
ОДМ 218.3.032–2013

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО УСИЛЕНИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ
ГЕОРЕШЕТКАМИ (ГЕОСОТАМИ)**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2015

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский дорожный научно-исследовательский институт» (ФГУП «РОСДОРНИИ»).

Коллектив авторов: канд. техн. наук А.П.Фомин, канд. техн. наук А.Е.Мерзликин, инж. Е.В.Никанычева, инж. Ю.И.Косарев, инж. О.В.Труфанова (ФГУП «РОСДОРНИИ»), ген. директор ОАО «494 УНР» А.И.Ким.

При разработке учтены данные исследований, выполненных в ЦНИИ Министерства обороны Российской Федерации, ОАО «СОЮЗДОРНИИ», ОАО «494 УНР».

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

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 21.03.2013 № 321-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины и определения	3
4	Основные положения	4
5	Требования, предъявляемые к материалам для изготовления геосот и их заполнителям	6
6	Методика проектирования	14
6.1	Укрепление откосов	14
6.2	Дорожные одежды	19
6.3	Земляное полотно в сложных условиях строительства	25
6.4	Сооружения поверхностного водоотвода	28
7	Технология производства работ	30
7.1	Особенности производства работ	30
7.2	Контроль качества	34
7.3	Техника безопасности	34
8	Приложение А Расчетная оценка условий предельного равновесия поверхностной зоны откоса, укрепленной геосотами	36
9	Приложение Б Особенности расчета нежестких дорожных одежд капитального и облегченного типов со слоями из композита, состоящего из геосот, заполненных крупнообломочным материалом или песком	50
10	Приложение В Методика расчета дорожных одежд переходного и низшего типов со слоями из композита, состоящего из геосот, заполненных крупнообломочным материалом или песком	56
	Библиография	61

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

**Методические рекомендации по усилению
конструктивных элементов автомобильных дорог
пространственными георешетками (геосотами)**

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) устанавливает рекомендации по применению пространственных георешеток (геосот) для усиления элементов автомобильных дорог при их строительстве, реконструкции и ремонте.

1.2 Методический документ содержит требования, предъявляемые к материалам, методам проектирования, а также технологии производства работ для основных областей применения геосот (укрепления откосов, устройства дорожных одежд, возведения земляного полотна в сложных условиях строительства, укрепления сооружений поверхностного водоотвода).

1.3 Положения настоящего методического документа предназначены для применения организациями, выполняющими работы по проектированию и строительству автомобильных дорог, в том числе городских улиц и дорог, автомобильных дорог промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Они также могут использоваться производителями геосот при разработке, производстве, контроле качества материалов и разработке документов соответствия (стандартов организаций).

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 1.5–2001 Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению

ГОСТ 9.048–89 Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов

ОДМ 218.3.032–2013

ГОСТ 2678–94 Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний

ГОСТ 3344–83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия

ГОСТ 7502–98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 11262–80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

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

ГОСТ 26433.1–89 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления

ГОСТ Р 1.4–2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения

ГОСТ Р 1.5–2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения

ГОСТ Р 52608–2006 Материалы геотекстильные. Методы определения водопрооницаемости

ГОСТ Р 53238–2008 Материалы геотекстильные. Метод определения характеристики пор

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

ГОСТ Р 55031–2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения устойчивости к ультрафиолетовому излучению

ГОСТ Р 55032–2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения устойчивости к многократному замораживанию и оттаиванию

ГОСТ Р 55033–2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения гибкости при отрицательных температурах

ГОСТ Р 55035–2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения устойчивости к агрессивным средам

СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги (актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*)

СП 48.13330.2011 Организация строительства (актуализированная редакция СНиП 12–01–2004)

СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги (актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85)

ISO 10318:2005 Геосинтетические материалы. Термины и определения

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 пространственная георешетка или геосотовый материал (далее – геосоты): Геосинтетический материал пространственной «сотовой» или схожей с ней ячеистой конструкции, образованной из соединенных между собой геополос, выпускаемый в виде складывающегося модуля и поставляемый в виде пакетов в сложенном состоянии (международное обозначение GCE в соответствии с ISO 10318: 2005, ГСТ – в соответствии с Классификацией [1] и ГОСТ Р 55028 – 2012).

3.2 геополоса: Узкий геосинтетический материал в форме полосы шириной, как правило, 50–200 мм, используемый, в том числе при производстве геосот, для образования пространственной конструкции высотой, равной ширине геополосы.

3.3 перфорированная геополоса: Геополоса, имеющая отверстия диаметром, как правило, 6–10 мм, обеспечивающие дренирование и увеличение сопротивления сдвигу по контакту с материалом, заполняющим геосоты.

3.4 рифленая геополоса: Геополоса, имеющая рифление произвольной формы, способствующее увеличению сопротивления сдвигу по контакту с материалом, заполняющим геосоты.

3.5 пакет геосот: Единичный элемент геосот минимальных размеров в сложенном состоянии.

3.6 модуль геосот: Единичный элемент геосот минимальных размеров в растянутом состоянии.

3.7 анкер: Металлический или пластиковый элемент, предназначенный для крепления геосот к грунтовой поверхности с целью обеспечения монтажа геосот (монтажный анкер) или увеличения сопротивления геосот с заполнителем сдвигающим нагрузкам (несущий анкер при укреплении откосов).

3.8 ячейки геосот: Объемные элементы геосот в растянутом состоянии, образованные соединенными между собой геополосами, служащие для заполнения грунтом и строительными материалами.

3.9 длина (ширина) модуля: Расстояние между крайними точками плана модуля в направлении растяжения и перпендикулярном ему направлении (в плане).

3.10 длина (ширина) пакета: Расстояние между крайними точками плана пакета в направлении растяжения и перпендикулярном ему направлении (в плане).

3.11 размер ячейки по длине и ширине: Расстояние по диагонали между осями швов, соединяющих геополосы геосот, в направлении растяжения и перпендикулярном ему направлении (в плане).

3.12 размер стороны ячейки: Расстояние вдоль полосы между осями швов для ячейки в растянутом состоянии.

4 Основные положения

4.1 Геосоты предназначены для объемного армирования грунта или материала заполнителя с целью образования композитного слоя «грунт (материал) + геосоты», обладающего улучшенными по отношению к заполнителю эксплуатационными свойствами. Композитный слой обладает повышенной жесткостью, прочностью, распределяющей способностью, стойкостью к воздействию динамических нагрузок, поверхностному размыву, воздействию неравномерных деформаций. Геосоты обеспечивают регулируемое трещинообразование при заполнении их грунтом или каменными материалами, укрепленными неорганическими вяжущими, что позволяет повысить трещиностойкость дорожной конструкции.

4.2 Основные области применения геосот при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог:

- укрепление подтопляемых и неподтопляемых откосов, склонов взамен традиционных типов укрепления или в сочетании с ними;

- образование усиленных конструктивных слоев дорожных одежд (несущих оснований, дополнительных слоев оснований, покрытий переходного типа);

- возведение земляного полотна в сложных условиях строительства (при наличии слабых грунтов в основании насыпи, связных грунтов повышенной влажности в основании земляного полотна, стесненных

условиях строительства и необходимости возведения насыпей с откосами повышенной крутизны) и усиление рабочего слоя земляного полотна;

- укрепление сооружений поверхностного водоотвода.

4.3 Выбор конкретной разновидности геосот определяется областью и условиями ее применения. В зависимости от них предъявляются требования к геометрическим параметрам и другим свойствам геосот, изложенным в разделе 5 настоящего методического документа. Положения методики проектирования раздела 6 относятся к техническим решениям, предусматривающим применение геосот, отвечающих требованиям раздела 5. В полной мере положения разделов 5, 6, 7 относятся к геосотовым материалам, образуемым из пластмассовых геополос толщиной не менее 1,2 мм [1]. Геосоты, образованные из геотекстильных геополос, и геосоты, не складывающиеся в модули, могут быть применены при укреплении откосов, но требуют отдельной регламентации в части технологии производства работ и уточнения методов проектирования.

4.4 Применение геосот возможно при наличии:

- утвержденных и введенных в действие стандартов организаций, изложение, построение и оформление которых должно соответствовать положениям ГОСТ 1.5–2001, ГОСТ Р 1.4–2004, ГОСТ Р 1.5–2012, содержание – положениям ГОСТ 1.5–2001, относящимся к содержанию стандартов технических условий; стандарты организаций должны содержать требования к составу сырья, геометрическим параметрам геосот, показателям их физико-механических свойств согласно подразделам 5.7–5.10, форме поставки, упаковке, маркировке, а также требования безопасности и охраны окружающей среды, правила приемки, методы контроля, транспортирования и хранения, указания по применению (эксплуатации), гарантии изготовителя и не противоречить положениям настоящего методического документа;

- пояснительной записки к стандарту организации в соответствии с пунктом 8.6.1 рекомендаций [2];

- данных экспертизы стандарта организации в соответствии с подразделом 4.15 ГОСТ Р 1.4–2004;

- сертификата соответствия, выданного в специализированных системах добровольной сертификации на основе протоколов испытаний;

- санитарно-эпидемиологического заключения Роспотребнадзора;

- заключения (заключений) или иных документов, регламентирующих область применения рассматриваемой марки геосот и подтверждающих соответствие параметров их свойств отраслевым

требованиям, согласованным или разработанным организациями, представляющими отрасль потребителя.

4.5 Выбор конструктивных решений выполняют на основе технико-экономического сопоставления вариантов, включающих традиционные решения. Следует учитывать технический эффект при применении геосот, в частности:

- высокую технологичность и низкую материалоемкость решений, поскольку используются складывающиеся в пакеты модули, объем которых составляет несколько процентов от объема в «рабочем» состоянии;

- высокую универсальность решений за счет применения различных сочетаний типов геосот, вариантов их заполнения, в том числе с использованием местных грунтов и материалов;

- повышение надежности, работоспособности решений, качества выполняемых работ за счет применения элементов заводского изготовления.

4.6 Отдельные положения настоящего методического документа могут уточняться на основе опыта строительства с учетом региональных особенностей, новых данных исследований, обобщенных применительно к конкретным маркам геосот в соответствующих технических документах, утвержденных в установленном порядке.

4.7 При составлении сметной документации могут быть использованы дополнения, приведенные в части 1 норм [3].

5 Требования, предъявляемые к материалам для изготовления геосот и их заполнителям

5.1 Дополнительные требования к материалам не предъявляются, однако следует соблюдать соотношения между максимальной крупностью зерен заполнителя геосот и геометрическими размерами их ячейки (рисунок 1), приведенные в таблице 1.

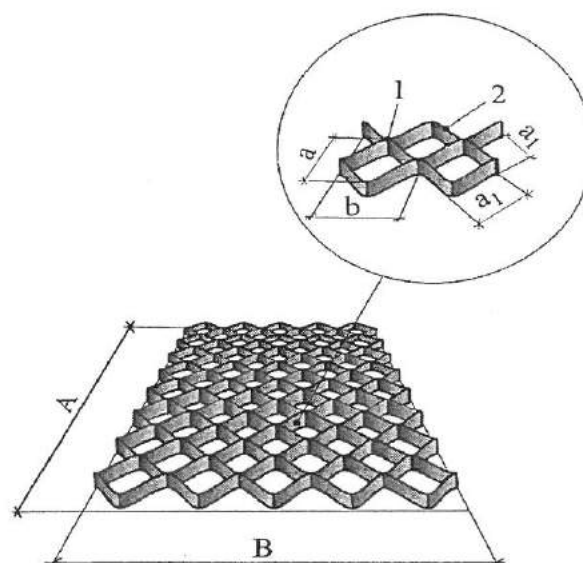
5.2 При использовании геосот для усиления рабочего слоя земляного полотна в качестве заполнителя применяют местные непучинистые или слабопучинистые грунты, имеющие влажность не выше допустимой.

5.3 При использовании в сочетании с геосотами нетканых геотекстильных материалов, уложенных непосредственно под геосоты, следует руководствоваться требованиями, предъявляемыми к свойствам, вводимым документами технического регулирования. При отсутствии

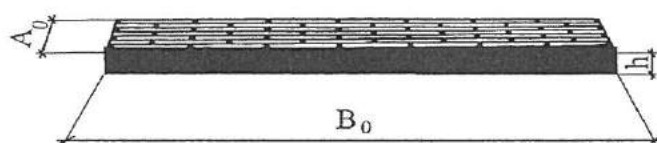
такой регламентации рекомендуется выбирать водопроницаемые (коэффициент фильтрации по ГОСТ Р 52608–2006 не ниже 10 м/сут) геотекстильные материалы по параметру $R_{гм}$ (прочность при растяжении) (подраздел 7.1 рекомендаций [4]) в зависимости от материала заполнителя:

- зернистые фракционированные материалы (щебень, шлак и другие), $R_{гм}$ не менее 12 кН/м;
- щебеночно-песчаные, гравийно-песчаные и щебеночно-гравийно-песчаные смеси, $R_{гм}$ не менее 8 кН/м;
- песок, связные грунты без включений крупнофракционных материалов, $R_{гм}$ не менее 6 кН/м;
- растительный грунт, торфо-песчаная смесь, $R_{гм}$ не менее 4 кН/м.

а)



б)



1 – сварные швы; 2 – геополосы; A , B – соответственно длина и ширина модуля (A – направление растяжения); A_0 , B_0 – соответственно длина и ширина пакета; a , b – соответственно размер ячейки по диагоналям в направлении длины и ширины; a_1 – размер стороны ячейки; h – высота геосот (ширина геополосы)

Рисунок 1 – Общая схема геосот в рабочем (растянутом) состоянии (а) и транспортном (сложенном) состоянии (б)

Т а б л и ц а 1 – Регламентируемые значения максимальной крупности зерен заполнителя геосот в зависимости от высоты и минимальных размеров ячейки

Высота геосот h , мм	Размер ячейки геосот, мм			
	$a(b) \leq 250$	$a(b) > 250$	$a(b) \leq 250$	$a(b) > 250$
	Максимальная крупность зерен заполнителя d_k , мм, при			
	укреплении откосов, сооружений поверхностного водоотвода		усилении конструктивных слоев дорожных одежд	
50	30	30	-	-
75	50	50	-	-
100	75	80	40	50
150	80	100	50	60
200	80	120	60	70

5.4 При применении геосот для укрепления подтопленных откосов рекомендуется учитывать значения показателей свойств нетканых геотекстильных материалов, изложенных в пункте 6.1.5 настоящего методического документа.

5.5 Использование геосот возможно при наличии технической документации, перечень которой изложен в подразделе 4.4.

5.6 Должны быть определены показатели свойств геосот, характеризующие их стойкость к агрессивным воздействиям (погодно-климатическим и технологическим), геометрические размеры и форма поставки, механические свойства.

5.7 Стойкость к агрессивным воздействиям должна характеризоваться:

- стойкостью к действию химических агрессивных сред (подраздел 8.3 рекомендаций [5], ГОСТ Р 55035–2012);

- биостойкостью (подраздел 8.4 рекомендаций [4] с учетом шкалы оценки по ГОСТ 9.048–89);

- стойкостью к воздействию ультрафиолетового излучения (подраздел 8.2 рекомендаций [4], ГОСТ Р 55031–2012);

- морозостойкостью (подраздел 8.5 рекомендаций [4], ГОСТ Р 55032–2012);

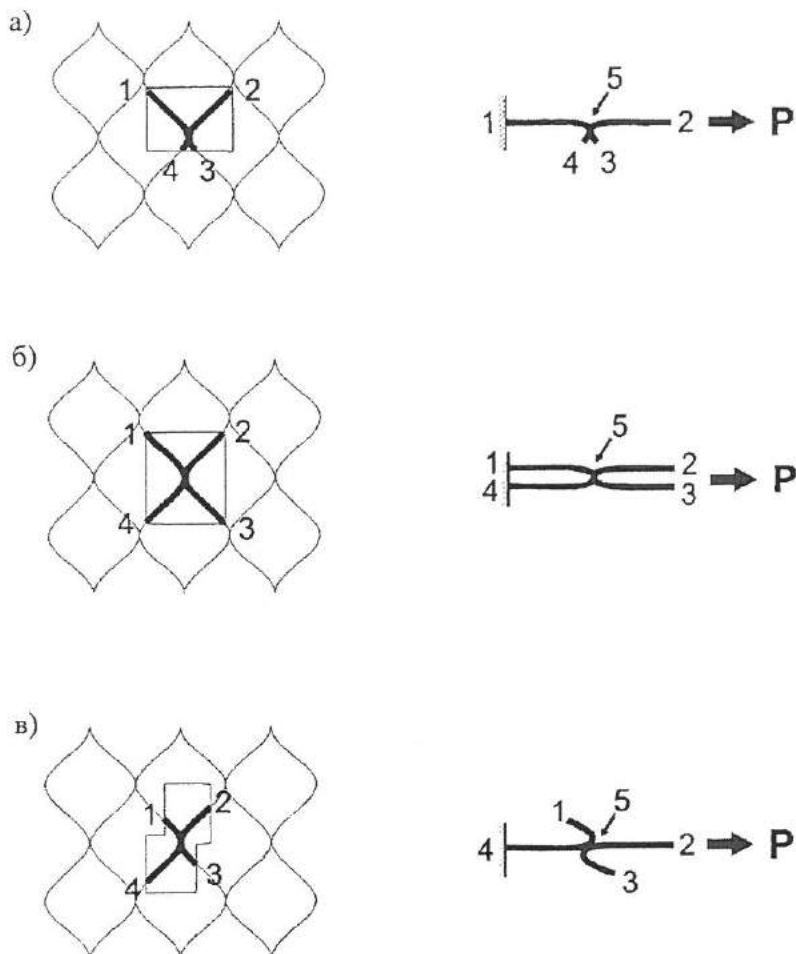
- гибкостью (ГОСТ Р 55033–2012 с учетом положений подраздела 8.6 рекомендаций [4]).

5.8 Геометрические размеры и форма поставки геосот характеризуются:

- массой пакета геосот (взвешивание с точностью $\pm 0,1$ кг);
- толщиной геополосы (ГОСТ 2678–94);
- отклонением направления швов (соединений) геополос от перпендикуляра (ГОСТ 26433.1–89);
- высотой геосот (измерение с точностью ± 1 мм);
- размером геосот в сложенном (пакет) и растянутом (модуль) состоянии (ГОСТ 2678–94);
- размером стороны ячейки геосот, шириной и длиной ячейки в плане по диагонали (измерение рулеткой по ГОСТ 7502–98 с ценой деления 1 мм);
- количеством ячеек по длине и ширине модуля и их общим количеством в модуле;
- общей площадью модуля (по размеру модуля) и площадью ячейки модуля (общая площадь модуля, деленная на их общее количество в модуле).

5.9 Механические свойства геосот характеризуются:

- прочностью (кН/м) и относительным удлинением (%) геополосы при растяжении при максимальной нагрузке и разрыве (ГОСТ 11262–80 с учетом положений раздела 7 рекомендаций [4]);
- прочностью (кН/м) перфорированной геополосы (ГОСТ 11262–80 с учетом положений раздела 7 рекомендаций [4]);
- прочностью шва геосот (кН/м), принимается по минимальному значению, полученному в результате испытаний по трем схемам (рисунок 2): отрыв, сдвиг и растяжение согласно подразделам 7.4, 7.6 рекомендаций [4] с учетом следующих уточнений:
 - зажимная длина образцов 200 мм с расположением шва в центральной их части,
 - ширина образцов соответствует, как правило, высоте ячейки h (ширина геополосы),
 - условная прочность шва определяется дополнительно при обработке результатов с учетом количества швов на 1 пог.м геосот (соответствует прочности шва, умноженной на количество швов в 1 пог.м; количество швов в 1 пог.м определяется с точностью до десятых долей);
 - условной длительной прочностью шва – выдерживанием шва под постоянной нагрузкой, соответствующей половине прочности шва (схема испытаний приведена на рисунке 2,а, размеры образца аналогичны размерам, принятым в испытаниях по оценке прочности шва).



1–4 – расположение геополос при отборе из модуля и проведении испытаний (обозначения 1, 4 и 2, 3 относятся к одной геополосе);

5 – расположение шва; Р – нагрузка на образец

Рисунок 2 – Схемы отбора образцов и испытаний при определении прочности шва геосот на растяжение (а), отрыв (б) и сдвиг (в)

5.10 Показатели свойств «стойкость к действию химических агрессивных сред», «биостойкость» и «стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения» могут контролироваться производителем при постановке продукции на производство и далее в процессе производства при изменении состава сырья. Показатель «условная длительная прочность шва», «относительное удлинение при максимальной нагрузке и разрыве», «морозостойкость», «гибкость» оцениваются не реже одного раза в год. Остальные показатели свойств подлежат контролю производителя при приемо-сдаточных испытаниях каждой партии геосот.

Показатель «условная длительная прочность шва» оценивается для случая использования геосот при укреплении откосов.

5.11 Величину показателя свойств и других регламентируемых показателей следует принимать в зависимости от области применения, принятых конструктивных решений с учетом условий применения. Если производителем без ограничений перечисляются все области и условия применения, документация производителя (стандарт организации) должна гарантировать соблюдение следующих общих требований:

- возможность эксплуатации геосот в температурном диапазоне от -40°C до 50°C при показателе кислотности окружающей среды pH от 4 до 11;

- возможность обеспечения гарантированного срока службы не менее 40 лет (20 лет при укреплении откосов).

5.12 Рекомендации по показателям свойств, характеризующим стойкость к агрессивным воздействиям:

- стойкость к действию химически агрессивных грунтовых сред 90% (80%);

- биостойкость не ниже ПГ₁₁₃ (ГОСТ 9.048–89);

- стойкость к действию ультрафиолетового излучения 80% (70%);

- морозостойкость 90% (80%);

- гибкость при низких температурах характеризуется отсутствием повреждений при температуре -40°C .

Примечание – В скобках указаны минимальные значения показателей.

Показатели «морозостойкость» и «гибкость» могут быть скорректированы при предъявлении проектных требований в зависимости от региона применения.

5.13 Рекомендации по геометрическим размерам и форме поставки геосот:

- масса пакета не должна превышать, как правило, 70 кг;

- толщина геополосы не менее 1,2 мм;

- отклонение направления швов (соединений) геополос от перпендикуляра не более ± 5 мм;

- размер модуля (длина $\times$ ширина) не менее 3500 $\times$ 2400 мм;

- высота назначается в зависимости от области и условий применения (таблица 2), но не менее 5 см;

- размер ячейки по диагонали назначается в зависимости от области и условий применения, но в пределах от 200 до 510 мм (см. таблицу 2).

5.14 Рекомендации по механическим свойствам геосот:

- прочность геополосы при растяжении не ниже 17 кН/м;
- относительное удлинение геополосы при максимальной нагрузке не более 35 %;
- относительное удлинение геополосы при разрыве не менее 100 % (при применении для укрепления откосов);
- прочность перфорированной геополосы не ниже прочности шва;
- прочность и условная прочность шва геосот назначаются в зависимости от условий и области применения (см. таблицу 2);
- условная длительная прочность шва (при укреплении откосов) не ниже 30 сут.

Т а б л и ц а 2 – Рекомендуемые основные размеры и механические свойства геосот в зависимости от области и условий применения

Область, условия применения	Основные размеры		Механические свойства	
	высота h , мм, не менее	размер ячейки $a(b)$, мм, не более	прочность шва $R_{ш}$, кН/м, не менее	условная прочность шва $R'_{ш}$, кН/м, не менее
1	2	3	4	5
Укрепление неподтопляемых откосов (склонов): пологие откосы с заложением не круче 1:3 откосы с заложением не круче 1:1,75 при умеренной интенсивности стока откосы с заложением 1:1,75 при сосредоточенном стоке, а также откосы с заложением 1:1,5–1,75	50, 75	300–510	5	20
	75, 100	300–400	9	25
	100, 150	200–300	10	45
Укрепление подтопляемых откосов	150, 200	200–260	10	45

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Усиление дорожных конструкций:				
устройство оснований дорожных одежд и покрытий переходного типа	120, 150, 200	200–260	10	45
устройство оснований сборных цементобетонных покрытий	75, 100	200–260	10	45
устройство оснований с заполнением ячеек бетонной смесью или грунтами (материалами, укрепленными неорганическим вяжущим)	120, 150, 200	260	9	40
усиление грунта верхней части рабочего слоя земляного полотна	100, 150	200–260	10	45
Укрепление сооружений поверхностного водоотвода:				
при заполнении ячеек растительным грунтом	75, 100	200–260	10	45
при заполнении ячеек крупнофракционными или укрепленными вяжущими материалами	150, 200	200–260	10	45
Усиление насыпей на слабых основаниях	150, 200	200–260	12	50
Устройство откосов повышенной крутизны	200	200–260	12	70

П р и м е ч а н и я

1 При заполнении геосот водопроницаемым материалом рекомендуется использовать перфорированные геосоты.

2 Предпочтительно применение геосот с текстурированной поверхностью. При усилении дорожных одежд и отсутствии перфорации геосот применение их с текстурированной поверхностью обязательно.

3 При расчетном обосновании, а также при положительном опыте использования в региональных условиях допускается изменять приведенные параметры.

4 При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение геосотам с лучшими показателями по графам 4, 5.

5.15 Рекомендуемые основные параметры геосот (высота h , размеры ячейки по диагонали a и b , прочность шва $R_{ш}$ и условная прочность шва $R'_{ш}$), приведенные в таблице 2, могут быть уточнены для конкретных марок геосот и областей их применения при соответствующем техническом обосновании.

6 Методика проектирования

6.1 Укрепление откосов

6.1.1 Тип конструкции укрепления откосов следует назначать в зависимости от физико-механических свойств грунтов, слагающих откос, и грунтов основания насыпи (выемки), погодно-климатических факторов, гидрологического режима подтопления, геометрии (высоты, величины заложения откосов) насыпи (выемки) с учетом наличия местных материалов для укрепительных работ. При назначении конструкции укрепления следует руководствоваться положениями действующих документов [5, 6, 7] и положениями настоящего методического документа в части особенностей назначения и расчетного обоснования конструкций укрепления с применением геосот. Основные варианты конструктивных решений представлены на рисунках 3–6.

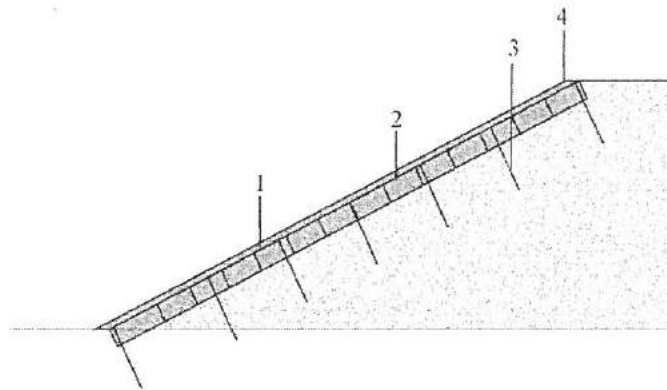
6.1.2 При назначении конструкции укрепления следует руководствоваться следующими общими положениями.

- Для монтажа и крепления геосот применяют анкеры (раздел 7), минимальное (стандартное) количество и расстановка которых по технологическим соображениям (монтажные анкеры) предполагают их установку в каждую крайнюю ячейку начала и конца модуля по направлению его растяжения, через крайнюю ячейку в противоположном направлении, а также равномерно по площади модуля через 1,0–1,2 м. При высоте неподтопляемого откоса более 6 м и заложении круче 1:1,75, а также при укреплении подтопляемого откоса рекомендуется увеличивать количество анкеров от стандартного, снижая расстояние между анкерами, распределенными по площади, до 0,6–0,8 м. Длина анкеров не менее 0,60–0,65 м при высоте геосот 75–100 мм и 0,85–0,90 м при высоте геосот 150–200 мм (для подтопляемых откосов не менее 1,0–1,2 м).

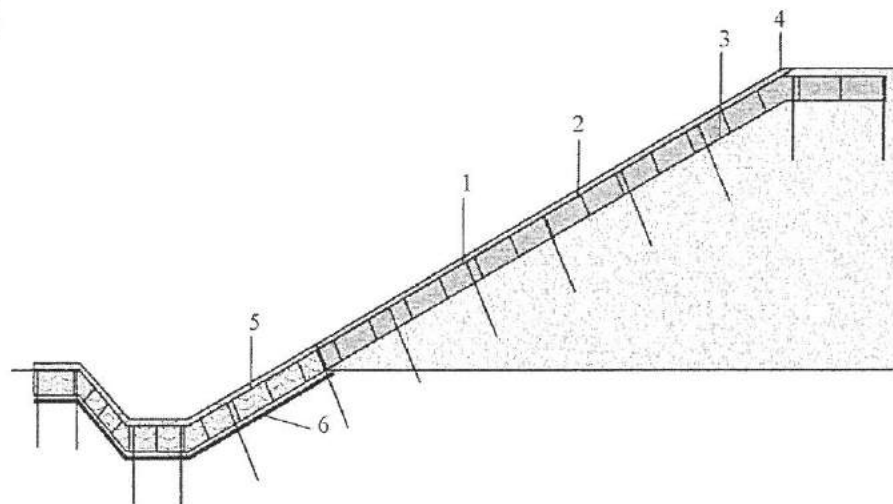
- Дополнительная фиксация геосот на поверхности откоса создается выведением геосот за пределы бровки откоса в верхней части и созданием упора в нижней части, что рекомендуется во всех случаях для подтопляемых откосов и в некоторых случаях для неподтопляемых (пункт 6.1.3).

• В сложных грунтово-гидрологических условиях под геосотами рекомендуется создавать защитный слой (обратный фильтр) из геотекстильных (как правило, нетканых) материалов. Создание такого слоя обязательно при укреплении подтопляемых откосов и неподтопляемых откосов, сложенных неустойчивыми, легкоразмываемыми грунтами, при наличии выклинивающих водоносных горизонтов в мокрых выемках.

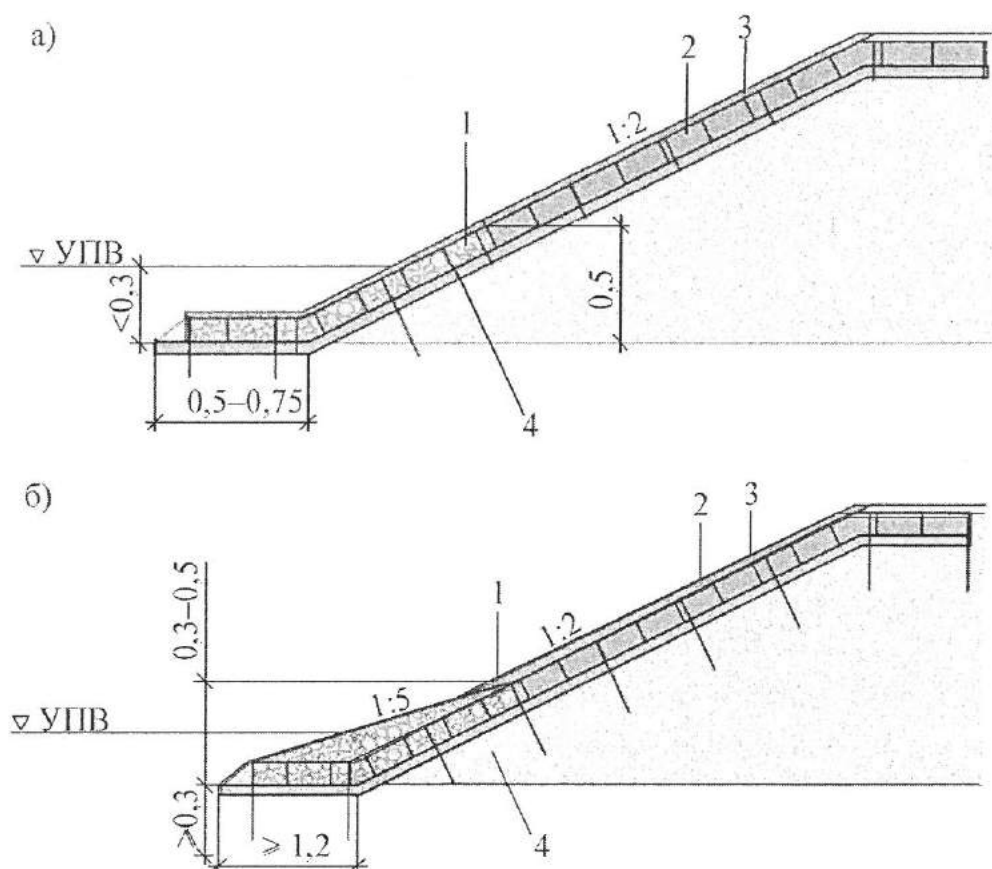
а)



б)



- 1 – геосоты; 2 – заполнитель геосот (растительный грунт и др.);
 3 – анкер; 4 – защитный слой толщиной 3–5 см над геосотами или
 материалом заполнителя; 5 – заполнитель геосот при устройстве кювета
 (укрепленный грунт, бетонная смесь и др.);
 6 – защитная прослойка из нетканого геотекстильного материала
- Рисунок 3 – Основные варианты (а, б) конструктивных решений
 укрепления неподтопляемых откосов

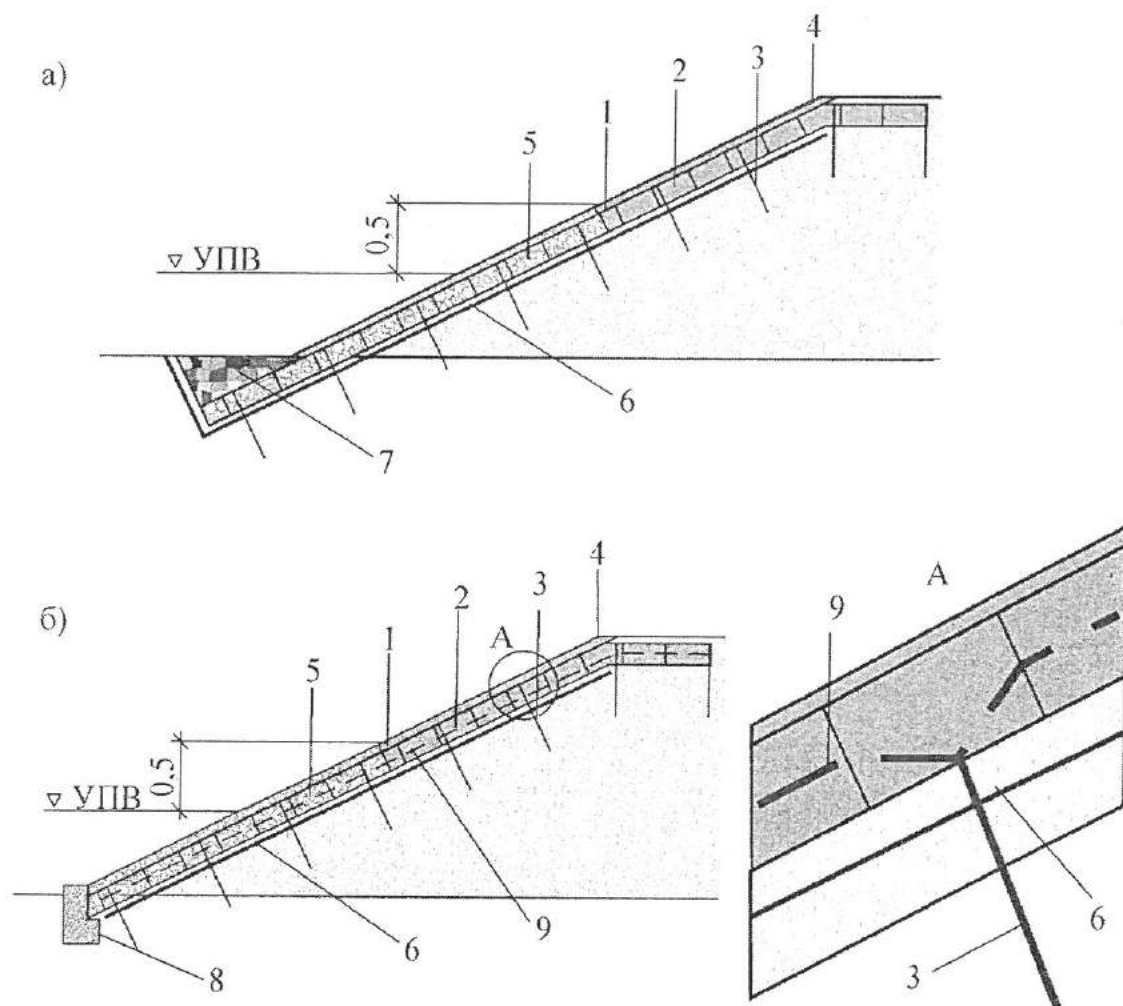


1 – щебень размером зерен 20–40 мм; 2 – торфо-песчаная смесь;
3 – геосоты; 4 – защитная прослойка из нетканого геотекстильного
материала

(размеры даны в метрах)

Рисунок 4 – Варианты (а, б) конструктивных решений укрепления откосов в сложных грунтовых условиях (вечномерзлых грунтах) при наличии подтопления в отдельные периоды года

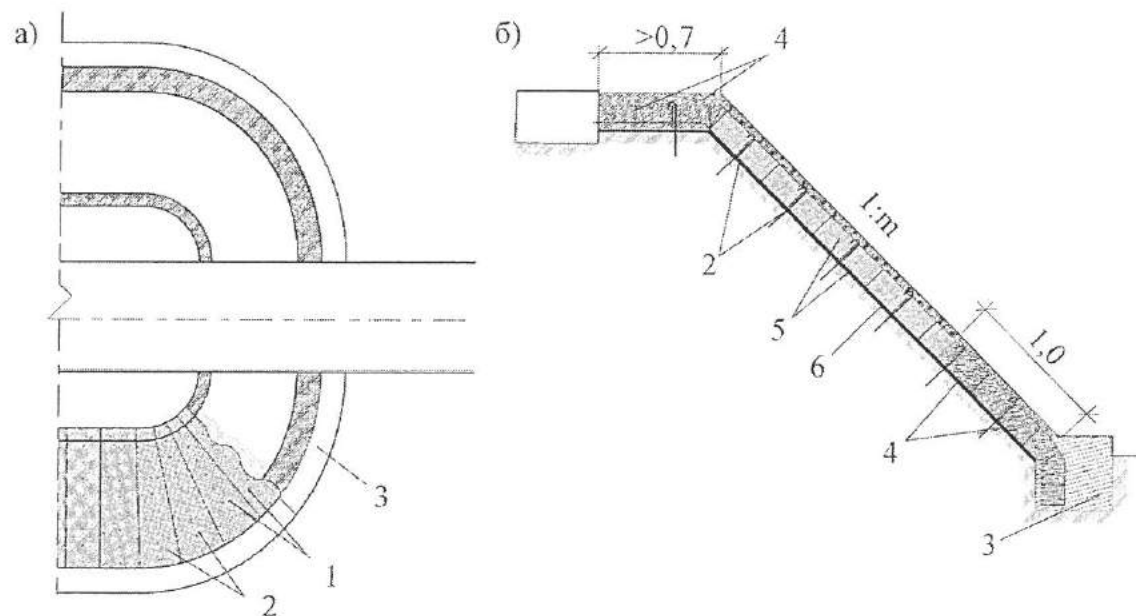
• Назначаемые конструктивные решения по укреплению подтопляемых откосов должны основываться на соответствующих гидравлических расчетах. Рекомендуется уточнять конструктивные решения неподтопляемых откосов с учетом методики расчета, представленной в приложении А, при заложении откосов круче 1:1,75 (размер ячейки геосот более 350 мм), 1:1,5 (размер ячейки более 250 мм) и высоте насыпи более 3 м, а также при отсутствии надежного упора для геосот в нижней части откоса (связные грунты в основании откоса с относительной влажностью W/W_t более 0,85, где W – влажность; W_t – влажность на границе текучести).



- 1 – геосоты; 2 – растительный грунт; 3 – анкер; 4 – защитный слой толщиной 3–5 см над геосотами из материала заполнителя геосот;
 5 – укрепленный грунт, бетонная смесь и др.; 6 – защитная прослойка из нетканого геотекстильного материала; 7 – каменная засыпка;
 8 – бетонный упор; 9 – трос
 (размеры даны в метрах)

Рисунок 5 – Основные варианты (а, б) конструктивных решений укрепления подтопляемых откосов

- Допустимая (неразрывающая) скорость течения воды для несвязных минеральных материалов и грунтов может быть повышена при применении их в качестве заполнителя геосот в 1,3 раза.



а – план; б – поперечный разрез;

1 – модули геосот; 2 – анкеры; 3 – бетонный упор; 4 – заполнение геосот бетонной смесью; 5 – заполнение геосот щебнем; 6 – защитный слой из нетканого геотекстильного материала
(размеры даны в метрах)

Рисунок 6 – Вариант конструктивного решения укрепления конусов мостов (путепроводов)

6.1.3 Конструктивное решение укрепления неподтопляемых откосов высотой до 3 м приведено на рисунке 3,а. При высоте откосов более 3 м рекомендуется выводить геосоты за бровку откоса для их крепления в пределах обочины (см. рисунок 3,б), чем также достигается одновременное укрепление приобочной полосы обочины. Укрепление приобочной и остановочной полос обочин в качестве самостоятельного решения целесообразно в случае наличия эрозионных деформаций обочин при выполнении ремонтных работ. Если предусматривается устройство кюветов, следует рассмотреть целесообразность одновременного их укрепления с укреплением откосов (см. рисунок 3,б). Параметры применяемых геосот могут быть уточнены с учетом расчета по приложению А, но не ниже параметров, приведенных в таблице 2.

6.1.4 В сложных грунтовых условиях, когда возможности создания надежного упора для геосот у подошвы откоса за счет ее заглубления ограничены, например, на участках распространения вечномёрзлых грунтов и возможного подтопления насыпи в отдельные периоды года, к

применению рекомендуются варианты конструктивных решений, приведенные на рисунке 4. При уровне подтопления менее 0,3 м применяют вариант 4,а при уровне подтопления более 0,3 м – вариант 4,б. Размеры геосот: высота не менее 100 мм (150 мм, если откос сложен мелкозернистыми одномерными песками), размер ячейки от 200 до 300 мм.

6.1.5 Варианты укрепления подтопляемых откосов представлены на рисунке 5. В этом случае обязательно создание надежного упора у подошвы насыпи и закрепление геосот в прибровочной зоне, а также устройство под геосотами защитной прослойки из нетканого геотекстильного материала. Дополнительным элементом крепления геосот может служить установка тросового крепления – полимерный трос пропускается через специально устраиваемые отверстия в стенках ячеек геосот (обычно расположенных по центру модуля) и поджимается дополнительными анкерами в ячейке к поверхности грунта откоса (обычно через 3–4 ячейки). Целесообразно применение комбинированного укрепления с разными материалами-заполнителями в зоне подтопления и над ней. В этом случае используют геосоты высотой от 150 до 200 мм с размерами ячейки от 200 до 260 мм. Ориентировочные условия применения конструкций укрепления указаны в таблице 3 (уточняются на основе гидравлических расчетов).

6.2 Дорожные одежды

6.2.1 Проектирование дорожных одежд выполняют в соответствии с положениями действующих документов технического регулирования, в частности норм [8] и методических рекомендаций [9], учитывая особенности создаваемого на основе геосот слоя дорожной одежды в соответствии с положениями настоящего методического документа.

6.2.2 При проектировании дорожных одежд, включающих создаваемые на основе геосот слои, следует руководствоваться следующими общими положениями:

- фиксация геосот на поверхности основания достигается применением анкеров (раздел 7), не выполняющих несущих функций (монтажные анкера), в отличие от случая укрепления откосов; рекомендуется предусматривать их установку в каждую крайнюю ячейку начала и конца модуля по направлению его растяжения и через ячейку в противоположном направлении; высота анкеров равна высоте геосот +0,4 м;

- в качестве заполнителя геосот могут быть использованы различные материалы – местные непучинистые или слабопучинистые грунты, щебень размером зерен от 10 до 20 мм, от 20 до 40 мм, гравий, щебеночно-песчаные, гравийно-песчаные, щебеночно-песчано-гравийные смеси, грунты и материалы, укрепленные вяжущим;

- модуль упругости композитного слоя «материал + геосоты» может быть увеличен, а прочностные его характеристики обеспечивают сдвигоустойчивость слоя, что позволяет снизить толщины слоев дорожной одежды;

- при использовании в качестве заполнителя грунтов и материалов, укрепленных неорганическим вяжущим, создается блочная конструкция (обеспечивается регулируемое трещинообразование в слое в период строительства); это позволяет ограничить появление «отраженных» трещин на покрытии в период эксплуатации дорожной конструкции и создать возможность расширенного применения более жестких заполнителей на основе неорганического вяжущего при создании несущего основания дорожной одежды, однако требует использования специальных решений по исключению «клавишного эффекта» (пункт 6.2.4);

- при устройстве композитного слоя непосредственно на поверхности земляного полотна или при устройстве основания из крупнофракционного материала по поверхности песчаного дополнительного слоя рекомендуется укладывать под композитным слоем защитную (разделяющую) прослойку из нетканого геотекстильного материала;

- предпочтительно применение геосот с текстурированной поверхностью геополос, а при отсутствии перфорации – обязательно, поскольку повышение сдвигоустойчивости на контакте геополос (ячеек) с окружающим заполнителем существенно влияет на эффективность использования геосот; при водопроницаемом заполнителе применяют, как правило, перфорированные геосоты.

6.2.3 Варианты конструкций дорожных одежд переходного типа приведены на рисунке 7. В этом случае композитный слой может выполнять функции покрытия с устройством поверхностной обработки или защитного слоя из втапливаемого щебня (см. рисунки 7,а,б,г), или иного защитного слоя. Учитывая, что определяющим расчетным критерием прочности часто оказывается сдвигоустойчивость песчаного дополнительного слоя основания, при технико-экономическом сравнении может оказаться целесообразным усиление дополнительного слоя основания (см. рисунок 7,в).

Т а б л и ц а 3 – Ориентировочные условия применения конструкций укрепления подтопляемых откосов (при заложении не круче 1:2) с применением геосот с ячейками размером 200–260 мм, высотой 150–200 мм) и геотекстильных прослоек под ними

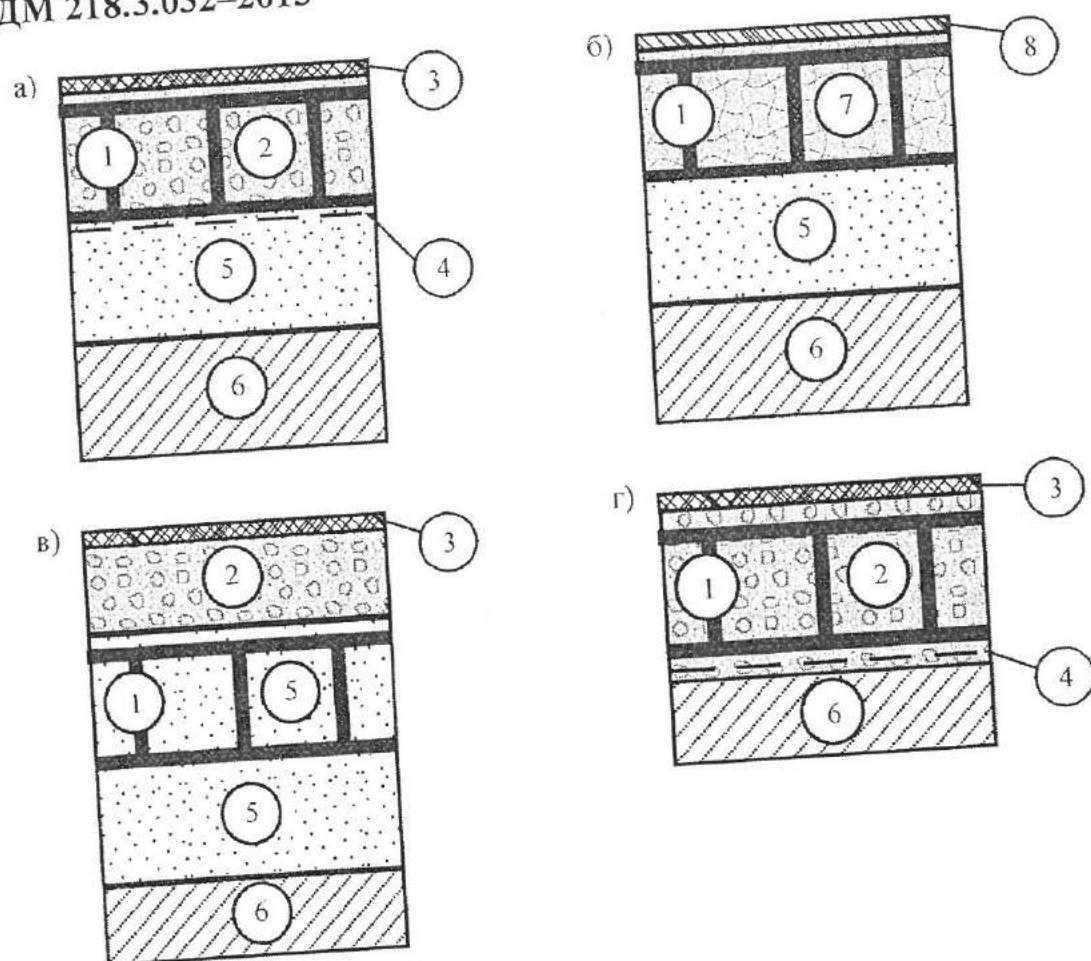
Конструкция укрепления при заложении ячеек	Допустимая скорость течения воды V , м ² /с	Минимальная высота волны H_k , м	Физико-механические свойства геотекстильного нетканого материала
Растительный грунт с гидропосевом трав	0,5	0,2	$R_p \geq 4$ кН/м $\varepsilon_p = 30-140\%$ $P \geq 500$ Н $O_{90} = 100-120$ мКм $K_\phi = 70-140$ м/сут
Укрепленный грунт	1,1	0,4	$R_p \geq 6$ кН/м $\varepsilon_p = 30-150\%$ $P \geq 1500$ Н $O_{90} = 60-120$ мКм $K_\phi = 60-140$ м/сут
Щебень: размер зерен 40–60 мм	1,0	0,3	$R_p \geq 12$ кН/м $\varepsilon_p = 40-150\%$ $P \geq 2300$ Н
то же, с дополнительным укреплением цементным раствором ($\gamma_s \geq 1,95$ т/м ³)	1,5	0,7	$O_{90} = 60-100$ мКм
Бетонная смесь слоем толщиной 7,5 см ($\gamma_s \geq 2,3$ т/м ³) в верхней части и щебень слоем толщиной 7,5 см ($\gamma_s \geq 1,7$ т/м ³) в нижней части	1,9	0,85	$K_\phi = 60-140$ м/сут $D_k < 20$ мм
Бетонная смесь ($\gamma_s \geq 2,3$ т/м ³)	2,3	1,2	

П р и м е ч а н и я

1 γ_s – плотность заполнителя; P – прочность (усилие) при продавливании, определяемая согласно рекомендаций [5]; D_k – ударная прочность, определяемая согласно рекомендаций [5]; R , ε – соответственно прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве, определяемые по ГОСТ 11262–80; O_{90} – характеристика пор, определяемая по ГОСТ Р 53238–2008; K_ϕ – коэффициент фильтрации, нормируемый в плоскости, перпендикулярной плоскости геосинтетического нетканого материала, согласно ГОСТ Р 52608–2006.

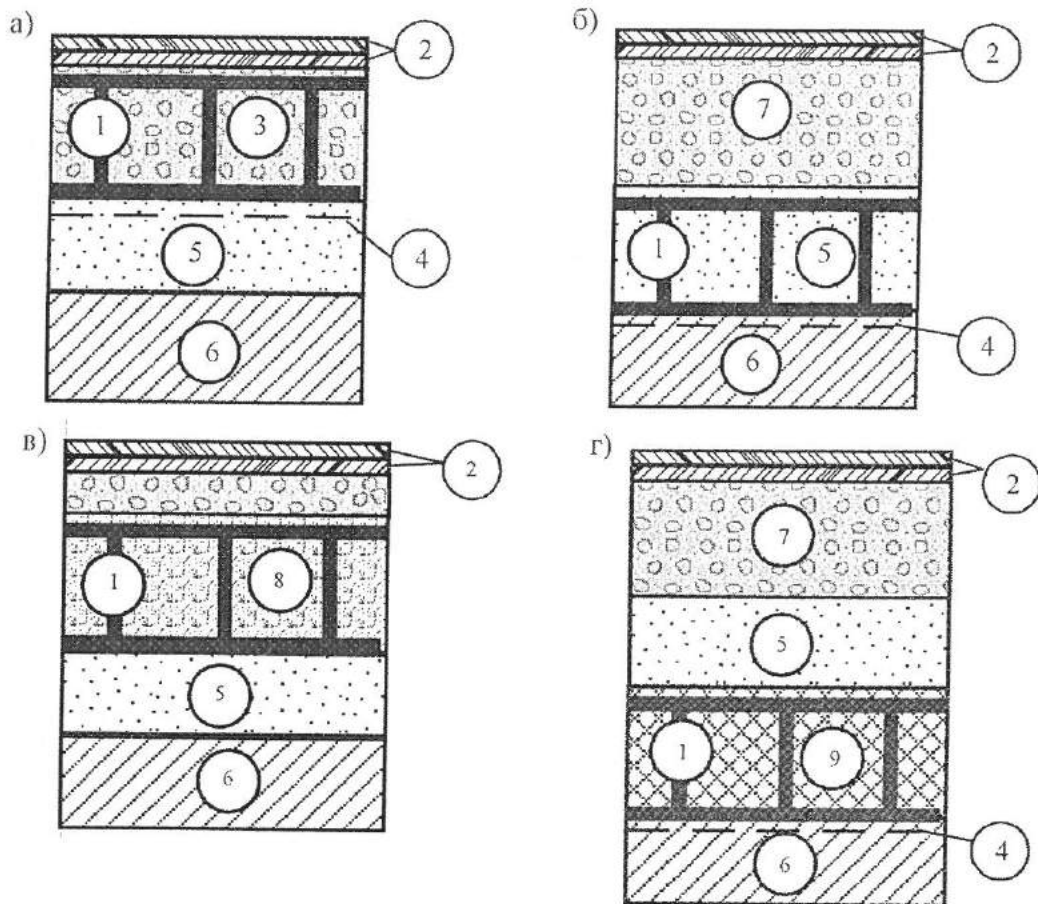
2 Приведены рекомендуемые значения для нетканых геотекстильных материалов, используемых в качестве постоянных элементов – защитных прослоек (фильтров), в конструкции укрепления.

3 Ограничения по продолжительности периода подтопления геосот, заполненных укрепленным грунтом, составляют до 20 сут.



1 – геосоты; 2 – крупнофракционный материал (щебень, гравий, шлак, щебеночно-песчано-гравийная смесь); 3 – поверхностная обработка;
 4 – разделяющая прослойка из геотекстильного материала;
 5 – дополнительный слой основания (песок); 6 – грунт земляного полотна; 7 – песчаный грунт или местный грунт, обработанный вяжущим; 8 – защитный слой из втапливаемого щебня
 Рисунок 7 – Варианты (а,б,в,г) конструктивных решений дорожных одежд переходного типа с применением геосот

6.2.4 Варианты конструкций нежестких дорожных одежд капитального и облегченного типов приведены на рисунке 8. В этом случае композитный слой может выполнять функции несущего основания (см. рисунок 8,а), нижнего слоя несущего основания (см. рисунок 8,в – создание жесткого блочного слоя), дополнительного слоя основания или его части (см. рисунок 8,б – обязательно применение перфорированных геосот). Принятие конструктивного решения, приведенного на рисунке 8,б, целесообразно, если определяющим расчетным критерием является сдвигоустойчивость песчаного грунта дополнительного слоя основания.



1 – геосоты; 2 – слои покрытия; 3 – несущее основание из крупнофракционных зернистых материалов, в том числе обработанных вяжущим; 4 – разделительная прослойка из геотекстильного материала;

5 – дополнительный слой основания (песок); 6 – грунт земляного полотна; 7 – несущее основание; 8 – нижний слой основания из грунтов и материалов, обработанных неорганическим вяжущим; 9 – местный непучинистый грунт

Рисунок 8 – Варианты (а,б,в,г) конструктивных решений нежестких дорожных одежд капитального и облегченного типов

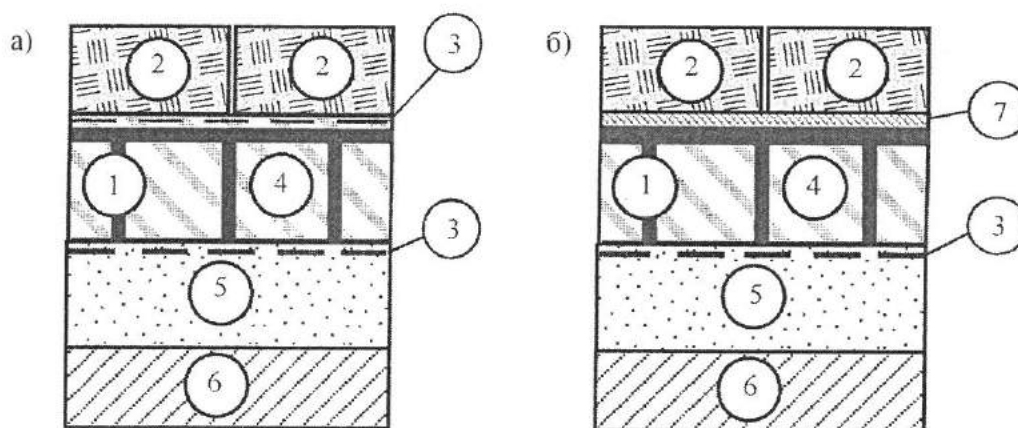
Конструктивное решение, приведенное на рисунке 8,в, обеспечивает создание жесткого и в то же время блочного слоя, что позволяет отойти от ограничений (подраздел 2.9 норм [8]) по наименьшей толщине слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее; применение такого решения должно сопровождаться специальными конструктивными мероприятиями, исключающими появление «клавишного эффекта» (вертикального смещения заполнителя отдельных ячеек друг относительно друга под воздействием транспортной нагрузки). В качестве таких мероприятий может быть использовано решение,

аналогичное решению, приведенном на рисунке 8,в, с устройством двухслойного композитного несущего основания и смещением слоев геосот при их укладке на половину размера ячейки по ширине проезжей части или применение геосот с горизонтальными углублениями в геополосах в пределах каждой из ячеек, обеспечивающих объединение по типу шпунтового [10].

Конструктивное решение, приведенное на рисунке 8,г, целесообразно, если определяющим расчетным критерием является сдвигоустойчивость грунта верхней части рабочего слоя земляного полотна.

6.2.5 Расчет нежестких дорожных одежд капитального и облегченного типов выполняют в соответствии с нормами [8] с учетом особенностей, изложенных в приложении Б. Расчет дорожных одежд переходного и низшего типов выполняют в соответствии с приложением В.

6.2.6 Варианты конструкций жестких дорожных одежд приведены на рисунке 9. Расчет по сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев (подраздел 3.35 методических рекомендаций [9]) выполняют с учетом положений пункта 6.2.5 настоящего методического документа.



1 – геосоты; 2 – бетонные плиты; 3 – разделяющий слой из геотекстильного материала; 4 – заполнитель геосот (песок, щебень, гравий, шлак, песчано-гравийная смесь), в том числе укрепленный вяжущим (при соблюдении положений пункта 6.2.4 в части конструктивного решения, приведенного на рисунке 8,в); 5 – песчаный дренарующий слой; 6 – грунт земляного полотна; 7 – монтажный слой из пескоцементной смеси

Рисунок 9 – Варианты (а, б) конструктивных решений жестких дорожных одежд

6.3 Земляное полотно в сложных условиях строительства

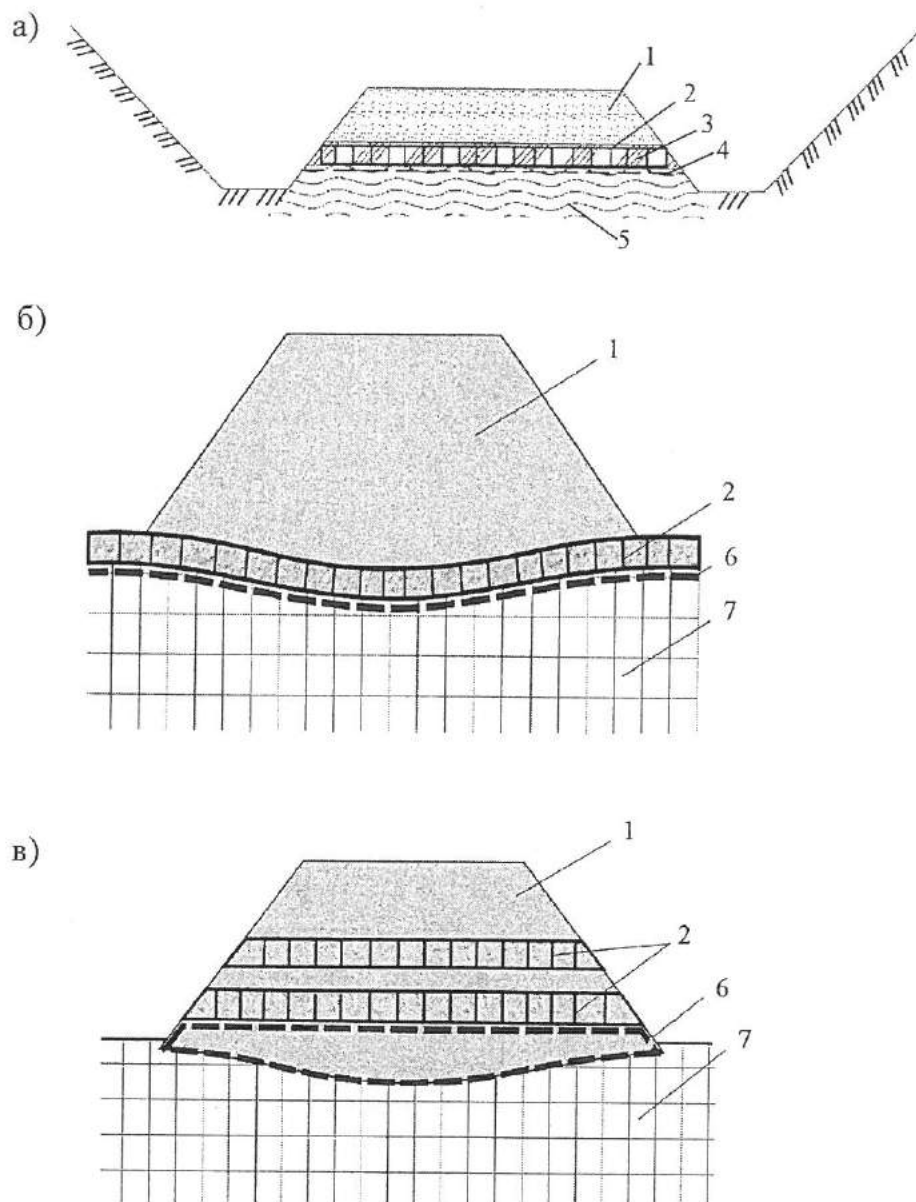
6.3.1 Улучшенные характеристики композитных слоев, прежде всего повышенная их жесткость, могут быть использованы в условиях возможности возникновения больших по величине и неоднородных по площади деформаций дорожных конструкций. Возникновение таких деформаций характерно в случае возведения земляного полотна на участках распространения связных грунтов повышенной влажности, возведения насыпей на слабых основаниях и в районах распространения вечномерзлых грунтов.

6.3.2 Геосоты могут быть применены в сложных условиях возведения низких насыпей, насыпей в выемках, когда в их основаниях расположены грунты повышенной влажности. Помимо снижения неравномерности деформирования при заполнении геосот крупнофракционным дренирующим материалом (щебнем, гравием, песчано-гравийной смесью) создается капилляропрерывающий слой. В этом случае может быть использовано конструктивное решение, приведенное на рисунке 10,а (применение разделяющей прослойки из геотекстильного материала под геосотами обязательно), при этом рекомендуется использование геосот высотой от 150 до 200 мм с размером ячейки от 200 до 260 мм.

6.3.3 Основная цель применения геосот в условиях слабых оснований – армирование нижней части насыпи с повышением ее жесткости и устойчивости (повышением допустимой нагрузки на слабое основание). В этом случае решаются задачи расширения возможностей возведения насыпей на слабом основании без выторфовывания или с частичным выторфовыванием; снижения объемов земляных работ и неравномерности осадки; сокращения сроков до устройства покрытия. Основные конструктивные решения, представленные на рисунках 10б,в, включают:

- укладку геосот непосредственно на слабое основание (см. рисунок 10,б) с устройством разделяющей (или разделяющей и армирующей) прослойки из геотекстильного материала под ней с укладкой его полотен в направлении, поперечном оси насыпи (рекомендуется при общей величине осадки до 50 см);

- устройство дополнительных прослоек в теле насыпи (см. рисунок 10,в), что позволяет в большей степени снизить неравномерность осадок и повысить общую устойчивость откосов.



1 – насыпь; 2 – геосоты; 3 – дренирующий заполнитель (песчано-гравийная смесь, щебень, гравий); 4 – разделяющая прослойка из геотекстильного материала; 5 – связный грунт повышенной влажности; 6 – армирующая прослойка из геотекстильного материала сетчатой структуры; 7 – слабое основание
Рисунок 10 – Схемы применения геосот при возведении насыпей на основании из связных грунтов повышенной влажности (а) и на слабых основаниях (б, в)

6.3.4 При назначении конструктивных решений с применением геосот в насыпях на слабых грунтах рекомендуется руководствоваться следующими положениями:

- возможны иные конструктивные решения, предусматривающие комбинацию различных методов строительства на слабых грунтах, в частности, использование геосот возможно в составе гибкого ростверка свайных конструкций в сочетании с другими армирующими геосинтетическими материалами;

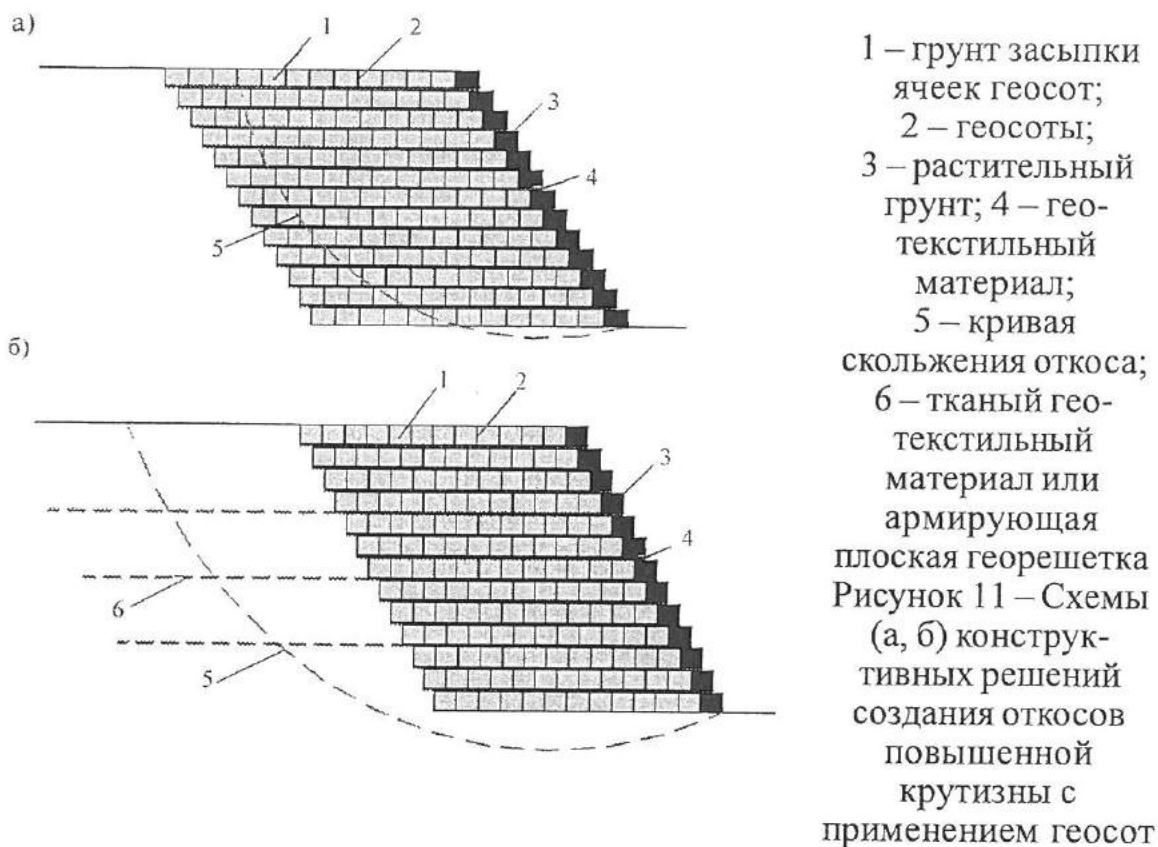
- применение геосот следует обосновывать специальными расчетами, изложенными, в частности, в пособии [11], при этом следует учитывать блочный характер создаваемого композитного слоя (наличие ослабленных с позиций работы на растяжение зон в местах примыкания отдельных модулей геосот);

- при укладке геосот по схемам, приведенным на рисунках 10, б, в, количественное среднее снижение осадки (разница осадок по оси и у краев насыпи) в этом случае может быть принято равным 15%, а при расчете периода консолидации требуемая степень консолидации $U_{тр}$ может быть снижена до значения $U'_{тр} = 0,84 \cdot U_{тр}$;

- при возведении насыпей на слабых грунтах используют геосоты минимальной высотой 150 мм с размером ячейки от 200 до 260 мм с прочностью шва от 12 кН/м.

6.3.5 Для обеспечения устойчивости откосов повышенной крутизны геосоты могут быть применены по схемам, приведенным на рисунке 11. Цель такого решения – обеспечение строительства в стесненных условиях, сокращение площади отводимых земель, объемов земляных работ. В этом случае композитный слой «дренирующий грунт + геосоты» обеспечивает устойчивость поверхностной зоны откоса в пределах ширины B или длины A модуля от поверхности откоса. Если общая устойчивость откоса не обеспечивается, используют конструктивное решение по схеме, приведенной на рисунке 11,б (дополнительное применение армирующих прослоек из тканого геотекстильного материала, армирующих материалов сетчатой структуры).

6.3.6 Ячейки геосот заполняются несвязным дренирующим материалом. Ближайшие к поверхности откоса ячейки могут быть заполнены растительным грунтом, крупнофракционными материалами, материалами и грунтами, укрепленными вяжущими. Применяют геосоты высотой 200 мм размером ячейки от 200 до 260 мм с прочностью шва от 12 кН/м (условная прочность шва не менее 70 кН/м). Расчетное обоснование решений по повышению общей устойчивости откосов при их крутизне до 70° может базироваться в этом случае на положениях раздела 11 рекомендаций [7] или пособия [11]. Устройство армогрунтовых конструкций с откосами крутизной выше 70° требует отдельной регламентации с оценкой внешней и внутренней устойчивости.



6.3.7 Назначение и расчетное обоснование конструктивно-технологических решений, предусматривающих использование геосот в условиях слабых оснований, при возведении откосов повышенной крутизны, а также при строительстве в районах распространения вечномёрзлых грунтов, рекомендуется выполнять в рамках работ по индивидуальному проектированию с научным сопровождением.

6.4 Сооружения поверхностного водоотвода

6.4.1 Цель применения геосот – защита поверхности водоотводных канав (кюветов), русел у водопропускных труб от размыва. Решаемые с помощью геосот задачи: замена традиционных типов укреплений или использование в сочетании с ними для повышения надежности укрепления; повышение технологичности при строительстве.

6.4.2 Конструктивные решения назначают в зависимости от грунтово-гидрологических условий в соответствии с действующими документами и учетом следующих положений:

- при укреплении водоотводных сооружений применяют геосоты с размером ячейки от 200 до 260 мм с рифленной поверхностью, как правило, перфорированные, высотой от 75 до 100 мм при заполнении растительным

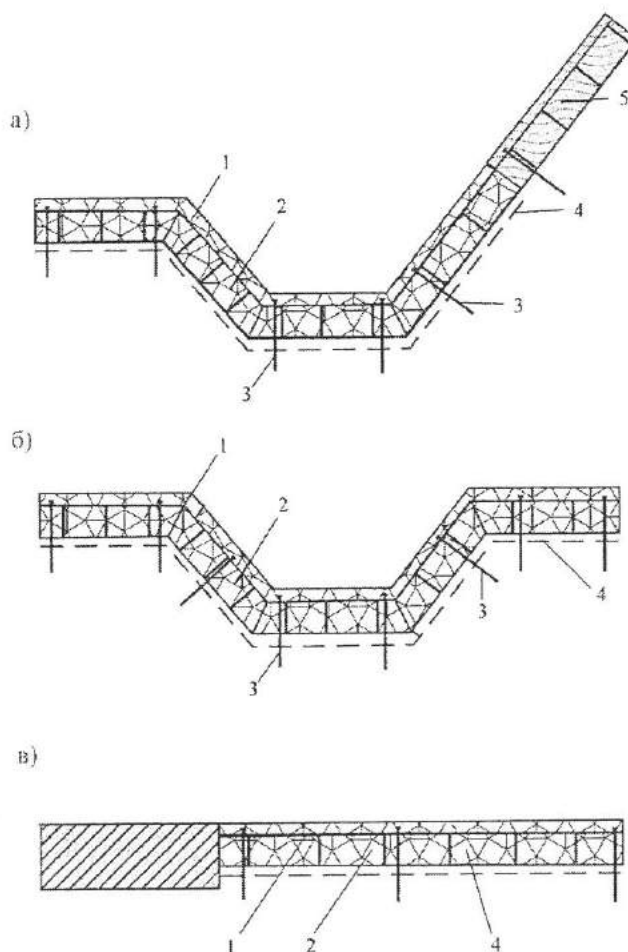
грунтом и от 150 до 200 мм при заполнении крупнофракционным или укрепленным вяжущим материалом;

- допустимая (неразмывающая) скорость течения воды при заполнении геосот несвязными материалами, растительным грунтом может быть повышена на 30% по отношению к заполнителю (значение повышения может быть уточнено на основе экспериментальных данных);

- материалы, обработанные вяжущим, в том числе бетонные смеси, при использовании в сочетании с геосотами образуют более надежное укрепление с повышенным сроком службы, особенно в сложных грунтовых условиях – наличие в основании укрепления пылеватых пучинистых грунтов, грунтов с повышенной влажностью. Повышение надежности достигается в результате повышенной стойкости такого укрепления к возникающим деформациям.

6.4.3 Основные конструктивные решения укрепления сооружений поверхностного водоотвода представлены на рисунке 12. При анкерном

1 – геосоты;
2 – заполнитель геосот (щебень, укрепленный грунт, бетонная смесь и др.); 3 – анкеры;
4 – разделяющая прослойка из нетканого геотекстильного материала;
5 – заполнитель геосот (растительный грунт)
Рисунок 12 – Схемы конструктивных решений укрепления сооружений поверхностного водоотвода с применением геосот: кюветов (а), водоотводных канав (б), русел у оголовков водопропускных труб (в)



креплении геосот следует руководствоваться положениями пункта 6.1.2, дополняя крепление установкой анкеров в местах перелома продольного профиля канав (кюветов). Краевые части геосот должны быть выведены за пределы бровок кюветов (водоотводных канав) и надежно закреплены.

7 Технология производства работ

7.1 Особенности производства работ

7.1.1 При применении геосот особенности выполнения работ связаны с подготовкой основания под их укладку, установкой геосот, заполнением ячеек, формированием композитного слоя.

7.1.2 Поверхность основания перед укладкой геосот должна быть выровнена и уплотнена. При необходимости устраивают разделяющую прослойку из нетканого геотекстильного материала в соответствии с рекомендациями [7] и учетом положений подраздела 5.3, раздела 6. При укреплении откосов создают требуемые проектным решением условия для крепления концевых частей модуля геосот у подошвы (доуплотнение грунта основания земляного полотна у подошвы, создание упора у подошвы при необходимости) и бровки откоса (выравнивание и уплотнение грунта в прибровочной зоне обочины, создание ровика в этой зоне при необходимости).

7.1.3 Перед установкой геосот выполняют разметку границ укладываемых модулей с учетом паспортных данных по геометрическим размерам модуля и принятому направлению его укладки, фиксируют углы модуля. Как правило, растяжение модуля (в направлении длины) при укладке на откосе выполняют от бровки к его подошве, при устройстве дорожной одежды – вдоль оси насыпи.

7.1.4 Для установки и крепления геосот к основанию используют анкеры из арматуры или специальные, в том числе пластиковые. При укреплении откосов монтажные анкеры одновременно выполняют функции несущих, противодействующих сдвиговым деформациям, в необходимых случаях предусматривается установка дополнительных несущих анкеров. Рекомендуемое стандартное размещение и параметры анкеров представлены на рисунке 13 и в таблице 4.

7.1.5 При укреплении откосов выполняют (с учетом проведенной разметки границ) забивку анкеров, располагаемых по ширине модуля в его начале и конце с недозаглублением на 15–20 см. Крайние ячейки начала модуля надевают на анкеры и окончательно их забивают. Растягивают модуль и надевают крайние ячейки конца модуля на анкеры, окончательно

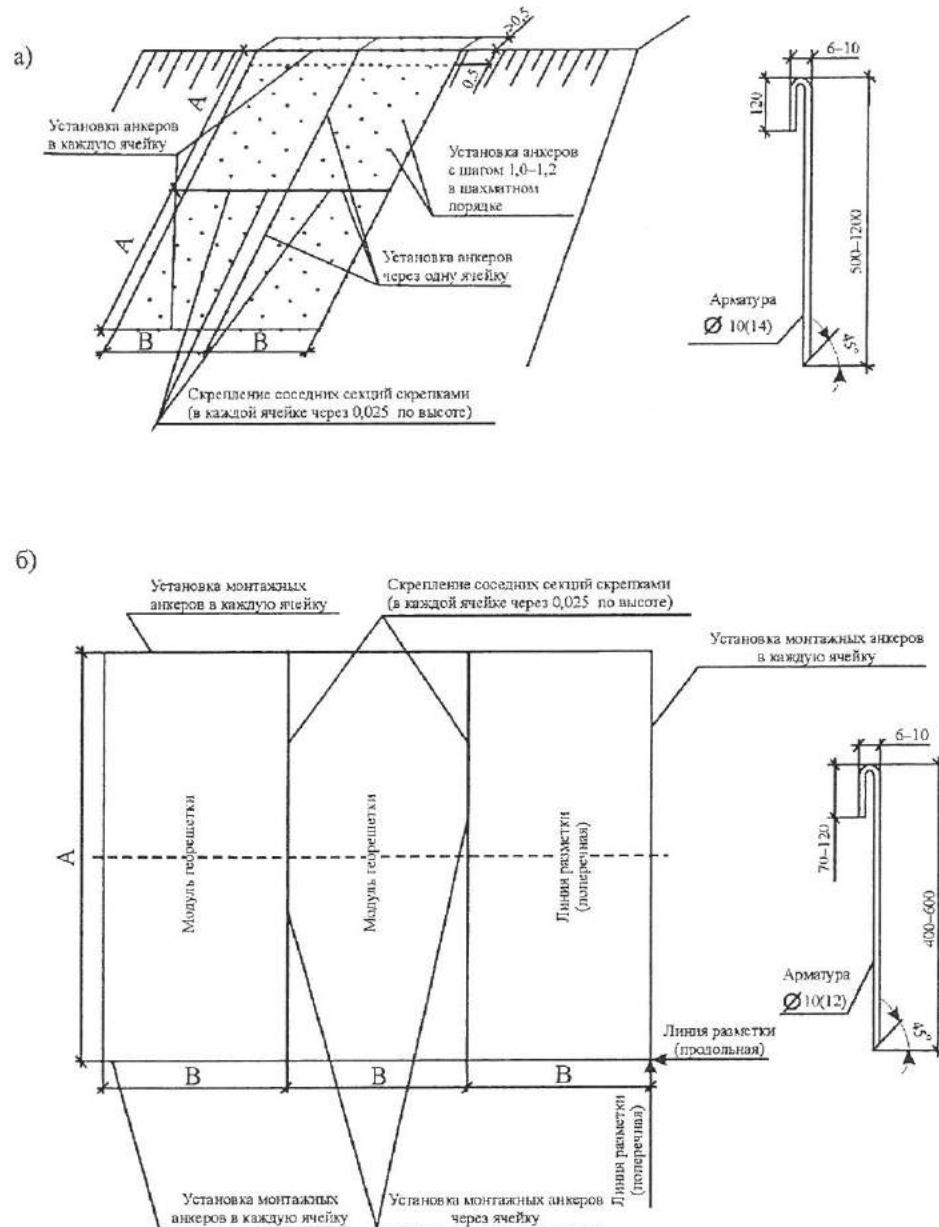


Рисунок 13 – Типовые схемы укладки и крепления геосот при укреплении откосов (а) и в конструкции дорожной одежды (б) (размеры на схемах даны в метрах ; анкеров – в миллиметрах)

их забивают. Устанавливают анкеры в крайние ячейки по длине модуля с недозаглублением на 15–20 см. Остальные анкеры – равномерно по всей площади модуля. Аналогичным образом устанавливают смежный модуль, после чего окончательно забивают анкеры на границе модулей, объединяя их смежные ячейки. Окончательное скрепление смежных модулей выполняют с помощью степлера в каждой ячейке в нескольких местах по ее высоте через 2,5 см. Если предусмотрено дополнительное крепление с помощью тросов, перед началом растяжения геосот через отверстия в их

стенках протягивают полимерные тросы, после чего растягивают геосоты, крепят анкерами, а трос через 3–4 ячейки поджимают к основанию анкерами.

Т а б л и ц а 4 – Рекомендуемое размещение и размеры анкеров

Размещение и размеры анкеров	Область применения геосот при укреплении		
	откосов высотой более 6 м при заложении		дорожных одежд
	круче 1:1,75 (неподтопляемые)	круче 1:1,75 (подтопляемые)	
Установка анкеров: в крайние ячейки начала и конца модуля по направлению растяжения	В каждую ячейку		
в крайние ячейки в противополож- ном направлении	Через ячейку	Через ячейку (до уровня подтопления – в каждую ячейку)	Через одну- две ячейки
в ячейки равно- мерно по площади модуля, м	Через 1,0–1,2	Через 0,6–0,8	-
Длина анкеров, м	0,60–0,65 (0,85–0,90 при h^* более 0,1)	1,0–1,2	$h^* + (0,3–0,4)$
Диаметр анкеров (металлическая арматура), мм	10–12	12–14	8–10

* h – высота геосот, м

7.1.6 При укладке геосот на горизонтальную поверхность выполняют разметку границ модулей, в продольном направлении (параллельно оси земляного полотна) устанавливают по одной стороне временные монтажные анкера (см. рисунок 13,б).

Крайние ячейки геосот надевают на анкера, растягивают геосоты и закрепляют на противоположной стороне временными монтажными анкерами. Соседние модули также предварительно скрепляют монтажными анкерами (установка анкеров в поперечном направлении), после чего выполняют окончательное скрепление специальными скрепками при помощи степлера в каждой ячейке в нескольких местах по

ее высоте примерно через 2,5 см. Заполнение ячеек каркаса рекомендуется выполнять в два этапа:

- на первом этапе крайние ячейки каждой секции заполняют вручную, после чего монтажные анкеры могут быть удалены;

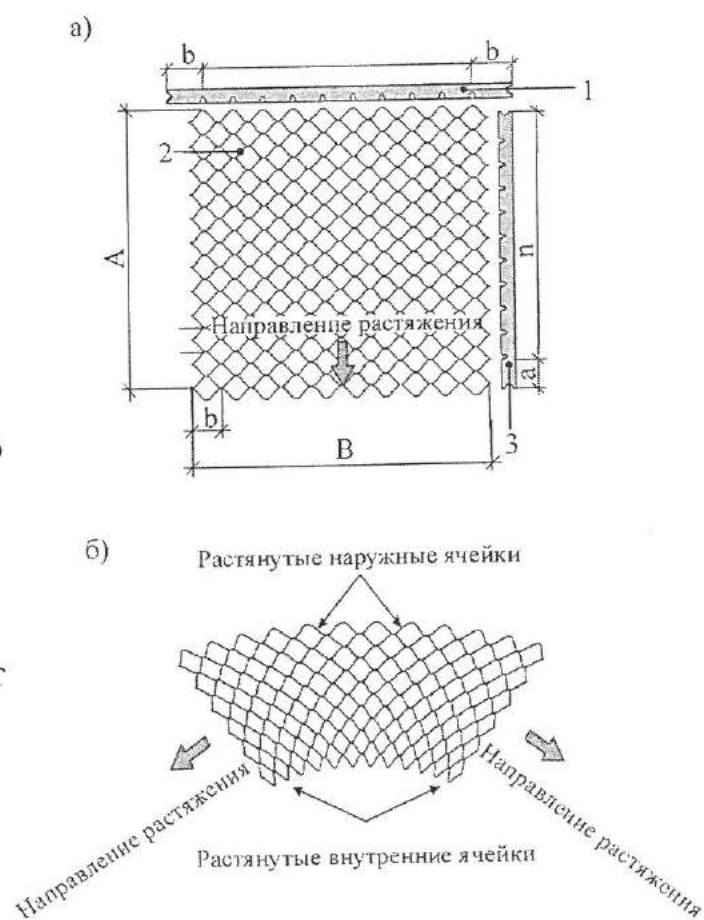
- на втором этапе остальные ячейки заполняют по способу «от себя», перемещая материал заполнителя автопогрузчиком или разравнивая подвезенный материал бульдозером. При этом перемещение строительной техники возможно после заполнения ячеек с избытком – более 5 см над геосотами, т.е. с созданием защитного слоя. Толщина этого слоя после уплотнения должна быть не менее 5 см при заполнении щебнем и 3 см при заполнении песком. Уплотнение заполнителя выполняют, как правило, виброкатками или катками на пневмошинах.

При заполнении ячеек можно применять материалы, укрепленные неорганическими вяжущими, в сухом состоянии с последующим уплотнением водой.

7.1.7 При выполнении работ по разметке границ модулей рекомендуется использовать шаблоны (рисунок 14,а), а укладку геосот на кривых – выполнять за счет разного растяжения наружных и внутренних ячеек (рисунок 14,б).

1 – шаблон для разметки по ширине; 2 – геосоты; 3 – шаблон для разметки по длине (в направлении растяжения); n – количество интервалов по длине и ширине модуля

Рисунок 14 – Разметочный шаблон для установки анкеров (а) и укладка геосот на кривых (б)



7.2 Контроль качества

7.2.1 Перед укладкой геосот грунтовое основание должно быть выровнено и уплотнено, его проектные параметры (уклоны, размеры) должны быть проверены и приняты в установленном порядке согласно СНиП 2.05.02–85* (СП 34.13330.2012), СНиП 3.06.03–85 (СП 78.13330.2012).

7.2.2 Геосоты должны иметь сопроводительные документы, подтверждающие их марку и качество (паспорт на партию, стандарт организации).

7.2.3 Визуально проверяют внешний вид геосот. Полосы и сварные швы геосот не должны иметь разрывов, расслоений. Замеряют геометрические размеры геосот, контролируя их соответствие сопроводительным документам.

7.2.4 В процессе монтажа геосот контролируют расположение отдельных модулей друг относительно друга, соответствие проекту количества, мест расположения и длины анкеров, устанавливаемых в местах соединения соседних модулей, а также крепок. Несовпадение смежных ячеек соседних модулей по высоте не должно превышать 1 см. При скреплении соседних секций скрепками расстояние между ними должно быть не более 2,5 см.

7.2.5 В процессе заполнения ячеек геосот контролируют высоту падения материала заполнителя, которая не должна превышать 1 м (для песка и песчано-гравийной смеси), и 0,5 м для крупнофракционных материалов (щебня). При заполнении ячеек крупнофракционным материалом максимальный размер крупных фракций не должен превышать значений, указанных в таблице 1.

7.2.6 При производстве работ зимой контролируют наличие в ячейках геосот снега. Возможно заполнение геосот при условии, что их ячейки заполнены снегом не более чем на 20% объема.

7.2.7 Результаты входного, операционного и приемочного контроля заносят в журналы работ, а также акты освидетельствования скрытых работ и приемки ответственных конструкций [12] согласно СНиП 12–01–2004 (СП 48.13330.2011).

7.3 Техника безопасности

7.3.1 К выполнению работ по устройству композитных слоев «геосоты + заполнитель» допускаются лица, имеющие соответствующую квалификацию, прошедшие медицинский осмотр, инструктаж и проверку знаний по вопросам охраны и техники безопасности труда в объемах,

соответствующих занимаемой должности, обученные безопасным методам и приемам работ.

7.3.2 В процессе производства работ необходимо выполнять требования пожарной безопасности, правила по охране труда при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог, а также правила по технике безопасности [12, 13]. Машинисты машин и механизмов должны неукоснительно выполнять требования, изложенные в инструкциях по эксплуатации соответствующих машин и механизмов.

7.3.3 Лица, связанные с производством работ, должны быть обеспечены специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты глаз и кожных покровов.

7.3.4 Отходы производства должны собираться отдельно и утилизироваться в установленном порядке. В процессе выполнения работ следует также соблюдать положения стандартов организаций (СТО) на конкретные марки геосот.

Приложение А

Расчетная оценка условий предельного равновесия поверхностной зоны откоса, укрепленной геосотами

А.1 Параметры конструктивных решений неподтопляемых откосов

А.1.1 Параметры конструктивных решений неподтопляемых откосов могут быть уточнены на основе расчетной оценки условий предельного равновесия поверхностной зоны откоса, укрепленной геосотами. Оценка выполняется исходя из коэффициента запаса местной устойчивости $K_{\text{зап}}$, определяемого по формуле

$$K_{\text{зап}} = \frac{\sum T_{\text{уд}}}{\sum T_{\text{сд}}} \geq 1,25, \quad (\text{А.1})$$

где $\sum T_{\text{уд}}$ – сумма сил, удерживающих конструкцию укрепления на откосе, в расчете на требуемое количество модулей по высоте откоса и один модуль геосот по длине земляного полотна

$$\sum T_{\text{уд}} = T_{\text{тр}} + T_{\text{узл}}^{\text{анк}} + T_{\text{осн}} + T_{\text{анк}}; \quad (\text{А.2})$$

$T_{\text{тр}}$ – удерживающее усилие, создаваемое трением и сцеплением по поверхности скольжения, определяемое по формулам (А.9–А.14);

$T_{\text{узл}}^{\text{анк}}$ – дополнительное усилие сопротивления, возникающее в узлах с анкером, назначаемых по технологическим соображениям (см. подпункт 6.1.2), определяемое по формуле (А.16);

$T_{\text{осн}}$ – величина пассивного отпора при упоре конструкции укрепления в основание земляного полотна, определяемая по формулам (А.17–А.19);

$T_{\text{анк}}$ – удерживающее усилие за счет крепления конструкции с помощью дополнительных несущих анкеров, определяемое по формуле (А.20);

$\sum T_{\text{сд}} = T_{\text{всс}}$ – сдвигающее усилие от веса конструкции укрепления в расчете на требуемое количество модулей по высоте откоса и один модуль геосот по длине земляного полотна

$$\sum T_{\text{сд}} = T_{\text{всс}} = N \cdot n_{\text{яч}} \cdot a \cdot b \cdot h' \cdot \gamma_{\text{зап}} \cdot \sin \beta_0; \quad (\text{А.3})$$

N – число модулей геосотового материала в конструкции укрепления

$$N = \frac{L}{L_m^{дл}}; \quad (A.4)$$

L – длина укрепляемого откоса, определяемая по рисунку А.1;

$L_m^{дл}$ – размер растянутого модуля геосот по длине направляющей откоса;

h' – высота заполнителя с учетом его избыточной толщины (3–5 см) над геосотами высотой h ;

$\gamma_{зап}$ – плотность материала-заполнителя;

a – размер ячейки в растянутом состоянии по высоте откоса;

b – размер ячейки в растянутом состоянии по длине откоса;

β_0 – угол заложения откоса, принимаемый по величине заложения откоса по таблице А.1;

$n_{яч}$ – количество ячеек в каждом модуле

$$n_{яч} = n_{яч}^{дл} \cdot n_{яч}^{шир}; \quad (A.5)$$

$n_{яч}^{дл}$ – количество ячеек по длине модуля в направлении растяжения

$$n_{яч}^{дл} = \frac{A}{a}; \quad (A.6)$$

$n_{яч}^{шир}$ – количество ячеек по ширине модуля

$$n_{яч}^{шир} = \frac{B}{b}; \quad (A.7)$$

A, B – соответственно длина и ширина модуля геосот.

А.1.2 При угле заложения откоса проектируемого земляного полотна β_0 большем, чем угол естественного откоса заполнителя φ_3 , т.е. при $\beta_0 \geq \varphi_3$ следует уточнять принимаемую высоту геосот $h_{расч}$ по формуле

$$h_{расч} = a \cdot \operatorname{tg}(\beta_0 - \varphi_3) + d_k, \quad (A.8)$$

где d_k – максимальная крупность зерен материала-заполнителя (для песчаных, глинистых, растительных, торфяных грунтов $d_k = 2,5$).

В первом приближении при отсутствии данных лабораторных испытаний угол φ_3 может быть принят по таблице А.2 или по условию $\varphi_3 \approx \varphi_{зап}$.

При $h_{расч} > h$ следует принимать $h \geq h_{расч}$, где h – высота геосот.

По формулам (А.9–А.14) определяем

$$T_{\text{тр}} = N \cdot n_{\text{яч}} \cdot a \cdot b \cdot (h' \cdot \gamma_{\text{зап}} \cdot \cos \beta_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi'' + c''), \quad (\text{А.9})$$

где φ'', c'' – соответственно значения угла внутреннего трения и сцепления грунта (материала-заполнителя) по поверхности скольжения (откоса).

$$\operatorname{tg} \varphi'' = \operatorname{tg} \varphi'; \quad c'' = c', \quad (\text{А.10})$$

$$\text{при } \varphi_{\text{зп}} < \varphi_{\text{зап}}, \quad \operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg} \varphi_{\text{зп}}, \quad (\text{А.11})$$

$$\text{при } \varphi_{\text{зп}} \geq \varphi_{\text{зап}}, \quad \operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg} \varphi_{\text{зап}}, \quad (\text{А.12})$$

$$\text{при } c_{\text{зп}} < c_{\text{зап}}, \quad c' = c_{\text{зп}}, \quad (\text{А.13})$$

$$\text{при } c_{\text{зп}} \geq c_{\text{зап}}, \quad c' = c_{\text{зап}}, \quad (\text{А.14})$$

где $\varphi_{\text{зп}}, c_{\text{зп}}, \varphi_{\text{зап}}, c_{\text{зап}}$ – соответственно значения угла внутреннего трения и сцепления грунта (материала) деятельного слоя откоса земляного полотна и материала-заполнителя геосот;

φ', c' – соответственно значения угла внутреннего трения и сцепления грунта (материала), принимаемые избирательно по формулам А.11–А.14.

При укладке геосот на геотекстильный материал принимают пониженные значения прочностных параметров для поверхности скольжения, принимаемые по формулам

$$\operatorname{tg} \varphi'' = 0,6 \cdot \operatorname{tg} \varphi'; \quad c'' = 0,1 \cdot c'. \quad (\text{А.15})$$

А.1.3 Величину дополнительного усилия сопротивления, возникающего в узлах с анкером, определяют по формуле

$$T_{\text{узл}}^{\text{анк}} = N \cdot n_{\text{узл}}^{\text{анк}} \cdot \frac{h \cdot R_{\text{ш}}}{K_{\text{ш}}}, \quad (\text{А.16})$$

где $R_{\text{ш}}$ – прочность шва геосот;

$K_{\text{ш}}$ – коэффициент, учитывающий возможные повреждения при строительстве и длительное воздействие нагрузок (рекомендуемое значение $K_{\text{ш}} = 4$);

$n_{\text{узл}}^{\text{анк}}$ – минимальное количество заанкеренных узлов в каждом модуле, назначаемое по технологическим соображениям в соответствии с пунктом 6.1.2.

А.1.4 При отсутствии упора у подошвы насыпи (см. рисунок 3,а) величина минимального значения пассивного давления естественного основания может быть определена по зависимости

$$T_{\text{осн}} = \frac{\gamma_{\text{осн}} \cdot (h')^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{осн}}}{2} \right), \quad (\text{A.17})$$

где $\gamma_{\text{осн}}$, $\varphi_{\text{осн}}$ – соответственно плотность и угол внутреннего трения грунта основания в естественном состоянии.

А.1.5 При наличии упора у подошвы насыпи, выполненного с использованием решетки без заглубления в подошву (для конструктивных решений, представленных на рисунках 3,б, 4), величина $T_{\text{осн}}$ может быть определена по формуле

$$T_{\text{осн}} = \gamma_{\text{зап}} \cdot h' \cdot L_{\text{м}}^{\text{шпр}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{осн}}, \quad (\text{A.18})$$

где $L_{\text{м}}^{\text{шпр}}$ – размер растянутого модуля геосот вдоль подошвы откоса.

А.1.6 При наличии упора, заглубленного в подошву и выполненного в виде решетки с заполнителем, бетонного блока или каменной засыпки (см. рисунки 5, 6) эта величина может быть определена по зависимости

$$T_{\text{осн}} = B_{\text{уп}} \cdot S_{\text{уп}} \cdot \gamma_{\text{уп}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{осн}} + \frac{\gamma_{\text{осн}} \cdot (h_{\text{загл}})^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{осн}}}{2} \right), \quad (\text{A.19})$$

где $B_{\text{уп}}$ – суммарная ширина упора, приходящаяся на длину одного модуля геосот;

$S_{\text{уп}}$ – площадь поперечного сечения упора;

$\gamma_{\text{уп}}$, $\gamma_{\text{осн}}$ – соответственно плотность материала упора и грунта основания земляного полотна;

$h_{\text{загл}}$ – глубина заглубления упора в грунт земляного полотна.

А.1.7 При устройстве упора на геотекстильном материале принимают пониженное значение угла внутреннего трения грунта основания в соответствии с зависимостью (А.15).

А.1.8 При оценке местной устойчивости конструкции укрепления на откосе за счет дополнительных несущих анкеров, располагаемых по площади откоса или на бровке откоса, расчет проводят по зависимостям (А.20 – А.28) в следующей последовательности:

- определяют нагрузку, воспринимаемую несущими анкерами, которая определяется по величине избыточной сдвигающей нагрузки по формуле

$$T_{\text{анк}} = T_{\text{сд}}^{\text{изб}} = 1,25 \cdot \sum T_{\text{сд}} - \sum T_{\text{уд}}; \quad (\text{A.20})$$

- определяют несущую способность единичного анкера по условиям прочности материала анкера на разрушающую нагрузку – сдвиг (срез) по формуле (А.21) или условию прочности шва геосот по формуле (А.22)

$$T_{\text{анк}}^{\text{мат}} = \frac{R_{\text{анк}}^{\text{пр}} \cdot F_{\text{анк}}}{1,4}, \quad (\text{A.21})$$

$$T_{\text{анк}}^{\text{ш}} = \frac{h \cdot R_{\text{ш}}}{K_{\text{ш}}}, \quad (\text{A.22})$$

где $R_{\text{анк}}^{\text{пр}}$ – сопротивление материала анкера разрушению при сдвиге (срезе);
 $1,4$ – коэффициент запаса по материалу анкера;
 $F_{\text{анк}}$ – площадь поперечного сечения анкера.

По формуле (A.23) принимают

$$\begin{aligned} T'_{\text{анк}} &= T_{\text{анк}}^{\text{ш}} \quad \text{при} \quad T_{\text{анк}}^{\text{мат}} > T_{\text{анк}}^{\text{ш}}, \\ T'_{\text{анк}} &= T_{\text{анк}}^{\text{мат}} \quad \text{при} \quad T_{\text{анк}}^{\text{мат}} < T_{\text{анк}}^{\text{ш}}. \end{aligned} \quad (\text{A.23})$$

При отсутствии данных в первом приближении ориентировочное значение несущей способности для анкеров различных материалов может быть определено по таблице А.3 и пункту А.2.3.

А.1.9 Несущую способность анкера по грунту $P_{\text{кр}}$ определяют в следующей последовательности.

Определяют максимальную требуемую глубину забивки анкера $l_{\text{анк}}$ по формуле

$$l_{\text{анк}} = \frac{P_{\text{анк}}}{\pi \cdot d_{\text{анк}} \cdot q_{\text{ск}}}, \quad (\text{A.24})$$

где $P_{\text{анк}}$ – усилие, передаваемое от анкера на грунт;
 $d_{\text{анк}}$ – ширина (диаметр) анкера;
 $q_{\text{ск}}$ – касательное сопротивление грунта (для крупнообломочных грунтов земляного полотна $q_{\text{ск}} = 200$ кПа; для песчаных и гравелистых грунтов $q_{\text{ск}} = 150$ кПа; для супесчаных, суглинистых и глинистых грунтов $q_{\text{ск}} = 100$ кПа).

Определяют усилие от нагрузки, воспринимаемое грунтом от единичного анкера. Для анкеров, равномерно расположенных по плоскости откоса, усилие $P_{\text{анк}}$ определяется по формуле (A.25), для анкера на бровке земляного полотна – по формуле А.26

$$P_{\text{анк}} = \frac{T'_{\text{анк}}}{(\sin \beta_{\text{анк}} + \cos \beta_{\text{анк}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{зп}})}, \quad (\text{A.25})$$

$$P_{\text{анк}} = \frac{T'_{\text{анк}} \cdot \sin \beta_{\text{анк}}}{(\sin \beta_{\text{анк}} + \cos \beta_{\text{анк}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{зп}})}, \quad (\text{A.26})$$

где $\beta_{\text{анк}}$ – угол наклона анкера от нормали к плоскости скольжения откоса.

При установке анкера перпендикулярно поверхности скольжения $\beta_{\text{анк}} = 0$; при установке анкера на обочине $\beta_{\text{анк}}$ равняется углу наклона между анкером и поверхностью бровки обочины откоса.

Предельную критическую силу $P_{кр}$, которую может выдержать анкер перед разрушением грунта земляного полотна, определяют по формуле

$$P_{кр} = l_{анк}^2 \cdot \left(\frac{\gamma_{зп} \cdot (a_1 \cdot d_{анк} + a_2 \cdot l_{анк}) + 3a_3 \cdot c_{зп}}{6} \right), \quad (A.27)$$

где a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, определяемые по таблице А.4 по величине коэффициента внутреннего трения грунта земляного полотна.

При $P_{анк} > P_{кр}$ следует увеличить глубину или угол забивки несущего анкера.

Требуемое количество несущих анкеров определяют по формуле

$$N_{анк} = \frac{T_{анк}}{P_{анк}}. \quad (A.28)$$

А.2 Справочные данные к расчету конструкции укрепления неподтопляемых откосов

А.2.1 Длина откоса L в зависимости от высоты насыпи H и величины заложения откоса $1:m$ определяется по рисунку А.1.

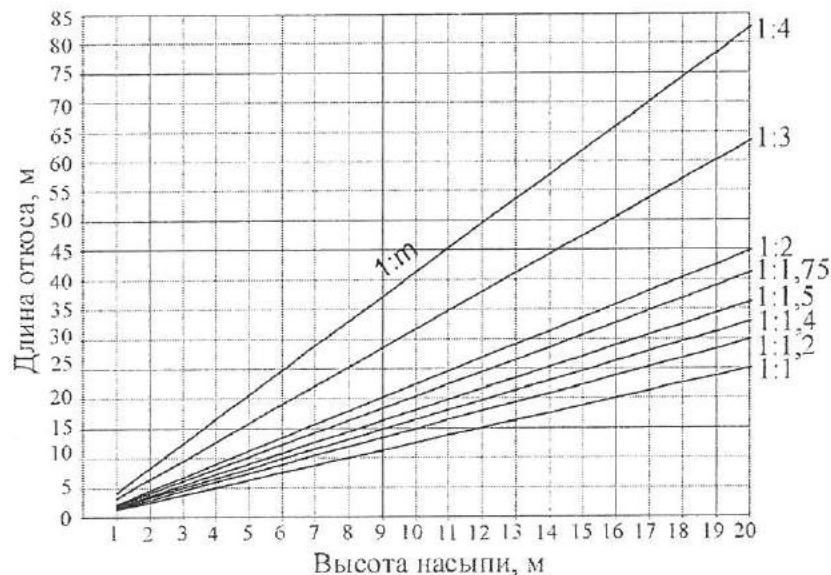


Рисунок А.1 – Определение длины откоса в зависимости от высоты насыпи и величины заложения откоса

А.2.2 Справочные данные к расчету конструкции укрепления неподтопляемых откосов приведены в таблицах А.1–А.4.

ОДМ 218.3.032–2013

Т а б л и ц а А.1 – Значения угла заложения проектируемого откоса β_0 в зависимости от величины заложения откоса 1:m

1:m	β_0 , град.	1:m	β_0 , град.	1:m	β_0 , град.
1:0,75	53	1:1,6	32	1:2,3	24
1:1	45	1:1,7	30	1:2,4	23
1:1,1	42	1:1,8	29	1:2,5	22
1:1,2	40	1:1,9	28	1:2,6	21
1:1,3	38	1:2	27	1:2,8	20
1:1,4	36	1:2,1	25	1:2,9	19
1:1,5	34	1:2,2	24	1:3	18

Т а б л и ц а А.2 – Ориентировочные значения угла естественного откоса для различных материалов-заполнителей решетки

Материал-заполнитель	Угол естественного откоса ϕ , град., в зависимости от состояния грунта		
	сухого	влажного	мокрого
Растительный грунт	40	35	25
Песок:			
крупный	30–35	32–40	25–27
средний	28–30	35	25
мелкий	25	30–35	15–20
Суглинок	40–50	35–40	25–30
Глина жирная	40–45	35	12–20
Гравий	35–40	35	30
Гравий керамзитовый	30–40	-	-
Галька круглая сухая	30	-	-
Гранитный щебень размером зерен 0–80 мм	35–45	-	-
Известняковый щебень:			
мелкокусковой	35–40	-	-
средне- и крупнокусковой	40–45	-	-
Камень мелко- и среднекусковой	35–40	-	-
Песчано-гравийная смесь природная при влажности до 5%	40–50	-	-
Шлак:			
каменноугольный	35–50	-	-
гранулированный	45–55	-	-
Торф без корней	40	25	15

Т а б л и ц а А.3 – Ориентировочные значения несущей способности одиночных стальных анкеров

Диаметр арматуры, мм	10	12	14	16	18	20	22	25
Несущая способность одиночного стального анкера $T_{\text{анк}}^{\text{нат}}$, кН/м	30,9	44,4	60,5	79,0	100,0	123,4	149,3	192,8

Т а б л и ц а А.4 – Значения коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 в зависимости от угла внутреннего трения и вида грунта земляного полотна

Угол внутреннего трения $\varphi_{\text{зп}}$	a_1	a_2					a_3
		Крупнообло- мочный грунт	Песок	Супесь	Суглинок	Глина	
15	1,70	0,08	0,19	0,25	0,30	0,39	2,06
17	1,82	0,10	0,23	0,30	0,36	0,46	2,17
19	1,93	0,12	0,27	0,35	0,43	0,55	2,28
21	2,11	0,14	0,32	0,41	0,51	0,64	2,39
23	2,28	0,16	0,37	0,48	0,59	0,75	2,52
25	2,46	0,18	0,43	0,55	0,68	0,86	2,64
27	2,66	0,21	0,50	0,64	0,78	0,99	2,78
29	2,88	0,24	0,57	0,73	0,89	1,13	2,92
31	3,12	0,28	0,65	0,83	1,01	1,29	3,07
33	3,38	0,31	0,73	0,94	1,15	1,47	3,23
35	3,68	0,36	0,83	1,07	1,31	1,67	3,40
37	4,01	0,40	0,94	1,21	1,48	1,89	3,58
39	4,38	0,46	1,07	1,37	1,68	2,14	3,78
41	4,80	0,52	1,21	1,56	1,90	2,42	3,98
43	5,27	0,59	1,37	1,76	2,16	2,74	4,21
45	5,81	0,67	1,56	2,00	2,44	3,11	4,45

П р и м е ч а н и е – При промежуточных значениях $\varphi_{\text{зп}}$ коэффициенты принимаются по интерполяции.

А.2.3 Для одиночного анкера из композитной неметаллической стеклопластиковой или базальтопластиковой арматуры вне зависимости от ее диаметра $T_{\text{анк}}^{\text{мат}} = 190$ кН/м.

А.3 Пример расчета

Требуется назначить конструкцию укрепления поверхностной зоны неподтопляемого откоса и оценить надежность данной конструкции. Земляное полотно автомобильной дороги отсыпано из несвязных, легкоразмываемых песчаных грунтов и располагается на основании из глинистых грунтов повышенной влажности при $W/W_t > 0,85$. Укрепление откоса предполагается выполнить при помощи конструкции, включающей геосоты, расположенные для предотвращения размывов и выноса грунта земляного полотна, на нетканом геосинтетическом полотне. В качестве заполнителя предполагается использование песчано-гравийной смеси. Исходные данные приведены в таблицах А.5 и А.6.

Т а б л и ц а А.5 – Характеристики земляного полотна и естественного основания

Элемент конструкции	Высота H , м	Заложение откосов 1:m	Грунт	Физико-механические характеристики грунта		
				Угол внутреннего трения φ , град.	Сцепление c , т/м ²	Плотность γ , т/м ³
Земляное полотно	10	1:1,3	Песок мелко-зернистый с содержанием пылеватых и глинистых частиц не более 8%	$\varphi_{зп}=32$	$c_{зп}=0,2$	$\gamma_{зп}=1,90$
Основание земляного полотна	-	-	Суглинок тяжелый пылеватый при естественной влажности $W=34\%$, $W/W_L > 0,85$	$\varphi_{осн}=18$	$c_{осн}=0,4$	$\gamma_{осн}=1,85$

Т а б л и ц а А.6 – Характеристики геосот и заполнителя

Характеристики геосот				Физико-механические характеристики заполнителя				
Размеры модуля $A(B)$, мм	Высота h , мм	Размеры ячейки $a(b)$, мм	Прочность шва $R_{ш}$, кН/м	Максимальная крупность зерен d_k , мм	Угол естественного откоса φ_z , град.	Угол внутреннего трения, $\varphi_{зп}$, град.	Сцепление $c_{зп}$, т/м ²	Плотность $\gamma_{зп}$, т/м ³
3000/2000	50	300	10	40	29	30	1,5	1,96

П р и м е ч а н и я

1 В числителе указана длина, в знаменателе – ширина модуля геосот. Приведенные размеры даны для геосот в растянутом положении; длина модуля геосот – в направлении растяжения.

2 При отсутствии данных лабораторных обследований для ориентировочных расчетов значение φ_z может быть принято по таблице А.4.

А.3.1 Последовательность расчета

А.3.1.1 По таблице А.1 при величине заложения откоса 1:1,3 определяем угол заложения откоса $\beta_0 = 38^\circ$.

А.3.1.2 По рисунку А.1 при высоте насыпи $H=10$ м и величине заложения откоса 1:1,3 определяем длину укрепляемого откоса $L=16,4$ м.

А.3.1.3 Поскольку угол заложения откоса больше угла естественного откоса $\beta_0 = 38^\circ > \varphi_3 = 29^\circ$, следует проверить принятую высоту геосот по условию

$h \geq h_{\text{расч}}$. По формуле (А.8) определяем минимальное расчетное значение высоты ячейки геосот $h_{\text{расч}} = a \cdot \operatorname{tg}(\beta_0 - \varphi_3) + d_k = 300 \cdot \operatorname{tg}(38 - 29) + 40 = 87,5 \text{ мм} > h = 50 \text{ мм}$.

Таким образом, для конструкции укрепления требуемая высота решетки не должна быть менее 87,5 мм. Принимаем решетку высотой $h=100$ мм. Тогда с учетом избыточной толщины заполнителя над геосотами $h' = h + 30 = 100 + 30 = 130 \text{ мм}$.

А.3.1.4 Определяем по формуле (А.4) требуемое количество модулей решетки по высоте укрепляемого откоса. При $L_m^{\text{эл}} = A$ (растяжение геосот по высоте

$$\text{откоса}) N = \frac{L}{A} = \frac{16,4 \cdot 1000}{3000} = 5,5 \approx 6 \text{ шт.}$$

А.3.1.5 В соответствии с пунктом 6.1.2 определяем минимальное количество монтажных анкеров $n_{\text{уэл}}^{\text{анк}}$ (минимальное количество заанкеренных узлов), назначаемое по технологическим соображениям, приходящееся на один модуль геосот при высоте анкера (глубине забивки анкера) $h_{\text{анк}} = 0,65$ м.

Количество монтажных анкеров по верхней и нижней граням модуля при условии установки анкера в каждую крайнюю ячейку составляет

$$n_{\text{уэл1}}^{\text{анк}} = \frac{B}{b} = \frac{2000}{300} = 6,66 \approx 7 \text{ шт., по боковым граням модуля при условии установки}$$

$$\text{анкера через ячейку } n_{\text{уэл2}}^{\text{анк}} = \frac{A}{2 \cdot a} = \frac{3000}{2 \cdot 300} = 5 \text{ шт., внутри модуля при шаге между}$$

$$\text{анкерами } 0,8 \text{ м } n_{\text{уэл3}}^{\text{анк}} = \frac{A \cdot B}{800^2} = \frac{3000 \cdot 2000}{800^2} = 9 \text{ шт.}$$

Суммарное требуемое количество монтажных анкеров на модуль составляет $n_{\text{уэл}}^{\text{анк}} = n_{\text{уэл1}}^{\text{анк}} + n_{\text{уэл2}}^{\text{анк}} + n_{\text{уэл3}}^{\text{анк}} = 7 + 5 + 9 = 21 \text{ шт.}$

А.3.1.6 По формуле (А.3) определяем величину сдвигающего усилия от веса конструкции укрепления на откосе при числе ячеек в модуле

$$n_{\text{яч}} = \frac{A \cdot B}{a \cdot b} = \frac{3000 \cdot 2000}{300 \cdot 300} = 67 \text{ шт.}$$

$$T_{\text{вс}} = N \cdot n_{\text{яч}} \cdot a \cdot b \cdot h' \cdot \gamma_{\text{зал}} \cdot \sin \beta_0 = 6 \cdot 67 \cdot \frac{300 \cdot 300}{1000^2} \cdot \frac{130}{1000} \cdot 1,96 \cdot \sin 38^\circ = 5,67 \text{ т/м} = 56,7 \text{ кН/м.}$$

А.3.1.7 По формуле (А.9) определяем удерживающее усилие, создаваемое силами трения и сцепления по поверхности скольжения. При $\varphi_{\text{зп}} = 32^\circ > \varphi_{\text{зп}} = 30^\circ$ принимаем $\text{tg}\varphi' = \text{tg}\varphi_{\text{зп}} = \text{tg}30^\circ$. При $c_{\text{зп}} = 0,2 \text{ т/м}^2 < c_{\text{зп}} = 1,5 \text{ т/м}^2$ принимаем $c' = c_{\text{зп}} = 0,2 \text{ т/м}^2$. Поскольку в конструкции укрепления под геосотами на поверхности откоса предусмотрено устройство геотекстильной прослойки в соответствии с формулой (А.15) принимаем пониженное значение величин сцепления и угла внутреннего трения по поверхности скольжения $\text{tg}\varphi'' = 0,6 \cdot \text{tg}\varphi' = 0,6 \cdot \text{tg}30^\circ$; $c'' = 0,1 \cdot c' = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ т/м}^2$.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } T_{\text{тр}} &= N \cdot n_{\text{яч}} \cdot a \cdot b \cdot (h' \cdot \gamma_{\text{зп}} \cdot \cos\beta_0 \cdot \text{tg}\varphi'' + c'') = \\ &= 6 \cdot 67 \cdot \frac{300 \cdot 300}{1000^2} \cdot \left(\frac{130}{1000} \cdot 1,96 \cdot \cos 38^\circ \cdot 0,6 \cdot \text{tg}30^\circ + 0,02 \right) = 3,26 \text{ т/м} = 32,6 \text{ кН/м}. \end{aligned}$$

А.3.1.8 По формуле (А.16) определяем дополнительное усилие сопротивления, возникающее в заанкеренных узлах при коэффициенте на повреждение при строительстве и длительности воздействия нагрузок $K_{\text{ш}} = 4$

$$T_{\text{узн}}^{\text{анк}} = N \cdot n_{\text{узн}}^{\text{анк}} \cdot \frac{h \cdot R_{\text{ш}}}{K_{\text{ш}}} = 6 \cdot 21 \cdot \frac{100}{1000} \cdot \frac{10}{4} = 31,5 \text{ кН/м}.$$

А.3.1.9 При отсутствии упора в основании земляного полотна по формуле (А.17) определяем величину пассивного давления естественного основания

$$\begin{aligned} T_{\text{осн}} &= \frac{\gamma_{\text{осн}} (h')^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{осн}}}{2} \right) = \frac{1,85 \cdot \left(\frac{130}{1000} \right)^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{18}{2} \right) = 0,0296 \text{ т/м} = \\ &= 0,296 \text{ кН/м}. \end{aligned}$$

А.3.1.10 По формуле (А.2) определяем суммарное усилие, удерживающее конструкцию укрепления на откосе при $T_{\text{анк}} = 0$ (отсутствие дополнительных анкеров)

$$\sum T_{\text{уд}} = T_{\text{тр}} + T_{\text{узн}}^{\text{анк}} + T_{\text{осн}} + T_{\text{анк}} = 32,6 + 31,5 + 0,296 + 0 = 64,4 \text{ кН/м}.$$

Суммарное сдвигающее усилие составляет $\sum T_{\text{сд}} = T_{\text{вс}} = 56,7 \text{ кН/м}$.

Определяем расчетный коэффициент запаса местной устойчивости

$$K_{\text{зап}}^{\text{расч}} = \frac{\sum T_{\text{уд}}}{\sum T_{\text{сд}}} = \frac{64,4}{56,7} = 1,14 < K_{\text{зап}} = 1,25.$$

Таким образом, условие устойчивости не выполнено, т.е. в данном случае требуется рассмотреть дополнительные мероприятия по повышению устойчивости конструкции укрепления на откосе.

А.3.2 Расчет упорного блока, заглубленного в грунт подошвы земляного полотна

А.3.2.1 В качестве мероприятия, повышающего устойчивость конструкции укрепления на откосе, рассмотрим установку упорного блока в основании земляного полотна. В качестве упорного блока предполагается установка бетонного блока, заглубленного в грунт основания земляного полотна (таблица А.7).

Т а б л и ц а А.7 – Характеристики блока

Длина блока $L_{\text{бл}}, \text{ м}$	Высота блока $H_{\text{бл}}, \text{ м}$	Ширина одного упорного блока $B_{\text{бл}}, \text{ м}$	Плотность материала упора $\gamma_{\text{уп}}, \text{ т/м}^3$	Заглубление блока в грунт $h_{\text{загл}}, \text{ м}$
1,5	1,0	1,5	2,4	0,8

А.3.2.2 Порядок проведения расчета

А.3.2.2.1 Площадь поперечного сечения прямоугольного упорного блока составляет

$$S_{\text{бл}} = L_{\text{бл}} \cdot H_{\text{бл}} = 1,5 \cdot 1,0 = 1,5 \text{ м}^2.$$

А.3.2.2.2 Суммарная ширина упора, приходящаяся на ширину одного модуля геосот, составляет $B_{\text{уп}} = N_{\text{бл}} \cdot B_{\text{бл}} = 0,75 \cdot 1,5 = 1,13 \text{ м}$ при количестве

упорных блоков $N_{\text{бл}} = \frac{B_{\text{бл}}}{B} = \frac{1,5}{2,0} = 0,75.$

А.3.2.2.3 Величина пассивного отпора равна

$$T_{\text{осн}} = B_{\text{уп}} \cdot S_{\text{уп}} \cdot \gamma_{\text{уп}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{осн}} + \frac{\gamma_{\text{осн}} (h_{\text{загл}})^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{\text{осн}}}{2} \right) = 1,13 \cdot 1,5 \cdot 1,24 \cdot \text{tg} 18^\circ + \frac{1,85 \cdot 0,8^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{18^\circ}{2} \right) = 2,44 \text{ т/м} = 24,4 \text{ кН/м},$$

тогда $\sum T_{\text{уд}} = 64,4 + 24,4 = 88,8 \text{ кН/м}, K_{\text{зап}}^{\text{расч}} = \frac{\sum T_{\text{уд}}}{\sum T_{\text{сд}}} = \frac{88,8}{56,7} = 1,57 > K_{\text{зап}} = 1,25.$

Таким образом, устройство упора из бетонного блока, заглубленного в грунт основания земляного полотна на глубину 0,8 м, позволяет обеспечить устойчивость конструкции укрепления на откосе.

А.3.2.2.4 Рассмотрим вариант увеличения устойчивости конструкции укрепления на откосе при помощи несущих анкеров. В качестве несущих анкеров предполагается использование стальной арматуры диаметром $d_{\text{анк}} = 10 \text{ мм}$ при

несущей способности единичного анкера $T_{\text{анк}}^{\text{мат}} = 30,9 \text{ кН/м}$, принимаемого по таблице А.3.

А.3.2.3 Расчет несущего анкера

А.3.2.3.1 Величина избыточной сдвигающей нагрузки в соответствии с формулой (А.20) при значении $K_{\text{зап}} = 1,25$ составляет

$$T_{\text{анк}} = K_{\text{зап}} \cdot \sum T_{\text{сд}} - \sum T_{\text{уд}} = 1,25 \cdot 56,7 - 64,4 = 6,5 \text{ кН/м.}$$

При восприятии данной нагрузки несущими дополнительными анкерами будет удовлетворяться условие устойчивости, т.е. при $\sum T_{\text{уд}} = 64,4 + 6,5 = 70,9 \text{ кН/м}$

$$K_{\text{зап}}^{\text{расч}} = \frac{\sum T_{\text{уд}}}{\sum T_{\text{сд}}} = \frac{70,9}{56,7} = 1,25 = K_{\text{зап}} = 1,25.$$

А.3.2.3.2 Определим требуемое количество анкеров и необходимую глубину забивки в грунт земляного полотна. Несущая способность единичного анкера по прочности шва геосот по формуле (А.22) составляет

$$T_{\text{анк}}^{\text{ш}} = \frac{h \cdot R_{\text{ш}}}{K_{\text{ш}}} = \frac{100}{1000} \cdot 10 = 0,25 \text{ кН/м.}$$

Поскольку $T_{\text{анк}}^{\text{мат}} > T_{\text{анк}}^{\text{ш}}$ в соответствии с формулой (А.23) принимаем $T_{\text{анк}}' = T_{\text{анк}}^{\text{ш}} = 0,25 \text{ кН/м.}$

А.3.2.3.3 По формуле (А.25) определяем величину нагрузки, воспринимаемую грунтом земляного полотна от единичного анкера при его расположении на откосе и забивке перпендикулярно поверхности скольжения $\beta_{\text{анк}} = 0^\circ$

$$P_{\text{анк}} = \frac{T_{\text{анк}}'}{\sin \beta_{\text{анк}} + \cos \beta_{\text{анк}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{сп}}} = \frac{0,25}{\sin 0^\circ + \cos 0^\circ \cdot \text{tg} 32^\circ} = 0,4 \text{ кН/м.}$$

А.3.2.3.4 По формуле (А.24) определяем максимальную требуемую глубину забивки анкера в грунт

$$l_{\text{анк}} = \frac{P_{\text{анк}}}{\pi \cdot d_{\text{анк}} \cdot q_{\text{ск}}} = \frac{0,4}{3,14 \cdot \frac{10}{1000} \cdot \frac{150}{10}} = 0,85 \text{ м при } q_{\text{ск}} = 150 \text{ кПа для песчаных}$$

грунтов земляного полотна.

А.3.2.3.5 По формуле (А.27) определяем предельную критическую нагрузку, которую может выдержать анкер перед полным разрушением грунта

при коэффициентах $a_1=3,25$; $a_2=0,69$; $a_3=3,15$, определяемых по таблице А.4 при величине $\varphi_{зп}=32^\circ$ и глубине забивки анкера $l_{анк}=0,85$ м,

$$P_{кр} = l_{анк}^2 \cdot \left(\frac{\gamma_{зп} \cdot (a_1 \cdot d_{анк} + a_2 \cdot l_{анк}) + 3a_3 \cdot c_{зп}}{6} \right) =$$

$$0,85^2 \cdot \left(\frac{1,9 \cdot (3,25 \cdot \frac{10}{1000} + 0,69 \cdot 0,85) + 3 \cdot 3,15 \cdot 0,2}{6} \right) = 0,37 \text{ кН/м.}$$

А.3.2.3.6 Поскольку $P_{кр} < P_{анк}$ можно увеличить глубину забивки анкера или изменить угол забивки анкера в откос. При увеличении глубины забивки анкера до величины $l_{анк}=1$ м значение предельной критической нагрузки по грунту увеличится и составит $P_{кр}=0,53 \text{ кН/м} > P_{анк}=0,4 \text{ кН/м}$, что позволяет удовлетворить условие прочности.

А.3.2.3.7 По формуле (А.28) определяем требуемое количество анкеров

$$N_{анк} = \frac{T_{анк}}{P_{анк}} = \frac{6,5}{0,4} = 16 \text{ шт.}$$

По расчету принимается следующая конструкция укрепления. Геосоты с прочностью шва $R_{ш}=10 \text{ кН/м}$, высотой ячейки $h=100 \text{ мм}$, длиной модуля $A=3000 \text{ мм}$, шириной модуля $B=2000 \text{ мм}$, размером ячеек $a=b=300 \text{ мм}$ с заполнением ячеек гравийно-песчаной смесью с крупностью зерен не более 40 мм . Количество модулей по высоте откоса $N=6$ при общем количестве монтажных анкеров $21 \cdot 6=126 \text{ шт.}$ при глубине их забивки в грунт откоса $0,65 \text{ м}$ и общем количестве несущих анкеров $N_{анк}=16 \text{ шт.}$, расположенных по площади откоса с глубиной забивки не менее $l_{анк}=1 \text{ м}$. Геосоты устраиваются на нетканом геосинтетическом материале с коэффициентом фильтрации по ГОСТ Р 52608–2006 не ниже 10 м/сут и прочностью при растяжении $R_{тм}$ не менее 8 кН/м (подраздел 7.1 рекомендаций [4]).

Приложение Б

Особенности расчета нежестких дорожных одежд капитального и облегченного типов со слоями из композита, состоящего из геосот, заполненных крупнообломочным материалом или песком

Б.1 В зависимости от типа покрытия дорожные одежды со слоями из композита, состоящего из геосот, заполненных крупнообломочным материалом (щебнем, гравием, шлаком) или песком, необходимо рассчитывать, учитывая следующие положения:

- капитального типа – по трем критериям прочности в соответствии с методикой, изложенной в нормах [8], не учитывая влияния геосот на модуль упругости заполнителя; при назначении толщин слоев (без снижения толщин слоев; получаемый эффект – увеличение межремонтных сроков эксплуатации);
- облегченного типа – по трем критериям прочности в соответствии с методикой, изложенной в нормах [9] с учетом влияния геосот на модуль упругости заполнителя;

- в расчетах по критерию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев сдвигоустойчивость композитного слоя считают обеспеченной; при расположении композитного слоя в верхней части песчаного дополнительного слоя основания или рабочего слоя земляного полотна в практических расчетах в состав верхнего слоя двухслойной расчетной модели согласно подразделу 3.31 норм [8] включают композитный слой.

Б.2 Порядок расчета дорожных одежд облегченного типа по трем критериям прочности соответствует методике, изложенной в нормах [8]. Влияние геосот на модуль упругости заполнителя следует учитывать в соответствии с пунктами данного приложения.

Б.3 При расчете дорожных одежд облегченного типа в целом по допустимому упругому прогибу и на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе нормативные значения модулей упругости композита допускается принимать в соответствии с таблицей Б.1.

Т а б л и ц а Б.1 – Условные нормативные модули упругости композита при расчете дорожных одежд облегченного типа по допустимому упругому прогибу и на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Заполнитель геосот	Максимальный размер зерен заполнителя, мм	Нормативные значения модуля упругости композита, МПа
1	2	3
Щебеночные (гравийные) смеси (ГОСТ 25607–2009): С ₁ С ₂	40	420 / 390
	20	410 / 370

Окончание таблицы Б.1

1	2	3
C ₅	40	360 / 310
C ₆	20	340 / 280
C ₇	20	310 / 250
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344–83):		
C ₄	40	350
C ₆	20	300
Песок:		
крупный	-	180
средней крупности	-	170
мелкий	-	140
однородный	-	100

П р и м е ч а н и я

1 Условные нормативные значения модуля упругости композита даны при применении геосот, изготовленных из полос, имеющих относительную деформацию при растяжении свыше 20 %. При меньших значениях относительной деформации при растяжении полос условные нормативные значения модуля упругости композита следует увеличивать на 10 %.

2 В числителе приведены данные для щебеночных смесей, в знаменателе – для гравийных.

Б.4 При расчете дорожных одежд облегченного типа по условию сдвигу устойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев условные нормативные значения модулей упругости композита допускается принимать в соответствии с таблицей Б.2.

Т а б л и ц а Б.2 – Условные нормативные модули упругости композита при расчете дорожных одежд облегченного типа по условию сдвигу устойчивости

Заполнитель геосот из щебня фракционного, смесей щебеночно-гравийно-песчаных и песков	Максимальный размер зерен, мм	Условные нормативные значения модуля упругости композита, МПа, в дорожных одеждах облегченного типа
1	2	3
Щебеночные (гравийные) смеси (ГОСТ 25607–2009):		
C ₁	40	1200/1120
C ₂	20	1160/1060
C ₃	40	1040/880
C ₆	20	960/800
C ₇	20	880/720

1	2	3
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344–83):		
С ₄	40	1000
С ₆	20	840
Песок:		
крупный	-	520
средней крупности	-	480
мелкий	-	400
однородный	-	300

П р и м е ч а н и я

1 Условные нормативные значения модуля упругости композита установлены, опираясь на экспериментальные данные по измерению напряженно-деформированного состояния нижележащих слоев. Они могут быть увеличены на 10% при применении геосот, изготовленных из полос, имеющих относительную деформацию при растяжении менее 20 %.

2 В числителе приведены данные для щебеночных смесей, в знаменателе – для гравийных.

Б.5 Слой из композита при расчете дорожной одежды следует считать сдвигоустойчивым, т. е. предполагается, что за весь срок службы в композите не накапливаются недопустимые остаточные деформации формоизменения. Толщину защитного слоя (2,5–5,0 см) при расчете следует включать в общую толщину композита.

Б.6 Пример расчета дорожной одежды облегченного типа на прочность.

Требуется спроектировать дорожную одежду облегченного типа при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне в 1-й подзоне;
- категория автомобильной дороги – III;
- заданная надежность $K_n = 0,98$;
- расчетная осевая нагрузка – 100 кН;
- суммарное приложение расчетной осевой нагрузки за срок службы – 1000000 ед.;
- назначение участка дороги – перегон проезжей части;
- тип местности по рельефу – равнинные районы;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3.

Расчет дорожной одежды облегченного типа следует считать завершенным при обеспечении трех условий прочности (согласно подразделам 3.27, 3.32, 3.39 норм [8]).

Конструкция и характеристики дорожной одежды и приведены в таблице Б. 3.

Т а б л и ц а Б.3 – Конструкция и характеристики дорожной одежды

Материал слоя	Толщина слоя h , см	Модуль упругости для расчета		Характеристики для расчета на растяжение при изгибе			
		по упругому прогибу E , МПа	по условию сдвига-устойчивости E , МПа	Модуль упругости E , МПа	Прочность R_0 , МПа	α	m
Асфальтобетон плотный типа А на битуме марки БНД 60/90	5	3200 (таблица П.3.2 норм [8])	1800	4500 (таблица П.3.1 норм [8])	9,8	5,2	5,5
Асфальтобетон крупнозернистый пористый на битуме марки БНД 60/90	12	2000 (таблица П.3.2 норм [8])	1200	2800 (таблица П.3.1 норм [8])	8,00	5,9	4,3
Композит «геосоты + щебеночная смесь S_2 непрерывной гранулометрии при максимальном размере зерен 20 мм»	5+20	410 (таблица А.1)	1160 (таблица А.2)	410 (таблица А.1)	-	-	-
Настоящий методический документ							
Щебеночная смесь S_3 непрерывной гранулометрии при максимальном размере зерен 40 мм	20	260 (таблица П.3.2 норм [8])	260	260	-	-	-
Разделяющая геотекстильная прослойка	-	-	-	-	-	-	-
Песок средней крупности с содержанием пылеватых частиц 0%	60	120 (таблица П.2.5 норм [8])	120	120	-	-	-
Суглинок тяжелый пылеватый, $W_p = 0,79 \cdot W_L$	-	33 (таблица П.2.5 норм [8])	33	33	-	-	-

П и м е ч а н и е – Здесь и далее по тексту все условные обозначения взяты из норм [8].

Расчет по допустимому упругому прогибу ведем послойно, начиная с грунта земляного полотна по номограмме, произведенной на рисунке 3.1 норм [8].

E_n/E_v	h_d/D	E_0
33/120=0,28	60/37=1,62	120·0,68=82
82/260=0,31	20/37=0,54	260·0,55=143
143/410=0,35	25/37=0,68	410·0,58=238
238/2800=0,085	12/37=0,32	2800·0,16=448
448/4500=0,10	5/37=0,14	4500·0,12=540

Общий расчетный модуль упругости конструкции $E_{\text{общ}} = 540$ МПа. Минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции с учетом требуемого коэффициента прочности составляет $E_{\text{мин}} \cdot K^{\text{пр}} = 242 \cdot 1,29 = 312$ МПа. Таким образом, дорожная одежда в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба по условию $E_{\text{общ}} \geq E_{\text{мин}} \cdot K^{\text{пр}}$.

Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе. Приводим конструкцию к двухслойной модели. При этом условный материал верхнего слоя имеет модуль упругости $E_v = 3300$ МПа и относительную толщину $h_d/D = 0,46$, а модуль упругости материала нижнего слоя $E_n = 238$ МПа. Вычисляя модуль упругости материала нижнего слоя модели, модуль упругости композита «геосоты + щебеночная смесь C_2 непрерывной гранулометрии при максимальном размере зерен 20 мм» приняли равным 410 МПа. Максимальное растягивающее напряжение верхнего слоя, определенное с помощью номограммы, приведенной на рисунке 3.4 норм [8], равно $\sigma_r = 0,93$ МПа. Прочность асфальтобетона, расположенного в опасной зоне модели, с учетом требуемого коэффициента прочности $R_N/K^{\text{пр}} = 1,09$ МПа. Таким образом, при прогибе дорожной одежды напряжения в асфальтобетоне под действием повторных кратковременных нагрузок в течение заданного срока службы не приводят к образованию трещин от усталостного разрушения, так как выполнено условие $\sigma_r < R_N/K^{\text{пр}}$.

Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в грунте. Приводим конструкцию к двухслойной модели. Условный материал верхнего слоя имеет модуль упругости $E_v = 531$ МПа и относительную толщину $h_v/D = 3,3$, а материал нижнего слоя – модуль упругости $E_n = 33$ МПа и угол внутреннего трения $\varphi = 2,8$. Вычисляя модуль упругости материала верхнего слоя модели, модуль упругости композита «геосоты + щебеночная смесь C_2 непрерывной гранулометрии при максимальном размере зерен 20 мм» приняли равным 1160 МПа. В соответствии с номограммой, приведенной на рисунке 3.3 норм [8], расчетное активное напряжение сдвига от действующей нагрузки равно $T = 0,0065$ МПа. Предельное активное напряжение сдвига $T_{\text{пр}}$ в грунте рабочего слоя с учетом требуемого коэффициента прочности $K^{\text{пр}}$ равно $T_{\text{пр}}/K^{\text{пр}} = 0,0065$ МПа. Таким образом, под действием кратковременных нагрузок в подстилающем грунте

за весь срок службы не накапливаются недопустимые остаточные деформации формоизменения, так как выполнено условие $T \leq T_{пр} / K^{тр}$.

Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в песке. Приводим конструкцию к двухслойной модели. Условный материал верхнего слоя имеет модуль упругости $E_{\text{в}} = 929$ МПа и относительную толщину $h_{\text{в}}/D = 1,7$, а материал нижнего слоя – модуль упругости $E_{\text{н}} = 82$ МПа и угол внутреннего трения $\varphi = 27$. В соответствии с номограммой, приведенной на рисунке 3.4 норм [8], расчетное активное напряжение сдвига от действующей нагрузки равно $T = 0,0084$ МПа. Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в песке с учетом наличия разделяющей геотекстильной прослойки ($k_d = 4$) и требуемого коэффициента прочности $K^{тр}$ равно $T_{пр} / K^{тр} = 0,03$ МПа. Таким образом, под действием кратковременных нагрузок в песчаном слое за весь срок службы не накапливаются недопустимые остаточные деформации формоизменения, так как выполнено условие $T \leq T_{пр} / K^{тр}$.

Приложение В

Методика расчета дорожных одежд переходного и низшего типов со слоями из композита, состоящего из геосот, заполненных крупнообломочным материалом или песком

В.1 Методика расчета дорожных одежд переходного и низшего типов со слоями из композита, состоящего из геосот, заполненных крупнообломочным материалом или песком, включает оценку прочности с учетом сдвиговых напряжений, возникающих в грунте земляного полотна и устанавливаемых с использованием решений теории упругости.

В.2 В задачу расчета входит определение толщин слоев износа h_1 , композита h_2 и нижнего слоя основания h_3 или выбор материалов с соответствующими прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев.

В.3 В качестве расчетной схемы нагружения дорожной конструкции колесом автомобиля принимается гибкий круговой штамп диаметром D , передающий равномерно распределенную нагрузку величиной P .

В.4 Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки в точке на поверхности дорожной конструкции за срок службы определяют по формулам, приведенным в подразделе 3.23 норм [8].

В.5 Расчетное значение прочностной (сдвиговой) характеристики грунта допускается принимать равным его нормативному значению (приложение 2 норм [8]), отвечающему расчетному значению относительной влажности грунта, устанавливаемому по методике, изложенной в приложении 2 норм [8] при уровне проектной надежности $K_n = 0,7$.

В.6 Относительную суммарную толщину дорожной одежды $H_{\text{сум}}/D$ (слоев износа, композита и нижнего слоя основания) следует определять по формуле

$$H_{\text{сум}}/D = \hat{H}_g / D - \Delta_{\text{изн}} + \Delta_{\text{трени}} - \Delta_{\text{яч}}, \quad (\text{В.1})$$

где $\hat{H}_g / D$ – относительная суммарная толщина дорожной одежды, зависящая от прочностной (сдвиговой) характеристики грунта и глубины ячейки геосот и определяемая по номограмме, приведенной на рисунке В.1;

$H_{\text{сум}}$ – суммарная толщина дорожной одежды;

$\Delta_{\text{изн}}$ – поправка на назначенную толщину слоя износа;

$\Delta_{\text{яч}}$ – поправка на площадь ячейки в рабочем состоянии;

$\Delta_{\text{трени}}$ – поправка на соотношение угла внутреннего трения зернистого заполнителя φ и угла сопротивления сдвигу между зернистым заполнителем и стенкой ячейки геосот δ , устанавливаемая по номограмме, приведенной на рисунке В.2

$$\Delta_{\text{трени}} = \Delta_{\text{трени}}^{\max} \cdot \left(4,5 - 5 \cdot \frac{\delta}{\varphi}\right); \quad (\text{В.2})$$

$\Delta_{\text{трн}}^{\text{max}}$ — максимальное значение поправки на соотношение углов трения δ/ϕ , определенное по номограмме, приведенной на рисунке В.2.

П р и м е ч а н и е — Допускается приближенно принимать значения соотношений углов трения δ/ϕ для геосот из полиэтилена и щебеночно-гравийно-песчаных смесей и песков по данным таблицы В.1.

Поправка на назначенную толщину слоя износа $\Delta_{\text{изн}}$ устанавливается следующим образом:

Толщина слоя износа h_1 , см....	13	10	8	5	3
Поправка $\Delta_{\text{изн}}$	0	0,02	0,04	0,07	0,08
Поправка на площадь ячейки в рабочем состоянии $\Delta_{\text{яч}}$ приведена ниже:					
Площадь ячейки в рабочем состоянии, см ²					
.....	254	415	540	710	
Поправка $\Delta_{\text{яч}}$	0	0,09	0,14	0,22	

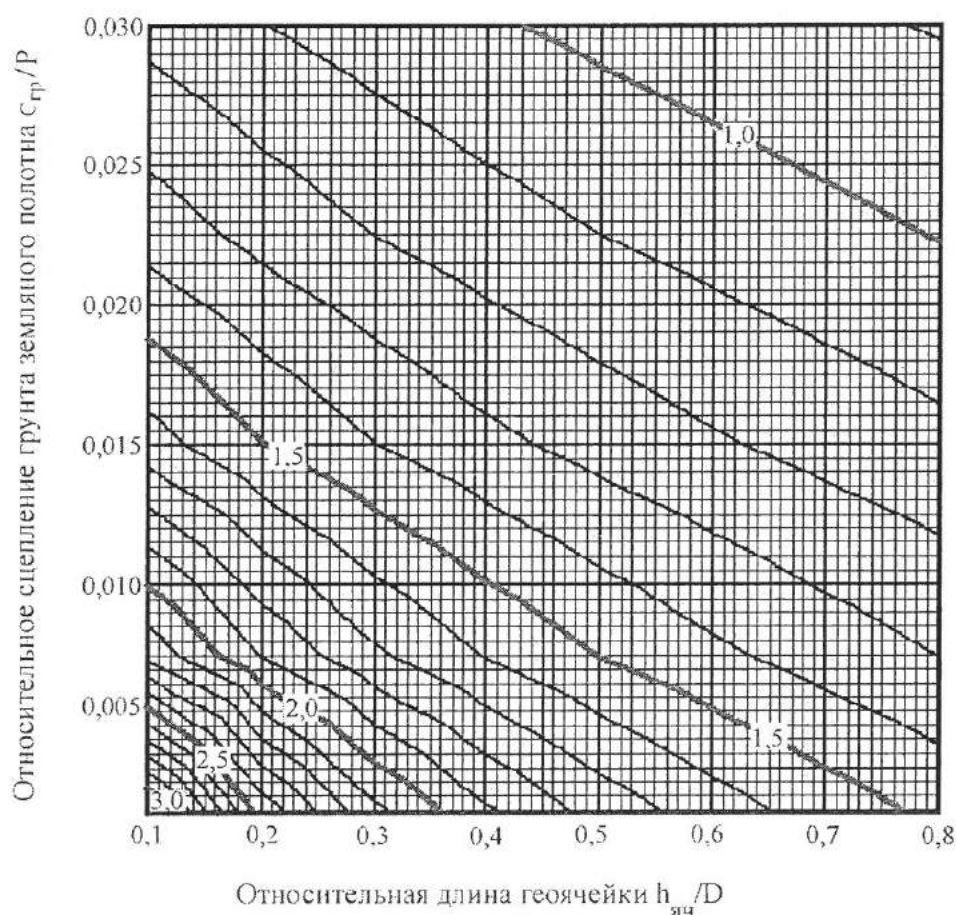


Рисунок В.1 — Номограмма для определения $\hat{h}_g/D$
(цифры на кривых — значения $\hat{h}_g/D$)

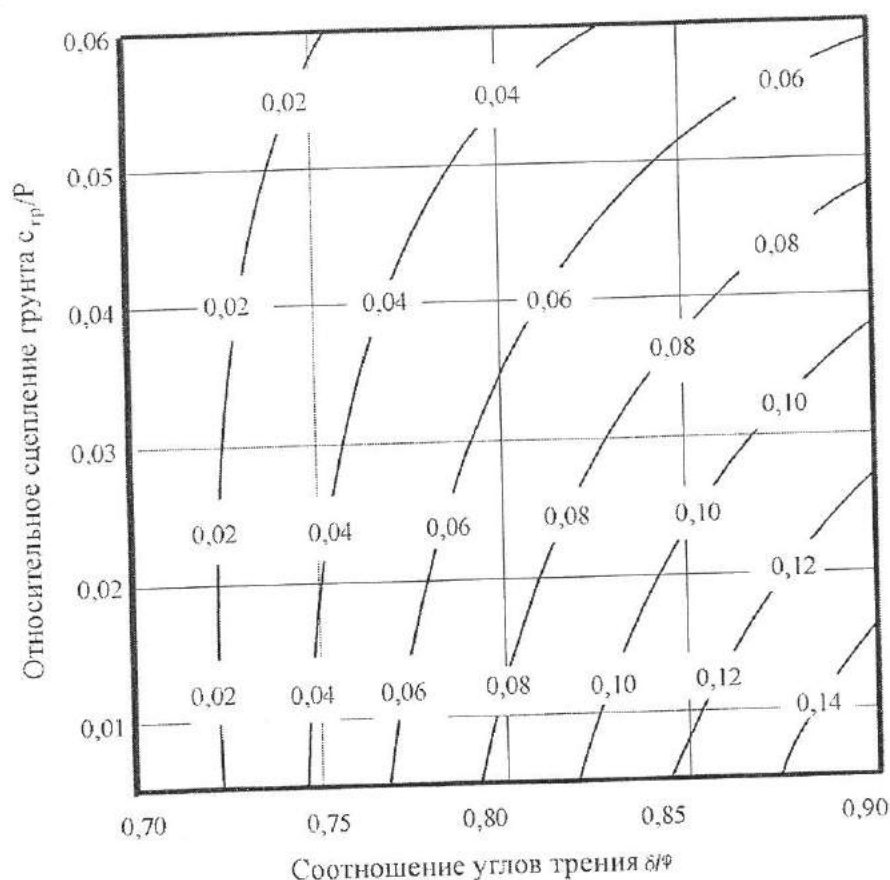


Рисунок В.2 – Номограмма для определения максимального значения поправки $\Delta_{\text{трени}}^{\text{max}}$ на соотношение углов трения δ/φ

(цифры на кривых – значение $\Delta_{\text{трени}}^{\text{max}}$)

В.7 Толщину нижнего слоя основания h_3 следует определять по формуле

$$h_3 = H_{\text{сум}} - h_1 - h_2. \quad (\text{В.3})$$

Таблица В.1 – Соотношения углов трения δ/φ для геосот из полиэтилена и щебеночно-гравийно-песчаных смесей и песков

Заполнитель геосот	Максимальный размер зерен заполнителя, мм	Тип стенки ячейки	Соотношения углов трения δ/φ
Щебеночные смеси C_5, C_6, C_7 (ГОСТ 25607–2009)	40–20	Гладкая	0,72
		Текстурированная	0,72
		Перфорированная	0,83
Гравийные смеси C_5, C_6, C_7 (ГОСТ 25607–2009)	40–20	Гладкая	0,71–0,78
		Текстурированная	0,88–0,90
		Перфорированная	0,89–0,90
Песок крупный	-	Гладкая	0,71–0,78
		Текстурированная	0,88–0,90
		Перфорированная	0,90–0,91

В.8 Пример расчета дорожной одежды переходного типа на прочность.

Требуется запроектировать дорожную одежду переходного типа при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне во 2-й подзоне;
- категория автомобильной дороги – V;
- заданная надежность $K_n = 0,7$;
- расчетная осевая нагрузка – 100 кН;
- суммарное приложение расчетной осевой нагрузки за срок службы – 55000 ед.

Конструкция дорожной одежды переходного типа приведена в таблице В.2.

Т а б л и ц а В.2 – Конструкция дорожной одежды переходного типа

Слои дорожной одежды	Материал слоя	Толщина слоя, см
Защитный h_1	Щебеночная смесь C_5 (ГОСТ 25607–2009) с максимальным размером зерен 40 мм	8
Верхний слой основания h_2	Композит «геосоты+ щебеночная смесь C_5 »*	20
Нижний слой основания h_3	Щебеночная смесь C_5 (ГОСТ 25607–2009) с максимальным размером зерен 40 мм	10
Прослойка	Геотекстиль	-
Грунт земляного полотна	Суглинок легкий ($W_p=0,7 \cdot W_T$)	-

* Глубина ячейки геосот 20 см; площадь в рабочем состоянии 254 см²; материал ячеек – полиэтилен; стенка ячейки перфорированная.

Определяем нормативное значение сцепления легкого суглинка в зависимости от расчетной влажности ($W_p=0,7 \cdot W_T$) и расчетного числа приложений расчетной нагрузки ($\Sigma N_p=55000$) по таблице П.2.4 приложения 2 норм [9], $c_{гр}=0,008$ МПа.

Для определения относительной суммарной толщины дорожной одежды

$\hat{H}_g/D$ по номограмме, приведенной на рисунке В.1, устанавливаем значения:

- относительного сцепления грунта земляного полотна $c_{гр}/P=0,008/0,6=0,013$;
- относительной глубины ячейки $h_{яч}/D=20/37=0,54$.

По номограмме, приведенной на рисунке В.1, определяем $\hat{H}_g/D=1,3$.

Значение поправки на назначенную толщину слоя износа $\Delta_{изн}=0,04$.

Для определения $\Delta_{трн}^{max}$ устанавливаем входящие параметры для номограммы, приведенной на рисунке В.2: по таблице В.1 находим соотношение $\delta/\phi=0,83$; $c_{гр}/P=0,013$; $\Delta_{трн}^{max}=0,10$.

Учитывая формулу В.2, поправка на соотношение угла внутреннего трения зернистого заполнителя ϕ и угла сопротивления сдвигу между зернистым заполнителем и стенкой ячейки геосот δ равна

$$\Delta_{\text{трени}} = \Delta_{\text{трени}}^{\text{max}} \left(4,5 - 5 \cdot \frac{\delta}{\varphi}\right) = 0,1 \cdot (4,5 - 5 \cdot 0,83) = 0,035.$$

Поправка на площадь ячейки в рабочем состоянии $\Delta_{\text{яч}} = 0$.

Учитывая поправки $\Delta_{\text{яч}}$, $\Delta_{\text{трени}}$ и $\Delta_{\text{изн}}$, относительная суммарная толщина дорожной одежды $N_{\text{сум}}/D = 1,3 - 0,04 + 0,035 \approx 1,3$ или $N_{\text{сум}} = 1,3 \cdot 37 \approx 48$ см.

В соответствии с формулой (В.3) толщина нижнего слоя основания $h_3 = 48 - 8 - 20 = 20$ см.

Таким образом, в предварительно назначенной конструкции следует увеличить толщину нижнего слоя основания на 10 см.

Библиография

- [1] ОДМ 218.5.005–2010 Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству
- [2] ОДМ 218.1.002–2010 Рекомендации по организации и проведению работ по стандартизации в дорожном хозяйстве
- [3] ГЭСН–2001 Укрепление откосов насыпных сооружений, конусов мостов и путепроводов геоячейками типа «Прудон-494»
- [4] ОДМ 218.5.006–2010 Рекомендации по методикам испытаний геосинтетических материалов в зависимости от области их применения в дорожной отрасли
- [5] Методические рекомендации по выбору конструкций укрепления конусов и откосов земляного полотна. Технология и механизация укрепительных работ, 1981
- [6] Конструкции укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 3.503.9–78, выпуск 0, 1978
- [7] ОДМ 218.5.003–2010 Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог
- [8] ОДН 218.046–01 Проектирование нежестких дорожных одежд
- [9] Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197–91), 2004
- [10] Пат. 2151843 А.Е. Мерзликин
Российская Федерация Решетка для локализации материалов, 1999

ОДМ 218.3.032–2013

- | | | |
|------|-----------------|--|
| [11] | | Пособие по проектированию земляного полотна на слабых грунтах, 2004 |
| [12] | СНиП 12-03-2002 | Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования |
| [13] | СНиП 12-04-2002 | Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство |

ОКС 93.100

Ключевые слова: пространственные георешетки (геосоты), требования, проектирование, технология, методические рекомендации

Руководитель организации-разработчика

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Российский дорожный научно-исследовательский институт»
(ФГУП «РОСДОРНИИ»)

Генеральный директор _____ К.В. Могильный