

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

В.Г. Шаповал, И.Ю. Булич, Е.С. Причина, Национальный горный университет

В данной статье выполнен обзор существующих на сегодняшний день геосинтетических материалов, используемых в качестве защиты откосов и склонов от воздействия эрозии. Приведены основные их свойства, проанализированы достоинства и недостатки каждого из них. Особое внимание обращается на области применения геосинтетических материалов в целях повышения прочности грунтов. Рассмотрены основные решения на основе геосинтетики для укрепления откосов. Приведены рекомендации по монтажу объемной решетки для усиления откосов и склонов.

1. Введение

В настоящее время задачи повышения устойчивости откосов и склонов приобретают все большее значение. Основными причинами этого являются постоянно расширяющееся освоение оползневых территорий под строительство, вызванное дефицитом свободных земельных площадей, а также активизация имеющихся и появление новых оползней. Целью укрепления откосов является стабилизация эрозионных процессов грунта и предотвращение его обрушения под собственным весом или сползания вследствие сил инерции. Слабый грунт должен превратиться в устойчивую и прочную поверхность.

При выборе решения для укрепления склона необходимо принимать во внимание такие факторы, как крутизна склона, нагрузка, наличие или отсутствие вибрации, а также состав грунтов откоса. Для решения задачи укрепления откосов насыпи, дорог и бортов склонов используется большое разнообразие методов. Нагруженные вертикальные откосы и склоны значительной крутизны эффективнее всего укрепляются с помощью подпорных стен и габаритных конструкций. Для укрепления склонов меньшей крутизны и нагруженности разработаны специальные синтетические материалы, которые предназначены для применения в грунтах, – геосинтетики.

2. Анализ литературных источников по исследуемой проблеме

Первые попытки повышения прочности грунтов на основе армирования с применением стальных полос, георешеток и геосеток были предприняты в начале прошлого столетия, а в 60-е годы с развитием химической промышленности стали использоваться нетканые геотекстилы, а затем и высокопрочные геосетки и геоткани. Большой вклад во внедрение геотекстиля сделан такими учеными: проф., д.т.н. Казарновским В.Д., инженером Львовичем Ю.М., к.т.н. Полуновским А.Г., д.т.н. Рувинским В.И., к.т.н. Фоминым А.П., проф., д.т.н. Темофеевой Л.М.[1].

В зарубежной практике строительства термин «геосинтетические материалы» введен в практику в 90-х годах двадцатого столетия как термин, который пришел на смену определению «геотекстиль». Геотекстили были первыми представителями технических текстилей и тканей, которые начали использоваться в строительстве и геотехнике. Следующим представителем технических материалов стали георешетки. В результате исследований французского ученого А. Видаля, был разработан новый вид материала в геотехнике – «армированный грунт» (армогрунт) [2]. Перечисленные исследования внесли серьезный вклад в разработку методов повышения прочности нестабильных грунтов, однако по-прежнему актуальной является проблема выбора наиболее эффективного геосинтетического материала для частных грунтовых условий при поверхностной эрозии.

В настоящее время применение геосинтетических материалов в строительной практике стремительно возрастает, т.к. они обладают рядом преимуществ, таких как водостойкость, биостойкость, стойкость к воздействию кислотных и щелочных сред, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, механическая стойкость, температурная стойкость,

устойчивость к циклам промерзания-оттаивания, экологичность (за счет сокращения использования природных ресурсов). Отдельно стоит отметить такое свойство геосинтетических материалов, как долговечность.

3. Цель и задачи работы

Целью данной работы является сравнительный анализ применения геосинтетических материалов, снижающих ветровую и водную поверхностную эрозии грунтов, для усиления откосов и склонов.

Для достижения поставленной цели был выполнен обзор современных геосинтетических материалов, которые используются в качестве защиты откосов и склонов от воздействия эрозии и позволяют предотвратить неплановые подвижки верхнего слоя грунта (оползни и просадки).

4. Материалы и результаты исследований

Под геоматериалами понимают строительные материалы, которые, выполняя свои функции в контакте с грунтом или другими строительными материалами в геотехнике или других сферах строительства. Несмотря на большую необходимость в нормативных документах, регламентирующих применение геосинтетических материалов в строительстве, нормативная база этой отрасли еще только формируется [1,3]. Также в настоящее время не разработана общепринятая классификация геоматериалов. Существующая классификация имеет вид (рис. 1):



Рис. 1. Классификация геоматериалов

Как видно из схемы, выделено несколько классов в зависимости от материалов и способов производства. Большой класс представляют синтетические или геосинтетические материалы. В строительной практике широко применяются именно геосинтетические полимерные материалы, изготовленные из синтетических или натуральных полимеров в виде плоских форм, лент или трехмерных структур. Исходным сырьем для таких материалов являются: полипропилен, полиэтилен, высокопрочный полиэтилен, полиамид (капрон) и полиэфир (лавсан).

Выполненный нами анализ информационных источников позволил систематизировать виды, входящие в группу геосинтетических материалов следующим образом, представленным в табл. 1 [4,5]. Далее подробнее остановимся на каждом виде.

Основные виды геосинтетических материалов

Материал	Наименование	Область применения
	Георешетки	<ul style="list-style-type: none"> - укрепление склонов дорог - строение подпорных стен различного назначения; - армирование неоднородных грунтов; - укрепление русел рек и прибрежной зоны водоемов;
	Геосетки	<ul style="list-style-type: none"> - укрепление и повышение общей устойчивости крутых откосов; - разделение различных типов грунтов при возведении насыпи; - повышение несущей способности слабого основания; - обеспечение равномерной осадки насыпи и сокращения сроков консолидации основания; - повышение устойчивости грунтовых конструкций на сдвиг;
	Геотекстили	<ul style="list-style-type: none"> - дорожное строительство; - армирование откосов; - строительство туннелей; - гидротехнические сооружения; - производство гидро-дренажных систем;
	Геоматы	<ul style="list-style-type: none"> - укрепление откосов, кюветов насыпей и выемок; - озеленение откосов; - защита оползневых склонов оврагов и сооружений на участках оползней;
	Геомембраны	<ul style="list-style-type: none"> - водопорные плотины; - водоемы и резервуары; - водопропускные каналы;
	Геокомпозиты	<ul style="list-style-type: none"> - горизонтальный и вертикальный дренаж строительных конструкций; - армирование склонов, дорог, подпорных стенок; - стабилизация грунтов.

Георешетка – это сотовая конструкция из полиэтиленовых лент, соединенных между собой сварными швами с высокой прочностью, которая в рабочем положении представляет собой устойчивый каркас в горизонтальном и в вертикальном направлении. При помощи этого каркаса фиксируются различные наполнители – щебень, грунт, бетон, кварцевый песок и другие. Высокие стенки позволяют заключать в себе также и крупнозернистый материал.

Объемные георешетки представляют собой гибкий компактный модуль, состоящий из скрепленных между собой полимерных лент, образующих в растянутом положении

объемную ячеистую конструкцию с заданными геометрическими параметрами. Основными характеристиками являются разрывная нагрузка ленты и прочность шва в процентах от прочности ленты.

Геосетка – это плоский полимерный рулонный материал с сетчатой структурой, образованный эластичными ребрами из высокопрочных пучков нитей, скрепленными в узлах прошивочной нитью, переплетением, склеиванием, сплавлением или иным способом, с образованием ячеек, размеры которых больше образующих сетку ребер, обработанных специальными составами для улучшения свойств и повышения их стабильности. По структуре различают двухосные и одноосные ячеистые конструкции. Первые имеют соты прямоугольной формы и рассчитаны для использования на слабых грунтах, вторые – вытянуты ромбообразной формой в одну сторону и способны отлично справляться с нагрузками на разрыв. Высокий модуль упругости позволяет воспринимать нагрузку и распределять ее.

Следует отметить что, несмотря на то, что геосетки и георешетки на первый взгляд очень похожи, между ними существует большая разница. Основное отличие георешеток от геосеток заключается в способе производства. Синтетические рулонные материалы, служащие исходным сырьем для георешеток, первоначально перфорируются и вытягиваются в одном или двух направлениях. Таким образом, георешетки являются интегральным материалом. В результате вытягивания молекулы полимеров ориентируются в направлении растяжения, этим повышается прочность по направлению растяжения и, соответственно, уменьшается относительное удлинение. Неподвижные узловые точки позволяют георешеткам лучше распределять нагрузку между продольными и поперечными элементами решетки (рис. 2) [4].

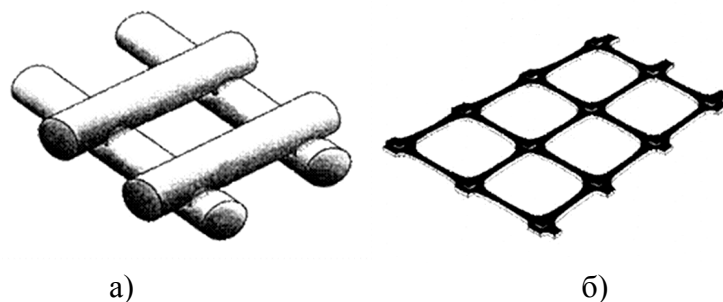


Рис. 2. Геоматериалы: а - геосетка, состоящая из волокон и узлов; б - георешетка - интегральная структура

Геотекстиль представляет собой нетканый материал из синтетических или натуральных полимеров в виде плоских форм, лент или трехмерных структур, что обеспечивает его высокие физико-механические свойства, изотропность, а также стойкость к различным химическим соединениям. К основным свойствам геотекстиля относят высокий модуль упругости, благодаря которому материал может воспринимать значительные нагрузки и выполнять функцию армирования при относительно малых деформациях. Геотекстиль выполняет функцию разделения слоев и позволяет перераспределить напряжение в основании насыпи, увеличить несущую способность основания, устойчивость откосов, улучшить условия уплотнения земляного полотна.

Как показано на рисунке 3, геотекстиль получил самое широкое распространение в мире среди всех видов геосинтетических материалов.



Рис. 3. Использование геосинтетических материалов в мире

Также перспективными и интересными геосинтетическими материалами, применяемыми для укрепления откосов и склонов, являются геоматы и геокомпозиаты.

Геомат – это рулонный материал, представляющий собой композит, который состоит из геосетки и искусственного полимерного материала объемной формы. Полотно является высокопрочной объемной конструкцией с хорошим качеством драпировки, что позволяет конструкции не разрушаться и находиться в постоянном контакте с грунтовым профилем. Геоматы следует применять в качестве армирующих и фильтрующих составляющих для создания устойчивого растительного покрова с целью предотвращения эрозионных процессов и при необходимости отвода большого количества воды. Как правило, геоматы используют в комбинации с другими типами укрепления: биологическими, несущими, защитными и изолирующими.

Отдельное внимание стоит уделить геокомпозиатам, представляющим собой объединенные разновидности геосинтетических материалов. Упрочненные композиционные материалы, состоят из полимерной (синтетической или натуральной) непрерывной матрицы, выполняющей роль связующего все компоненты материала, и армирующей составляющей. Следует подчеркнуть, что при этом создается отдельный материал, который объединяет в себе характеристики составляющих геоматериалов.

Из всего многообразия геокомпозиатов можно выделить несколько наиболее распространенных материалов, а именно:

- 1) соединение геотекстиля и георешеток или геосеток;
- 2) соединение геотекстиля и специальной дренажной прослойки.

Основная разновидность геокомпозиатов - это двухслойные фильтры с жестким каркасом между ними из полимерной геосетки или менее жестким каркасом из высокопористого нетканого материала толщиной обычно 10 - 30 мм.

Геомембранами называют сплошные непроницаемые рулонные материалы, толщиной от 0,5 до 5 мм, широко применяемые для создания гидроизолирующих прослоек, а также для снижения величины активных сдвиговых напряжений за счет гладкого контакта с нижележащим слоем. По структуре полотна геомембраны могут быть однослойными, двух- и трехслойными, по характеру поверхности геомембраны производят гладкие и текстурированные, по профилю полотна геомембраны отличают плоские и профилированные, по способу соединения отдельных полотен геомембраны подразделяются на сварные и склеиваемые. Отличительной чертой геомембран является высокая степень удлинения при нагрузках (как правило, от 600% до 800%) и долговечность (от 25 до 100 лет), что позволяет максимально долго сохранять целостность и непроницаемость слоя геомембраны. Сочетание этих показателей допускает возможность применять геомембраны

практически во всех видах строительства.

Одним из наиболее перспективных геосинтетических материалов на рынке стройиндустрии является георешетка. Ее отличительной особенностью является устойчивость к любому изменению внешней среды: гниение, ультрафиолет, воздействие различных кислот и т.д.

Георешетка рассматривается с позиции укрепления естественных склонов и откосов насыпных сооружений. Армирующий эффект георешетки основан на ее способности воспринимать растягивающие напряжения, работая совместно с укрепляемой средой [5, 6]. Армируя и укрепляя грунт, георешетка препятствует смещению грунта в горизонтальной плоскости, укрепляя слои откосов и насыпей.

Укрепление склонов объемной георешеткой – один из наиболее эффективных методов в тех случаях, когда применение других укрепляющих конструкций, например габионных, невозможно из-за неровного рельефа склона, особенностей грунта и ряда других причин. Пример армирования откоса объемными георешетками представлен на рисунке 4. Перфорированные стенки ячеек георешетки улучшают дренажные характеристики конструкции, что обеспечивает рост разного рода растительности. Вместе с тем следует подчеркнуть, что выбор конкретного геосинтетического материала с определенным размером ячеек решетки необходимо проводить в зависимости от цели применения материала. Так, георешетка с крупными ячейками будет наиболее целесообразна в использовании на достаточно пологих склонах с умеренно прочным основанием грунтовой поверхности, а крутые откосы следует укреплять с применением георешетки с меньшим размером ячеек. Также от крутизны армируемого склона зависит выбор засыпного материала [2, 4].



Рис. 4. Схема армирования откоса объемными георешетками

Процесс укладки георешетки проходит в несколько этапов: материал укладывается послойно, ячейки заполняются растительным грунтом с посевом семян, песком или щебнем. Решетка может засеиваться даже некоторыми сортами деревьев, корневая система которых создает плотную сетку в глубине почвы, тем самым укрепляя откосы и предотвращая образование оползней. Перфорирование позволяет просочившейся воде равномерно распределяться по ячейкам, предотвращая заполнение и способствуя фронтальному дренажу. Закрепление геокантуса на поверхности откоса и соединение отдельных модулей между собой осуществляются с определенным шагом анкерами длиной 500 мм, 800 мм, как показано на рисунке 5.

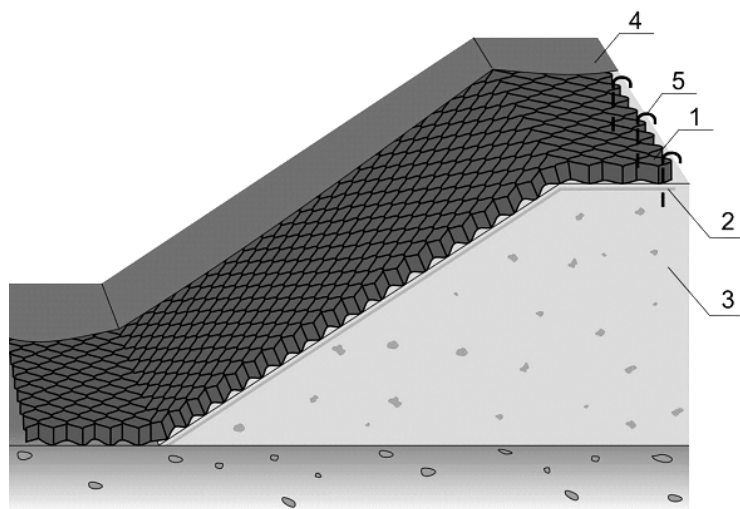


Рис. 5. Схема конструктивного решения укрепления откосов насыпных сооружений георешетками: 1 - георешетка; 2 - нетканый геотекстильный материал, уложенный под георешетку; 3 - грунт тела насыпи; 4 - растительный грунт; 5 - анкера

В сложных грунтово-гидрогеологических условиях на поверхности откоса под георешеткой рекомендуется создавать защитный слой или обратный фильтр из геотекстильных материалов. Создание такого слоя (фильтра) обязательно при:

- укреплении подтопляемых откосов (обратный фильтр);
- укреплении неподтопляемых откосов, сложенных водонеустойчивыми, легкоразмываемыми грунтами (защитный слой);
- наличии выклинивающихся водоносных горизонтов в мокрых выемках (обратный фильтр) [5, 6].

Для крепления георешеток применяются пластиковые, металлические и композитные полимерные анкера.

Пластиковый анкер обычно представляет собой цельнолитую пластмассовую деталь. Его плюсами являются: неподверженность коррозии, малый вес. Минусами является хрупкость при отрицательных температурах, невысокая прочность и невозможность использования на мерзлоте и сложных грунтах.

Металлический анкер выполняют из стального прута и применяют в условиях сложных грунтов (почва, смешанная с камнями, суглинок и т.п.). Минусами такого типа анкера являются подверженность коррозии и большой вес.

Композитные полимерные анкера изготавливают из стеклопластиковой арматуры. Такие анкера объединили в себе все плюсы пластиковых и стальных.

Композитные стеклопластиковые анкера имеют малый вес, не подвержены коррозии, имеют прочность стальных анкеров, сохраняют прочность в широком диапазоне температур, могут использоваться в сложных грунтах.

В верхней части откосов закрепление георешетки при помощи анкеров выполняется в каждую ячейку. Крепление секций между собой анкерами производится в ячейку в направлении сверху вниз, через ячейку в поперечном направлении. Помимо этого внутри каждого модуля устанавливаются анкера с шагом 1-1,5 м в шахматном порядке. Конкретнее размеры анкеров и шаг их установки определяются проектом в зависимости от грунта, крутизны откоса, веса заполнителя решетки из условия закрепления конструкции на откосе от сдвига.

На основе выполненного анализа составлена таблица основных функций геосинтетических материалов применительно к укреплению откосов и склонов с целью сравнения их между собой для выбора наиболее целесообразного варианта для частных условий (табл.2).

Основные функции для каждого типа геосинтетических материалов

Тип геосинтетического материала	Функция разделения	Функция арматуры	Функция дренажа	Функция удерживающей конструкции
Геотекстиль	+	+	+	-
Георешетки	+	+	+	-
Геосетки	+	+	+	-
Геомембраны	-	-	-	+
Геокомпозиты	+	+	+	+

Из полученной таблицы очевидно, что материалами, которые могут обладать всеми наиболее важными функциями, являются геокомпозиты. Также следует подчеркнуть, что геокомпозиты имеют возможность многовариантного проектирования и могут быть выполнены в различных комбинациях, что позволяет подобрать оптимальный вариант для тех или иных грунтовых условий.

Так, в частности, для грунтовых условий г. Днепропетровска самой распространенной проблемой оползания откосов и склонов является отсутствие оттока воды и переувлажнение грунтов, особенно в пылевато-глинистых и лессовых грунтах, которые изменяют свои свойства в процессе водонасыщения. Поэтому на примере геокомпозитных материалов нами было предложено совместить свойства георешетки и геомембраны с креплением последней посредством анкеров. В качестве заполнителя для георешетки рекомендуется использовать крупнофракционный заполнитель. Такая комбинация геосинтетических материалов одновременно будет выполнять удерживающую функцию, препятствовать физической суффозии, продавливанию, оплыванию грунтовой массы вследствие разжижения, а также позволит обеспечить застенный дренаж и по мере необходимости позволит изолировать склон и не допустить обводнения грунтов.

Таким образом, на основании изложенного выше планируется дальнейшее исследование геокомпозитных материалов, в частности предложенной комбинации материалов, с целью укрепления оползнеопасных склонов г. Днепропетровска.

5. Выводы

В ходе проведенного исследования были проанализированы современные геосинтетические материалы на предмет их применения для обеспечения устойчивости грунтовых откосов и склонов. На основе полученных результатов были сформулированы следующие выводы:

1. В связи с развитием промышленности и появлением материалов, характеризующихся прочностью и долговечностью при работе в контакте с грунтом, в мировой строительной практике активно развивается направление, основанное на применении современных геоматериалов и способное решать значительный круг практических задач, включая укрепление откосов и склонов.

2. Применение высокопрочных геосинтетических материалов позволяет повысить устойчивость грунтовых конструкций на сдвиг, тем самым обеспечивая необходимую стабильность грунтов.

3. Исходя из представленной характеристики каждого геосинтетического материала и их сравнительного анализа, изложенного в данной статье, сделан вывод о необходимости комплексной оценки таких факторов, как инженерно-геологические условия строительной площадки, тип грунтового материала конструкции, характер нагрузок и природные условия.

4. На основе данных сравнительного анализа установлена целесообразность использования комбинации геосинтетических материалов, которая будет учитывать частные условия площадки. В частности для инженерных условий г. Днепропетровска нами предложено совмещение свойств георешетки и геомембраны, что будет являться темой дальнейших научных исследований.

Список литературы

1. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Основные положения: ДБН В.1.1-3-97.-[Действителен от 1997- 01- 07]. – К.: Госпотребстандарт Украины, 1998 - 40 с. – (Национальный стандарт Украины).
2. Королев М.М. Второй международный конгресс по геотекстилю (Лас-Вегас, США) / М.М. Королев // Трансп. стр-во за рубежом: Экспресс-информ. ВПТИтрансстрой. - 1984. - Вып. 11. - С. 8-9.
3. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. - К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 9 с. - (Національний стандарт України).
4. Федоренко Е.В. Современные геотехнологии в строительстве: [учебное пособие] / Е.В. Федоренко. - Хабаровск: Изд. ДВГУПС, 2009. - 96 с.
5. Механика грунтов / [Шаповал В.Г. и др.]. – [учебник]. - Днепропетровск: Пороги, 2010. - 168 с.
6. Механика грунтов, основания и фундаментов / [Ухов С.Б. и др.]. – [учебник]. - М.: Изд. АСВ, 1994. - 527 с.