;
- для песков пылеватых, а также глинистых грунтов в стабилизированном состоянии – 0,9;
- для глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии – 0,85;
- для скальных грунтов:
  - неветрелых и слабоветрелых – 1,0;
  - ветрелых – 0,9;
  - сильноветрелых – 0,8;

$Q_z$  – расчетная удерживающая сила, кН/м;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,1 и 1,0 соответственно для сооружений повышенного, нормального и пониженного уровня ответственности.

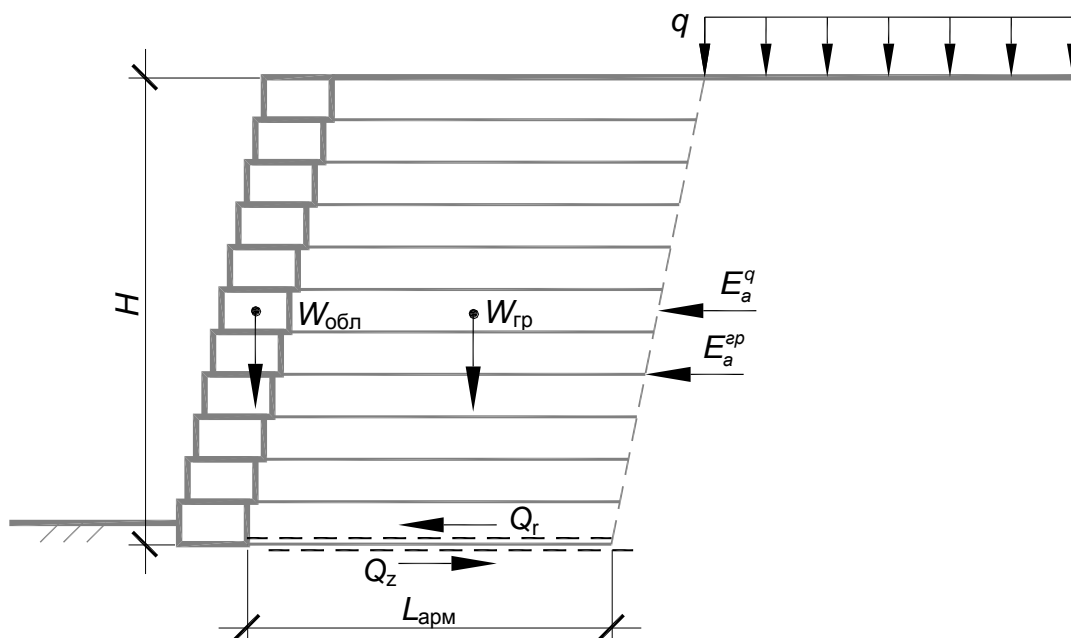


Рисунок 7.1 – Расчетная схема при проверке устойчивости положения на сдвиг по подошве армогрунтового блока

7.2.1.3 Расчетная удерживающая сила  $Q_z$ , кН/м, определяется по формуле:

$$Q_z = (\gamma_{f,1} \cdot W_{обл} + \gamma_{f,2} \cdot W_{гр}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{сп}, \quad (7.5)$$

где  $\gamma_{f,i}$  – коэффициенты надежности по нагрузке (таблица 7.1);

$W_{обл}$  – собственный вес облицовочной системы, кН/м;

$W_{гр}$  – собственный вес грунта, кН/м, определяемый по формуле (7.6);

$\varphi_{сп}$  – угол внутреннего трения грунта, принимает минимальное из значений значения  $\varphi_{зап}$  или  $\varphi_{осн}$ , град;

$$W_{гр} = \gamma_{зап} \cdot H \cdot L_{арм}, \quad (7.6)$$

здесь  $\gamma_{зап}$  – удельный вес грунта-заполнителя, кН/м<sup>3</sup>;

$H$  – то же, что и в формуле (7.3);

$L_{арм}$  – ширина основания армогрунтового блока, м;

7.2.1.5 Расчетная сдвигающая сила  $Q_r$ , кН/м, определяется по формуле:

$$Q_r = \gamma_{f,3} \cdot E_a^{сп} + \gamma_{f,4} \cdot E_a^q, \quad (7.7)$$

где  $\gamma_{f,i}$  – тоже, что и в формуле (7.5);

$E_a^{сп}$  – горизонтальная составляющая активного давления грунта на армогрунтовый блок, кН/м, определяемая по формуле (7.3);

$E_a^q$  – горизонтальная составляющая давления грунта от внешней нагрузки, кН/м:

$$E_a^q = q \cdot \lambda_a \cdot H, \quad (7.8)$$

$q$  – интенсивность внешней нагрузки, кН/м.

## 7.2.2 Устойчивость положения армогрунтового блока на сдвиг по армирующим элементам

7.2.2.1 Проверка на сдвиг армогрунтового блока под действием давления грунта за его пределами осуществляется по формуле (7.4) на каждом  $i$  уровне укладки армирующих элементов по расчетной схеме на рисунке 7.2.

7.2.2.2 Расчетная удерживающая сила  $Q_z$ , кН/м, определяется по формуле:

$$Q_z = \gamma_{f,1} \cdot W_{ep,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{зап} \cdot C_e + \gamma_{f,2} \cdot W_{обл,i} \cdot f + R_{бл}, \quad (7.9)$$

где  $\gamma_{f,1}$  – то же, что и в формуле (7.5);

$W_{ep,i}$  – собственный вес грунта части армогрунтовой подпорной стены выше уровня армирующего элемента, по которому проверяется сдвиг, кН/м;

$\varphi_{зап}$  – угол внутреннего трения грунта-заполнителя, град;

$C_e$  – коэффициент взаимодействия армирующих элементов и грунта, определяемый в соответствии с положениями 5.1.3;

$W_{обл,i}$  – собственный вес части облицовочной системы выше уровня армирующего элемента, по которому проверяется сдвиг, кН/м;

$f$  – коэффициент трения между блоками  $f = \operatorname{tg} \bar{\delta}_{бл}$ , определяется в соответствии с положениями 5.2.6;

$\bar{\delta}_{бл}$  – угол трения между блоками облицовочной системы определяется в соответствии с положениями 5.2.6, град;

$R_{бл}$  – сопротивление упорного элемента (шипа или выступа) блоков облицовочной системы сдвигу, кН/м, определяется в соответствии с положениями 5.2.6.

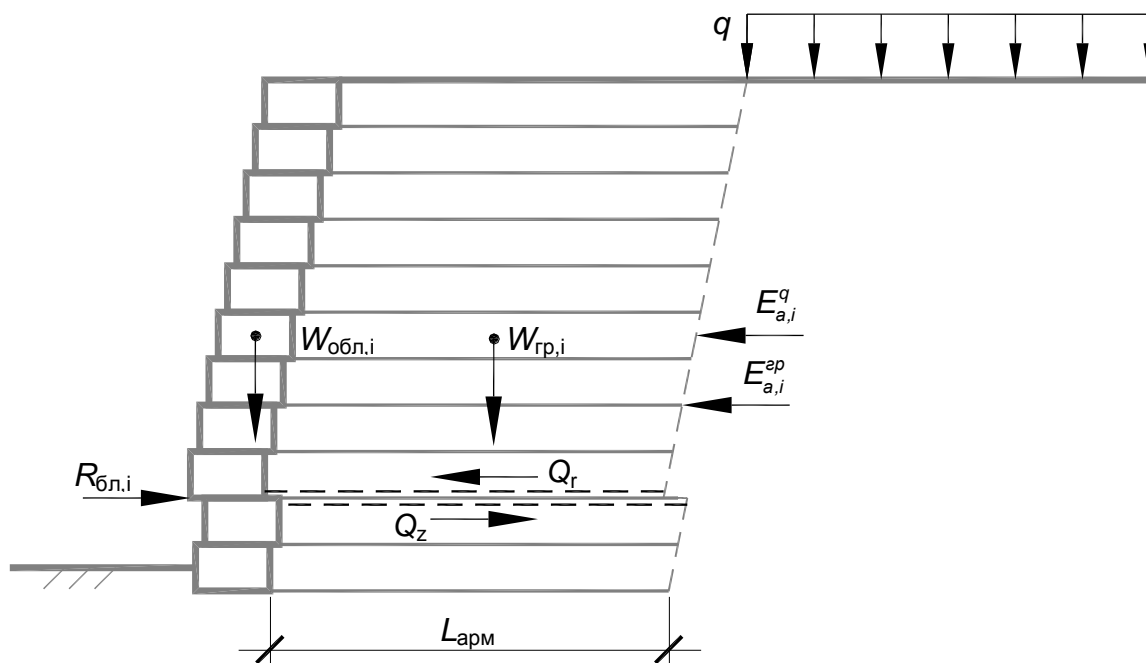


Рисунок 7.2 – Расчетная схема для проверки устойчивости положения на сдвиг по армирующим элементам

7.2.2.3 Расчетная сдвигающая сила  $Q_r$ , кН/м, определяется по формуле:

$$Q_r = \gamma_{f,3} \cdot E_{a,i}^{ep} + \gamma_{f,4} \cdot E_{a,i}^q, \quad (7.10)$$

где  $\gamma_{f,i}$ ,  $\varphi_{ep}$  – тоже, что и в формуле (7.5);

$E_{a,i}^{ep}$  – горизонтальная составляющая активного давления на часть армогрунтовой подпорной стены, кН/м;

$E_{a,i}^q$  – горизонтальное давление грунта от внешней нагрузки на часть армогрунтовой подпорной стены, кН/м.

### 7.2.3 Устойчивость положения армогрунтового блока на опрокидывание

7.2.3.1 Устойчивость положения армогрунтового блока на опрокидывание проверяется по формуле:

$$M_r \leq \frac{\gamma_c \cdot M_z}{\gamma_n}, \quad (7.11)$$

где  $M_r$  – расчетный момент опрокидывающих сил относительно точки О (рисунок 7.3), кН·м/м;

$M_z$  – расчетный момент удерживающих сил относительно точки О (рису-

нок 7.3), кН·м/м;

$\gamma_c, \gamma_n$  – то же, что и в формуле (7.4).

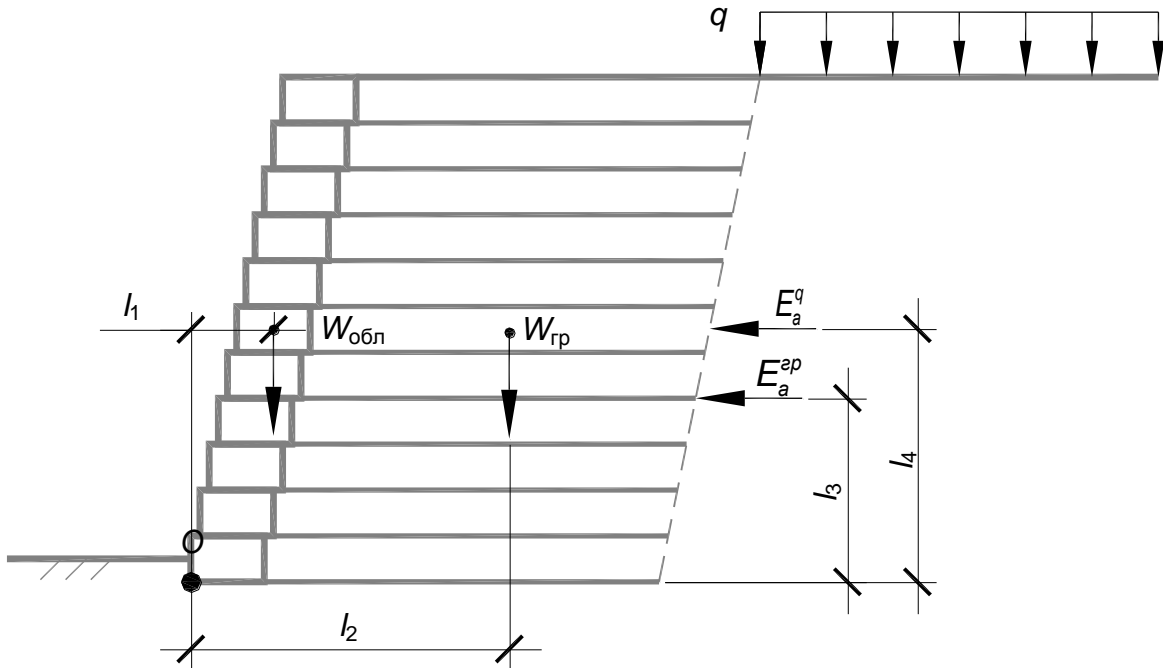


Рисунок 7.3 – Расчетная схема для проверки устойчивости положения блока на опрокидывание

7.2.3.2 Расчетный момент удерживающих сил  $M_z$ , кН·м/м, определяется по формуле:

$$M_z = \gamma_{f,1} \cdot W_{обл} l_1 + \gamma_{f,2} \cdot W_{сп} l_2, \quad (7.12)$$

где  $\gamma_{f,1}, W_{обл}$  – то же, что и в формуле (7.5);

$l_1, l_2$  – плечи соответствующих сил относительно точки О, м;

$W_{сп}$  – то же, что и в формуле (7.6).

7.2.3.3 Расчетный момент опрокидывающих  $M_r$ , кН·м/м, сил определяется по формуле:

$$M_r = \gamma_{f,3} \cdot E_a^{сп} \cdot l_3 + \gamma_{f,4} \cdot E_a^q \cdot l_4, \quad (7.13)$$

где  $\gamma_{fi}$  – то же, что и в формуле (7.5);

$E_a^{сп}$  – тоже, что и в формуле (7.3);

$l_3, l_4$  – плечо соответствующих сил относительно точки О, м;

$E_a^q$  – тоже, что и в формуле (7.8).

7.2.3.4 Для обеспечения устойчивости положения против опрокидывания

применяются следующие способы: увеличение длины армирующих элементов; использование грунта-заполнителя с лучшими прочностными характеристиками; увеличение высоты стены при негоризонтальной поверхности засыпки; увеличение заглубления стены.

## 7.3 Местная устойчивость

### 7.3.1 Общие рекомендации по оценке местной устойчивости

7.3.1.1 Проверка местной устойчивости предполагает определение расчетных растягивающих усилий в элементе внутри армогрунтовой подпорной стены. Основным элементом проверки являются прочностные параметры армирующих элементов и условия их взаимодействия с грунтом-заполнителем.

7.3.1.2 Расчет производится путем задания плоскости скольжения (потенциального обрушения). Определение положения плоскости скольжения осуществляется с использованием известных графоаналитических методов М. Г. Бескина; Я. В. Понселе, Г. Ребхана, доработанных А. Д. Соколовым для армогрунтовых подпорных стен, а также на основе теории Ш. Кулона.

### 7.3.2 Устойчивость положения облицовочной системы на сдвиг по шву

7.3.2.1 Расчетная схема показана на рисунке 7.4. Разрушение по шву проверяется для каждого уровня укладки армирующих элементов по формуле:

$$Q_r \leq \frac{\gamma_c \cdot Q_z}{\gamma_n}, \quad (7.14)$$

$Q_r$  – расчетная сдвигающая сила, кН/м;

$Q_z$  – расчетная удерживающая сила, кН/м;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,1 и 1,0 соответственно для сооружений повышенного, нормального и пониженного уровня ответственности.

7.3.2.2 Расчетная удерживающая сила  $Q_z$ , кН/м, определяется по формуле:

$$Q_z = \gamma_{f,i} \cdot W_{обл,i} \cdot f + R_{бл} + \sum F_{арм,i}, \quad (7.15)$$

где  $\gamma_{f,i}$  – то же, что и в формуле (7.5);

$W_{обл,i}$  – вес части стены в пределах рассматриваемого горизонта, кН/м;

$f, R_{бл}$  – тоже, что и в формуле (7.9);

$\sum F_{арм,i}$  – сумма расчетных удерживающих сил от верха конструкции до  $i$ -ого яруса армирующих элементов (рассматриваемого горизонта), кН/м.

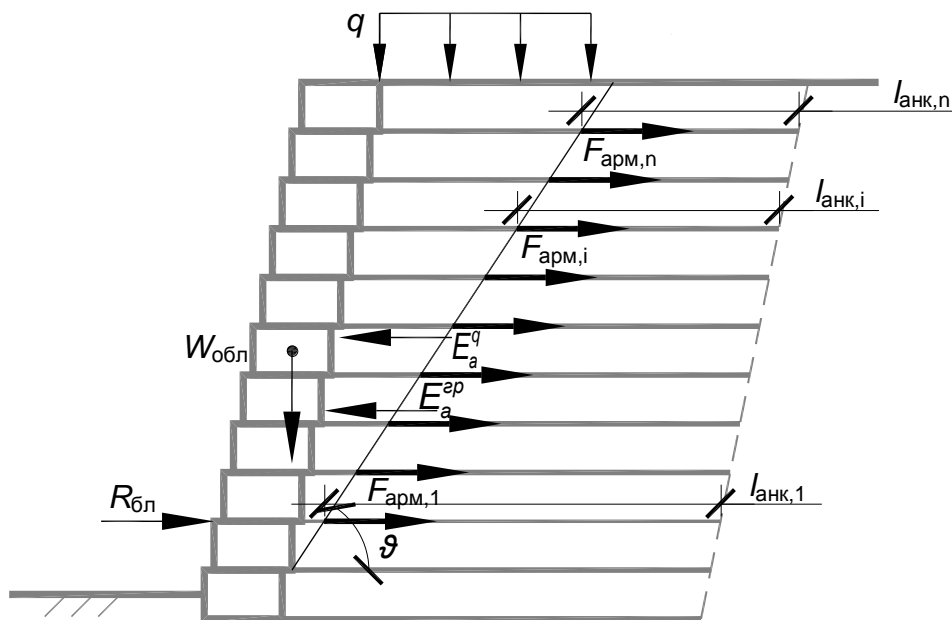


Рисунок 7.4 – Расчетная схема к определению устойчивости положения облицовочной системы на сдвиг по шву

7.3.2.3 Расчетная удерживающая сила от армирующих элементов определяется как наименьшее по двум условиям (длительная прочность  $T_{дл}$ , кН/м; сопротивление выдергиванию  $F_t$ , кН/м):

$$F_{арм,i} = \text{минимум} \begin{cases} T_{дл,i} \\ F_{t,i} \end{cases}, \quad (7.16)$$

Расчетное значение длительной прочности геосинтетического материала  $T_{дл}$ , кН/м, определяется по формуле:

$$T_{дл,i} = \frac{T_{нор}}{K_{общ} \cdot \gamma_b}, \quad (7.17)$$

где  $T_{нор}$  – нормативная (паспортная) прочность материала армирующего

элемента, кН/м;

$\gamma_b$  – коэффициент надежности по материалу;

$K_{общ}$  – общий коэффициент, учитывающий влияние факторов снижения прочности.

Примечание – Величины  $\gamma_b$  и  $K_{общ}$  определяются в соответствии с [4].

7.3.2.4 Сопротивление выдергиванию армирующих элементов  $F_t$ , кН/м, из грунта за пределами призмы обрушения, вычисляется по формуле:

$$F_{t,i} = 2 \cdot \gamma_{зап} \cdot h_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_{зап} \cdot l_{анк,i} \cdot C_{в} \cdot C_{н}, \quad (7.18)$$

где  $\gamma_{зап}$  – удельный вес грунта-заполнителя, кН/м<sup>3</sup>;

$h_i$  – высота части конструкции от верха до рассматриваемого армирующего элемента, м;

$\varphi_{зап}$  – угол внутреннего трения грунта-заполнителя, град;

$l_{анк,i}$  – длина анкерной части армирующих элементов, м;

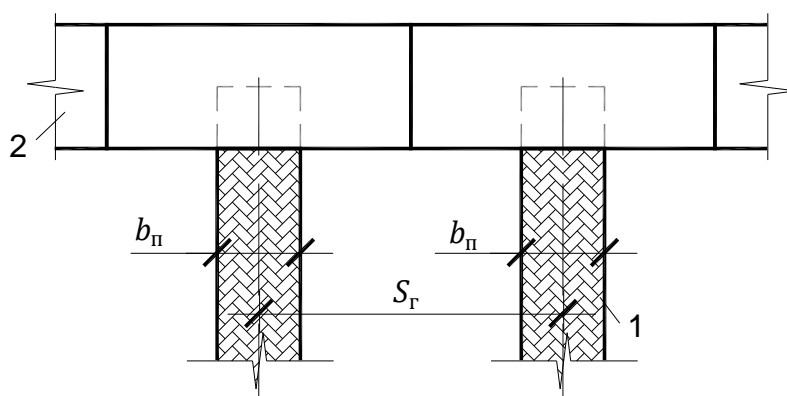
$C_{в}$  – то же, что и в формуле (7.9);

$C_{н}$  – коэффициент покрытия (применяется только для армирующих полос, рисунок 7.5):

$$C_{н} = \frac{b_{п}}{S_{г}}, \quad (7.19)$$

где  $b_{п}$  – ширина армирующей полосы, м;

$S_{г}$  – шаг между осями армирующих полос по горизонтали, м.



1 – армирующая полоса; 2 – облицовка

Рисунок 7.5 – Расчетная схема для определения коэффициента покрытия

Необходимая и достаточная длина армирующего элемента  $L_{общ}$  в расчете на 1 м.п. ее ширины из условия равнопрочности на разрыв определяется по формуле:

$$L_{общ} = L_{пр.об} + l_{анк,i} = L_{пр.об} + \frac{T_{дл,i}}{2 \cdot \gamma_{зап} \cdot h_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_{зап} \cdot C_e \cdot C_H}, \quad (7.20)$$

где  $L_{пр.об}$  – размер по верху призмы обрушения, округляемый до целых метров и 50 сантиметров, м

$T_{дл}$  – то же, что и в формуле (7.17);

$\gamma_{зап}, h_i, \varphi_{зап}, C_e, C_H$  – то же, что и в формуле (7.9).

7.3.2.5 Расчетная сдвигающая сила  $Q_r$ , кН/м, вычисляется по формуле:

$$Q_r = \gamma_{f,1} \cdot E_{a,i}^{эп} + \gamma_{f,2} \cdot E_{a,i}^q, \quad (7.21)$$

где  $\gamma_{f,i}$  – тоже, что и в формуле (7.5);

$E_{a,i}^{эп}, E_{a,i}^q$  – то же, что и в формуле (7.9).

### 7.3.3 Устойчивость положения облицовочной системы на опрокидывание

7.3.3.1 Устойчивость положения на опрокидывание части армогрунтового блока проверяется на каждом  $i$  уровне укладки армирующих элементов по формуле:

$$M_r \leq \frac{\gamma_c \cdot M_z}{\gamma_n}, \quad (7.22)$$

где  $M_r$  – расчетный момент опрокидывающих сил, кН·м/м;

$M_z$  – расчетный момент удерживающих сил, кН·м/м;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,10 и 1,0 соответственно для сооружений повышенного, нормального и пониженного уровня ответственности.

Расчетная схема представлена на рисунке 7.6.

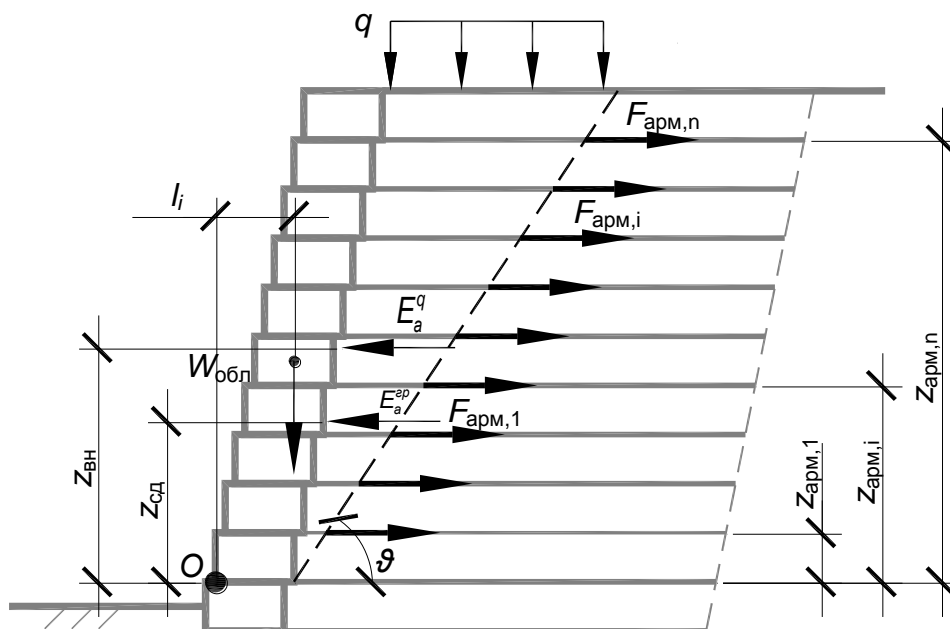


Рисунок 7.6 – Расчетная схема к проверке устойчивости положения облицовочной системы на опрокидывание

7.3.3.2 Расчетный момент удерживающих сил  $M_z$ , кН·м/м, определяется по формуле:

$$M_z = \gamma_{f,1} \cdot W_{обл,i} \cdot l_i + \sum (F_{арм,i} \cdot z_{арм,i}), \quad (7.23)$$

где  $\gamma_{f,1}$ ,  $W_{обл,i}$  – то же, что и в формуле (7.5);

$l_i$  – плечи соответствующих сил относительно точки О (рисунок 7.6), м;

$\sum (F_{арм,i} \cdot z_{арм,i})$  – сумма произведений расчетных удерживающих сил от верха конструкции до  $i$ -ого яруса армирующих элементов на соответствующие плечи этих силы, кН/м.

7.3.3.3 Расчетный момент опрокидывающих сил  $M_r$ , кН·м/м, определяется по формуле:

$$M_r = \gamma_{f,1} \cdot E_{a,i}^{ep} \cdot z_{од} + \gamma_{f,2} \cdot E_{a,i}^q \cdot z_{вн}, \quad (7.24)$$

где  $\gamma_{f,i}$  – то же, что и в формуле (7.5);

$E_{a,i}^{ep}$  – тоже, что и в формуле (7.4);

$z_{од}$  – плечо силы  $E_{a,i}^{ep}$  относительно точки О, м;

$E_{a,i}^q$  – тоже, что и в формуле (7.10);

$z_{вн}$  – плечо силы  $E_{a,i}^q$  относительно точки О, м.

### 7.3.4 Прочность армирующих элементов

7.3.4.1 Проверку прочности по материалу армирующих элементов следует выполнять исходя из условия:

$$N_d \leq \frac{\gamma_c \cdot T_{\text{дл}}}{\gamma_n}, \quad (7.25)$$

где  $N_d$  – расчетное значение продольного усилия, возникающего в армирующем элементе, кН/м;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;

$T_{\text{дл}}$  – расчетное значение длительной прочности армирующего элемента (без учета коэффициента надежности  $\gamma_b$ ) кН/м;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным:

- для стадии эксплуатации – 1,4;
- для стадии строительства – 1,3;
- для строительства в сейсмических районах – 1,2.

Расчетная схема приведена на рисунке 7.7. Проверка производится для каждого яруса армирующих элементов. Для этого эпюры давления грунта от его веса и внешней нагрузки делятся на участки, так, чтобы границы между ними проходили на равном расстоянии между армирующими элементами. Исключения составляют первый и последний участок, начало и конец которых, соответственно, принимается по верху и низу армогрунтовой подпорной стены (рисунок 7.7).

7.3.4.2 Расчетное значение продольного усилия  $N_d$ , кН/м, возникающего в армирующем элементе, определяется путем вычисления площадей эпюр горизонтального давления в пределах выделенных участков:

$$N_d = (\gamma_{\text{зап}} \cdot h_i + q) \cdot \lambda_a \cdot h_{\text{уч},i}, \quad (7.26)$$

где  $\gamma_{\text{зап}}$  – удельный вес грунта-заполнителя кН/м<sup>3</sup>;

$h_i$  – высота части конструкции от верха до рассматриваемого армирующего элемента, м;

$q$  – интенсивность внешней нагрузки, кН/м;

$\lambda_a$  – коэффициент активного давления грунта;

$h_{\text{уч},i}$  – высота расчетного участка по рисунку 7.7, м.

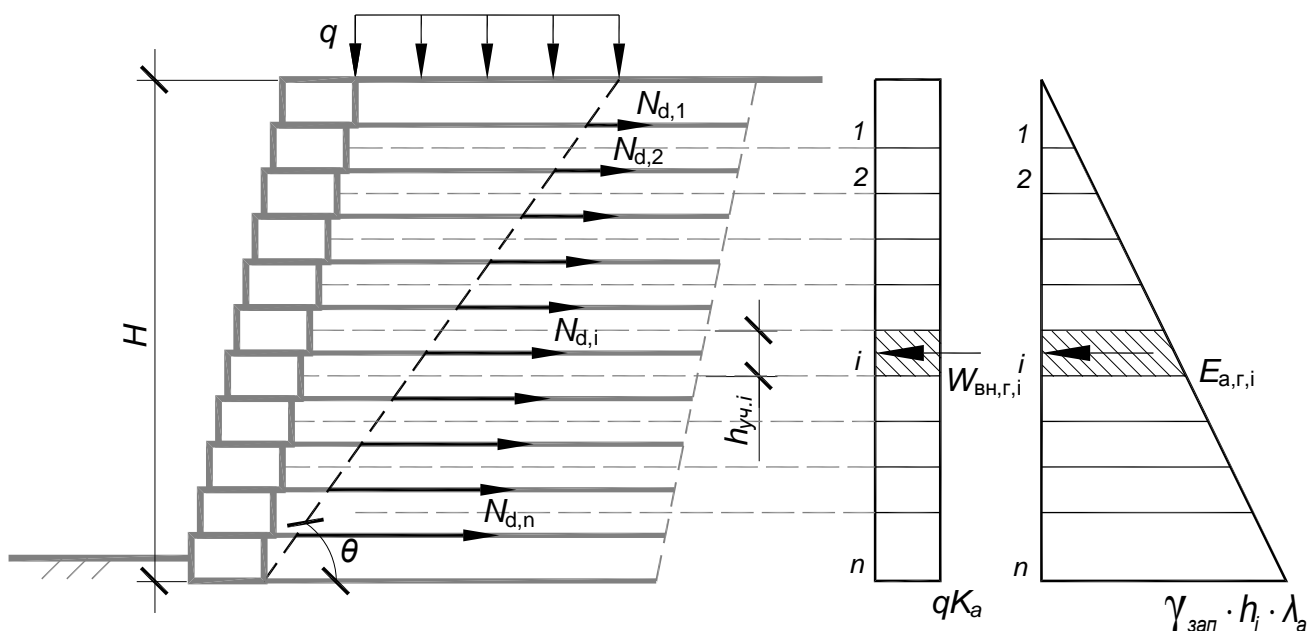


Рисунок 7.7 – Расчетная схема к проверке прочности армирующих элементов

### 7.3.5 Несущая способность армирующих элементов по грунту

7.3.5.1 Проверку сопротивления выдергиванию армирующего элемента из грунтового массива за пределами призмы обрушения следует выполнять исходя из условия:

$$N_d \leq \frac{\gamma_c \cdot F_t}{\gamma_n}, \quad (7.27)$$

где  $N_d$  – расчетное значение продольного усилия, возникающего в армирующем элементе, кН/м;

$F_t$  – расчетное значение предельного сопротивления армирующего материала выдергиванию, определяется по формуле (7.18), кН/м;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным:

1,2 – если расчетное значение предельного сопротивления выдергиванию определено по результатам испытаний;

1,4 – если расчетное значение предельного сопротивления выдергиванию определено расчетом.

Расчетная схема приведена на рисунке 7.8. Проверка производится для каждого  $i$ -го яруса армирующих элементов.

7.3.5.2 Для выполнения проверочных условий при расчете местной устойчи-

ности могут быть рекомендованы следующие способы: уменьшение расстояния (шага) между армирующими элементами, увеличение количества слоев, выбор более прочного материала, использование грунта с лучшими прочностными характеристиками.

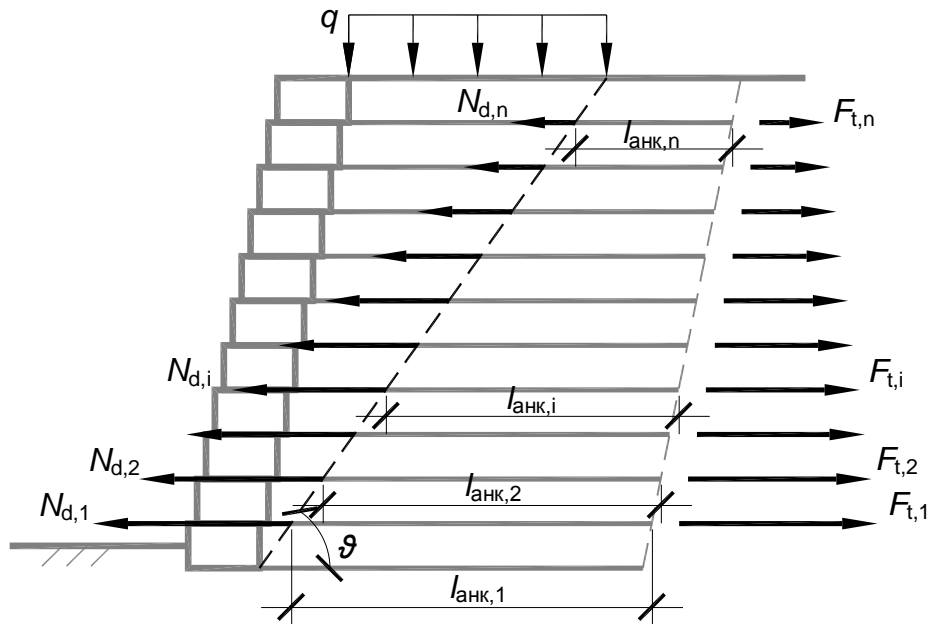


Рисунок 7.8 – Расчетная схема к проверке на выдергивание армирующих элементов

## 7.4 Несущая способность основания

7.4.1 Расчет несущей способности оснований следует выполнять по формуле в соответствии с положениями [5]:

$$F \leq \frac{\gamma_c \cdot F_u}{\gamma_n}, \quad (7.28)$$

где  $F$  – расчетная вертикальная нагрузка на основание, кН/м;

$F_u$  – расчетная сила предельного сопротивления основания, кН/м;

$\gamma_c, \gamma_n$  – коэффициенты условий работы и надежности по назначению сооружения [5].

7.4.2 Для увеличения несущей способности основания применяются: свайные конструкции; замена грунта; использование грунтовой подушки, в т. ч. армированной геосинтетическими материалами для снижения объема привозного грунта и другие подобные мероприятия.

## 7.5 Устойчивость положения армогрунтовой подпорной стены на сдвиг по поверхностям скольжения

7.5.1 Расчеты устойчивости следует производить с учетом анализа напряженно-деформированного состояния, с определением степени развития в основании областей пластических деформаций, а также путем определения наиболее вероятной опасной поверхности скольжения аналитическими или численными методами [10]. В численных методах за значение коэффициента устойчивости принимается число, на которое следует разделить исходные расчетные значения прочностных показателей грунта, чтобы часть грунтового массива перешла в состояние предельного равновесия (метод снижения прочности).

7.5.2 Аналитическая проверка общей устойчивости производится с использованием методов предельного равновесия, позволяющих раскрывать природную статическую неопределимость грунта, учитывающих силы межотсекового взаимодействия и решающих уравнения равновесия моментов и сил одновременно (*Моргенштерн-Прайса*, *Спенсера* и обобщённый метод *GLE*). В случае потери сходимости решения перечисленными методами допускается применение упрощенного метода *Бишопа*. Расчеты предпочтительно выполнять в специализированных программах с оптимизацией положения поверхности скольжения (алгоритм кукушки, метод имитации отжига и т.п.).

Примечание – Методы расчетов устойчивости и расчетные формулы приведены в [11].

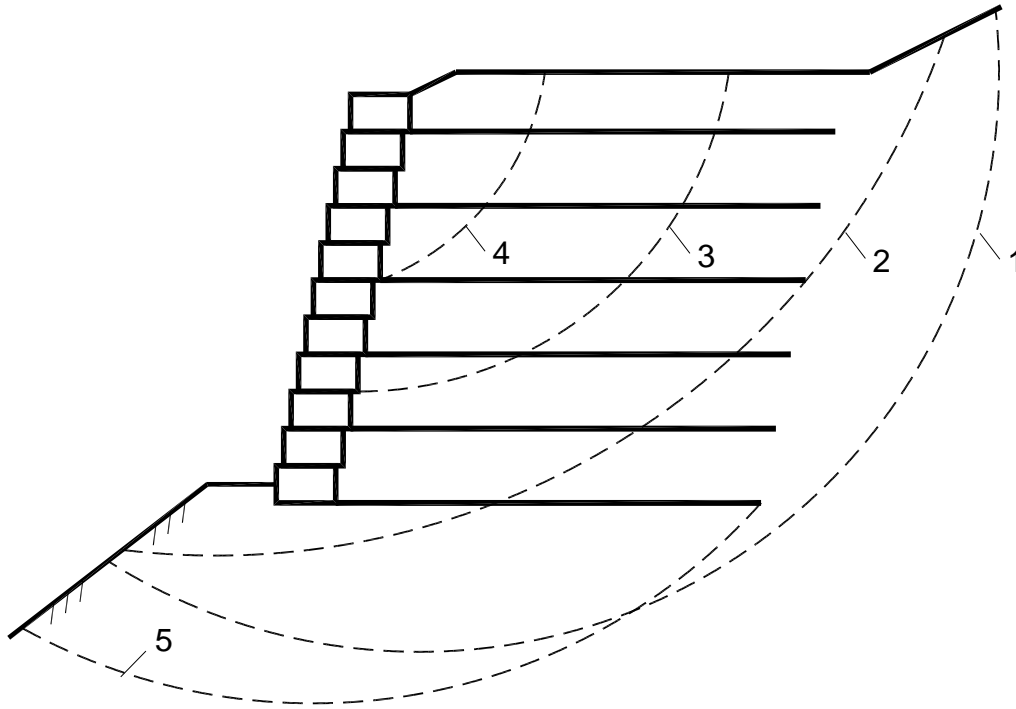
7.5.3 Расчетный коэффициент устойчивости  $K_{уст}$  следует находить как минимальное из всех значений, полученных для всех возможных поверхностей скольжения (рисунок 7.9). Коэффициент устойчивости должен быть не менее нормированного допустимого значению  $[K_{уст}]$ :

$$K_{уст} \leq [K_{уст}] \quad (7.29)$$

Нормированное допустимое значение коэффициента устойчивости следует определять по [12], но не менее  $[K_{уст}] = 1,2$  для основного сочетания нагрузок и  $[K_{уст}] = 1,1$  для особого сочетания нагрузок.

7.5.4 В случае, если поверхность обрушения проходит по линии 2 (рисунок 7.9), необходимо предусмотреть увеличение длины армирующих элементов для исключения этого расчетного случая так, чтобы поверхность обрушения не пересекала

армирующие элементы (по линии 1 на рисунке 7.9).



1 – общая устойчивость сооружения; 2 – общая устойчивость, с учетом внутренней прочности конструкции; 3, 4 – местная устойчивость;

5 – устойчивость основания

Рисунок 7.9 – Возможные поверхности скольжения при проверке устойчивости

7.5.5 Учитывая неоднозначность исходных данных (пиковый и остаточный угол трения, условия взаимодействия армирующих элементов с грунтом, зависимость давления от перемещений конструкции, характеристики грунта основания и др. факторы) рекомендуется выполнение вероятностной оценки устойчивости. Вероятностная оценка осуществляется путем задания исходных данных в виде нормального распределения и формирования расчетных данных методом Монте-Карло или гиперкуба. Далее производится расчет по всем возможным положениям поверхности скольжения (не только круглоцилиндрической, но и ломанной и комбинированной) и определение вероятности снижения коэффициента устойчивости до 1.

## 7.6 Учет сейсмических воздействий

7.6.1 На площадках с сейсмичностью 6 баллов и менее армогрунтовые подпорные стены следует проектировать без учета сейсмических воздействий, если иное не установлено в техническом задании на проектирование. Армогрунтовые подпорные стены, возводимые на площадках сейсмичностью 7 баллов и выше, сле-

дует проектировать в соответствии с [13]. Расчетная сейсмичность для расчетов на период эксплуатации должна приниматься соответствующей проектному землетрясению, если в задании на проектирование не указано иное.

Необходимость расчета армогрунтовых подпорных стен на период строительства и соответствующая расчетная сейсмичность должны указываться в задании на проектирование. При необходимости такого расчета и отсутствии сведений по расчетной сейсмичности допускается принимать значения сейсмических воздействий на период строительства на уровне 50 % сейсмических воздействий на период эксплуатации.

7.6.2 Проектирование армогрунтовых подпорных стен с учетом сейсмических воздействий следует выполнять на основе расчетов по предельным состояниям первой группы.

7.6.3 Расчет армогрунтовых подпорных стен с учетом сейсмического воздействия следует выполнять в рамках квазистатической задачи или в рамках динамической задачи с использованием акселерограмм землетрясений.

7.6.4 При использовании квазистатических расчетных схем ускорение грунта следует принимать как горизонтально направленным, так и с наклоном вектора сейсмического воздействия к горизонтальной плоскости под углом  $30^\circ$ .

7.6.5 При использовании квазистатических расчетных схем допускается принимать горизонтальное ускорение грунта равным произведению  $K_0 \cdot K_1 \cdot A$ . Сейсмическое ускорение грунта  $A$  устанавливается по расчетной сейсмичности площадки строительства, а коэффициент  $K_0$  - в зависимости от назначения подпорного сооружения и его ответственности в соответствии с [13]. Коэффициент  $K_1$ , учитывающий допускаемые повреждения подпорного сооружения, при отсутствии данных допускается принимать  $K_1 = 0,5$ .

7.6.6 При расчете армогрунтовых подпорных стен с учетом сейсмического воздействия допускается не учитывать коэффициент снижения прочности армирующих элементов от ползучести.

7.6.7 Использование в качестве оснований подпорных сооружений, возводимых в сейсмических районах, водонасыщенных грунтов, способных к динамическому разжижению, допускается только с предварительным проведением специальных мероприятий по улучшению строительных свойств грунтов основания. Возможность динамического разжижения водонасыщенного грунта оценивают в соответствии с ГОСТ Р 56353.

## 7.7 Вторая группа предельных состояний

7.6.1 Расчет по второй группе предельных состояний производится по двум критериям:

- допустимое удлинение армирующих элементов в процессе эксплуатации за счет деформаций ползучести;
- допустимая интенсивность осадки (консолидация) и ее неравномерность в продольном и поперечном профиле.

При расчете по второй группе предельных состояний все нагрузки учитываются с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1$ .

7.6.2 Учет ползучести армирующих элементов осуществляется с применением графиков ползучести, получаемых по результатам соответствующих испытаний. Удлинение материала  $\Delta\varepsilon$  во время строительства и эксплуатации определяется по формуле:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\text{длит}} - \varepsilon_{\text{расч}}, \quad (7.30)$$

где  $\varepsilon_{\text{длит}}$  – относительная деформация на момент завершения расчетного срока службы сооружения;

$\varepsilon_{\text{расч}}$  – относительная деформация на момент завершения строительства сооружения.

Удлинение материала определяется по соответствующим изохронным кривым (рисунок 7.10). В качестве расчетного растягивающего усилия принимается максимальное из полученных в расчете местной устойчивости при коэффициентах надежности, равных 1,0.

7.6.3 При выполнении численного расчета армирующий элемент должен задаваться в программах параметрами начальной (по стандартному испытанию) и длительной (на расчетный момент времени) осевой жесткостью, а также параметром вязкости.

7.6.4 Учет реологических свойств армирующих материалов определяется условием:

- $\Delta\varepsilon \leq 1\%$  – для сооружений нормального уровня ответственности;
- $\Delta\varepsilon \leq 0,5\%$  – для сооружений повышенного уровня ответственности.

Для выполнения указанного условия рекомендуется выбрать более прочный армирующий материал.

7.6.5 Расчет осадки основания и анализ напряженного состояния армирую-

щих элементов с целью проверки эксплуатационной надежности выполняются по общепринятым методикам. Для грунтов с показателем текучести более  $I_L > 0,5$  следует оценивать возможность их работы по закрытой схеме (недренированные условия) и проводить соответствующие расчеты консолидации или менять конструкцию основания (сваи с гибким ростверком, ленточные дрены с двухстадийным возведением).

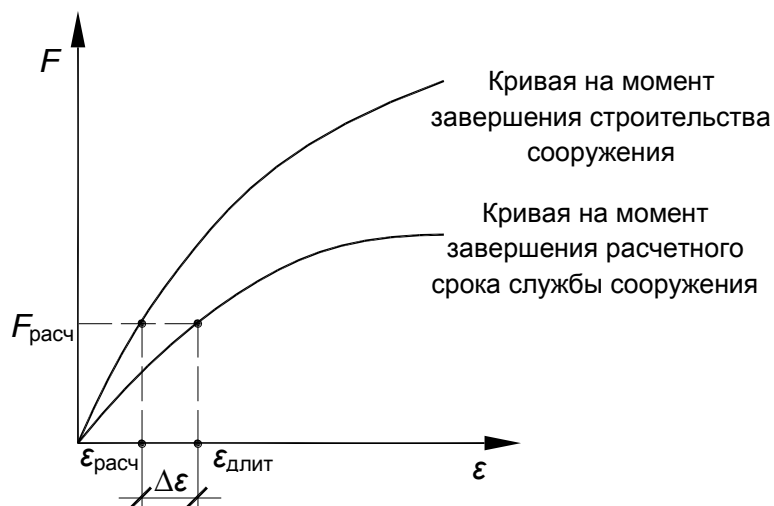


Рисунок 7.10 – Определение относительного удлинения при эксплуатации

## 7.8 Численное моделирование

7.7.1 Допускается выполнение численного моделирования с применением расчетных геотехнических комплексов, работающих на основе метода конечных элементов, которое позволяет определять деформации в процессе строительства и эксплуатации, а также оценивать поведение сооружения в целом, с учетом различных факторов влияния, в том числе технологии (последовательности) производства работ.

7.7.2 Решение о необходимости применения численного моделирования должно приниматься на основе анализа исходных данных. Исходные данные должны быть в необходимом и достаточном количестве для получения всех требуемых параметров моделей грунта.

7.7.3 Модель грунта для основания сооружения должна учитывать нелинейность модуля деформации (в зависимости от уровня напряжений) и начальное состояние грунта (давление предварительного уплотнения или структурная прочность), а также иметь в качестве входного параметра деформационную характеристику ветви разгрузки (или повторного нагружения), полученную в компрессионном или трех-

осном приборе. Следует использовать модели, имеющие поверхность текучести, ограничивающую область квазиупругого состояния (шатровые модели) и способные при смещении поверхности текучести учитывать упрочнение грунта. В качестве критерия прочности модели должен использоваться критерий Кулона-Мора.

7.7.4 В случае залегания слабых грунтов в основании необходимо учитывать недренированное поведение и изменения условий прочности в процессе консолидации. Нестабилизированное состояние грунтов следует оценивать на основе недренированного сопротивления сдвигу  $C_u$ , полученного из трехосных испытаний или полевыми методами. Стабилизированное состояние (после завершения процесса фильтрационной консолидации) следует оценивать на основе эффективных параметров прочности  $c'$  и  $\phi'$ , получаемых в результате трехосных испытаний (с учетом напряженного состояния) или в приборе одноплоскостного среза методом консолидированно-дренированного (медленного) среза.

7.7.5 Для грунта-заполнителя рекомендуется использование усовершенствованных моделей грунта, параметры которых задаются на основе трехосных испытаний с повторным нагружением. Модель грунта должна учитывать воздействие уплотняющей техники, изменение прочностных характеристик в зависимости от степени уплотнения; иметь гиперболическую (или иную нелинейную) зависимость между напряжениями и деформациями, а также иметь в качестве входных параметров поведение образца при сдвиге и корректно описывать область малых деформаций.

7.7.6 Для оценки деформаций облицовочной системы необходимо задавать параметры контактного взаимодействия между блоками, а также между грунтом и армирующими элементами по результатам испытаний.

## **8 Технология производства работ и контроль качества**

8.1 Организацию и производство работ по устройству армогрунтовых подпорных стен следует выполнять с учетом требований ГОСТ 32867, ГОСТ 32731, ГОСТ 32756, ГОСТ 32755, а также [14].

8.2 Армогрунтовые подпорные стены возводят послойно с укладкой армирующих элементов, установкой элементов облицовки, размещением, выравниванием и уплотнением грунта-заполнителя на каждом этапе.

Допускается возведение армогрунтовых подпорных стен в две стадии. Первая стадия предполагает строительство армогрунтового откоса (крутизной до 85°)

без облицовки. В качестве мероприятий по обеспечению ускорения сроков консолидации и завершения процесса стабилизации слабого основания рекомендуется применение ленточных дренажей, текстильно-песчаных свай и других методов вертикального дренирования или искусственного улучшения свойств грунтов. Вторая стадия включает устройство облицовочной системы с креплением ее к армогрунтовому сооружению. Проектирование таких конструкций должно обосновываться соответствующими расчетами для каждой стадии и промежуточных состояний, с использованием соответствующих методик, позволяющих оценивать влияние принятых дополнительных мероприятий или конструкций на работу сооружения.

8.3 При возведении армогрунтовых подпорных стен следует проверять на соответствие проектным данным следующие параметры:

- тип применяемого грунта-заполнителя, элементов облицовки, армирующих элементов, их номенклатура или размеры, их прочностные и деформационные характеристики, наличие сопроводительных документов (входной контроль);

- размещение элементов облицовки и армирующих элементов в плане и по высоте, толщина и коэффициент уплотнения слоев грунта-заполнителя, качество укладки и соединения, отсутствие повреждений армирующих элементов, контроль качества антикоррозионной защиты (операционный и приемочный контроль для каждого яруса армирования с оформлением актов на скрытые работы);

- прочностные и деформационные характеристики грунта-заполнителя и армированного грунта (при необходимости).

Армирующие элементы и элементы облицовки следует визуально проверять на наличие механических повреждений (трещины, сколы, заломы, расслоения, разрывы), следов химических или термических повреждений [3]. Для грунта-заполнителя следует проверять влажность, отсутствие негабаритных включений, строительного мусора, а также снега и льда.

8.4 Длительное хранение армирующих элементов, предполагающее попадание на них солнечного света, не допускается. Для защиты армирующих элементов от солнечного света следует предусматривать их укрывание непрозрачными материалами.

8.5 Нижние ряды элементов облицовки следует укладывать на фундаменты, подготовку из инертных материалов, бетона или на подготовленное естественное основание. При укладке панелей и блоков верхнюю грань нижележащих рядов следует очищать от мусора и грязи щетками

8.6 Каждый ряд элементов облицовки следует проверять на ровность уклад-

ки в соответствии с проектом. Через каждый метр по высоте облицовки следует проверять направление оси и угол наклона. Корректировку положения отдельных панелей и блоков следует выполнять с использованием подкладок.

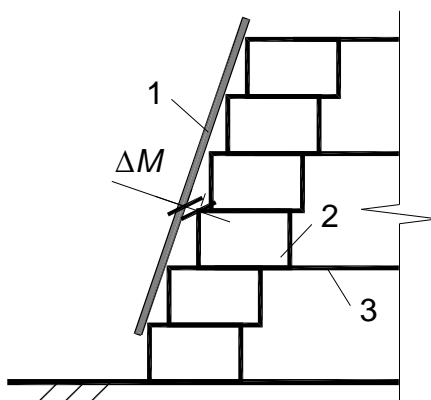
8.7 Для уплотнения швов в облицовках из панелей рекомендуется применять прокладки в виде пенополиуретановых полос или иных материалов, которые способствуют более равномерному распределению напряжений и уменьшают вероятность повреждения панелей при чрезмерных боковых нагрузках.

8.7 Рекомендуемые допуски при возведении облицовок армогрунтовых подпорных стен представлены в таблице 8.1.

8.9 Армирующие элементы следует укладывать на подготовленную (выровненную и уплотненную) поверхность, выравнивать и соединять между собой и с облицовкой.

Т а б л и ц а 8.1 – Рекомендуемые допуски при возведении облицовок армогрунтовых подпорных стен

Контролируемый параметр	Величина допуска
Отклонение положения плоскости облицовки в плане	$\pm 50$ мм
Отклонение плоскости облицовки по вертикали	$\pm 5$ мм на 1 м высоты ( $\pm 0,005$ )
Местный выгиб (прогиб) облицовки в вертикальной/горизонтальной плоскости, $\Delta M$ (измерение выполняется мерной рейкой длиной 4 м приложенной к любому произвольно выбранному участку облицовки, см. рисунок 8.1)	$\pm 25$ мм



1 – рейка; 2 – облицовочный блок; 3 – армирующий элемент

Рисунок 8.1 – Измерение местного выгиба (прогиба) облицовки

8.10 При укладке армирующих элементов обычно требуется их предварительное натяжение. Натяжение рекомендуется фиксировать «п»-образными шпильками из гладкой арматурной стали или отсыпкой грунта. Натяжение и фиксация уменьшают возможность горизонтального смещения элементов облицовки при последующем производстве работ. Рекомендуется устройство небольшой траншеи для последующего натяжения армирующих элементов в процессе отсыпки следующего слоя.

8.11 При возникновении препятствий в виде инженерных сетей, подземных сооружений, скальных глыб по согласованию с авторами проекта допускается сдвигать армирующие элементы в вертикальном и/или горизонтальном направлении или вырезать в них отверстия (см. 6.3).

8.12 Перед отсыпкой грунта-заполнителя следует проверять надежность фиксации соединений, отсутствие волн и складок, дефектов армирующих элементов.

8.13 Толщину слоев отсыпки следует назначать кратно вертикальному шагу армирующих элементов исходя из характеристик уплотняющих механизмов и количества проходов уплотнения для достижения требуемого коэффициента уплотнения.

8.14 Укладку, распределение и уплотнение грунта-заполнителя следует выполнять параллельно облицовке, при этом все транспортные средства и строительные механизмы, имеющие массу более 1300 кг, при работе должны располагаться на расстоянии более 2 м от облицовки. Уплотнение грунта-заполнителя на расстоянии менее 2 м от облицовки следует выполнять:

- вибротрамбовщиком;
- виброплитой массой не более 1000 кг;
- вибрационным катком, имеющим относительную массу не более 1300 кг на 1 м ширины и полную массу не более 1500 кг.

Коэффициент уплотнения грунта-заполнителя следует предусматривать не менее  $K_y = 0,95$ . Влажность грунта-заполнителя должна быть оптимальной, или не более чем на 2 % ниже оптимальной.

8.15 Особое внимание следует уделять целостности армирующих элементов и элементов облицовки во время отсыпки, разравнивания и уплотнения грунта-заполнителя. Проезд транспортных средств и механизмов допускается при толщине слоя отсыпки грунта-заполнителя над армирующими элементами не менее 200 мм. Проезд транспортных средств и механизмов непосредственно по армирующим элементам не допускается.

8.16 По окончании рабочей смены следует так выравнять и уплотнять грунт-заполнитель, чтобы его поверхность имела подъем от 2 % до 4 % в сторону от облицовки, после чего укрывать водонепроницаемым материалом для предотвращения инфильтрации воды в армированный грунт при выпадении атмосферных осадков.

## 9 Мониторинг

9.1 Основной целью геотехнического мониторинга армогрунтовых подпорных стен является обеспечение надежности и безопасности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Геотехнический мониторинг также может выполняться для сбора данных о фактической работе армогрунтовых подпорных стен с целью последующей оптимизации проектных решений.

9.2 Геотехнический мониторинг армогрунтовых подпорных стен следует выполнять:

- в период строительства, а также в течение первого года после ввода сооружения в эксплуатацию;
- в сложных для строительства и эксплуатации армогрунтовых подпорных стен условиях;
- при приложении значительных нагрузок на сооружение или непосредственно за ним;
- при наличии в зоне влияния чувствительных к перемещениям существующих или вновь возводимых зданий и сооружений;
- при производстве строительно-монтажных работ в непосредственной близости от армогрунтовых подпорных стен;
- после имевших место аварий или нештатных ситуаций, развития чрезмерных деформаций, а также при отсутствии стабилизации технического состояния армогрунтовых подпорных стен;

**Примечание** – Стабилизацией следует считать отсутствие изменений контролируемых параметров в течение не менее трех месяцев с момента затухания деформаций. Активизация возникает при превышении получаемых значений напряжений или деформаций по сравнению с предыдущими значениями более чем на величину точности измерений.

- при отсутствии опыта строительства и эксплуатации армогрунтовых подпорных стен в регионе.

9.3 Геотехнический мониторинг следует осуществлять с учетом [5]. Методика геотехнического мониторинга должна быть увязана с требованиями ГОСТ 24846, [15].

9.4 Геотехнический мониторинг армогрунтовых подпорных стен включает в себя:

- разработку программы геотехнического мониторинга;
- установку геотехнического оборудования и выполнение измерений;
- обработку и анализ полученных результатов наблюдений.

9.5 В программу геотехнического мониторинга армогрунтовых подпорных стен следует включать следующие материалы:

- общие сведения об объекте геотехнического мониторинга;
- инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительства;
- сведения о зданиях и сооружениях окружающей застройки (уровни ответственности, прогнозируемые и предельные значения деформаций от влияния нового строительства, предполагаемые защитные мероприятия и т. д.);
- конструктивные и технологические решения объекта мониторинга;
- контролируемые параметры, требования к точности измерений, методы, состав, сроки и объем наблюдений;

*Примечание* – Объем наблюдений в период строительства, предусмотренный программой геотехнического мониторинга, может быть изменен с учетом изменения условий на площадке, состояния конструкций строящихся и эксплуатируемых сооружений.

– критериальные показатели сооружений, в том числе опасных для них склоновых процессов (оползни, обвалы, сели и т. д.);

*Примечание* – Критериальные показатели – это пороговые и предельные значения контролируемых параметров объектов геотехнического мониторинга. Критериальные показатели назначаются проектной организацией, или, при их отсутствии – организацией, выполняющей работы по геотехническому мониторингу.

– перечень применяемого оборудования, его расположение, технические и конструктивные параметры (диапазон измерений, точность и т. д.);

– требования к камеральной обработке и хранению результатов геотехнического мониторинга, а также перечень и порядок предоставления отчетной документации заказчику и заинтересованным лицам;

- сведения по охране труда.

9.6 Состав, объем и периодичность работ в рамках геотехнического монито-

ринга армогрунтовых подпорных стен следует назначать с учетом:

- категории защищаемой автомобильной дороги;
- категории сложности инженерно-геологических условий.

Периодичность наблюдений контролируемых параметров увязывается с графиком проведения строительно-монтажных работ и корректируется по факту в зависимости от получаемых результатов измерения контролируемых параметров. Внеплановые наблюдения рекомендуется выполнять в случаях, если конструкции испытывают воздействия опасных склоновых процессов (оползни, сели, обвалы), взрывных работ, а также землетрясений (интенсивностью 7 баллов и более по шкале *MSK-64*).

9.7 Геотехнический мониторинг армогрунтовых подпорных стен может предусматривать выполнение следующих видов наблюдений:

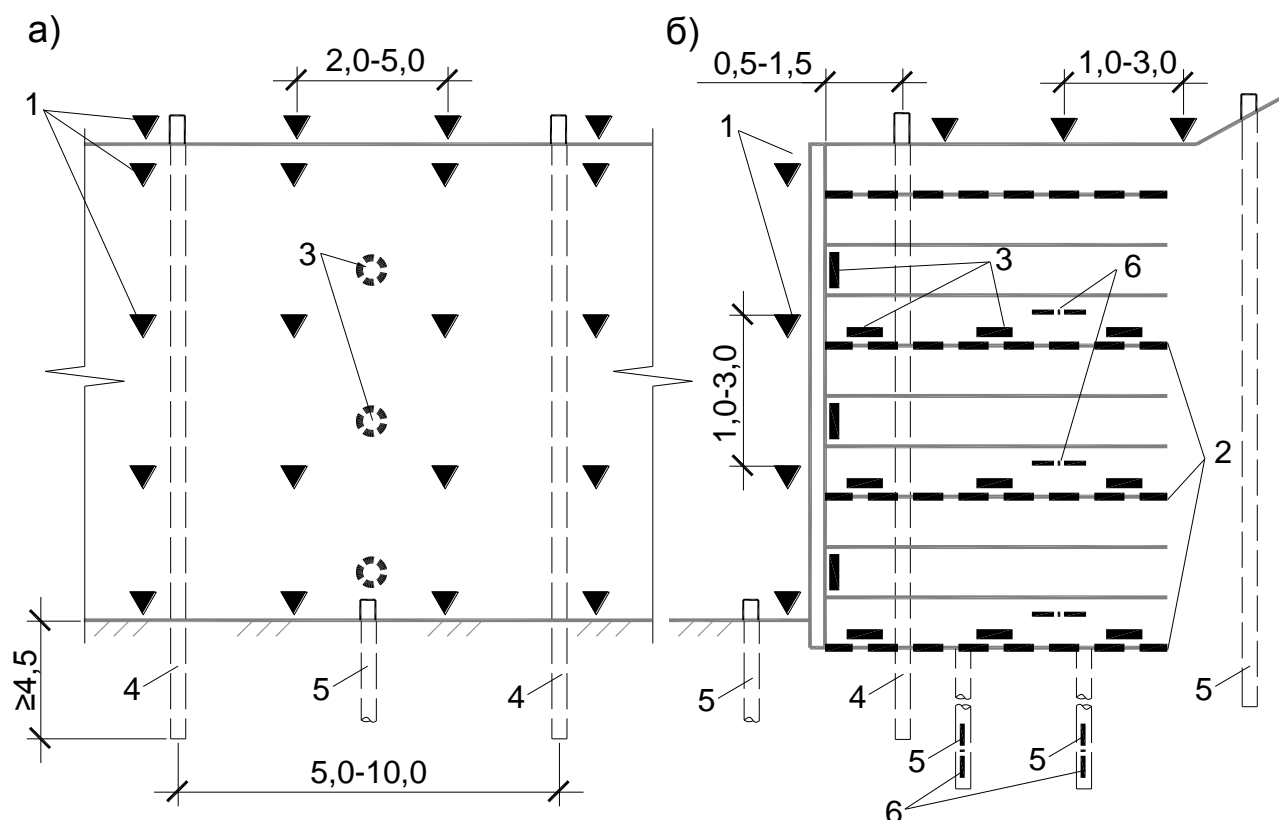
- визуальных;
- геодезических;
- тензометрических;
- инклинометрических и экстензометрических;
- гидрогеологических;
- геофизических.

Пример состава и расположения оборудования для геотехнического мониторинга армогрунтовой подпорной стены приведен на рисунке 9.1.

9.8 Для армогрунтовых подпорных стен, расположенных на участках автомобильных дорог III, IV и V категории, геотехнический мониторинг допускается осуществлять в рамках визуальных и геодезических наблюдений. Для сооружений, расположенных на участках автомобильных дорог I и II категории, а также в сложных инженерно-геологических условиях (III категория сложности), рекомендуется дополнительно производить тензометрические, инклинометрические и экстензометрические, гидрогеологические, геофизические наблюдения. Кроме того, инклинометрические и экстензометрические наблюдения рекомендуются к проведению для высоких (более 15 м) сооружений, а также при значительных прогнозируемых осадках сооружений. Гидрогеологические и геофизические наблюдения особенно рекомендуются к проведению в сложных гидрогеологических условиях, а также для контроля процессов консолидации водонасыщенных грунтов в основании сооружений.

9.9 Задачей визуальных наблюдений является фиксация дефектов и деформаций по внешним признакам. При визуальных наблюдениях выполняются следующие виды работ:

- обнаружение и фотофиксация дефектов и деформаций;
- измерение выявленных деформаций;
- описание и занесение в реестр (ведомости, полевые журналы и т. д.).



а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению

1 – геодезическая марка; 2 – армирующий элемент, оборудованный датчиками напряжения; 3 – датчик давления; 4 – инклинометрическая или экстензометрическая скважина; 5 – гидрогеологическая скважина для контроля уровня грунтовых вод или измерения порового давления воды в грунте; 6 – пьезометр

(размеры даны в метрах)

Рисунок 9.1 – Пример схемы расположения оборудования для геотехнического мониторинга

9.10 В рамках визуальных наблюдений следует осуществлять оценку общего состояния сооружения и прилегающих участков, при этом особое внимание следует уделить появлению трещин в грунте над верхней бровкой сооружения, а также состоянию поверхности облицовки и функционированию дренажной системы. При обнаружении в ходе визуальных наблюдений дефектов и деформаций рекомендуется выполнять их замер, описание и фотофиксацию. При наличии трещин в облицовке следует зафиксировать их местоположение, характер распространения, ширину рас-

крытия. При ширине трещины более 1 мм необходимо измерять её глубину. Ширину раскрытия трещин требуется измерять в местах их максимального раскрытия на уровне арматуры растянутой зоны конструкции. Для контроля развития трещин следует использовать измерительные или фиксирующие устройства, прикрепляемые к обеим сторонам трещины: маяки, трещиномеры и т. д., рядом с которыми проставляются их номера и дата установки. Следует также контролировать перемещения грунта непосредственно перед сооружением с целью ранней фиксации выпора грунта. Визуальные наблюдения рекомендуется выполнять с периодичностью не реже одного раза в неделю.

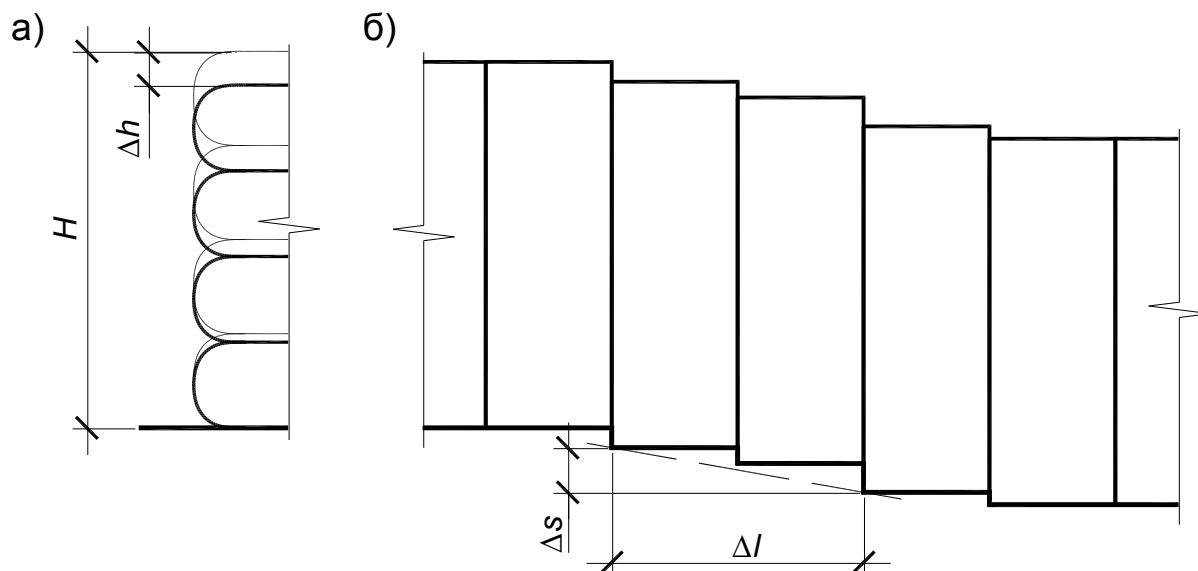
9.11 В рамках геодезических наблюдений выполняется контроль планово-высотного положения точек армогрунтовых подпорных стен и прилегающего участка с фиксацией величины и скорости развития их перемещений во времени. Поскольку высота армогрунтовых подпорных стен, а также сжимаемость их основания часто отличаются в разных сечениях, следует контролировать относительную вертикальную осадку (отношение вертикальной осадки к высоте сооружения до осадки  $\Delta h / H$ , рисунок 9.2, а) и неравномерность осадки по длине сооружения (отношение максимальной разности осадок к длине участка  $\Delta s / \Delta l$ , рисунок 9.2. б). Как правило, геодезические наблюдения осуществляются с применением геодезических марок или датчиков спутниковых систем навигации, монтируемых на конструкциях сооружения.

9.12 Объем и периодичность геодезических наблюдений определяется в зависимости от категории защищаемого участка автомобильной дороги, сложности инженерно-геологических условий и процессов, а также скорости развития деформаций. Для автомобильных дорог I и II категории и отсутствии деформаций геодезические наблюдения рекомендуется выполнять с периодичностью не реже двух раз в месяц, III, IV и V категории – не реже одного раза в месяц. При фиксации перемещений геодезические наблюдения рекомендуется выполнять с периодичностью от двух раз в неделю до ежедневных. В случае возникновения критических перемещений допускается проведение непрерывных наблюдений.

9.13 Методика геодезических наблюдений определяется в зависимости от инженерно-геологических условий и необходимого класса точности измерений. Подробные описания геодезических методов наблюдений представлены в ГОСТ 24846. Точность измерений при геодезических наблюдениях определяется в зависимости от ожидаемых величин перемещений, установленных проектом.

9.14 Тензометрические наблюдения выполняются в целях контроля напряжения деформированного состояния конструкций армогрунтовых подпорных

стен. Тензометрические наблюдения, как правило, осуществляются датчиками напряжений и датчиками давления.



- а – определение относительной осадки (поперечное сечение сооружения);  
б – определение неравномерности осадки (фасад сооружения)

Рисунок 9.2 – Определение относительной осадки и неравномерности осадки

9.15 Датчиками напряжений следует оборудовать основные несущие элементы армогрунтовых подпорных стен, при необходимости также и конструкции облицовки. Датчики напряжений обычно закрепляются на армирующих элементах и позволяют оценить распределение напряжений по ярусам армирования и по их длине. Рекомендуется осуществлять монтаж датчиков парами (сверху и снизу). Датчики обычно располагают с шагом не более 1,5 м по длине армирующего элемента. Расстояния от облицовки до первого датчика и от последнего датчика до кромки армирующего элемента – не более 1 м.

9.16 Датчики давления обычно располагают вертикально за облицовкой сооружения и горизонтально на отдельных ярусах армирования. Датчики давления позволяют получать информацию о фактических усилиях, передаваемых на облицовку, а также распределения вертикальных нагрузок по глубине, в том числе в основании армогрунтовой подпорной стены.

9.17 Инклинометрические и экстензометрические наблюдения выполняются с целью фиксации соответственно горизонтальных и вертикальных перемещений на разных глубинах в армированном массиве и естественном основании. Инклинометрические и экстензометрические наблюдения выполняются путем проведения измерений в скважинах, располагаемых в теле армированного массива обычно с шагом

от 5 до 10 м вдоль сооружения и на расстоянии от 0,5 до 1,5 м (при типичном однорядном расположении). При необходимости дополнительные ряды скважин могут предусматриваться на расстоянии до  $2H$  от фасада сооружения.

9.18 Гидрогеологические наблюдения выполняются с целью контроля уровня грунтовых вод и величины порового давления воды непосредственно в армированном грунте, а также в прилегающем грунтовом массиве. Контроль уровня грунтовых вод следует выполнять в гидрогеологических скважинах, располагая их, главным образом по контуру сооружения. Контроль величины порового давления следует выполнять с применением пьезометров, размещая их непосредственно в армированном грунте, а также в скважинах в основании сооружения.

9.19 Геодезические, тензометрические, инклинометрические и экстензометрические, гидрогеологические наблюдения при соответствующем обосновании могут выполняться в непрерывном режиме. Наблюдения в непрерывном режиме рекомендуется производить для сложных, ответственных и труднодоступных участков, а также в случаях возникновения угрозы разрушения конструкций.

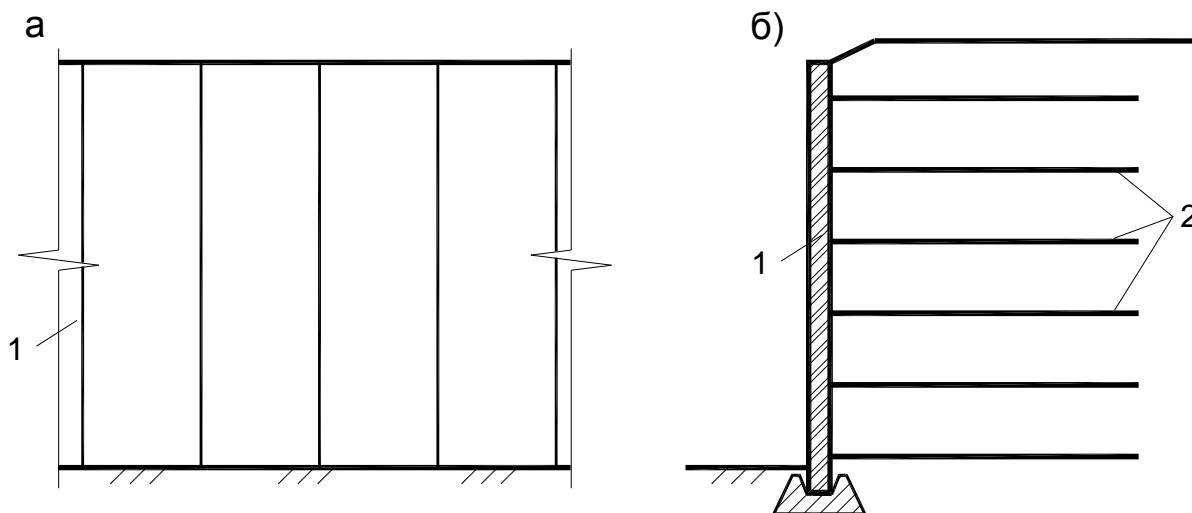
9.20 Геофизические наблюдения следует осуществлять для контроля обводнения армированного массива, оценки эффективности работы дренажной системы [15].

9.21 В процессе геотехнического мониторинга следует выполнять камеральную обработку и комплексный анализ полученных материалов, на основании которого оценивается работоспособность армогрунтовых подпорных стен. Камеральную обработку и комплексный анализ результатов геотехнического мониторинга рекомендуется осуществлять в соответствии с положениями ГОСТ 24846, [5].

9.22 По результатам камеральной обработки и комплексного анализа результатов геотехнического мониторинга составляется отчетная документация.

## Приложение А (справочное) Виды облицовок

А.1 Облицовка из панелей на всю высоту сооружения (рисунок А.1).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы

а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению

Рисунок А.1 – Облицовка из панелей на всю высоту сооружения

Тип: жесткая.

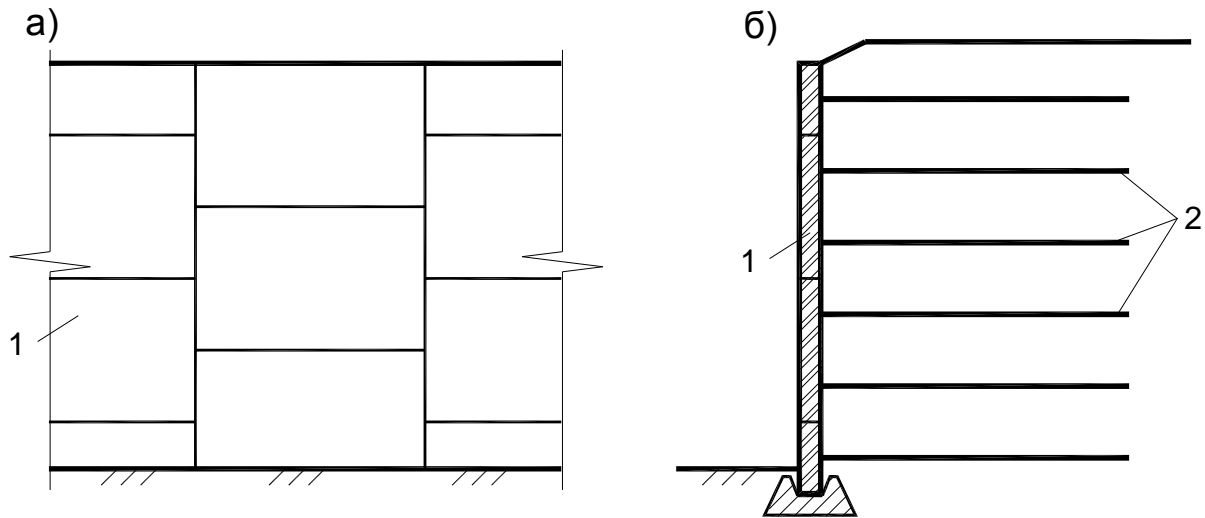
Область применения: вертикальные армогрунтовые подпорные стены высотой до 6 м, прямые и криволинейные в плане (для прямолинейных в плане допускается незначительный наклон).

Допуски: неравномерность осадки  $\leq 0,005$ ; относительная вертикальная осадка  $\approx 0,01$ .

Особенности:

- относительно большая высота панелей по отношению к их ширине обуславливает высокую чувствительность к неравномерным осадкам;
- размеры панелей обуславливают малое количество стыков и технологичность при монтаже;
- фиксированная высота панелей ограничивает область применения.

А.2 Облицовка из панелей (рисунок А.2).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы  
а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению

Рисунок А.2 – Облицовка из панелей

Тип: жесткая.

Область применения: вертикальные или ступенчатые армогрунтовые подпорные стены, прямые и криволинейные в плане (для прямолинейных в плане допускается незначительный наклон).

Допуски: неравномерность осадки  $\approx 0,01$ ; относительная вертикальная осадка  $\approx 0,01$ .

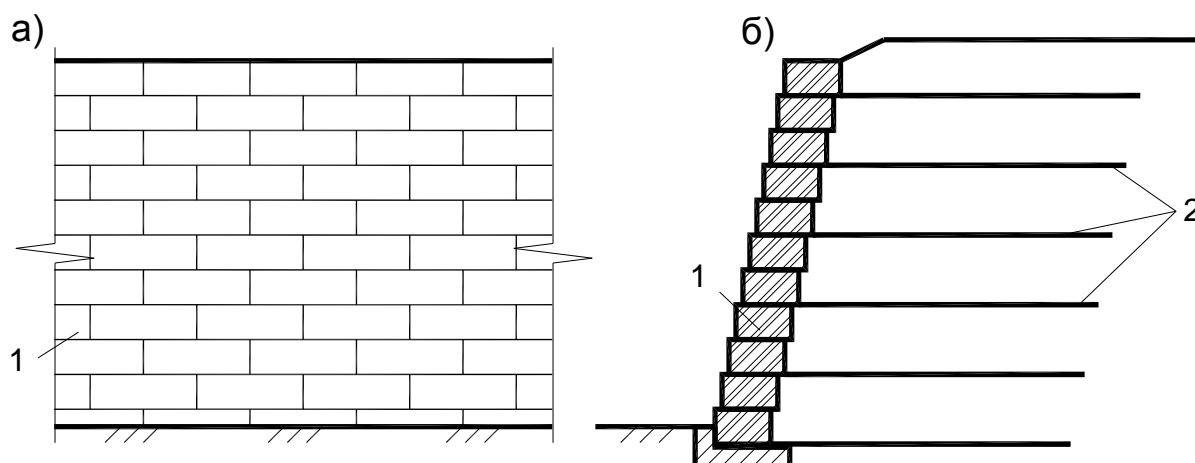
Особенности:

– сравнительно низкая чувствительность к неравномерным осадкам в продольном и поперечном направлении;

– панели могут иметь различную конфигурацию (прямоугольную, квадратную, ромбовидную, Т-образную, П-образную и др.);

– панели могут монтироваться горизонтальными рядами или в шахматном порядке (что позволяет избежать временного закрепления в процессе монтажа).

А.3 Облицовка из блоков крупных и мелкоштучных (рисунок А.3).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы

а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению

Рисунок А.3 – Облицовка из блоков крупных и мелкоштучных

Тип: жесткая.

Область применения: вертикальные, наклонные или ступенчатые армогрунтовые подпорные стены, прямые и криволинейные в плане.

Допуски: неравномерность осадки  $\approx 0,005$ ; относительная вертикальная осадка  $\approx 0$ .

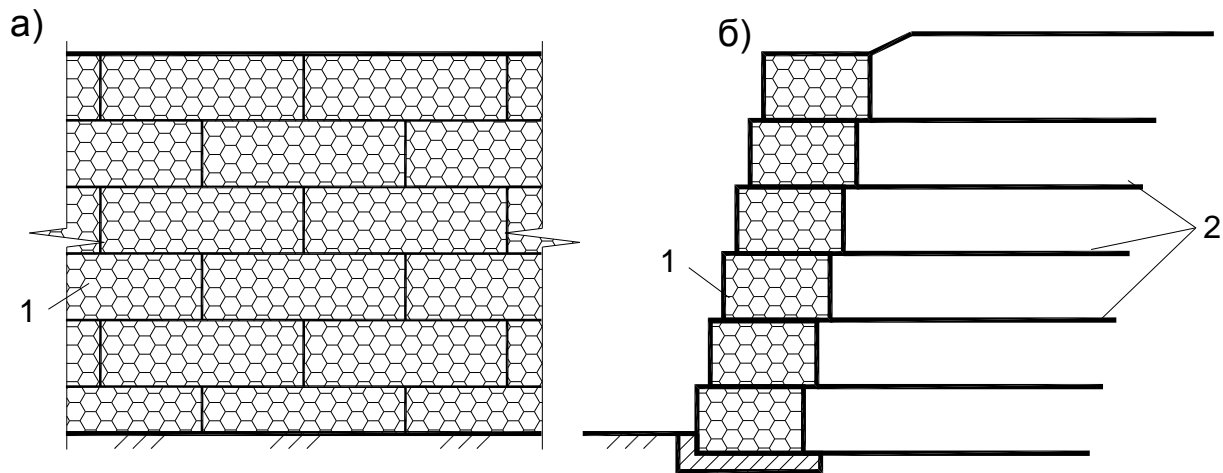
Особенности:

– могут применяться блоки крупные и мелкоштучные, полнотелые и пустотелые;

– укладка обычно осуществляется с перевязкой рядов, при этом армирующие элементы зажимаются между рядами блоков (возможна дополнительная фиксация шпильками в полостях блоков) или крепятся к закладным выпускам;

– в качестве заполнителя пустотелых блоков могут применяться песчаные, гравийные и щебеночные материалы, их смеси, а также строительные растворы и бетонные смеси.

А.4 Облицовка из габионов (рисунок А.4).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы  
а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению

Рисунок А.4 – Облицовка из габионов

Тип: полужесткая.

Основная область применения: вертикальные или ступенчатые армогрунтовые подпорные стены, прямые и криволинейные в плане.

Допуски: неравномерность осадки  $\approx 0,02$ ; относительная вертикальная осадка  $\approx 0,05$ .

Особенности:

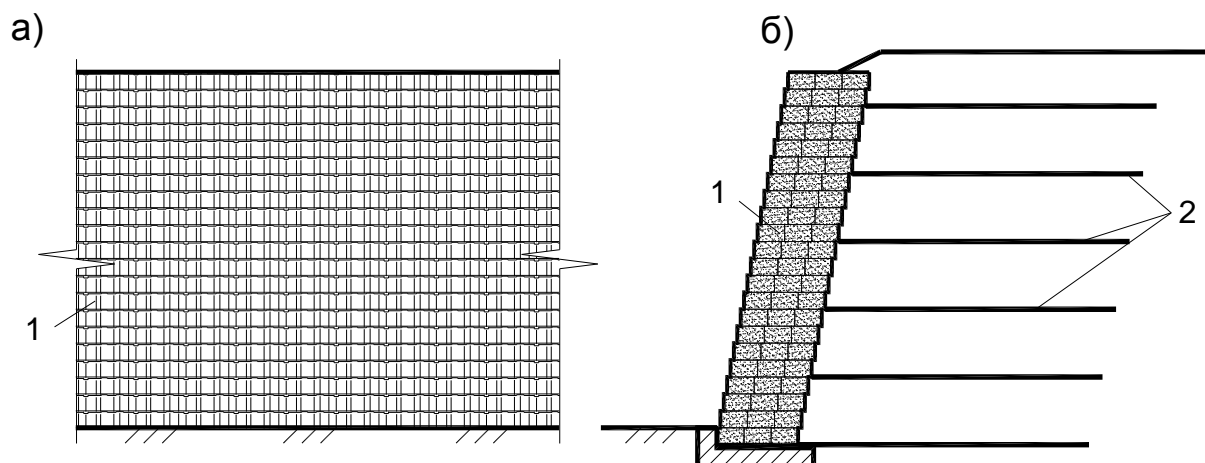
– сравнительно высокая гибкость в продольном и поперечном направлении, что обуславливает низкую чувствительность к неравномерности осадки;

– изделия из сетки для габионных конструкций должны соответствовать ГОСТ Р 52132;

– выбор заполнителя габионов следует осуществлять в соответствии с [16];

– между армированным грунтом и габионом рекомендуется предусматривать устройство обратного фильтра.

А.5 Облицовка из геосотового материала (рисунок А.5).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы  
а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению  
Рисунок А.5 – Облицовка из геосотового материала

Тип: полужесткая.

Основная область применения: вертикальные, наклонные или ступенчатые армогрунтовые подпорные стены, прямые и криволинейные в плане.

Допуски: неравномерность осадки  $\approx 0,02$ ; относительная вертикальная осадка  $\approx 0,05$ .

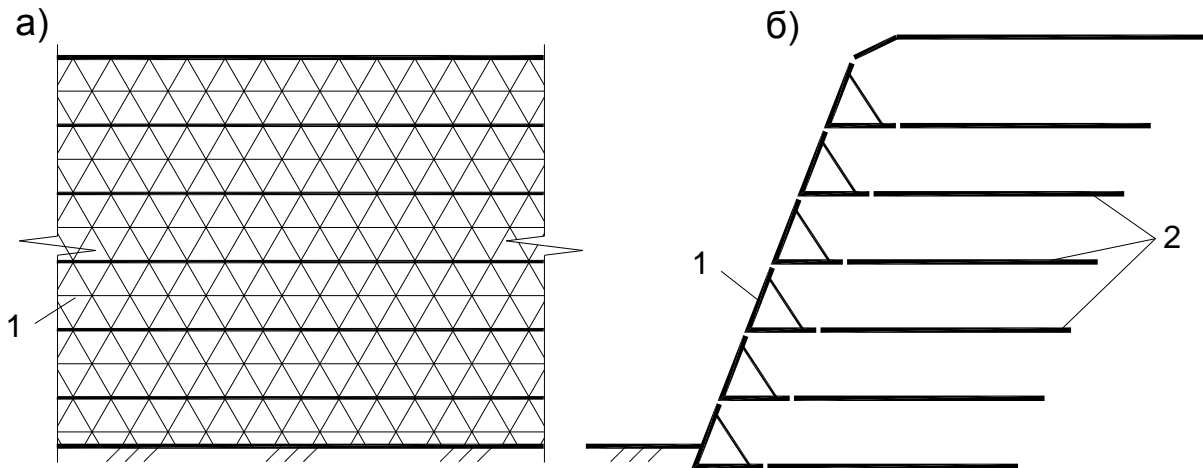
Особенности:

– сравнительно высокая гибкость в продольном и поперечном направлении, что обуславливает низкую чувствительность к неравномерности осадки;

– в качестве заполнителя ячеек геосотового материала могут применяться песчаные, гравийные и щебеночные материалы, их смеси, а также строительные растворы и бетонные смеси;

– при необходимости обеспечения антивандальной защиты таких облицовок не менее одного внешнего ряда ячеек следует заполнять строительными растворами и бетонными смесями.

А.6 Облицовка каркасная (рисунок А.6).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы  
 а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению  
 Рисунок А.6 – Облицовка каркасная

Тип: полужесткая.

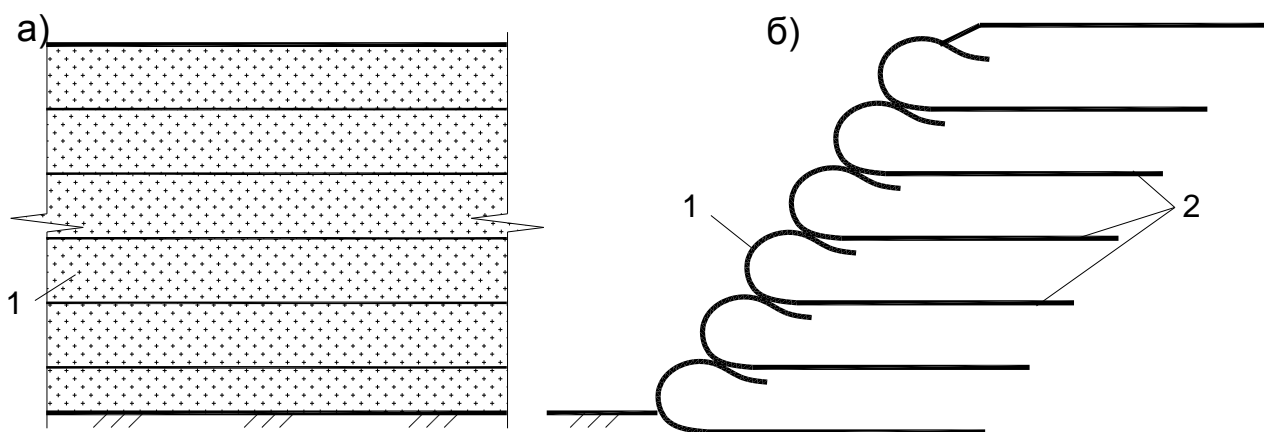
Область применения: вертикальные, наклонные или ступенчатые армогрунтовые подпорные стены, прямые и криволинейные в плане; наклонные – часто с последующим озеленением.

Допуски: неравномерность осадки  $\approx 0,02$ ; относительная вертикальная осадка  $\approx 0,05$ .

Особенности:

- сравнительно высокая гибкость в продольном и поперечном направлении, что обуславливает низкую чувствительность к неравномерности осадки
- фасад образуется с применением формообразующих каркасов;
- с внутренней стороны каркасы могут обычно выстилаться геотекстилем, а также заполняться камнем, в этом случае между армированным грунтом и заполнителем рекомендуется предусматривать устройство обратного фильтра.

А.7 Облицовка, устроенная по методу обертывания (рисунок А.7).



1 – облицовка; 2 – армирующие элементы  
а – фасад сооружения; б – разрез по сооружению

Рисунок А.7 – Облицовка бескаркасная, устроенная по методу обертывания

Тип: гибкая.

Основная область применения: наклонные армогрунтовые подпорные стены (до 85°), обычно с последующим озеленением, вертикальные армогрунтовые подпорные стены с ненесущей облицовкой.

Допуски: неравномерность осадки  $\approx 0,05$ ; относительная вертикальная осадка  $\geq 0,1$ .

Особенности:

- очень высокая гибкость в продольном и поперечном направлении, что обуславливает крайне низкую чувствительность к неравномерности осадки;
- сложность выдерживания геометрических параметров при возведении.

## Приложение Б (справочное)

### Пример расчета армогрунтовой подпорной стены

#### Б.1 Исходные данные

Б.1.1 Необходимо запроектировать армогрунтовую подпорную стену с вертикальной облицовкой высотой  $H = 4$  м. По верху сооружения предполагается нагрузка  $q = 10$  кПа.

Б.1.2 По результатам проведенных инженерно-геологических изысканий получены следующие характеристики грунта основания:

- удельный вес грунта основания –  $\gamma_{\text{осн}} = 20$  кН/м<sup>3</sup>;
- угол внутреннего трения грунта основания –  $\varphi_{\text{осн}} = 25^\circ$ ;
- удельное сцепление грунта основания –  $c_{\text{осн}} = 15$  кПа.

Б.1.3 Исходя из наличия местных строительных материалов, в качестве грунта-заполнителя и засыпки предполагается применение песка средней крупности со следующими характеристиками:

- удельный вес –  $\gamma_3 = \gamma_{\text{зап}} = 20$  кН/м<sup>3</sup>;
- угол внутреннего трения –  $\varphi_3 = \varphi_{\text{зап}} = 30^\circ$ ;
- удельное сцепление –  $c_3 = c_{\text{зап}} = 0$  кПа;

Грунт за пределами армогрунтовой подпорной стены имеет такие же характеристики, как и грунт-заполнитель.

Б.1.4 Исходя из архитектурных требований предпочтительно применение жесткой облицовки из блоков. Принята облицовка из блоков со следующих характеристиками:

- высота  $h_{\text{бл}} = 0,4$  м и ширина  $b_{\text{бл}} = 0,5$  м;
- удельный вес  $\gamma_{\text{обл}} = 20$  кН/м<sup>3</sup>.
- угол трения между блоками –  $\delta_{\text{бл}} = 45^\circ$ ; упорный элемент отсутствует  $R_{\text{бл}}=0$ .

Б.1.5 В качестве армирующих элементов принят геосинтетический материал с длительной прочностью  $F_{\text{дл}}=46$  кН/м.

#### Б.2 Назначение начальных параметров сооружения

Б.2.1 В соответствии с положениями подраздела 6.2 выполнено назначение основных конструктивных параметров сооружения. Предварительно принято постоянное по длине армирование. В соответствии с таблицей 6.1 длину армирования следует принимать с учетом условия  $L_{\text{арм}} \geq 0,7H$ , но не менее 3 м. Так как

ГОСТ Р (проект, доработанная редакция)

$L_{арм} \geq 0,7H = 0,7 \cdot 4 = 2,8$  м, принято  $L_{арм} = 3,0$  м. Вертикальный шаг армирования принят  $h_{арм} = 0,8$  м.

Б.2.2 Таким образом, расчет армогрунтовой подпорной стены выполняем в соответствии со схемой, приведенной на рисунке Б.1.

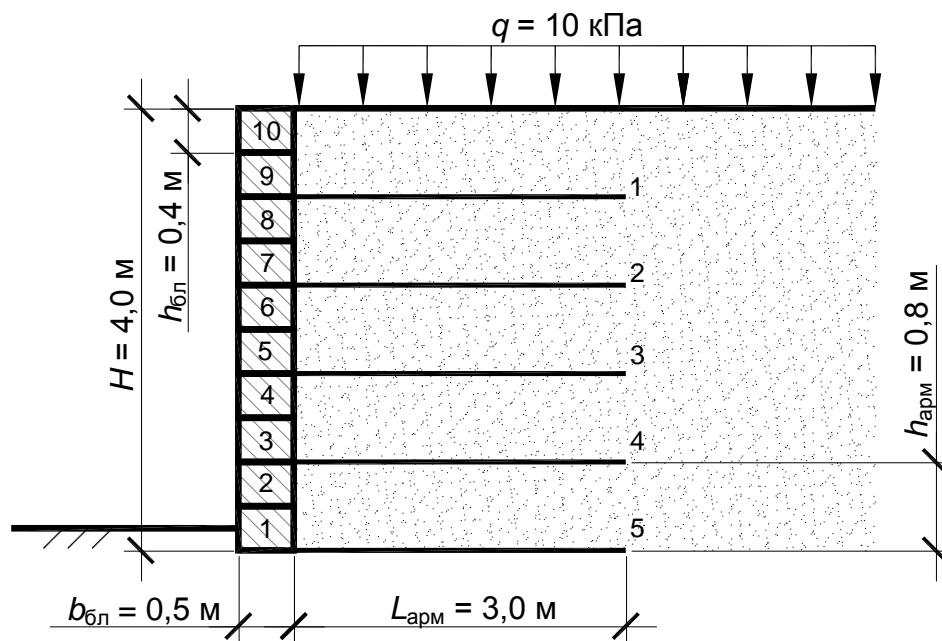


Рисунок Б.1 – Общая расчетная схема

### Б.3 Устойчивость положения на сдвиг по подошве армогрунтового блока

Б.3.1 Проверка производится на сдвиг по грунту основания в соответствии с положениями п. 7.2.1. Силы, действующие на армогрунтовой блок, показаны на рисунке Б.2. В соответствии с п. 7.1.4 удерживающее воздействие от временной нагрузки не учитывается, поэтому часть нагрузки на длине армирования исключена из схемы.

Активное давление определяется по формуле (7.1):

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(30-0)}{\cos^3 0 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin 30 \sin(30-0)}{\cos 0 \cdot \cos(0-0)}}\right)^2} = 0,333.$$

В формуле принято:  $\varphi_{ар} = \varphi_3$ ;  $\alpha = 0$ ;  $\beta = 0$ ;  $\delta = 0^\circ$ .

Б.3.2 Активное давление грунта определено по формуле (7.3):

$$E_a^{ар} = \frac{1}{2} \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 4^2 = 53,28 \text{ кН}.$$

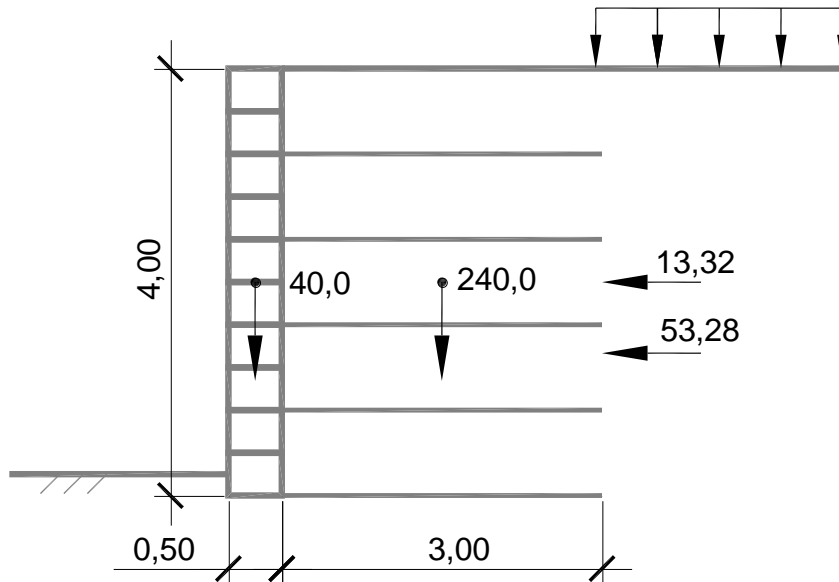


Рисунок Б.2 – Схема к определению внешней устойчивости

Б.3.3 Горизонтальная составляющая давления грунта от внешней нагрузки определена по формуле (7.8):

$$E_a^q = 10 \cdot 0,333 \cdot 4 = 13,32 \text{ кН.}$$

Б.3.4 Собственный вес грунта армогрунтового блока определена по формуле (7.6):

$$W_{gp} = 20 \cdot 4 \cdot 3 = 240 \text{ кН.}$$

Б.3.5 Собственный вес облицовочной системы:

$$W_{obl} = 0,5 \cdot 4 \cdot 20 = 40 \text{ кН.}$$

Б.3.6 Расчетные удерживающая ( $Q_z$ ) и сдвигающая ( $Q_r$ ) силы определены по формулам (7.5) и (7.7) соответственно:

$$Q_z = (0,9 \cdot 40 + 0,9 \cdot 240) \cdot \text{tg}25 = 117,5 \text{ кН,}$$

в формуле принято  $\varphi_{gp} = \varphi_{осн}$ .

$$Q_r = 1,4 \cdot 53,28 + 1,2 \cdot 13,32 = 90,6 \text{ кН.}$$

Условие сдвига по подошве (7.4) выполняется:

$$Q_r = 90,6 \text{ кН} \leq \frac{1,0 \cdot 117,5}{1,1} = 106,8 \text{ кН.}$$

#### Б.4 Устойчивость положения на сдвиг по армирующим элементам

Б.4.1 Проверка на сдвиг части армогрунтовой конструкции (в соответствии с п. 7.2.2) для краткости изложения приводится для двух уровней. Верхний уровень

( $i=9$ ): под блоком 9 по армирующей прослойке № 1. Расчетная схема представлена на рисунке Б.3.

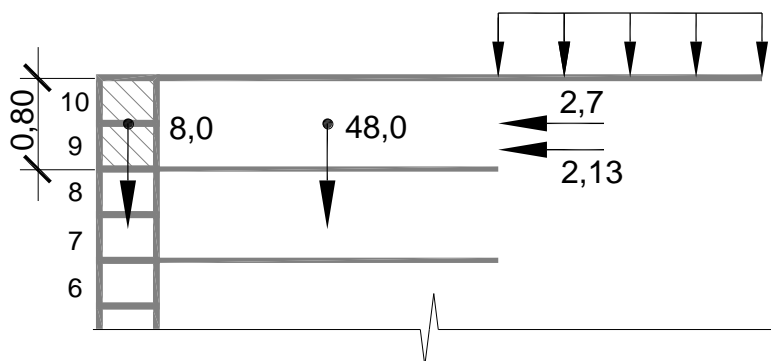


Рисунок Б.3 – Схема к расчету сдвига по ярусу № 1

Для выполнения проверки необходимо определить следующие величины:

- собственный вес грунта армогрунтового блока на расчетном уровне определен по формуле (7.7):

$$W_{ep,9} = 20 \cdot 0,8 \cdot 3,0 = 48 \text{ кН};$$

- собственный вес облицовочной системы на расчетном уровне:

$$W_{обл,9} = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 20 = 8 \text{ кН};$$

- активное давление грунта определено по формуле (7.3):

$$E_{a,9}^{ap} = \frac{1}{2} \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 0,8^2 = 2,13 \text{ кН};$$

- горизонтальная составляющая давления грунта от внешней нагрузки определена по формуле (7.8):

$$E_{a,9}^q = 10 \cdot 0,333 \cdot 0,8 = 2,7 \text{ кН}.$$

Тогда расчетная удерживающая сила ( $Q_z$ ), определенная по формуле (7.9) и расчетная сдвигающая сила ( $Q_r$ ), определенная по формуле (7.10) будут равны:

$$Q_z = 0,9 \cdot 48 \cdot \text{tg}30 \cdot 0,8 + 0,9 \cdot 8 \cdot \text{tg}45 + 0 = 27,15 \text{ кН};$$

$$Q_r = 1,4 \cdot 2,13 + 1,2 \cdot 2,7 = 6,22 \text{ кН}.$$

Условие (7.5) выполняется:

$$6,22 \text{ кН} < \frac{1,0 \cdot 27,15}{1,1} = 24,7 \text{ кН}.$$

Б.4.2 Проверка на сдвиг армогрунтовой конструкции под блоком 1 по армирующей прослойке № 5 ( $i=1$ ).

$$W_{ep,1} = 20 \cdot 4 \cdot 3,0 = 240 \text{ кН};$$

$$W_{обл,1} = 0,5 \cdot 4 \cdot 20 = 40 \text{ кН};$$

$$E_{a,1}^{эп} = \frac{1}{2} \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 4^2 = 53,3 \text{ кН};$$

$$E_{a,1}^q = 10 \cdot 0,333 \cdot 4 = 13,33 \text{ кН};$$

$$Q_z = 0,9 \cdot 240 \cdot \text{tg}30 \cdot 0,8 + 0,9 \cdot 40 \cdot \text{tg}45 + 0 = 135,8 \text{ кН};$$

$$Q_r = 1,4 \cdot 53,3 + 1,2 \cdot 13,33 = 90,6 \text{ кН}.$$

$$90,6 \text{ кН} < \frac{1,0 \cdot 135,8}{1,1} = 123,5 \text{ кН}.$$

Условие выполняется.

## Б.5 Устойчивость положения на опрокидывание армогрунтового блока

Б.5.1 Расчет производится согласно положениями п. 7.2.3. Моменты удерживающих и опрокидывающих сил определяются по формулам (7.12) и (7.13) соответственно:

$$M_z = 0,9 \cdot 40 \cdot 0,25 + 0,9 \cdot 240 \cdot 2,0 = 441 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_r = 1,4 \cdot 53,3 \cdot 1,333 + 1,2 \cdot 13,33 \cdot 2,0 = 131,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Условие (7.11) выполняется:

$$131,5 \text{ кН} \cdot \text{м} < \frac{1,0 \cdot 441}{1,1} = 400,9 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

## Б.6 Устойчивость положения облицовочной системы на сдвиг по шву

Б.6.1: Расчет выполняется по п. 7.3.2 для расчетного уровня между блоками 1 и 2 ( $i=2$ ) для расчетной высоты  $h_{i=2}=3,6$  м.

$$W_{обл,2} = 0,5 \cdot 3,6 \cdot 20 = 36 \text{ кН};$$

$$E_{a,2}^{эп} = \frac{1}{2} \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 3,6^2 = 43,2 \text{ кН};$$

$$E_{a,2}^q = 10 \cdot 0,333 \cdot 3,6 = 12 \text{ кН}.$$

Б.6.2 Длительная прочность армирующих слоев принята одинаковой:

$$T_{дл,1} = T_{дл,2} = T_{дл,3} = T_{дл,4} = 46 \text{ кН} / \text{м}.$$

Б.6.3 Усилия сопротивления выдергиванию определяются по формуле (7.18):

$$F_{t,1} = 2 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot \text{tg}30 \cdot 1,38 \cdot 0,8 \cdot 1 = 20,4 \text{ кН} / \text{м},$$

$$F_{t,2} = 2 \cdot 20 \cdot 1,6 \cdot \text{tg}30 \cdot 1,85 \cdot 0,8 \cdot 1 = 54,7 \text{ кН} / \text{м},$$

$$F_{t,3} = 2 \cdot 20 \cdot 2,4 \cdot \text{tg}30 \cdot 2,31 \cdot 0,8 \cdot 1 = 102,4 \text{ кН} / \text{м},$$

$$F_{t,4} = 2 \cdot 20 \cdot 3,2 \cdot \text{tg}30 \cdot 2,77 \cdot 0,8 \cdot 1 = 163,8 \text{ кН} / \text{м}.$$

## ГОСТ Р (проект, доработанная редакция)

В формулах длина анкерной части армирующих элементов  $l_{анк,i}$  определена из геометрических размеров и угла наклона поверхности обрушения  $\theta = 60^\circ$  согласно рис. Б.4 и рис. 7.4. Для сплошного покрытия армирующим материалом коэффициент  $C_H=1$ .

Б.6.4 Удерживающее усилие для каждого слоя определяется как минимальное значение из  $T_{дл,i}$  и  $F_{t,i}$ , приняты следующие значения  $F_{арм,i}$ .

$$F_{арм,1} = 20,4 \text{ кН / м};$$

$$F_{арм,2} = 46,0 \text{ кН / м};$$

$$F_{арм,3} = 46,0 \text{ кН / м};$$

$$F_{арм,4} = 46,0 \text{ кН / м}.$$

Для армирующих элементов 2-4 длительная прочность является определяющей.

Расчетные удерживающая и сдвигающая силы определяются по формулам (7.15) и (7.21) соответственно:

$$Q_z = 0,9 \cdot 36 \cdot \text{tg}45 + 0 + (20,4 + 46 + 46 + 46) = 190,8 \text{ кН / м}$$

$$Q_r = 1,4 \cdot 43,2 + 1,1 \cdot 12 = 61,8 \text{ кН / м}$$

Условие (7.14) выполняется:

$$61,8 \text{ кН} < \frac{1,0 \cdot 190,8}{1,1} = 173,45 \text{ кН}.$$

## Б.7 Устойчивость положения облицовочной системы на опрокидывание

Б.7.1: Расчет выполняется в соответствии с п. 7.3.3.

Расчетный момент удерживающих сил определяется по формуле (7.23):

$$M_z = 0,9 \cdot 36 \cdot 0,25 + (20,4 \cdot 2,8 + 46 \cdot 2,0 + 46 \cdot 1,2 + 46 \cdot 0,4) = 230,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетный момент опрокидывающих сил определяется по формуле (7.24):

$$M_r = 1,4 \cdot 43,2 \cdot 1,2 + 1,1 \cdot 12 \cdot 1,8 = 96,33 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Величины плеч для сил определяются геометрически из рисунка Б.4.

$$96,33 \text{ кН} \cdot \text{м} < \frac{1,0 \cdot 230,8}{1,1} = 209,8 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

Условие (7.22) выполняется.

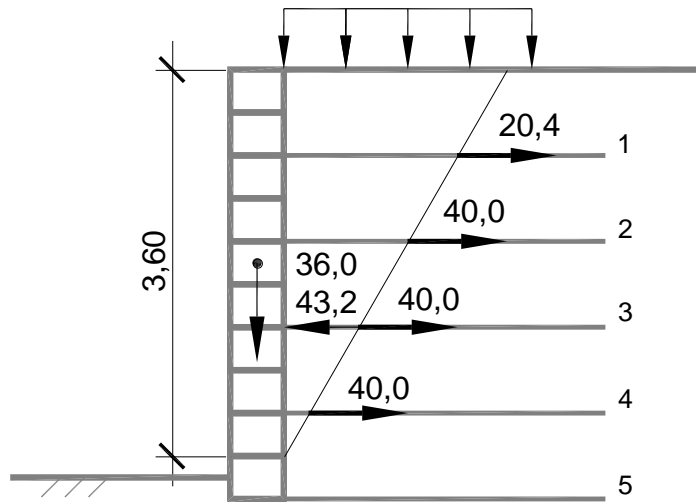


Рисунок Б.4 – Расчетная схема к определению внутренней устойчивости

### Б.8 Определение усилий в армирующих элементах

Б.8.1 В соответствии с п. 7.3.4.1 и рисунком (7.7) эпюры бокового давления от грунта и от внешней нагрузки разделены на 5 участков (рис. Б.5).

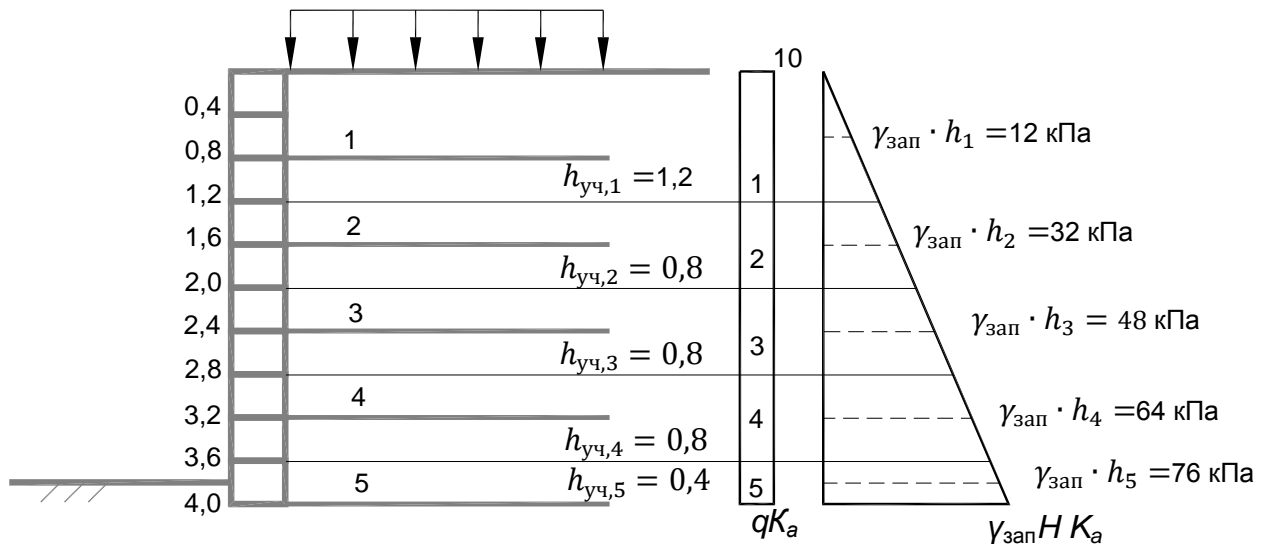


Рисунок Б.5 – Расчетная схема к определению усилий в армирующих элементах с эпюрами горизонтального давления от внешней нагрузки ( $qK_a$ ) и от грунта-заполнителя ( $\gamma_{зап} H K_a$ )

Б.8.2 Усилия для каждого яруса армирующих элементов определяются по формуле (7.27):

$$1: N_{d,1} = (12 + 10) \cdot 0,333 \cdot 1,2 = 8,8 \text{ кН / м},$$

$$2: N_{d,2} = (32 + 10) \cdot 0,333 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ кН / м},$$

$$3: N_{d,3} = (48 + 10) \cdot 0,333 \cdot 0,8 = 15,5 \text{ кН / м},$$

$$4: N_{d,1} = (64 + 10) \cdot 0,333 \cdot 0,8 = 19,7 \text{ кН / м},$$

$$5: N_{d,1} = (76 + 10) \cdot 0,333 \cdot 0,4 = 11,45 \text{ кН / м},$$

### Б.9 Проверка местной устойчивости

Б.9.1 Для каждого армирующего элемента определяется длина анкерной части  $l_{арм}$ , за пределами линии обрушения и длина в пределах блока обрушения  $l_3$  (рис. Б.6):

$$\begin{aligned} l_{3,1} &= 3,2 \cdot \text{tg}30 = 1,85 \text{ м}; l_{анк,1} = 3 - 1,85 = 1,15 \text{ м}; \\ l_{3,2} &= 2,4 \cdot \text{tg}30 = 1,39 \text{ м}; l_{анк,2} = 3 - 1,39 = 1,61 \text{ м}; \\ l_{3,3} &= 1,6 \cdot \text{tg}30 = 0,92 \text{ м}; l_{анк,3} = 3 - 0,92 = 2,08 \text{ м}; \\ l_{3,4} &= 0,8 \cdot \text{tg}30 = 0,46 \text{ м}; l_{анк,4} = 3 - 0,46 = 2,54 \text{ м}; \end{aligned}$$

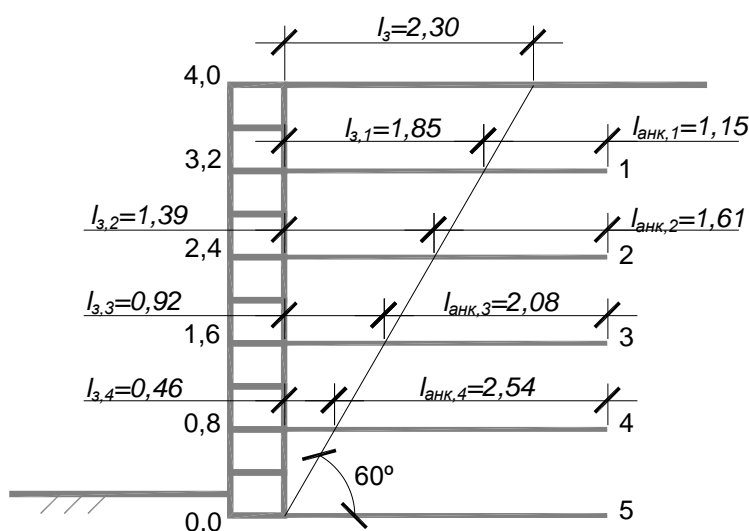


Рисунок Б.6 – Расчетная схема к определению местной устойчивости

Б.9.2 Сопротивление выдергиванию определяется по формуле (7.20):

$$\begin{aligned} F_{t,1} &= 2 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot \text{tg}30 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1 = 16,99 \text{ кН / м}, \\ F_{t,2} &= 2 \cdot 20 \cdot 1,6 \cdot \text{tg}30 \cdot 1,61 \cdot 0,8 \cdot 1 = 47,59 \text{ кН / м}, \\ F_{t,3} &= 2 \cdot 20 \cdot 2,4 \cdot \text{tg}30 \cdot 2,08 \cdot 0,8 \cdot 1 = 92,23 \text{ кН / м}, \\ F_{t,4} &= 2 \cdot 20 \cdot 3,2 \cdot \text{tg}30 \cdot 2,54 \cdot 0,8 \cdot 1 = 150,17 \text{ кН / м}, \end{aligned}$$

Б.9.3 Необходимо, чтобы для каждого армирующего слоя выполнялись условия (7.26) и (7.28):

$$N_d \leq \frac{1,0 \cdot T_{дл}}{1,4} \text{ и } N_d \leq \frac{1,0 \cdot F_t}{1,4}.$$

Результаты расчетов приведены в табличной форме.

Т а б л и ц а Б.1 – Результаты проверки внутренней устойчивости

№ яруса армирования	$N_d$ , кН	По условию прочности		По условию длины анкерной части	
		$T_{дл}$ , кН	$T_{дл}/1,4$ , кН	$F_t$ , кН	$F_t/1,4$ , кН
1	7,37	46,0	32,86	16,99	12,14
2	9,38	46,0	32,86	47,59	33,99
3	12,95	46,0	32,86	92,23	65,88
4	16,52	46,0	32,86	150,17	107,26

Условия выполняются для всех армирующих слоев.

### Б.10 Проверка несущей способности основания

Б.10.1 Силы, действующие на конструкцию при проверке несущей способности, приведены на рисунке Б.7.

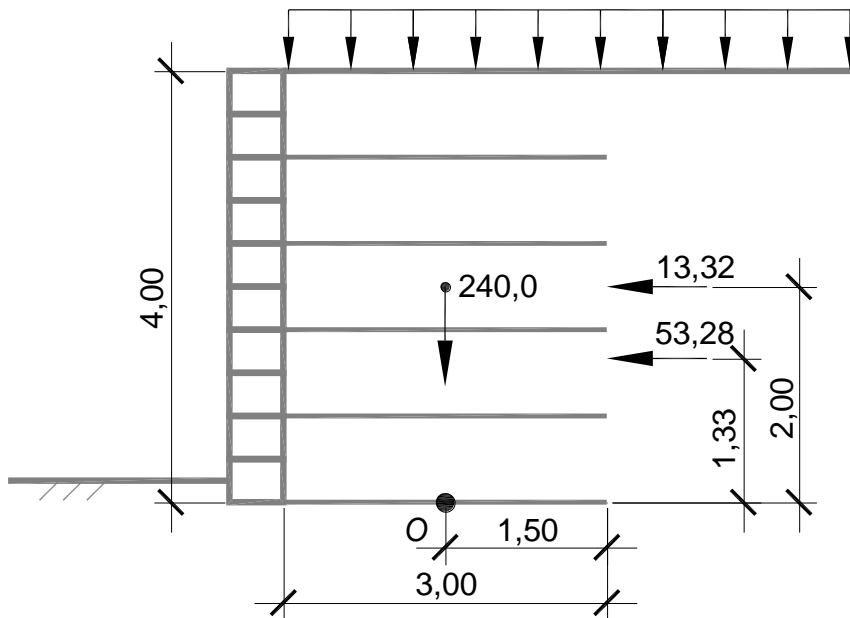


Рисунок Б.7 – Расчетная схема к определению несущей способности

Б.10.2 Расчетная вертикальная нагрузка на основание:

$$F = (1,15 \cdot 20 \cdot 4 + 1,2 \cdot 10) \cdot 3 = 312 \text{ кН.}$$

Б.10.3 Моменты опрокидывающих и удерживающих сил относительно точки

O:

$$M_z = 1,4 \cdot 53,28 \cdot 1,33 + 1,2 \cdot 13,32 \cdot 2,0 = 131,17 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$M_r = 0 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Б.10.4 Эксцентриситет:

$$e = \frac{131,17 - 0}{312} = 0,42 < \frac{3}{6} = 0,5.$$

Б.10.5 Приведенная ширина фундамента (с учетом эксцентриситета):

$$b' = b - 2e = 3 - 2 \cdot 0,42 = 2,16 \text{ м.}$$

Б.10.6 Сила предельного сопротивления основания:

$$F_r = 2,16 \cdot (5,87 \cdot 1 \cdot 2,16 \cdot 20 + 0 + 20,72 \cdot 15) = 1219 \text{ кН.}$$

$$F = 309 \text{ кН} < F_u = \frac{1 \cdot 1219}{1,1} = 1108 \text{ кН,}$$

Условие выполняется.

## Библиография

- [1] Свод правил  
СП 28.13330.2017  
Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85
- [2] Отраслевой дорожный методический документ  
ОДМ 218.5.003–2010  
Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог
- [3] Отраслевой дорожный методический документ  
ОДМ 218.2.046–2014  
Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве
- [4] Отраслевой дорожный методический документ  
ОДМ 218.2.047–2014  
Методика оценки долговечности геосинтетических материалов, используемых в дорожном строительстве
- [5] Свод правил  
СП 22.13330.2016  
Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83
- [6] Отраслевой дорожный методический документ  
ОДМ 218.3.049–2015  
Методические рекомендации по применению многослойных композиционных дренирующих материалов (геодрен) для осушения и усиления дорожных конструкций при строительстве и реконструкции автомобильных дорог
- [7] Отраслевой дорожный методический документ  
ОДМ 218.2.055–2015  
Рекомендации по расчёту дренажных систем дорожных конструкций
- [8] Свод правил  
СП 35.13330.2011  
Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*
- [9] Свод правил  
СП 43.13330.2012  
Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85
- [10] Свод правил  
СП 34.13330.2012  
Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\*
- [11] Отраслевой дорожный методический документ  
ОДМ 218.2.006–2010  
Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог
- [12] Свод правил  
СП 116.133330.2012  
Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения
- [13] Свод правил  
СП 14.133330.2018  
Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*

**ГОСТ Р** (проект, доработанная редакция)

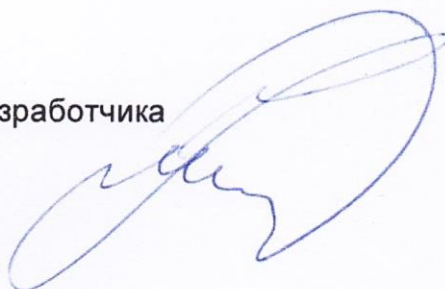
- |   |  |
|---|--|
| [14] Свод правил<br>СП 45.13330.2017                                    | Земляные сооружения, основания и фундаменты  |
| [15] Отраслевой дорожный<br>методический документ<br>ОДМ 218.3.008–2011 | Рекомендации по мониторингу и обследованию подпорных стен и удерживающих сооружений на оползневых участках автомобильных дорог |
| [16] Отраслевой дорожный<br>методический документ<br>ОДМ 218.2.049–2015 | Рекомендации по проектированию и строительству габионных конструкций на автомобильных дорогах                                  |

УДК 625.7.08:006.354

ОКС 93.080.01

Ключевые слова: автомобильные дороги, армированный грунт, проектирование, стены подпорные

Руководитель организации-разработчика  
ООО «МИАКОМ СПб»  
генеральный директор



Д.Д. Чиквашвили

СОИСПОЛНИТЕЛИ

Д-р техн. наук, проф.



С.И. Маций

Инж.



В.Ю. Тимошенко

Канд. геол.-минерал. наук



Е.В. Федоренко

Инж.



Д.Е. Ерченко