

69  
М62



Министерство образования  
Республики Беларусь

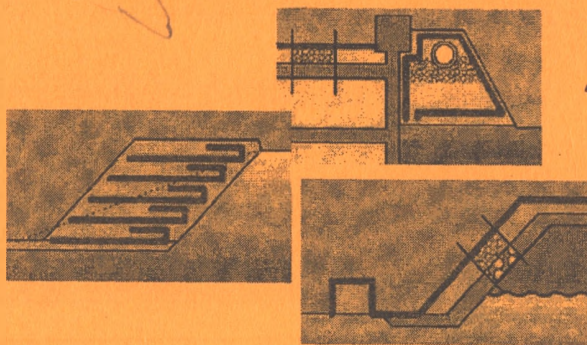
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

М.Е. Минчукова

**ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ:  
ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА,  
ПРИМЕНЕНИЕ**



Минск 2006

**М.Е. Минчукова**

***ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ:  
ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА,  
ПРИМЕНЕНИЕ***

**Монография**

**Минск БНТУ 2006**

69

M62

~~УДК 691.175~~

## **Минчукова, М.Е.**

Геосинтетические материалы: получение, свойства, применение: монография/М.Е. Минчукова. – Мн.: БНТУ, 2006. – 127 с.

ISBN 985-479-508-X.

Книга посвящена особому классу строительных материалов – геосинтетическим материалам. Обобщены, классифицированы и проанализированы сведения, в том числе патентная информация, по серийно выпускаемым промышленностью разных стран и применяемым на практике геосинтетикам. Рассмотрены характеристики, области применения и основные свойства геосинтетических материалов, а также приведена важная для практического использования информация об основных их типах (около 100 наименований).

Издание предназначено для инженерно-технических работников различных специальностей строительного профиля. Оно будет полезно проектировщикам, аспирантам и студентам, обучающимся по специальностям «Водохозяйственное строительство», «Промышленное и гражданское строительство», «Автомобильные дороги», «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Материаловедение», «Химия композиционных материалов» и других.

Табл. 5. Ил. 18. Библиогр. 215 назв.

### **Р е ц е н з е н т ы :**

доктор техн. наук, профессор В.Т. Климов  
(кафедра «Водоснабжение, водоотведение  
и охрана водных ресурсов» БНТУ),

канд. техн. наук, доцент М.И. Никитенко  
(кафедра «Г е о т е х н и к а и э к о л о г и я в с т р о и т е л ь с т в е » Б Н Т У)

ISBN 985-479-508-X

© Минчукова М.Е., 2006

© БНТУ, 2006

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. Общие сведения о геосинтетических материалах .....	8
2. Краткая характеристика полимеров, используемых в производстве геосинтетических материалов .....	16
3. Способы получения геосинтетиков .....	21
4. Виды серийно выпускаемых геосинтетических материалов, их характеристики, особенности и эффективность применения .....	28
4.1. Геомембраны .....	29
4.2. Кровельные гидроизоляционные материалы .....	38
4.3. Геотекстиль .....	41
4.4. Геосетки .....	48
4.5. Георешетки .....	50
4.6. Геоматы .....	53
4.7. Геоячейки .....	56
4.8. Геокомпозиты .....	57
5. Современные направления и перспективы применения геосинтетических материалов в строительстве .....	60
5.1. Применение геосинтетиков в геотехнике .....	60
5.1.1. Армирование грунтовых сооружений, слабых оснований и подпорных стен .....	60
5.1.2. Гидроизоляция плотин и туннелей .....	63
5.2. Применение геосинтетиков в транспортном строительстве .....	66
5.2.1. Усиление дорожных одежд .....	66
5.2.2. Бестраншейный ремонт труб .....	69
5.2.3. Системы борьбы с эрозией .....	69
5.3. Применение геосинтетиков в природоохранной инженерии .....	71
5.3.1. Системы экранирования полигонов .....	71
5.3.2. Системы изолирующей кровли .....	72
5.3.3. Вертикальные барьеры и донные экраны для заброшенных свалок .....	73
5.4. Применение геосинтетиков при строительстве водопроводящих сооружений .....	75
5.4.1. Экранирование каналов, водоемов и парковых прудов	75

5.4.2. Контроль эрозии и стабилизация береговых склонов и откосов .....	77
5.4.3. Захоронение донных наносов .....	78
Заключение .....	79
Список использованных источников .....	80
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Физико-механические свойства геосинтетических материалов.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Геосинтетические материалы и области их применения .....	109

## ВВЕДЕНИЕ

При строительстве водохозяйственных объектов различного назначения возникает необходимость решения многих специфических задач, связанных со снижением вредного воздействия водной среды на строительные конструкции. [1, 3, 5, 36, 60, 108]

Наиболее актуальной из них является проблема улучшения свойств грунтов и элементов строительных конструкций, особенно при возведении сооружений с использованием дешевых местных строительных материалов, прежде всего в области гидротехнического и дорожного строительства при возведении насыпей, дамб, плотин, подпорных стенок и т.д. [4, 7, 33, 44]. Решить эти задачи можно, используя взамен традиционных или в дополнение к ним современные материалы и технические решения, которые позволили бы существенно повысить надежность и качество конструкций, ускорить строительство объекта при значительном снижении материальных затрат [8, 12, 45, 55, 58, 61].

С развитием науки и техники в практику строительства пришли новые материалы, получаемые искусственным путем, которые производят в индивидуальном виде, а также в различных сочетаниях друг с другом и дополнительными компонентами [35, 40, 68, 76]. Они получили широко используемое сейчас название – геосинтетические материалы или геосинтетики. Со времени первых попыток применения синтетических полимерных материалов прошло более пятидесяти лет. В дополнение к ранее применявшимся полимерам (различные марки полиэтилена, ПВХ, полипропилен, бутилкаучук) учеными созданы многие виды геосинтетиков, обладающих комплексами различных специальных свойств, которые отсутствуют у исходных материалов [40, 47, 62].

Геосинтетика уже прочно вошла в список специальных материалов и используется во всем мире для решения широкого круга задач при строительстве объектов различного назначения [61, 64, 77, 79, 82, 92].

Разработанные новые виды покрытий и элементы конструкций с использованием геосинтетических материалов предоставляют новые возможности по сравнению с другими инженерными решениями [29, 106, 107, 113]. Они полностью покрывают защищаемую поверхность, быстро и легко укладываются под водой. Фильтрующие

материалы, благодаря хорошей водопроницаемости, исключают необходимость устройства фильтров из щебня. Покрытия и экраны из геосинтетических материалов могут применяться для откосов любого профиля и способны обеспечить практически 100 %-ю гидроизоляцию сооружения, а при наличии шероховатой поверхности хорошо гасят энергию волн. При их использовании также снижаются затраты на озеленение береговых откосов и поддержание их в надлежащем виде, создаются благоприятные условия для обитания рыб. Геосинтетики, благодаря их высоким деформационным и прочностным характеристикам, обеспечивают эффективное армирование грунтовых сооружений, а также их оснований, позволяя при этом существенно снизить производственные издержки по сравнению с традиционно применяемыми материалами.

На основании многолетнего опыта использования геосинтетических материалов в ряде стран разработаны требования к их качеству и рекомендации по применению. Например, в ФРГ разработаны унифицированные условия на поставку и укладку геотекстильных фильтровых материалов для защиты откосов каналов, а также требования, которым они должны удовлетворять.

К настоящему времени накоплен большой опыт применения геосинтетиков, достаточно хорошо и полно изучены их свойства и характеристики, а промышленностью в различных странах выпускается более 500 их разновидностей [2, 38, 39, 44, 63, 65].

Широкий спектр таких материалов ставит перед проектировщиком или строителем нелегкую задачу выбора как типа самого геосинтетического материала, так и фирмы-поставщика. Перечень вопросов, возникающих перед ним, касается характеристик материала и опыта его применения.

Однако, сведения о получении, свойствах, характеристиках и применении геосинтетиков рассеяны в многочисленных литературных источниках, включая патентную информацию. Это привело к тому, что и по сей день об этих материалах сравнительно мало известно инженеру-практику, даже несмотря на то, что область их применения очень обширна: их применяют при возведении каналов, набережных, причалов, дамб, сооружении береговых опор мостов, армировании дорожных насыпей и одежд, покрытий аэродромов, сооружении хранилищ различных отходов, гидроизоляции фунда-

ментов, создании дренажных систем, укреплении оснований сооружений и склонов и т.д.

Поэтому изучение и систематизация имеющихся сведений о геосинтетических материалах и опыте их применения необходимы для того, чтобы облегчить специалистам получение более четких и полных представлений об основных достижениях в этой области и путях расширения использования геосинтетики в повседневной практике строительства.

Целью данного обзора является обобщение и анализ накопленных сведений о видах, свойствах, способах получения и практическом применении геосинтетических материалов в различных областях строительства и в мелиорации. Надеемся, что приведенный в обзоре материал даст возможность специалистам более глубоко и подробно ознакомиться с современными геосинтетическими материалами и их возможностями и позволит более уверенно и обоснованно применять их в практике проектирования и строительства водохозяйственных и других объектов, где требуется решать задачи повышения устойчивости откосов, увеличения несущей способности грунтовых сооружений, вопросы гидроизоляции, а также устройства эффективных систем дренажа при одновременном снижении массы и стоимости элементов конструкций и сокращении сроков строительства.

За справками, а также с замечаниями и пожеланиями просим обращаться по адресу: г. Минск, проспект Независимости, 65, Белорусский национальный технический университет, кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство».

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

**Геосинтетическими материалами** принято называть материалы, в которых как минимум одна из составных частей изготовлена из синтетических или натуральных полимеров в виде нитей, плоских форм, ленточных или трехмерных структур [9, 21, 76, 142].

В качестве геосинтетических материалов в мировой практике широко применяются различные полимеры в виде индивидуальных соединений: полиэтилен высокой (ПВП-HDPE) и низкой (ПНП-LDPE) плотности, поливинилхлорид (ПВХ-PVC), бутилкаучук (БК-BC), полиамид (ПА-РА), полипропилен (ПП-PP), полиэстер (ПЭС-PES), полистирол (ПС) и композиционные материалы на их основе, сополимеры и др. [6, 10, 30, 41, 62, 68, 70, 114, 143].

Эти материалы способны воспринимать значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородны по своему составу, долговечны, технологичны и эффективны в строительстве.

Геосинтетические материалы подразделяются на водопроницаемые и водонепроницаемые [56, 57, 78]. Предлагаемая нами классификация геосинтетиков приведена на рис. 1. Как следует из рисунка, понятие «геосинтетические материалы» объединяет четыре группы материалов: геотекстили, геотекстильподобные материалы, геомембраны и геокомпозиты.

**Геотекстили** – это водопроницаемые текстильные материалы: тканые, нетканые или вязаные, имеющие вид полотна и изготавливаемые из полимерных (синтетических или натуральных) волокон. Они применяются в геотехнике или других областях строительства в контакте с грунтом и/или другими строительными материалами [4, 35, 64, 67].

**Нетканый геотекстиль** – это водопроницаемый материал, изготовленный из натуральных или искусственных полимеров путем механического, химического или термического адгезивного закрепления волокон или нитей. Нетканые геотекстили являются самыми распространенными в своей группе. Они обладают невысокой прочностью и большой растяжимостью. Удлинение при разрыве этих материалов доходит до 70 %. В силу этого нетканые геотекстили применяются как разделительные слои, препятствующие пе-

ремешиванию грунтов, а также как фильтры в конструкциях дренажей. Нетканые геотекстилы используют и в качестве защиты гидроизоляционных элементов от механических повреждений [9, 93...101, 103, 104, 105].

*Вязаный геотекстиль* – это геотекстиль, в котором волокна, нити или другие элементы скреплены путем провязывания [170].

*Тканый геотекстиль (геоткань)* – это геотекстиль, изготовленный в результате прямоугольного переплетения двух или большего количества нитей. Геоткани обладают высокой прочностью, малой деформируемостью и водопроницаемостью. Они более прочны по сравнению с неткаными геотекстилями. Прочность на растяжение этих геотекстилей может достигать сотен килоньютон на один метр ширины, при этом удлинение при разрыве составляет не более 12-18 %. Поэтому эти геотекстилы используются в качестве армирующих элементов для повышения прочности и несущей способности грунтовых сооружений и оснований. Геоткани также применяются при устройстве защитных экранов полигонов для захоронения отходов, усиления оснований, сложенных техногенными грунтами [9, 112, 121, 149].

Для производства геотекстилей применяются:

- волокна, тянутые поодиночке – мононити;
- пучки, тянутые из многих волокон – полинити;
- волокно рубленое – волокно, тянутое из моно- и полинитей, рубленых на отрезки;
- рубленая пряжа – рубленые на отрезки материалы, полученные в результате производства волокон тянутых и рубленых;
- волокна ленточные – полосы рубленых нитей различной ширины.

Другую группу геосинтетических материалов образуют так называемые геотекстильподобные материалы.

*Геотекстильподобные* – это плоские или трехмерные, водопроницаемые полимерные (синтетические или натуральные) материалы. К ним относят геосетки, георешетки, геоматы и геоячейки.

*Геосетками* называют объемные сетчатые структуры с ромбовидной формой ячеек, сформированные двумя наложенными друг на друга пересекающимися нитями, которые образуют комплекты сплошных глубоких каналов, обеспечивающих высокую способность к просачиванию жидкости [9, 76, 79, 148].

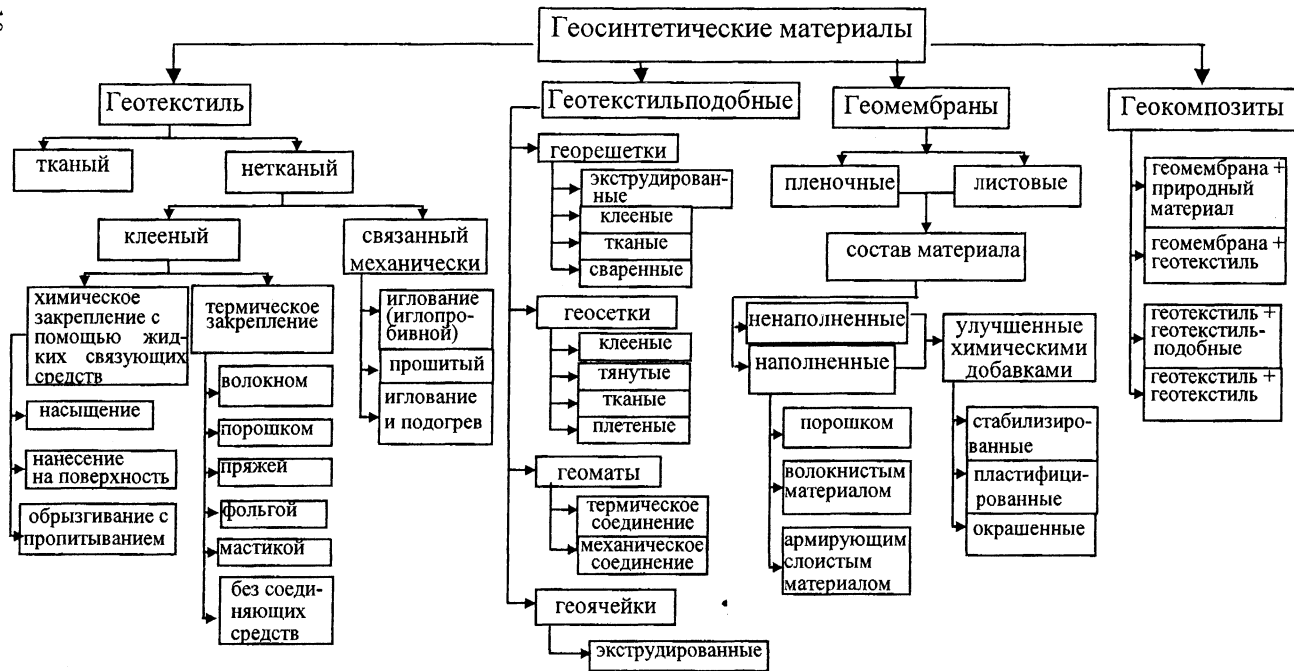


Рис.1. Классификация геосинтетических материалов

*Георешетками* называют регулярные прямоугольные структуры, изготовленные из полимерных (натуральных или синтетических) элементов, полученных прессованием, литьем под давлением или другими способами, которые переплетены или соединены между собой. При этом размер открытых ячеек георешетки существенно больше составляющих ее элементов [9, 11, 76, 79, 130, 141].

Геосетки и георешетки, как и геоткани, характеризуются высокой механической прочностью, малой деформируемостью и высокой прочностью на раздир. Это определяет их область использования в качестве армирующих элементов грунтовых сооружений и оснований. Геосетки и георешетки применяются также в случаях, когда требуется обеспечить местную устойчивость откосов.

*Геоматами* называются объемные водопроницаемые полимерные структуры, образуемые нерегулярной сетью нитей, волокон и других элементов, которые используются для противозерозионной защиты и озеленения склонов и откосов, а также для дренажа фильтрующихся жидкостей [11, 76, 80, 133].

Разновидностью геоматов являются также водонепроницаемые *геосинтетические глиноматы* – материалы заводского изготовления, состоящие из природных глин (например, бентонита), обладающих низким коэффициентом фильтрации, и геотекстиля. Поэтому часто глиноматы называют бентонитовыми матами. Эти материалы применяют для создания прудов, противофильтрационных завес, часто они служат альтернативным решением глиняным экранам при строительстве полигонов для захоронения отходов [13, 22, 76].

*Геоячейки* – это трехмерные водопроницаемые сотовые или решетчатые структуры, изготовленные из полос геотекстилей или геомембран. Они используются для контроля эрозии и стабилизации грунтовых поверхностей [22, 76].

*Геомембраны* – это рулонные и листовые материалы, характеризующиеся очень низкой водопроницаемостью, изготавливаемые из синтетических полимеров или продуктов на основе битумов. Геомембраны применяют для гидроизоляции, пароизоляции и газоизоляции подземных строительных конструкций, создания противофильтрационных экранов, устройства прудов, отстойников, испарителей [24, 68, 69, 76, 90, 123, 131, 135, 163].

Развитие исследований свойств и способов получения геосинтетических материалов привело к созданию новой группы геосинтетических материалов, получивших название «геокомпозиционные материалы».

*Геокомпозиционные материалы (геокомпози́ты)* – это пространственные полимерные покрытия, представляющие собой композит на основе ранее рассмотренных групп геосинтетиков, обладающие улучшенными физико-механическими характеристиками и новыми функциональными возможностями по сравнению с составляющими его материалами [24, 82, 89, 187, 200, 212].

Геосинтетики выполняют в конструкциях водохозяйственного назначения следующие основные функции:

сепарация – разделение слоев грунта, имеющих различные фракции частиц, для предотвращения их перемешивания на границе контакта;

– армирование – присутствие в грунтовом массиве полимерных нитей, волокон или полос, способствующее укреплению грунтовых сооружений, распределению растягивающих усилий в толще грунта, увеличению его несущей способности;

– фильтрование – предотвращение эрозии грунта в местах соприкосновения различных грунтов и на поверхности земли;

– дренаж – отведение воды из массивов грунта или из мест соприкосновения водонасыщенных грунтов со строительными конструкциями;

– гидроизоляция – обеспечение водонепроницаемости и защиты от вредного действия воды и жидких сред зданий, сооружений и других строительных конструкций.

По проницаемости геосинтетики подразделяют на следующие категории: водопроницаемые; изоляционные водонепроницаемые; газонепроницаемые пленки; фильтрующие; дренажные; теплоизоляционные.

Рулонные геосинтетики усиления можно классифицировать по фактуре на тканые, нетканые, иглопробивные, геосетки, маты, ячеистые и материалы комбинированной фактуры.

По удлинению при действии нормативной нагрузки различают нерастяжимые (менее 5 %), растяжимые (5-12 %) и сверхрастяжимые (более 12 %) геосинтетические материалы.

По сопротивлению изгибу различают упругие и эластичные материалы.

Среди факторов, влияющих на долговечность геосинтетиков, основными являются следующие:

- ультрафиолетовое излучение (элементы должны быть защищены от воздействия прямых солнечных лучей);
- механическое воздействие (растягивающая нагрузка не должна превышать 25 % от усилия разрыва).

Некоторые полиэфирсодержащие и полиамидные материалы чувствительны к величине водородного показателя рН, поскольку полиэфир разрушается в среде с  $\text{pH} > 9$ , а полиамид подвержен окислению в среде с  $\text{pH} > 5$ . Полиэфиры могут также претерпевать разрушение на контакте с материалами, содержащими известь и цемент [15, 48, 59].

При эксплуатации в условиях низких температур многие полимеры и геосинтетические материалы на их основе претерпевают структурные изменения. Например, полистирол, полиметилметакрилат приобретают хрупкость и разрушаются. В то же время, поливинилхлорид и полиэтилен имеют склонность к холодному течению [31, 32].

На состояние полимеров вредное влияние оказывает солнечная радиация, а именно ее ультрафиолетовая часть. Непосредственное воздействие ультрафиолетового излучения приводит к хрупкости и растрескиванию материала, причем глубина его действия составляет около 0,2 мм [68]. Низкую устойчивость к действию ультрафиолетовой радиации имеют полипропилен и полиэтилен.

В условиях длительного действия нагрузки геосинтетические материалы имеют склонность к ползучести, заключающейся в росте пластической деформации с течением времени при наличии постоянного напряжения. Наиболее подвержены ползучести материалы из полипропилена, а наименее – из полиамида и полиэстера, причем последние обладают высокой прочностью на разрыв и малым относительным удлинением [68].

В обобщенном виде выполняемые в конструкциях функции геосинтетических материалов представлены в табл. 1.

## Функции геосинтетических материалов

Функция	Вид геосинтетика	Эффект применения
Фильтрация	Геотекстиль, геокомпозиты	Осуществление миграции жидких сред без перемещения грунтовых фракций
Дренаж	Геотекстиль, геосетки, геокомпозиты	Отвод жидких сред в вертикальном и горизонтальном направлениях
Разделение	Геотекстиль, геокомпозиты	Предотвращение перемешивания двух различных грунтов или материалов
Обеспечение безопасности	Нетканый геотекстиль, геосетки, геокомпозиты	Защита от повреждений материала конструкции или других геосинтетических материалов
Гидроизоляция	Геомембраны, геокомпозиты	Непреодолимый барьер для жидких сред
Усиление стен и откосов	Моноориентированные георешетки, тканый геотекстиль	Распределение растягивающих усилий в толще грунта
Усиление слабых грунтов	Георешетки двойного ориентирования, геотекстиль, геокомпозиты	Увеличение несущей способности грунта
Усиление асфальта и бетона	Георешетки двойного ориентирования	Обеспечение выносливости и сопротивления растяжению
Контроль эрозии и стабилизация поверхностей	Геоматы, геоячейки	Предотвращение отделения и перемещения грунта в результате дождей, стоков и ветров; заделка основания
Ограждение	Геоячейки	Сопротивление боковому перемещению грунтовых масс

Из данных табл. 1 следует, что один и тот же вид геосинтетического материала выполняет различные функции и может применяться с положительным эффектом во многих случаях. Однако максимальную эффективность от применения конкретного геосинтетика можно получить только в тех случаях, где его характеристики и свойства используются наиболее полно по своему прямому назначению.

Обобщенные сведения о целесообразности и особенностях применения геосинтетиков в строительных конструкциях представлены в табл. 2 [142].

Таблица 2

Некоторые особенности применения геосинтетиков в строительстве

Вид геосинтетика	Функция				
	Разделение	Армирование	Фильтрация	Дренаж	Гидроизоляция
Геотекстили	+	+	+	+	- <sup>(г)</sup>
Георешетки	- <sup>(б)</sup>	+	-	-	-
Геосетки	-	+	-	+	-
Геомембраны	+ <sup>(в)</sup>	- <sup>(г)</sup>	-	-	+
Геосинтетические глины	+ <sup>(в)</sup>	- <sup>(г)</sup>	-	-	+
Геотрубы	-	-	-	+	-
Геокомпозиты	а, г	а, г	а, г	а, г	а, г

Примечание:

- (+) – применение высокоэффективно;
- (-) – применение неэффективно или применять нельзя;
- а – если материал не пропитан битумом или другим полимером;
- б – если размер грунтовых фракций не очень большой;
- в – считается второй (второстепенной) функцией;
- г – если материал не армирован.

## 2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИМЕРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Полимерами называют высокомолекулярные соединения, содержащие большое количество одинаковых звеньев, которые называются мономерами.

Полимеры различают:

- органические, содержащие в главной цепи и боковых радикалах атомы углерода, водорода, кислорода, азота, серы и галогенов;
- неорганические, цепи которых построены из разных атомов, кроме углерода;
- элементоорганические, цепи которых содержат атомы углерода и элементов, не входящих в состав природных органических соединений (атомы кремния, алюминия и др.).

Наиболее широко в производстве геосинтетических материалов используют полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, полиизобутилен, бутилкаучук, полистирол, полиэстер, композиционные составы на их основе, сополимеры и некоторые другие [41, 59, 66, 72, 78, 84, 90, 110, 117].

### 2.1. Полиэтилен

Полиэтилен входит в группу полиолефинов и является продуктом полимеризации этилена ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ).

Различают полиэтилен высокого давления (ПВД) или низкой плотности (ПНП) и полиэтилен низкого давления (ПНД) или высокой плотности (ПВП). Плотность полиэтилена колеблется от 910-930  $\text{кг/м}^3$  (ПНП) до 960-970  $\text{кг/м}^3$  (ПВП).

Полиэтилен относится к термопластичным полимерам и обладает аморфнокристаллической структурой.

Полиэтилен не растворим в воде и органических растворителях при комнатной температуре. Он устойчив к воздействию разбавленных серной и азотной кислот, концентрированных соляной и фосфорной кислот, едким щелочам и растворам различных солей.

В тонких пленках полиэтилен эластичен и гибок и характеризуется значительной ползучестью уже при комнатной температуре. Диапазон рабочих температур от  $-80$  до  $+60$  °С.

Тонкие и эластичные пленки получают из ПНП. Толстые пленки могут быть изготовлены из полиэтилена любой плотности.

Введение различных наполнителей в состав полиэтилена изменяет его свойства и свойства композиций на его основе [177, 183, 186, 189, 190, 191, 195, 196]. При армировании полиэтилена стекловолокном или капроновой сеткой улучшаются его физико-механические характеристики, что важно для применения его в различных сооружениях, в т.ч. гидротехнических. Другие компоненты могут изменить свойства полиэтилена в худшую сторону, например, когда добавки уменьшают прочность и относительное удлинение полиэтилена и увеличивают его ползучесть.

## 2.2. Поливинилхлорид

При полимеризации суспензионным или латексным способами хлористого винила ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ) в присутствии инициаторов получается поливинилхлорид (ПВХ), который представляет собой термопластичный материал, и наряду с полиэтиленом является одним из наиболее известных полимеров.

В зависимости от способа переработки получают жесткую (непластифицированный ПВХ) и мягкую (пластифицированный ПВХ), очень мягкую (формопласт, гидропласт), пористую пластмассы, а также лаки, пасты и эмали [91, 199].

Жесткие пластмассы или винипласты обладают достаточно высокой механической прочностью, стойкостью ко многим химическим средам, водостойкостью, грибостойкостью. Недостатком винипластов является невысокая теплостойкость и низкая ударопрочность. Из винипласта выпускается каландрированная пленка общего и специального назначения.

У мягких пластмасс (пластикат) за счет введения пластификатора снижается температура стеклования и вязкого течения, уменьшается прочность и ухудшаются диэлектрические показатели, однако повышается морозостойкость и улучшаются деформационные свойства. Недостатком пластикатов является способность пластификатора экстрагироваться и мигрировать из материала, вследствие чего материал со временем теряет первоначальную эластичность.

Пластифицированный ПВХ используют для изготовления пленки, широко применяемой для экранирования гидротехнических сооружений.

### 2.3. Полипропилен

Полипропилен получают полимеризацией пропилена ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ ). Он представляет собой твердый, жесткий нетоксичный полимер с температурой плавления  $160-170^\circ\text{C}$  и плотностью  $900-910\text{ кг/м}^3$ . Полипропилен легко окисляется, особенно при контакте с медью, марганцем или сплавами, содержащими эти металлы. Его атмосферостойкость повышают введением сажи. Полипропилен не растворим в органических растворителях, минеральных и растительных маслах, а также устойчив к действию малоконцентрированных кислот и щелочей. Полипропилен пригоден для изготовления пленки, труб и различных конструкционных элементов.

### 2.4. Полиизобутилен

Сырьем для получения полиизобутилена служит изобутилен ( $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ ). Он представляет собой каучукоподобный мягкий эластичный полимер плотностью  $910-920\text{ кг/м}^3$ , аморфной структуры, который кристаллизуется в растянутом состоянии. Устойчив к действию всех кислот и оснований, растворим в ароматических и хлорированных углеводородах, минеральных маслах, но не растворим в спиртах, кетонах и сложных эфирах. Чистый пластик текуч на холоду, поэтому полиизобутиленовые пленки изготавливаются либо сополимеризацией изобутилена с этиленом и другими мономерами, либо введением наполнителей (сажа, графит, асбест, мел и др.) При введении наполнителей плотность получаемых композиций возрастает до  $1180-2430\text{ кг/м}^3$ .

### 2.5. Бутилкаучук

Бутилкаучук или полиизобутиленовый каучук представляет собой сополимер изобутилена с небольшим количеством бутадиена.

Бутилкаучук стоек к действию кислот, щелочей, сложных эфиров, спиртов, растительных масел и набухает лишь в ароматических и алифатических растворителях. Полимер нетоксичен и не является питательной средой бактерий и грибков, а также грызунов. Бутилкаучуковые пленки производятся методом каландрирования, поэтому их ширина невелика. Стыковка бутилкаучуковых пленок осуществляется с помощью склеивания или вулканизации [193].

## 2.6. Полиамид

Полиамид представляет собой полимер линейного строения, содержащий в основной цепи амидные группы. В качестве сырья для получения полиамида используют капролактам, гексаметилендиамин, адипиновую и другие кислоты. Полученный полимер является кристаллическим материалом, но в зависимости от условий переработки, содержания влаги и др. может иметь аморфные участки.

Полиамидные пленки изготавливают экструзией, но они могут быть также получены из расплава. Последний способ позволяет, как и экструзионный, получать рулонные материалы необходимой длины. В состав пленки могут входить стабилизаторы (уксусная и адипиновая кислоты, их соли и др.), наполнители (графит, тальк, ткани из минеральных и синтетических волокон и др.) Количество наполнителя может достигать 90 % и выше. Наполнители снижают эластичность материала, но увеличивают прочность, уменьшают водопоглощение [182].

Основное применение полиамидные пленки находят в легкой промышленности, приборостроении и других областях техники.

## 2.7. Полистирол

Полистирол получают полимеризацией стирола чаще всего по методу радикальной полимеризации в присутствии различных инициаторов (перекисей, гидроперекисей и др.). В технике различают «блочный» и «эмульсионный» полистирол. Блочный, получаемый непрерывными методами, отличается большой чистотой. Молекулярная масса технического продукта изменяется от 50000 до 300000. Структура полистирола характеризуется значительной разветвленностью и аморфностью. Появление кристаллитов не отмечается.

В связи с тем, что рассмотренные полимеры широко используют в производстве пленок, в табл. 3 представлены основные физико-механические характеристики пленочных материалов на их основе.

Физико-механические характеристики полимерных пленочных материалов

№ п/п	Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающее напряжение при разрыве, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю, МПа	Водопоглощение за 24 ч, %	Рабочий диапазон температур, °С
1	Полиэтилен низкой плотности (ПНП, LDPE)	918...935	12,0...16,0	150...600	14,0...25,0	0,01	-70...+110
2	Полиэтилен высокой плотности (ПВП, HDPE)	945...955	22,0... 45,0	200...900	45,0...58,0	0,005...0,032	-70...+130
3	Поливинилхлорид жесткий (ПВХ, PVC)	1380	45,0... 60,0	10...50	150,0...160,0	0,4...0,6	-15...+65
4	Поливинилхлорид пластифицированный	1200...1300	5,0... 25,0	60...300	11,0...60,0	0,3...0,4	-15...+100
5	Полиамид (ПА, РА)	1100...1600	20,0...250,0	10...600	38,0...300,0	2,0...12,0	-60...+190
6	Бутилкаучук БК,BC)	1100...1350	2,0... 14,0	350...1500	8,0...15,0	0,003...0,03	-60...+120
7	Полипропилен (ПП, PP)	900...910	25,0...40,0	200...800	65,0	0,5 (6 мес)	-15...+160
8	Полистирол (ПС, PS)	1050...1080	30,0...50,0	1,5...3,0	120,0...210,0	0,2...0,3	-65...+85
9	Полиизобутилен (ПИБ)	910...1360	2,0...13,0	1000...2000	-	1,0	-50...+45

### 3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИКОВ

Современный уровень развития химической промышленности позволяет производить различные по составу, свойствам и способу изготовления виды гидроизоляционных и фильтрующих геосинтетических материалов: геотекстиль, геомембраны, геокомпозиты, геоматы, геосетки, георешетки и геоячейки.

**Геотекстили**, тканые и нетканые, составляют основную долю геосинтетических материалов, широко применяемых в строительстве [9, 24, 54, 71, 76, 112, 203, 204]. Исходным сырьем для их получения являются полиэфир, полиэтилен, полипропилен, полиамид, полиэстер и другие высокомолекулярные соединения.

Тканые геотекстили, имеющие в основе своей структуры сложную скрученную нить (мультиволокно) или вытянутое одиночное волокно (моноволокно), изготавливаются путем переплетения двух или более рядов нитей или волокон.

Нетканые геотекстили имеют беспорядочную спутанно-волокнистую структуру и вырабатываются непосредственно из волокна. В зависимости от длины нитей различаются нетканый геотекстиль из сплошного волокна и из коротких нитей (или комочков). Их изготовление включает две основные операции: формирование холста из волокон и его упрочнение. По технологии производства нетканые материалы делятся на три вида: полученные сухим способом из волокон; полученные мокрым способом из волокон и целлюлозы; полученные фильерным способом непосредственно из расплава полимера. В дальнейшем холст упрочняется механическим, термическим, химическим или комбинированным способами.

Наиболее распространенным способом упрочнения является механический иглопробивной. Он заключается в переплетении волокон иглами с зубринами, расположенными на движущейся пластине. Проходя через толщу волокна, иглы тянут за собой часть зацепленных волокон. После вытаскивания иглы эти волокна остаются в поперечном расположении по отношению к основному направлению волокон, связывая толщу волокна в единое целое. Этот способ упрочнения позволяет, в зависимости от плотности проколов и скорости подачи волокна, изготовить материал с заданными свойствами: более прочный в продольном или поперечном направлениях. Материал в этом случае получается анизотропным, т.е. с разными

механическими показателями вдоль и поперек полотна. Для достижения оптимальных прочностных характеристик целесообразно изготовление материала таким образом, чтобы коэффициент анизотропии, как отношение одноименных показателей в двух взаимно перпендикулярных направлениях, не превышал 1,5.

Способ термического (горячего) склеивания прочеса заключается в пропуске его между двумя нагретыми цилиндрами при большом давлении с предварительным введением в смесь некоторого количества легкоплавких компонентов: волокон, порошка, фольги, мастики или пряжи. Нетканые материалы, упрочненные термическим способом, по объему выпуска занимают второе место в мире после изготавливаемых с помощью механического способа упрочнения.

Способ химического склеивания полотна основывается на концентрации различных связующих в местах пересечения волокон, путем их насыщения, непосредственного нанесения связующего на поверхность либо обрызгиванием с пропиткой. Это позволяет фиксировать холст так же, как и при термическом упрочнении. Для химически упрочненных полотен, однако, существует опасность изменения свойств во времени вследствие разложения связующего. Кроме того, обработка дорогостоящим связующим существенно повышает стоимость нетканого материала.

**Геомембраны** могут быть изготовлены практически из всех полимерных материалов. Состав материала мембраны, как правило, включает, помимо основного полимера, различные стабилизаторы, пластификаторы, красители, наполнители в виде органических или минеральных волокон, нитей, тканей и т.п. Они способствуют улучшению свойств полимеров, повышению их химической стойкости, тепло- и атмосферостойкости, деформационной способности, долговечности. В качестве наполнителей применяются порошки (кварцевая мука, мел, тальк и др.), волокнистые материалы (асбестовое волокно, стекловолокно и др.), а также слоистые материалы (бумага, различные ткани, металлические сетки и т.д.). В последнем случае получают армированный материал. Наряду с наполнителями вводят пластификаторы (сложные эфиры, цинковая кислота, стеарат алюминия, фосфаты и др.), а также свето- и термостабилизаторы (газовая сажа, трехосновной сульфат свинца, органические амино-

кислоты и др.), красители (нигрозин, пигмент желтый, охра, сурик и др.) [24, 88, 209].

**Геосетки** образованы высокопрочными нитями или пучками нитей, которые скреплены узлами, переплетены или спрессованы. При этом открытые ячейки сетки существенно больше составляющих ее элементов [24, 143, 169].

**Георешетки** обычно изготавливают из полиэтилена высокой плотности, полипропилена или полиэстера при помощи процесса экструзии или сварки сплюснутых лент [24, 141, 143].

Георешетки, ориентированные в одном направлении, получают путем экструзии и последующего растягивания в продольном направлении.

Экструдированные георешетки двойного ориентирования получают путем продольного и поперечного растягивания.

Клееные георешетки получают путем переплетения и склеивания в виде открытых ячеек пучков из двух или более нитей.

**Геоматы** изготавливают в виде регулярных или хаотичных волоконных трехмерных структур, а также в виде сотовых или других конструкций из полос геотекстиля, пластмасс или природных материалов, которые соединены между собой термическим, механическим или другими способами [24, 210].

**Геоячейки** изготавливают в виде монолитной полимерной сотовой структуры методом экструзии [24].

Ниже кратко рассмотрены предложенные в последние годы способы получения геосинтетических материалов, позволяющие значительно расширить их ассортимент, увеличить эффективность применения и придать им дополнительные специфические свойства. Их создание основано на различных способах модификации уже существующих промышленных полимеров (совмещении, наполнении, обработке различными видами облучения), внедрении новых конструктивных особенностей и технологий производства.

Новые способы получения противofильтрационных материалов – *геомембран*, способных обеспечить надежную гидроизоляцию сооружения, направлены на улучшение их изоляционных свойств, повышение прочностных характеристик и способности сохранять целостность в кислой среде.

Пленка из полиэтилена высокого давления с включением свето-, термостабилизаторов и антиокислителей приобретает более высокие физико-механические характеристики, если ее подвергнуть облучению. Облучение приводит к сшиванию макромолекул. При этом существенно возрастает стойкость материала к растрескиванию [183, 194].

Высокой стойкостью к ультрафиолетовому облучению обладает пленка из суспензионного поливинилхлорида, в состав которой включены сложнотермостойкий пластификатор и стабилизатор – смешанные соли карбоксилатов металла [199].

Высокий предел прочности при растяжении имеют тканые мембраны, изготавливаемые путем переплетения множества армированных полос из полипропилена и имеющие большое количество пустот разного размера. Наличие пустот предупреждает сдвиговые деформации грунта и, в то же время, не допускает большой фильтрации. В случае необходимости армирования дорожных покрытий и других грунтовых сооружений такие мембраны являются более предпочтительными по сравнению с традиционно применяемыми экструдированными георешетками. Они обладают большой гибкостью, легко раскатываются и сворачиваются в рулон при изготовлении, транспортировке и установке. Материал недорогостоящий [208].

Способ изготовления методом соэкструзии многослойной пленки из полиэтилена позволяет производить материал различной толщины от 2 до 100 мкм. Она состоит из центрального слоя полиэтилена низкой плотности, имеющего плотность 0,915-0,935 г/см<sup>3</sup>, и одного слоя адгезионного материала. Пленка изготавливается следующим образом. Экструдированный материал наслаивается слоями в соответствии с тем, от какого экструдера он приходит, затем наложенный материал выводится в атмосферу путем продавливания его через щель ширительной головки, собирается на охлажденный валик и охлаждается водой с температурой от 10 до 25 °С [201]. Аналогичным путем соэкструдирования изготавливается полипропиленовая пленка, которая также состоит из нескольких слоев полимерных материалов.

Высокие фильтрующие свойства обеспечивают новые виды *геотекстильных материалов*.

Разработан фильтрующий нетканый материал, изготовленный из волокнистого холста, выполненного из анионо-обменного модифицированного полиамидного волокна и скрепленного иглопрокалыванием [192].

В ряде случаев возникает потребность в применении материалов, обладающих повышенным влагопоглощением. Прогрессивным материалом является хорошо впитывающая влагу арамидная ткань, в состав которой входит более 75 % арамидных кристаллизованных нитей [202].

Новые виды *геосеток и георешеток*, выполненных из высокопрочных материалов с применением эффективных способов соединения составляющих их элементов, разработаны с целью использования их в составе армирующих и дренажных конструкций.

Высокую прочность на растяжение проявляет сетка, изготовленная из высокопрочных молекулярно-ориентированных однослойных однородных термопластичных прутков. В конструкции прутки пересекают друг друга и в местах пересечения соединены сваркой. Сетка имеет большую площадь поверхности и может эффективно применяться в качестве дренажа и одновременно армирующего элемента грунтового сооружения [198].

Предложена геосетка, имеющая структуру, которая обеспечивает высокие деформационные и прочностные характеристики материала. Она сформирована из полимерных продольных тянутых лент, выполненных из полиэфира или полиэтилентерефталата, и поперечных лент, расположенных по отношению к продольным под углом 80-100 ° и соединенных в местах пересечения плавлением. В таком материале при действии напряжения не менее 90 % удельной прочности в продольном направлении продольных лент большая часть поперечных лент деформируется без растрескивания или разрыва. Геосетка эффективна при использовании в качестве армирующего элемента тела плотины, фундаментного ската и других конструкций [178].

Для обеспечения высокоэффективного отвода фильтрующей жидкости при одновременном выполнении армирующей функции в грунтовом сооружении разработана георешетка, выполненная из продольных пластин с дренажными прорезями. Прорези образуют открытую поверхность в виде полости для отвода поступающей снизу и сверху воды. Пластины имеют в поперечном сечении кри-

волинейную форму и соединены между собой анкерами. Анкеры состоят из вставки, а также пластинок, посредством которых вставка путем сварки или скрепляющими элементами прикреплена к продольным пластинам [181].

Поиск новых способов изготовления *геоматов* направлен на повышение их прочностных характеристик, придание большей гибкости и пористости.

Высокой прочностью на растяжение, большой гибкостью и пористостью обладает новый тип геоматов - петельные геоматы. Новые свойства получены в результате того, что составляющие их нити выполнены из полипропилена путем экструдирования. Мат сформирован из геосетки, которая прошита в продольном и поперечном направлении нитью так, что на ее поверхности образуется множество петельных окончаний. Мат легко укладывается на грунтовую поверхность. Пористая структура материала способствует захвату корневых систем растений, обеспечивает закрепление грунта и свободную фильтрацию жидкости [207].

Разработан также высокопрочный геомат, имеющий сотовую структуру и состоящий из гибких полос, которые выполнены из нетканого геотекстиля. Повышенная прочность геотекстильных полос достигается благодаря скреплению волокон холстопршивным способом посредством переплетения и упрочнению материала аппретированием и строчеными швами. Полосы расположены в шахматном порядке, установлены на ребра и соединены между собой линейными швами. В растянутом состоянии длина геомата составляет от 8 до 15 м, ширина - от 1 до 15 м, высота - от 0,05 до 0,2 м, ширина ячейки от 0,2 до 1,0 м [197].

Новые виды *геокомпозиционных материалов*, состоящих из двух и более геосинтетиков различных групп, позволяют решать комплекс задач, связанных с увеличением несущей способности грунтовых конструкций, отводом фильтрующих вод и предотвращением фильтрации через тело сооружения.

Предложен композитный материал, обладающий повышенным сопротивлением на разрыв и высокой прочностью на растяжение, изготавливаемый из полиэтилена очень низкой плотности (VLDPE), металлизированного полиэтилена, а также полипропиленового гомополимера с включением сополимера и термостойких добавок.

Такой материал обеспечивает надежную гидроизоляцию кровли, а также оросительных каналов, водоемов и других сооружений [212].

Высокие противотрещинообразующие характеристики грунтового сооружения способен обеспечить геосинтетический композитный материал, состоящий из двух слоев геотекстиля и уложенного между ними слоя глинистого порошка. Верхний слой геотекстильного материала имеет трубчатые полости, заполненные отверждающим раствором. Слои скреплены между собой, а выемки заполняют раствором глинистой суспензии [184].

Разработан рулонный гидроизоляционный материал, состоящий из армированного стеклотканью слоя битумной кровельной мастики, включающей нефтяной кровельный полимерный компонент. На наружной поверхности материал защищен покрытием из полиэтиленовой пленки, а на внутренней - мелкозернистой присыпкой [215].

Повышенной стойкостью к внешним воздействиям обладают композитные синтетические полимеры, включающие смеси-добавки усиленного действия. Компонентами композиции являются полиолефин или полистирол, полиэтилен или полипропилен, а также стабилизаторы: фенольный антиоксидант, поглотитель ультрафиолетового излучения, светостабилизаторы, термостабилизаторы на основе поливинилхлорида; полимерный агент, обладающий амфифильными свойствами. В качестве наполнителя используют тальк, каолин и слюду, которые вводят в композицию в различных соотношениях [180].

Предложен армированный полимерный композиционный материал, обладающий высокими физико-механическими свойствами. Он выполнен на основе анилино-феноло-формальдегидного связующего, с пропиткой однонаправленной технической нити олигомерным связующим с последующим формованием, отверждением и магнитной обработкой в постоянном магнитном поле [185].

Как армирующий и дренажный элемент конструкции, предлагается совершенно новый композитный геосинтетик, состоящий из слоев дренажного и армирующего материалов, один из которых включает проводящий электрический ток геосинтетик. Дренажный слой выполнен из полипропиленовых волокон, а в качестве армирующего материала используется георешетка. Для достижения максимальной эффективности работы системы георешетку помещают

внутри дренажного слоя. Электропроводящий геосинтетик выполнен из полипропилена с включением металлических нитей или волокон. Такой композитный материал является своего рода электродом. Использование его способствует консолидации и упрочнению грунта, передвижению и электросорбированию веществ из грунта под действием электрического поля [206].

Рассмотренные основные новые способы получения геосинтетических материалов свидетельствуют о том, что их ассортимент и специфические свойства не исчерпываются описанными ранее, а непрерывно развиваются и совершенствуются и в ближайшее время можно ожидать появления новых геосинтетических материалов, обладающих более совершенным комплексом свойств и превосходящих по своим характеристикам известные до сих пор.

#### **4. ВИДЫ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

В настоящее время мировая промышленность вырабатывает большое число разнообразных геосинтетических материалов специально для строительных целей. Они имеют достаточно широкий диапазон физико-механических свойств, зависящих как от вида исходного полимерного сырья, так и от технологии производства.

Востребованность геосинтетиков и постоянно увеличивающийся рост их производства обусловлены разнообразием и уникальностью их свойств. По многим характеристикам геосинтетики превосходят традиционные материалы (металл, бетон, камень, дерево, стекловолокно) за счет низкой плотности, деформационной способности, стойкости против коррозии, хороших тепло-, звуко- и электроизолирующих свойств, а также низких производственных расходов при переработке, возможности замены нескольких деталей разного назначения, выполненных из традиционного сырья, одной, выполненной из полимерного материала.

В данном разделе приведены краткие сведения о конкретных видах наиболее широко используемых в строительной практике геосинтетических материалов, их составе и свойствах.

## 4.1. Геомембраны

Полимерные мембраны нашли широкое применение в мировой практике при строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений, изоляции свалок бытовых и промышленных отходов, строительстве автомобильных дорог в просадочных грунтах, гидроизоляции мостов, туннелей и автостоянок, в качестве гидроизоляционного покрытия бетонных, кирпичных, грунтовых и других поверхностей, в том числе в емкостях для питьевой воды, в качестве антикоррозионного покрытия, для устройства и ремонта кровель.

Основные преимущества использования геомембран:

- высокая скорость выполнения сварочных работ;
- простота транспортировки и складирования материалов;
- отработанные методики оценки качества материалов и работ;
- снижение объемов экскавации;
- экономичность монтажа;
- абсолютная водонепроницаемость;
- высокая сопротивляемость механическим перегрузкам;
- химическая стойкость к воздействию широкого спектра загрязняющих веществ;
- низкие затраты на поддержание объекта;
- сейсмическая устойчивость.

*Полимерные мембраны на основе полиэтилена* являются наиболее распространенным видом геомембран. Они изготавливаются из полиэтилена высокой и низкой плотности с добавлением сажи, антиокислителей и стабилизаторов. Полиэтиленовые мембраны характеризуются высокими антикоррозионными и гидроизоляционными свойствами, гибкостью, безусадочностью, трещиностойкостью, имеют высокие механические характеристики в сочетании с инертностью к кислотам и щелочам (возможно применять для хранения жидкостей с рН от 0,5 до 14). На свойства материалов не оказывают влияния колебания температур и ультрафиолетовое облучение, так как мембраны не содержат добавок или наполнителей, которые могут способствовать процессу старения и снижения его физико-механических характеристик.

Мембраны на основе полиэтилена обладают оптимальным сочетанием физико-механических характеристик, позволяющих наиболее полно использовать все их качества:

- за счет высокой прочности при растяжении (до 26,2 МПа) мембраны могут воспринимать значительные напряжения и, таким образом, кроме противофильтрационных, выполнять функции армирующего материала;

- большое относительное удлинение под действием максимальной нагрузки (до 850 %) и трещиностойкость обеспечивают целостность противофильтрационного элемента при значительных повреждениях оснований, особенно в просадочных грунтах;

- превосходная свариваемость листов дает возможность быстро и просто выполнять сварочные работы, а в сочетании со специальными прессованными профилями, которые закладываются в бетон, обеспечить качественную гидроизоляцию любых бетонных резервуаров;

- долговечность, стойкость по отношению к концентрированным щелочам и кислотам, а также по отношению к насекомым, грызунам и бактериям обеспечивают их эффективную работу в агрессивных средах.

В настоящее время в СНГ и за рубежом налажен выпуск большого количества различных марок геомембран. Ниже приведена информация об основных из них, получивших широкое распространение в строительстве.

*HDPE (High Density Polyethylene) геомембраны* изготовлены на основе полиэтилена высокой плотности. Они обладают высокими прочностными характеристиками и обеспечивают высокую химическую стойкость и герметичность сооружений [20, 50, 69].

*VLDPE (Very Low-Density Polyethylene) геомембраны* и *LLDPE (Linear Low-Density Polyethylene) геомембраны*, выполненные на основе полиэтилена низкой плотности, обладают высокой эластичностью, что позволяет использовать их в просадочных породах благодаря высокому коэффициенту линейного удлинения. VLDPE-мембраны – идеальный гидроизоляционный материал при строительстве объектов на просадочных грунтах [20, 50, 69].

*Геомембрана «ТехПолимер»* – рулонный полимерный изоляционный материал с гладкой поверхностью, изготавливаемый на основе полиэтилена высокой и низкой плотности (HDPE, LDPE) с до-

бавлением комплекса присадок и стабилизаторов, состав которых зависит от будущих условий эксплуатации материала [17]. Использование сырья и компонентов высшего сорта и постоянный контроль качества продукции в процессе производства обуславливают уникальные свойства геомембраны:

- высокая механическая прочность на растяжение, прокол, продавливание и износ;
- химическая стойкость к большинству агрессивных сред (рН 0,5-14) и высокие антикоррозийные свойства;
- абсолютная водонепроницаемость (коэффициент водопоглощения 0 %) и стойкость к ультрафиолетовому излучению;
- высокая радонзащитная способность (99 %).

*Система гидроизоляции TEFOND* изготовлена на основе мембраны из полиэтилена высокой плотности. Особое строение поверхности мембраны, имеющей рельеф в виде сферических выпуклостей, способствует вентиляции и дренажу защищаемых поверхностей. Соединение полос материала осуществляется с помощью механического замка. Этот способ соединения обеспечивает простоту и легкость укладки материала, которая осуществляется наложением одного полотна на другое, а также позволяет состыковать полотна разных материалов системы [88].

Разновидностями системы TEFOND являются мембраны Tefond, Tefond Plus и Tefond HP.

*Мембрана Tefond* используется для изоляции междуэтажного перекрытия от напольного покрытия. Она создает между ними воздушную прослойку, обеспечивающую циркуляцию воздуха и препятствующую проникновению влаги в помещение. Мембрана Tefond защищает оклеечную гидроизоляцию от возможных повреждений материалом обратной засыпки и обеспечивает сухость подвальных помещений. При укладке мембраны выступами к стене образуется воздушный зазор между стеной и грунтом, улучшающий теплоизоляцию и предотвращающий образование конденсата на её внутренней поверхности. В случае использования мембраны Tefond в качестве подушки под фундамент экономический эффект по сравнению с традиционно применяемой бетонной основой составляет более 60 %. Материал может применяться для любых грунтов. Погодные условия не влияют на процесс его укладки.

*Tefond Plus* отличается от базовой модели наличием герметика в

замке и лучшими прочностными характеристиками. Мембрана Tefond Plus эффективно защищает фундаменты и наружные стены ниже нулевой отметки при низкой несущей способности грунта и наличии грунтовых вод. Пароизоляционные свойства мембраны Tefond Plus снижают относительную влажность внутри помещений. Tefond Plus эффективен при создании плоских крыш и террас. Он защищает гидроизоляционную мембрану от механических повреждений при укладке на нее других материалов, является дополнительным гидроизолирующим слоем, а также способствует отводу дождевой воды к водостокам. Мембрана Tefond Plus обеспечивает гидроизоляцию дна и стенок каналов благодаря механическому соединению и герметизации стыков полос материала.

*Tefond HP* представляет собой мембрану из упрочненного полиэтилена высокой плотности с герметиком в замке. Он имеет самые высокие прочностные характеристики из всех перечисленных выше материалов системы *Tefond* и применяется для защиты от механических воздействий, гидроизоляции, отвода влаги и укрепления грунта при строительстве автомобильных и железных дорог. Использование Tefond HP позволяет уменьшить толщину дорожного покрытия, а также время, затрачиваемое на строительство, снизить деформацию дорожного полотна, увеличить допустимые нагрузки на него, создать водонепроницаемый барьер. Применение Tefond HP позволяет решить проблемы эксплуатации железнодорожных путей, связанные со снижением несущей способности земляного полотна и загрязнением балласта неоднородными частицами грунта основания дороги. Мембрана Tefond HP поглощает значительную часть нагрузки от проходящих составов, предотвращая деформацию основания дороги, создает двойной горизонтальный гидроизоляционный барьер, обеспечивающий дренаж воды, поднимающейся из почвы, и дождевой воды, проникающей через балласт; позволяет уменьшить толщину некоторых слоев насыпи, что дает экономию материалов, времени и средств. При строительстве и реконструкции туннелей и других подземных сооружений с помощью Tefond HP можно осуществлять как гидроизоляцию плюс дренаж, так и равномерное распределение нагрузки на стены. Использование мембран Tefond HP позволяет повысить прочность, безопасность и длительность эксплуатации туннелей.

*Мембрана Swellite* относится к материалам группы “Volclay”, предназначенным для устройства гидроизоляции подземных сооружений. Она представляет собой двухслойную мембрану, верхний слой которой выполнен из полиэтиленовой пленки низкой плотности, а нижний является композицией из натриевого бентонита с бутилкаучуком [87].

Этот материал особенно эффективен для гидроизоляции кровель подземных сооружений, так как допускает меньшую величину пригруза (60 мм бетона) по сравнению с другими бентонитовыми гидроизоляционными материалами: панели Volclay или маты Volclay (150-200 мм бетона).

Преимуществами материала являются:

- высокие гидроизоляционные свойства, которые обеспечиваются в мембране двумя слоями: полимерной пленкой и слоем бентонита с каучуком;
- способность к самозалечиванию, благодаря свойству бентонита натрия увеличиваться в объеме при гидратации;
- меньший по сравнению с другими типами гидроизоляционных бентонитовых материалов слой пригруза;
- простота применения и низкие трудозатраты;
- долговечность гидроизоляции, обусловленная неизменностью свойств со временем;
- возможность укладки материала практически при любых погодных условиях и всесезонно.

Плотная *Гидропласт* изготавливаются из листов экструзионных марок полиэтилена высокой плотности. Они имеют поверхность в виде сферических выпуклостей, что способствует сцеплению защитного слоя грунта с материалом и препятствует его сползанию по поверхности полотна [86].

*Геомембрана Atarfil* – рулонный полимерный изолирующий материал, изготавливаемый на основе полиэтилена высокой плотности (HDPE) и линейной низкой плотности (LLDPE) [85]. Важнейшее свойство геомембраны – длительный срок ее эксплуатации. В Немецком институте технического строительства DIBT (г. Берлин) были проведены испытания пленки, которые показали, что физико-механические свойства геомембраны неизменны в течение пятидесяти лет.

*Геомембрана Юнифол (Junifol)* изготовлена из высококачественного полиэтиленового и полипропиленового гранулята по экструзионной технологии. Материал устойчив к ультрафиолетовому излучению, а также к воздействию различных химических веществ: растворов, кислот и солей, не подвержен влиянию плесени, микроорганизмов, прорастанию корней растений и не оказывает влияния на качество питьевой воды [19].

Для контроля качества материала была специально разработана внутренняя контрольная система. Геомембрана изготовлена в соответствии с системой управления качеством ISO 9002 и сертифицирована во многих странах.

*Nicotarp 100* – двухсторонняя пленочная ткань из полиэтилена низкой плотности (LDPE) с покрытием на основе полиэтилена высокой плотности (HDPE), используется как геомембранная прокладка для резервуаров, бассейнов и отстойников. На его основе был разработан новый материал под названием *Nicoflex*. Это усовершенствованный мембранный материал, изготовленный из полиолефинов и не содержащий хлоридов. Он легко подвергается вторичной переработке без угрозы выделения опасных и ядовитых газов в окружающую среду. Материал имеет высокую прочность по обеим осям, легко сгибается и сворачивается, обладает высокой стойкостью к ультрафиолетовому облучению. Его легко установить в полевых условиях при помощи традиционных методов сварки [23, 24].

*Геомембрана National Seal Company DURA SEAL HD* изготавливается на основе полиэтилена высокой плотности (HDPE). Производится из высококачественной, высокомолекулярной смолы и является наиболее используемым материалом для хранилищ различных отходов во всем мире. Геомембрана DURA SEAL HD обладает стойкостью к различным химическим элементам, ультрафиолетовому излучению, а также выщелачиванию [23].

Изоляционный материал *Carbofol* с гладкой и структурной поверхностью изготавливается с использованием полиэтилена высокой плотности (HDPE) и обеспечивает высокоэффективную изоляцию в высокотоксичных средах. Carbofol отвечает самым строгим технологическим требованиям, регулирующим нормы хранения, раздачи, обращения, изготовления и применения экологически вредных жидкостей [16].

Геомембрана Carbofol сочетает в себе высокие антикоррозийные и гидроизоляционные свойства, гибкость, безупрочность, трещиностойкость, а также высокие механические характеристики, инертна к кислотам и щелочам, устойчива к ультрафиолетовому излучению. На свойства материала не оказывают влияния колебания температур и ультрафиолетовое облучение. В результате применения геосинтетических материалов при строительстве мусорохранилищ получается герметично закрытый «полимерный мешок», который предотвращает выбросы вредных газов в атмосферу и проникновение ядовитых веществ в почву. Геомембраны также используются при строительстве накопителей жидких отходов. Они полностью герметизируют их, предотвращая заражение почвы и грунтовых вод.

На полированной поверхности материала легко обнаружить любые случайные повреждения, чтобы своевременно принять меры по его ремонту. Высокие сварочные качества геомембраны ускоряют монтаж и облегчают ввод в эксплуатацию объектов. Такие элементы монтажа, как присоединение и проплавление, легко выполняются непосредственно на строительном участке.

*Carbofix* – это плиты из полиэтилена низкой плотности с включением стабилизаторов стойкости к ультрафиолетовому облучению, используемые для защиты строительных конструкций и грунтовых вод. *Carbofix* обеспечивает надежную химическую защиту от вредных и опасных жидкостей. Разнообразная окраска материала и возможность выпускать материал различных размеров позволяют использовать материал на любых объектах [16].

Материал с анкерочными утолщениями выпускается в одном производственном процессе и представляет собой монолит. За счет этого он имеет высокую прочность на выдергивание из бетона.

*Carbofix* не подвержен воздействию грызунов, корневой системы растений и микроорганизмов.

В случае использования для защиты бетона материал укладывается в свежесделанный бетон. После застывания бетона анкерочные утолщения надежно закрепляют материал на поверхности конструкций.

*Мембрана GSE HD LINER* изготавливается из полиэтилена высокой плотности и является оптимальным полимером для производства грунтовых изоляционных материалов. Геомембрана содержит 97,5 % полимера и 2,5 % газовой сажи, антиоксидантов и термоста-

билизаторов. Она обладает хорошими химическими и механическими качествами, превосходной устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и может использоваться на открытом воздухе [24].

*Геомембрана GSE HD DRS* изготавливается из полиэтилена высокой плотности по специальной технологии и структурируется при помощи MRS/DRS процесса. MRS/DRS-производство начинается с производства гладкой пленки шириной 7,5 м по стандартной технологической схеме. Затем на одной или на обеих сторонах пленки создается шероховатая структура [24].

Геомембраны HD DRS обладают хорошими химическими и механическими качествами, отличной устойчивостью к воздействию окружающей среды, высокой стабильностью размеров и устойчивостью к термическому старению. Они также обладают превосходной устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и могут использоваться на открытом воздухе.

Геомембраны HD DRS могут применяться на более крутых склонах, чем гладкие геомембраны.

*GSE StudLiner* – гидроизоляционный рулонный материал из полиэтилена для предохранения бетонных конструкций от коррозионного разрушения [24].

Особенностью этой геомембраны являются T-образные анкерные выступы на одной из сторон полотна, которые формируются в процессе изготовления материала и являются неотъемлемой частью геомембраны. На 1 м<sup>2</sup> поверхности геомембраны насчитывается 1180 анкеров. При заливке бетонных конструкций анкерные элементы находятся непосредственно в поверхностном слое конструкции, надежно удерживая мембрану.

Геомембрана GSE StudLiner обладает высокой сопротивляемостью к химическим воздействиям и к ультрафиолету.

*Геомембрана Алькортин* изготавливается из полиэтилена высокой плотности и включает 97 % полимеров и 2 % сажи, антиоксиданты и стабилизаторы. Материал устойчив к ультрафиолетовому излучению, обладает высокой сопротивляемостью проколу, воздействию химических компонентов, устойчив к прорастанию корней растений, не разбухает, совместим с битумными компонентами, является маслобензостойким, легко сваривается горячим воздухом [50].

*Геомембрана Blackline TFS* изготавливается из полиэтилена низкой плотности, эластична, имеет высокое относительное удлинение при разрыве [153].

*Мембрана Monarflex* состоит из двух слоев полиэтилена низкой плотности и армирована георешеткой из полиэстера. Она обладает высокой прочностью, не подвержена гниению [153].

### ***Полимерные материалы на другой основе.***

*Изоляционные пленки системы Fatrafol* производятся из пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) вальцеванием с последующим ламинированием слоев [27]. Основным производственным полупродуктом являются тонкие пленки толщиной в несколько десятых миллиметра, которые многократно наслаиваются и при высоком давлении и температуре прессуются до необходимой толщины, обеспечивая таким образом высокую непроницаемость для жидкостей и газов.

Высокая водо- и газонепроницаемость, а также исключительная физико-химическая стойкость и технологичность при производстве работ позволяют применять эти пленки для изоляции конструкций зданий и сооружений, защищая их от внутренних и внешних агрессивных сред, а также от проникновения радона из окружающего грунта. Благодаря высокой прочности при растяжении и сжатии, они способны переносить объемные изменения грунта и деформации строительных конструкций. Для защиты гидроизоляционной рубашки от механических повреждений технологией предусматриваются покрывающие слои из нетканых полимерных материалов.

*Bentofix* – иглопробивное сложное покрытие на минеральной основе из армированного волокна, которое состоит из наружных слоев геотекстиля и внутреннего слоя бентонитовой глины с низкой проницаемостью. Прочный и износостойкий нетканый геотекстильный материал герметизирует и защищает слой чистого бентонита, обеспечивая его длительную эксплуатацию. Бентофикс содержит натуральный натриевый бентонит, обладающий высокой степенью водопоглощения. В результате гидратирования происходит его разбухание с образованием плотного геля, который препятствует дальнейшему проникновению влаги, и материал становится эффективной преградой для жидкостей, паров и газов. Слои геотекстиля скреплены методом иглопробивного уплотнения (2 млн пробиваний на 1 м<sup>2</sup>), благодаря чему материал обладает высокой прочностью на сдвиг.

Подобное армирование волокон также предотвращает горизонтальное смещение бентонита, в результате чего Ventofix успешно применяется на крутых склонах при откосах до 1:2. При укладке в двухслойной конфигурации Ventofix надежно защищен от пересыхания в течение всего срока и явно превосходит обычные прослойки из массивов глины [16].

Использование материала Ventofix позволяет избежать трудоемкой добычи массивов глины, а также увеличить полезный объем полигонов, что приносит дополнительный доход при эксплуатации объекта.

*PP-мембраны* на основе полипропилена обладают большей гибкостью по сравнению с другими мембранами [68]. PP-мембраны разработаны специально для устройства гидроизоляционного покрытия объектов сложной конфигурации (например, туннели). Высокая гибкость PP-мембран облегчает процесс сварки в труднодоступных местах. Экраны из PP-мембраны обеспечивают высокую химическую стойкость и герметичность, имеют исключительную стойкость к ультрафиолетовому излучению. Целостности покрытия не угрожают наиболее твердые отходы и опасные сточные воды.

#### **4.2. Кровельные гидроизоляционные материалы**

Надежная гидроизоляция крыш зданий различного назначения является одним из основных условий их безаварийной эксплуатации.

В настоящее время ведется работа по совершенствованию кровельных материалов и повышению их долговечности. Как известно, традиционные покрытия, в частности битумно-рубероидные рулонные кровли, достаточно трудоемки в изготовлении. Кроме того, составляющие их материалы не всегда отвечают требованиям водонепроницаемости и гнилостойкости. Их успешно заменяют современные кровельные композитные покрытия, изготовленные на основе полимерных и полимерно-битумных материалов. Они отличаются высоким качеством и технологичностью монтажа, а также более низкими стоимостными показателями [73, 74, 115, 179].

*Гидрокрон* – кровельный материал, в качестве основы которого применяются каркасная стеклоткань, стеклохолст и полиэстер. Для защиты от ультрафиолетового воздействия и снижения пожарной нагрузки для верхнего слоя кровельного ковра используется крупнозернистая посыпка из гранита или сланца. Гидрокрон наплавляется

на подготовленное основание, для которого может употребляться огрунтованная цементно-песчаная стяжка, железобетон, а также жесткие негорючие утеплители, МДФ-плиты. Гидрокрон эффективен при ремонте старого кровельного ковра, совместим с любыми битумными и битумно-полимерными материалами.

*Стеклоизол* – рулонный кровельный и гидроизоляционный наплавляемый материал. Стеклоизол обладает высокой прочностью, биостойкостью, абсолютной водонепроницаемостью. В качестве основы Стеклоизола применяются каркасная стеклоткань и стеклохолст. Использование стеклоткани значительно увеличивает прочность и гибкость кровельных полотен, что особенно важно при укладке их в местах примыканий. Для защиты от воздействия ультрафиолетового излучения и снижения пожарной нагрузки для верхнего слоя кровельного ковра используется крупнозернистая посыпка из гранита или сланца.

Срок службы кровельного покрытия из стеклоизола составляет 10 лет.

*Бикрон* – битумно-полимерный кровельный и гидроизоляционный материал, в качестве основы которого применяются каркасная стеклоткань, стеклохолст и полиэстер.

Бикрон обладает высокой биостойкостью, прекрасно подходит для ремонта старого кровельного ковра. Особенностью материала является превосходная гибкость при отрицательных температурах и высокая теплостойкость, позволяющая применять этот материал в южных регионах.

Расчетная долговечность материала – более 15 лет.

*Эластокрон* – высококачественный рулонный битумно-полимерный гидроизоляционный материал, изготовленный по передовой технологии с учетом зарубежного опыта, предназначенный для устройства кровель и гидроизоляции во всех климатических зонах.

Эластокрон выпускается с применением битума, специальных добавок и нейтральных наполнителей. В качестве его основы применяются каркасная стеклоткань, стеклохолст и полиэстер. Для защиты от воздействия ультрафиолетового излучения и снижения пожарной нагрузки для верхнего слоя кровельного ковра используется посыпка из сланца. Эластокрон имеет хорошую адгезию к основанию (бетон, металл и т. д.), придает материалу необходимую тепло-

стойкость и устойчивость к циклическим перепадам температур, тем самым исключая образование трещин на кровле. Использование полиэстера значительно повышает устойчивость материала к деформациям, что позволяет использовать его при повышенной подвижности фундаментов зданий и мостов.

Эластокрон обладает эластичностью и гибкостью при температурах до  $-25^{\circ}\text{C}$ .

При укладке Эластокрон наплавляется на подготовленное основание, которым могут служить огрунтованная цементно-песчаная стяжка, железобетон, а также жесткие негорючие утеплители, МДФ-плиты.

*Изоэласт* – битумно-полимерный наплаваемый рулонный кровельный и гидроизоляционный материал. Изоэласт получают путем двухстороннего нанесения на полиэфирную основу битумнополимерного вяжущего, состоящего из битума, бутадиенстирольного термо-эластопласта или аналогичных полимеров и наполнителя. Для верхнего слоя кровли производится "Изоэласт К" с крупнозернистой посыпкой с лицевой стороны и с полиэтиленовой пленкой с другой стороны. Для нижнего слоя кровли производится "Изоэласт П" с покрытием полиэтиленовой пленкой с двух сторон или с покрытием лицевой стороны мелкозернистой посыпкой.

Преимуществами материала являются высокая прочность, хорошая теплостойкость, высокая эластичность, повышенная морозостойкость, возможность укладки при отрицательных температурах, долговечность.

Высокая надежность материала обеспечивает срок службы 25 лет.

*Мостопласт* – битумно-полимерный наплаваемый рулонный гидроизоляционный материал.

Мостопласт получают путем двухстороннего нанесения на полиэфирное нетканое полотно битумно-полимерного вяжущего, включающего нефтяной битум, полиолефины типа вестопласт, полипропилен и наполнитель. В качестве защитного покрытия используется мелкозернистая посыпка с лицевой стороны и полиэтиленовая пленка с другой стороны.

Срок службы материала не менее 30 лет.

*Кинепласт* – битумно-полимерный рулонный кровельный и гидроизоляционный материал.

Кинепласт состоит из битума, модифицированного атактическим

полипропиленом (АПП) и изотактическим полипропиленом (ИПП), наполнителя и нетканой основы из полиэстера или стеклохолста или стеклоткани.

Для верхнего слоя кровли производится "Кинепласт К" с крупнозернистой посыпкой с лицевой стороны и с полиэтиленовой пленкой с другой стороны, "Кинепласт Ф" с фольгой с лицевой стороны.

Для нижнего слоя кровли производится "Кинепласт П" с покрытием полиэтиленовой пленкой с двух сторон или с покрытием лицевой стороны мелкозернистой посыпкой.

Материал обеспечивает высокую надежность покрытия и срок службы до 15 лет.

*Изопласт П* – битумно-полимерный наплавляемый рулонный гидроизоляционный материал. Изопласт П получают путем двухстороннего нанесения на полиэфирную основу битумно-полимерного вяжущего, состоящего из битума, полимерной добавки и наполнителя. Лицевая поверхность материала защищена мелкозернистой посыпкой, наплавляемая сторона – полимерной пленкой.

Изопласт выдерживает большие нагрузки, не растрескивается и не ломается. Благодаря полимерному битуму он имеет повышенную морозоустойчивость до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Материал не дает трещин при сгибе, не стекленеет, не теряет прочности. Его также можно эксплуатировать при температуре  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Минеральная присыпка делает материал невосприимчивым к пламени.

Изопласт менее токсичен по сравнению с рубероидом и ему подобными материалами, имеет стойкость к прорастанию и деятельности бактерий, долговечен. Срок службы материала – более 30 лет.

### 4.3. Геотекстиль

В настоящее время промышленность выпускает широкий ассортимент геотекстильных материалов, предназначенных для различного использования в строительстве. Они имеют вид полотна из синтетических или натуральных полимерных волокон. Важнейшие свойства имеющихся на рынке геотекстильных материалов: сплошность – объединение волокон в единое полотно, обладающее прочностью при растяжении; тонкость; гибкость – малое сопротивление изгибу полотна; химическая стойкость к воздействию большинства химических реагентов; биологическая стойкость.

*Геотекстиль Турар* – это нетканый материал, изготовленный по уникальной технологии «спан-бонд» из термоскрепленных бесконечных полипропиленовых волокон, что обеспечивает его стойкость к влаге и химическим соединениям, в частности, к щелочам и кислотам. Материал не подвержен гниению, воздействию грибков и плесени, грызунов и насекомых, прорастанию корней. Структура геотекстиля Турар обеспечивает хорошие прочностные и фильтрующие свойства [9, 11, 26, 85].

Благодаря оптимальному сочетанию своих характеристик, Турар, кроме традиционного применения в дорожных, дренажных и противозерозионных конструкциях, широко используется при строительстве кровель, фундаментов, землеустройстве и т.д. При этом реализуются такие основные функции геотекстилей, как разделение, армирование, фильтрация, дренаж, а также их сочетание.

Совмещение высокого начального модуля упругости и удлинения (сочетание свойств тканых геосинтетиков и иглопробивного геотекстиля) дает возможность материалу поглощать больше энергии по сравнению с другими геотекстилями, что обеспечивает ему повышенную устойчивость к повреждению во время укладки и эффективное выполнение армирующей функции.

Специфическая структура материала препятствует внедрению частиц грунта в поры и их засорению.

Преднапряженность материала обеспечивает сопротивление раздиру, проколу и износу, а также значительное удлинение при разрыве, что исключает повреждение при укладке.

Высокий модуль упругости позволяет воспринимать нагрузку и распределять ее, следовательно выполняется армирующая функция при относительно малых деформациях.

Малоразмерные рулоны материала удобны в перевозке, хранении и укладке.

*Геотекстиль Stablenka* представляет собой ткань из полиэстера в продольном направлении (основа) и полиамида или полиэстера в поперечном направлении (уток). Материал обладает высокой прочностью при растяжении, выдерживает высокие растягивающие нагрузки при незначительном относительном удлинении и эффективен при необходимости армирования грунта в случае небольших допустимых деформаций [9, 25, 79].

*Геотекстиль Дорнит* - экологически безопасный нетканый мате-

риал, изготовленный из бесконечных полипропиленовых волокон иглопробивным методом. Он обладает высокой химической стойкостью, устойчивостью к термоокислительному старению, не подвержен гниению, воздействию грибков и плесени, грызунов и насекомых, прорастанию корней. Структура материала обеспечивает хорошие прочностные и фильтрующие свойства. Благодаря оптимальному сочетанию физико-механических характеристик, геотекстиль Дорнит широко применяется в дорожных, дренажных и противозерозионных конструкциях, а также при строительстве кровель и фундаментов [20, 47].

Материал обладает высоким модулем упругости, благодаря чему может воспринимать значительные нагрузки и выполнять функцию армирования при относительно малых деформациях, имеет высокую сопротивляемость раздиру и прокалыванию. Обладая специфической структурой, он не подвержен внедрению частиц грунта в поры и их засорению. Это позволяет обеспечивать устойчивые фильтрующие качества под давлением грунта и в условиях сильной вибрации. Геотекстиль не впитывает воду и при использовании в сырых условиях вес рулонов остается неизменным.

*Геотекстиль Depotex* – иглопробивной нетканый материал, изготовленный из 100 % полиэтиленовых волокон высокой плотности (HDPE). Depotex используется в качестве разделительного, фильтрующего и защитного материала при строительстве объектов, в которых могут присутствовать высокоагрессивные химикаты [16].

Depotex может заменить толстые подстилающие слои из песка, увеличивая полезный объем объекта и соответственно доходы от его эксплуатации. В качестве фильтра Depotex защищает дренажные слои от закупоривания, обеспечивает их долговечность. Depotex можно без труда складировать и укладывать на стройплощадке. Процесс монтажа заключается в простом разворачивании рулонов и перехлесте (или сшивании) материала. Для большей надежности на крутых склонах Depotex может укладываться в сочетании с изолирующим покрытием Carbofol.

Геотекстиль *Secutex* - иглопробивной штапельно-волоконный нетканый материал, изготовленный из 100 % синтетического волокна, что обеспечивает его долговечность [16]. Secutex используется в качестве разделительного, фильтрующего, защитного и дренажного слоев.

Применение Secutex в качестве разделительного слоя, предотвращает взаимное смешивание разнородных слоев. Благодаря этому, основание и подстилающие слои сохраняют свою целостность в течение значительного периода времени.

Обладая высокой поверхностной плотностью, Secutex эффективен в качестве защиты изолирующего покрытия или трубопроводов от механических повреждений. При необходимости, для равномерного распределения механических нагрузок в основу Secutex добавляется тканый геотекстильный материал, что увеличивает его защитные качества.

Материал обладает высокой износоустойчивостью, прочностью на прокалывание, устойчивостью к тяжелым динамическим нагрузкам, имеет хорошую приспособляемость к физически агрессивным условиям почвы.

*Terrafix* – иглопробивной штапельно-волоконный нетканый геотекстильный материал, изготовленный из 100 % синтетического волокна. Трехмерная структура волокон материала образует многочисленные лабиринтообразные пористые каналы, близко имитируя структуру почвы и ее водопропускные свойства [16].

*Terrafix* имеет обширную сферу применения. Более чем 30-летняя практика успешного его использования в гидротехническом строительстве служит доказательством его высоких технических характеристик и возможностей.

*Terrafix* отличается гибкостью, способностью длительное время сохранять фильтрующие свойства и износоустойчивостью, может укладываться практически на любую поверхность. Поверх него, без дополнительных прослоек, можно осуществлять укладку слоя тяжелых камней с острыми гранями крупного размера. За счет большой ширины рулонов уменьшается количество перехлестов, необходимых для выполнения монтажа.

*Terrafix* применяется в виде:

- однослойного или многослойного фильтра;
- балластовых настилов с песком;
- контейнеров или труб для насыпных материалов.

В виде труб *Terrafix* применяется для защиты берегов и дна в бухтах и портах. Для укрепления берегов рек и морей успешно применяются наполненные песком мешки, изготовленные из *Terrafix*. Материал обладает высокой водопроницаемостью, хорошо удержи-

ваает почву и не препятствует росту корней. Благодаря этому конструкции по защите берегов гармонично сочетаются с окружающей средой. Terrafix обеспечивает надежную защиту от размыва откосов при использовании его в качестве облицовки водоемов, каналов, вокруг опор и продольных и поперечных гидротехнических конструкций.

*Геотекстиль Secudren* представляет собой трехмерный дренажный геосинтетический материал, состоящий из дренажной сердцевины и одного или двух фильтрующих слоев из геотекстильного материала, которые защищают ее от заиливания и, в то же время, не препятствуют циркуляции газов и воды [16]. Все слои материала прочно скреплены между собой и имеют высокую прочность на сдвиг.

Secudren нашел широкое применение в решении проблем, связанных с дренажом воды и газов при строительстве полигонов по захоронению бытовых и промышленных отходов. При укладке материала на геомембрану при строительстве полигонов он выполняет одновременно 3 функции: фильтрацию, защиту и дренаж. Способность Secudren понижать давление воды позволяет успешно использовать его в системах вертикального дренажа фундаментов, подземных бетонных конструкций, а также водоотводов по краям автомагистралей. В зависимости от требований заказчика материал выпускают с различными дренажными и фильтрационными характеристиками, в том числе подбирается и сырье для производства геотекстиля и дренажной сердцевины, от которого зависят характеристики химостойкости материала. Secudren нашел широкое применение в качестве дренажного слоя в туннелях и крышах зданий.

Secudren отличается высокой прочностью и износостойкостью, легко выдерживает механические нагрузки, устойчив к химическим и биологическим факторам.

*Geolon PET* – высокопрочный тканый геотекстиль, изготовленный из полиэфирных мультинитей, стабилизированных к воздействию ультрафиолетового излучения. Материал обладает высокой прочностью при малом удлинении, имеет отличную стойкость к ползучести. Материал легко укладывается под воду, т.к. не всплывает. Geolon PET имеет широкий спектр различных марок, отличающихся между собой прочностью в продольном и поперечном направлениях [24, 34].

*Geolon PP* – тканый геотекстиль, изготовленный из полипропиленовых лент. Материал обладает высокой прочностью при малом удлинении, устойчивостью к механическим повреждениям, отличается превосходными контактными характеристиками с грунтом.

*Geolon PP* является химически инертным к щелочам и кислотам и сохраняет прочность в агрессивной среде [24, 34].

*Геотекстиль Netex* производится из полипропилена. Материал устойчив к воздействию щелочей и обычных растворителей, биологически стоек, однако подвержен деградации под воздействием ультрафиолетового излучения [85].

Геотекстили группы *POLYFELT* изготавливаются в основном из полипропиленовых волокон путем их механического скрепления. Эти материалы отличаются многофункциональностью и высокими прочностными свойствами [159].

*Polyfelt TS* – геотекстиль, изготовленный из бесконечных полипропиленовых нитей, скрепленных механически. Материал обладает стойкостью к ультрафиолетовому излучению, высокой прочностью при растяжении в продольном, поперечном и диагональном направлениях, хорошей водопроницаемостью, проявляет высокую износостойкость при действии динамических нагрузок. Расползание волокон материала в этом случае не происходит вследствие того, что составляющие его нити имеют бесконечную длину. *Polyfelt TS* имеет очень хорошую стойкость к воздействию кислот, щелочей и органических субстанций, не изменяет своих качеств в экстремальных климатических условиях.

При использовании в качестве разделительного и фильтрующего слоя между почвенным слоем и насыпным материалом геотекстиль предотвращает заиливание насыпного материала мелкими частицами почвы. Благодаря этому, насыпной материал сохраняет функцию распределения нагрузки и обеспечивает стабильность. *Polyfelt TS* оптимизирует уплотнение насыпного материала, практически исключая его проникновение в грунт. Он также используется в качестве фильтра между грунтом и дренажным гравием, препятствуя заиливанию гравия частицами почвы.

*Polyfelt P* – геотекстиль, изготовленный из бесконечных полипропиленовых нитей, скрепленных механически. Материал обладает стойкостью к ультрафиолетовому излучению, обеспечивает оптимальную защиту гидроизоляционных материалов от повреждений.

*Polyfelt F* – двухсторонний геотекстиль из бесконечных полипропиленовых нитей, скрепленных механически. Один из слоев выполняет функцию фильтра, а другой является его механической защитой. Материал обладает высокой стойкостью к ультрафиолетовому излучению.

*Polyfelt PGM* – геотекстиль из бесконечных полипропиленовых механически скрепленных нитей, стойких к ультрафиолетовому излучению. Материал разработан специально для санирования автодорог, служит для уменьшения напряжения в дорожном полотне между старым и новым слоем дороги. Он исключает проникновение осадков в дорожное полотно, вследствие чего обеспечивается стабильность несущего слоя. Использование материала *Polyfelt PGM* снижает напряжение в дорожном полотне на 40 %, в связи с чем существенно повышается долговечность нового покрытия. Усиленные с помощью *Polyfelt PGM* дорожные покрытия могут без проблем срезаться и использоваться после соответствующей переработки повторно в составе готовой смеси.

*Polyfelt PGM G* – геотекстиль из бесконечных полипропиленовых механически скрепленных нитей, стойких к ультрафиолетовому излучению, армированный нитями стекловолокна. *Polyfelt PGM G* рекомендуется для армирования асфальтового дорожного полотна, прежде всего в случаях образования больших горизонтальных смещений слоев, приводящих, соответственно, и к большим механическим напряжениям (температура, транспортные нагрузки).

*Polyfelt Rock PEC* – комбинированный геотекстиль, состоящий из нетканого материала, образованного полипропиленовыми филаментами, и механически упрочненного нетканого геотекстиля из бесконечных сформированных волокон. Материал обладает высоким пределом прочности при растяжении, повышенным сопротивлением при монтажной нагрузке и хорошими фильтрующими свойствами. *Rock PEC* предназначен специально для когезивных грунтов (мелкозернистых и водоносных), т.к. дренажные свойства материала ускоряют процесс консолидации грунта; при строительстве конструкций в качестве засыпного материала может использоваться водонасыщенный слипшийся грунт.

*Polyfelt Rock W* – геоткань, изготовленная из полиэстерных нитей. Материал обладает высокой прочностью на разрыв при низкой ползучести.

*Пинема* – экологически безопасный нетканый материал, изготовленный из бесконечных полипропиленовых волокон иглопробивным методом. Он обладает высокой химической стойкостью, устойчивостью к термоокислительному старению. Материал не подвержен гниению, воздействию грибков и плесени, грызунов и насекомых, прорастанию корней. Структура материала обеспечивает хорошие прочностные и фильтрационные свойства [47].

*Нетканый синтетический материал с семенами многолетних трав* используется для выполнения укрепительных работ на откосах земляных и водоотводных сооружений, а также для озеленения участков местности. Исключительно подходит для реконструкции мелиоративных систем и биологической защиты участков местности, загрязненных радионуклидами [47].

Применение материала для защиты грунтовых поверхностей снижает стоимость и трудоемкость работ, значительно уменьшает транспортные расходы, ускоряет производство работ.

*Плотное полиэфирное нетканое* представляет собой плотные слои беспорядочно перепутанных полиэфирных волокон, равномерно распределенных в объеме. Для достижения требуемой прочности и стабилизации размеров полотно подвергается термической обработке на каландре. Материал не оказывает вредного воздействия на окружающую среду [47]. Применяется для создания и сохранения ровных поверхностей на больших пространствах, для спортивных и других сооружений, в дорожном и гидротехническом строительстве.

#### 4.4. Геосетки

Ниже рассмотрены некоторые типы рулонных материалов – геосеток, широко используемых при строительстве грунтовых сооружений для обеспечения их прочности и устойчивости.

*Enkagrid PRO* – одноосная сетка из полиэфирных полос, скрепленных между собой лазерной сваркой. Геометрия ячеек сетки обеспечивает наиболее эффективное сцепление ее с грунтом. Использование Enkagrid PRO для армирования грунтовых подпорных стен позволяет возводить насыпи с углом заложения до 90° без применения железобетонных элементов. Использование материала обеспечивает равномерную осадку всей конструкции, сокращает объем земляных работ и, в целом, снижает затраты на строительство [24].

*Enkagrid MAX* – биаксиальная сетка (равнопрочная в обоих направлениях) из полипропиленовых полос, скрепленных между собой при помощи современной технологии лазерной сварки. Благодаря оптимально подобранной геометрии ячеек, геосетка обладает превосходными контактными характеристиками с различными грунтами. Использование данного материала при быстром строительстве на слабом основании является оптимальным решением, т.к. компенсирует «плохие» характеристики основания, предотвращая неравномерность осадки дорожной конструкции. Применение геосетки позволяет сократить объем земляных работ до 30 %. *Enkagrid MAX* обладает высокой устойчивостью к воздействию кислот, щелочей, ультрафиолетового излучения и малой ползучестью [24].

*Geolon GRID* – биаксиальная (двухосная) полиэфирная сетка, пропитанная битумом, применяется для армирования асфальтобетонных покрытий. Использование сетки *Geolon Grid* предотвращает появление трещин, увеличивает межремонтный срок дорожного покрытия. Обычный асфальтобетон характеризуется невысоким показателем прочности при растяжении. *Geolon Grid* воспринимает значительную часть горизонтальных растягивающих напряжений и равномерно распределяет их [24, 34].

*POLYFELT Rock G* – это геосетка из полиэстерных нитей с высокой прочностью при разрыве с защитным полимерным покрытием. Служит для армирования несвязного грунта и отличается высокой прочностью на разрыв при низкой ползучести. *POLYFELT Rock G* разработан с целью армирования крупнозернистых грунтов (гравий, щебень и т.д.) [159].

*TENAX CE* - это геосетка, изготавливаемая путем экструзии полиэтилена высокой плотности (HDPE). Она представляет собой выпуклую сетчатую структуру с ромбовидной формой ячеек, сформированную наложением пересекающихся нитей. Эти нити образуют комплекты сплошных глубоких каналов, обеспечивающих высокую способность к просачиванию жидкости. Геосетка *Tenax CE* используется для утилизации отходов и в общих проектах по инженерному строительству, где требуется высокая фильтрующая способность материала. Материал инертен к химическим и биологическим условиям, обычно возникающим в почве [21]. Он также обработан специальными добавками для сопротивления ультрафиолетовому излучению.

Геосетка производится различных типов в зависимости от ширины и толщины материала, что дает возможность ее широкого использования на объектах с различными конструктивными параметрами.

*Геосетка HaTelit* служит для армирования асфальтобетонных покрытий как при новом строительстве, так и при ремонте. Изготавливается из высокомодульных волокон полиэстера и пропитывается связующим раствором, обеспечивающим ее хорошую адгезию к асфальтобетону. Геосетка выпускается пяти типов с размерами ячеек 40×40, 30×30 и 20×20 мм и различными значениями прочности при растяжении, лежащими в пределах 90-30 кН/м в обоих направлениях. Геосетка имеет небольшое значение относительного удлинения, составляющее при разрыве 12-14 % [11, 25, 79].

#### 4.5. Георешетки

Промышленностью выпускается большой ассортимент георешеток. Они с высоким эффектом применяются для противозерозионной защиты откосов, а также строительства подпорных стенок, защиты конусов путепроводов, армирования слабых оснований и других целей.

В зависимости от характеристик защищаемого объекта ячейки георешетки могут заполняться растительным грунтом с семенами, щебнем или бентонитом.

*Secugrid* представляет собой георешетку из вытянутых монолитных плоских стержней из полипропилена или полиэстера, в местах пересечения скрепленных сваркой [16].

*Secugrid* проявляет хорошую устойчивость по отношению к биологическим и химически агрессивным средам и ультрафиолетовому излучению. За счет жесткости монолитных стержней георешетка устойчива к механическим повреждениям, возникающим в процессе монтажных работ.

*Фортрак* – это георешетки, представляющие собой сотканые из высокомодульных полиэстерных волокон структуры, которые покрыты дополнительным защитным слоем поливинилхлорида [11, 22, 79].

Материалы обладают высокой химической и биологической стойкостью, а ПВХ-покрытие предохраняет их от ультрафиолетово-

го излучения и механических повреждений.

Прогрессивными материалами являются георешетки марки «TENAX», обладающие высокими прочностными характеристиками, эффективно используемые в целях укрепления и стабилизации грунтовых поверхностей. Производители выпускают множество модификаций материала, различающихся по составу, способам производства и физико-механическим характеристикам [21].

*Tenax TT SAMP* (тип 050-201-301-401-601-701) – это моноориентированные георешетки, специально разработанные для укрепления грунта. Они изготавливаются методом экструзии из высококачественного полимера - полиэтилена высокого давления. Георешетки *Tenax TT SAMP* обладают высокими показателями прочности и долговечности, хорошей укрепляющей способностью и прочностью соединений.

*Tenax LBO SAMP* (тип 220-330-440) – это полипропиленовые георешетки, специально разработанные для стабилизации и укрепления грунта. В целях улучшения прочностных свойств они изготавливаются методом экструзии и двойного ориентирования. Эти георешетки обладают высокой прочностью на разрыв и эластичностью, прекрасным сопротивлением к повреждению конструкции и воздействиям окружающей среды. Кроме того, геометрия этих решеток обеспечивает их крепкое механическое сцепление с усиливаемым грунтом.

Марки *LBO 220, 330 SAMP* применяются для укладки в слабых и неоднородных грунтах (CBR менее 3 %) с высокой интенсивностью движения и/или осевыми нагрузками, армирования дополнительного шероховатого слоя дорожной одежды.

Марка *LBO 270 SAMP* используется в асфальтобетонном покрытии для контроля повторных трещин, образования колеи и усталостного трещинообразования.

Марка *LBO 440 SAMP* применяется для всех видов транспортных дорог, но наиболее высокий эффект достигается при укладке в слабых грунтах, где значение несущей способности грунта (CBR) менее 1 %, или на более твердых грунтах, подвергающихся более высоким осевым нагрузкам.

*Tenax MS* представляют собой последнее достижение в области технологии георешеток. Они образуются несколькими слоями экструдированных полимерных георешеток из полипропилена, ячейки

которых ориентированы в двух направлениях. Слои развернуты и сшиты друг с другом без большого наложения ячеек. Множество нитей георешетки вместе со слоями геотекстиля улучшают зацепляющую способность георешетки, распределяют приложенную нагрузку, предотвращают локальные сдвиги. Георешетки обладают высокой эластичностью, прекрасной закрепляющей способностью и сопротивляемостью к растяжению.

Георешетки *Tensar* – это высокопрочные полимерные сетки, производимые по запатентованной уникальной технологии [18, 25, 75]. Процесс их изготовления заключается в растягивании на специальном оборудовании перфорированных листов полиэтилена и полипропилена, нагретых до определенной температуры. В результате хаотично ориентированные длинноцепные молекулы вытягиваются в упорядоченное и ориентированное положение, что, в свою очередь, приводит к ряду важных физических изменений: образованию единой структуры, отличной от сварной, тканой, клееной и т.д., мобилизации высокой прочности на растяжение при низких напряжениях и существенному уменьшению ползучести. Именно эти изменения в процессе производства увеличивают прочность и жесткость георешеток под воздействием нагрузки. Георешетки *Tensar* изготавливаются двухосные и одноосные.

Механизм работы конструкции, армированной георешеткой *Tensar*, следующий. При уплотнении зернистого материала над решеткой он частично проникает сквозь отверстия, что обеспечивает эффект сцепления его частиц с решеткой. Это заклинивание позволяет решетке оказывать сопротивление горизонтальному сдвигу конструкции и, тем самым, максимально мобилизовать несущую способность слабого подстилающего слоя грунта, а также предотвратить поперечное движение вверх мелких частиц грунта при динамическом воздействии, тем самым предотвращая возникновение эффекта капиллярного подсоса.

Георешетки *Tensar* используются в промышленном и гражданском строительстве для увеличения несущей способности слабых грунтов. Они являются одним из наиболее долговечных армирующих материалов, применяемых в строительстве.

Материал не подвержен воздействию водных растворов кислот, щелочей и солей, а также бензина и дизтоплива, не восприимчив к гидролизу, устойчив к растрескиванию, биологическому разрушению и воздействию ультрафиолетового излучения.

Использование георешетки Tensar при строительстве дорожных конструкций позволяет уменьшить толщину насыпного покрытия до 40 %, а образование колеи – до 70 %, снижает образование в дорожном покрытии отраженных трещин.

#### 4.6. Геоматы

Объемные рулонные материалы - геоматы, сведения о которых приведены ниже, имеют различные структуру и назначение.

*Enkamat* – это объемный мат из полиамидных нитей, термически скрепленных между собой в местах пересечений. По структуре мат напоминает мочалку, имеющую большое количество пустот. Материал эффективно удерживает мелкие частицы почвы с семенами и создает благоприятные условия для роста растений, обеспечивая защиту склона от эрозии. В некоторых случаях (при большой скорости потока воды) *Enkamat* целесообразно заполнять отсевом (щебнем фракции 2–6 мм). Материал инертен в химически активной среде, нетоксичен, сохраняет свои свойства в пресной и соленой воде, устойчив к ультрафиолетовому излучению, имеет низкий уровень огнеопасности и огнеобразования [24, 26].

*Colbondrain* – композиционный дренажный материал в виде ленты шириной 10 см, состоящий из дренирующего «ядра», защищенного нетканым фильтром. *Colbondrain* применяется для создания вертикального дренажа в слабых грунтах. Устройство вертикальных дренажных каналов позволяет снять поровое давление и ускорить процесс консолидации грунтов, что, в свою очередь, существенно повышает устойчивость основания насыпи [85].

Благодаря своей структуре, *Colbondrain* сохраняет высокие рабочие характеристики даже при высоком давлении и значительных поперечных смещениях грунта. Монтаж осуществляется с помощью специального оборудования, без нарушения целостности дренажа. Применение этого материала гарантирует увеличение сопротивления сдвигу основания и стабилизацию осадок за короткий период времени.

*Secumat* – это объемное геосинтетическое противозерозионное покрытие, выпускаемое в виде мата. Хаотично расположенные монолитные синтетические стержни производятся методом экструзии.

Secumat защищает поверхность почвы от эрозии и способствует беспрепятственному прорастанию корневой системы растений [16].

Материал устойчив ко всем химическим и биологическим воздействиям естественного происхождения, а также к ультрафиолетовому излучению.

Благодаря открытой поверхности и жесткости стержней, Secumat легко заполняется почвой по всей его площади и на всю глубину.

Материал укладывается как на грунтовые горизонтальные основания, так и на склонах. Скорость стекающей со склонов воды значительно уменьшается за счет уложенных противозрозионных матов, тем самым предотвращается гидроэрозия почвы. Берега рек и каналов, покрытые материалом Secumat, надежно защищены от воздействия волн и водного потока.

*Tenax Multimat* – геоматы из полипропилена, разработанные для защиты и выращивания травы на склонах, подверженных эрозии. Они представляют собой трехмерные структуры, образуемые экструдированными решетками двойного ориентирования, наложенными друг на друга и связанными посредством черной полипропиленовой нити. Трехмерная структура мата защищает верхний слой земли и закрепляет корни прорастающих побегов, образуя единый блок, обладающий очень большой сопротивляемостью к дождевым потокам и движению почвы. Данные маты легко устанавливаются и не требуют для этого высококвалифицированного персонала [21].

*Polymat* – трехмерный материал, изготовленный из полипропиленовых неориентированных (спутанных) моноволокон. Препятствует возникновению эрозии грунта, задерживая гумус, уменьшая скорость водного потока, поддерживая растения в период укоренения [159].

Дренажные маты *Polyfelt DN/DC* – это композитный материал, состоящий из дренажной сетки Polyfelt DN, выполненной из полиэтилена высокой плотности, и композитного материала Polyfelt DC, изготавливаемого из дренажной сетки Polyfelt DN и приклеенного к ней геотекстильного фильтра Polyfelt TS с одной или с обеих сторон. Фильтр-геотекстиль состоит из механически скрепленных бесконечных полипропиленовых нитей [159]. Высокие прочность и водопропускная способность при оптимальном эффективном диаметре отверстий делают этот геотекстиль незаменимым дренажным материалом.

Главная функция дренажных матов Polyfelt DN/DC состоит в отводе жидкости и газов. Кроме того, Polyfelt DN/DC используется в качестве защиты изоляционного материала от износа, а также как преломляющий капилляры слой, препятствующий подъему грунтовых вод в мелкозернистый насыпной слой.

Дренажный мат Polyfelt DN/DC является эффективной и экономичной альтернативой дренажной системе, состоящей из грубого щебня и геотекстиля в качестве разделяющего фильтра. Обладая небольшой толщиной и такой же водопрпускной способностью, как и дренажный щебень, он значительно уменьшает затраты, связанные с выемкой грунта и укладкой щебня. Polyfelt DN/DC обеспечивает поддержание оптимальной водопрпускной способности в течение длительного промежутка времени. Его прпускная способность соответствует водопрпускной способности слоя дренажного щебня высотой от 10 до 15 см.

Большие нагрузки, возникающие из-за давления грунта в процессе эксплуатации, не вызывают значительной деформации материала и при работе конструкции на сжатие не уменьшают его прпускной способности.

Материал прост в укладке, обладает высокой химической и биологической стойкостью.

*Megadrain* – композитный материал из трехмерных неориентированных (спутанных) полипропиленовых моноволокон и геотекстиля Polyfelt TS, приклеенного с одной или двух сторон для устройства горизонтального дренажа [159].

*Enkadrain* – это полимерный геокомпозитный дренажный мат, состоящий из дренирующего слоя, размещенного между двумя неткаными фильтрами. Дренирующий слой состоит из жестких и прочных витых полиамидных нитей, термически скрепленных между собой в точках пересечения и образующих трехмерную открытую структуру. Нетканый фильтр представляет собой термоскрепленный геотекстиль из полиэфирных волокон в полиамидной оболочке. Благодаря своей конструкции, Enkadrain обладает высокой дренирующей способностью при значительных давлениях грунта. Дренирующий слой материала не заиливается благодаря фильтру, который не пропускает крупные частицы грунта, при этом глинистые частицы, попавшие в дренаж, вымываются водой. Существует несколько типов материала Enkadrain для дренажных систем различного назначения [24, 25, 85].

*Robulon* – противозерозионный рулонный объемный материал из полимерных лент зеленого цвета, переплетенных с тканой геотекстильной основой в виде сетки. Ленты, пропущенные через сетку, образуют петли, выступающие над ней на 10 см. Такое переплетение образует большое количество пустот, обеспечивающее оптимальное заполнение материала грунтом. Достаточно крупные отверстия сетки обеспечивают нормальное прорастание растительного покрова, а ее высокая прочность позволяет укладывать материал на крутых склонах. *Robulon* устойчив к ультрафиолетовому излучению, химическим и температурным воздействиям [24].

*Voltex, Bentomat* – геотекстильные гидроизолирующие маты, являющиеся материалами группы *Volclay* [28]. Они представляют собой иглопробивной каркас из полипропиленовых волокон, внутри которого помещены гранулы натриевого бентонита. Бентонит натрия при полной гидратации имеет свойство разбухать и увеличиваться в объеме в 14-16 раз. При ограничении пространства для свободного разбухания в присутствии воды образуется плотный гель, который препятствует дальнейшему проникновению влаги (коэффициент фильтрации равен  $10^{-9}$  см/с). Эти материалы нетоксичны и имеют высокую химическую стойкость.

#### 4.7. Геоячейки

Объемные решетчатые структуры – геоячейки эффективно используются для предотвращения перемещения грунтовых масс, которое может иметь место в результате дождей и ветров.

*Tenax Tenweb* – геоячейки, имеющие трехмерную монолитную сотовидную структуру. Они изготовлены из полиэтилена методом экструзии. Материал имеет высокую прочностю на растяжение. *Tenax Tenweb* может растягиваться, как аккордеон, его можно перевозить и хранить в очень компактной форме и растягивать на месте использования. Будучи растянутыми, ячейки *Tenax Tenweb* сохраняют неизменными свои размеры и обеспечивают эффективное закрепление сыпучего материала, помещенного в каждую из них [21].

*Геокаркас* – объемные геоячейки, представляющие собой сотовую конструкцию из полиэтиленовых лент толщиной 1,5 мм, скрепленных между собой высокопрочными сварными швами в шахмат-

ном порядке. Стенки ячеек имеют тесненную поверхность для увеличения трения с заполняющим материалом и перфорацию для улучшения дренирующих характеристик конструкции. Геокаркас нейтрален к агрессивным средам и экологически безопасен [22, 24, 25, 85].

При устройстве дорог на слабых основаниях геоячейки, заполненные грунтом, как гибкая плита, распределяют нагрузку от насыпи на слабое основание и обеспечивают равномерную осадку всего сооружения.

Геокаркас удобен также и для возведения подпорных стен различной высоты и с любым углом заложения. Модули геокаркаса легко укладываются друг на друга. Ячейки заполняются щебнем или песком с послойным уплотнением.

Геоячейки *Прудон-2004* представляют собой гибкий компактный модуль, состоящий из скрепленных между собой полиэтиленовых лент, образующих в растянутом положении пространственную ячеистую конструкцию с заданными геометрическими очертаниями и размерами [85].

Конструкция геоячеек проста и технологична, допускает изменение в широком диапазоне размеров ячейки и ее высоты, выбираемых в зависимости от расчетной нагрузки и имеющихся в наличии строительных материалов.

При укреплении откосов и оснований насыпных сооружений, строительстве подпорных стенок геоячейки ограничивают сдвиговые деформации и укрепляют грунты, создавая единую структурную массу, которая выдерживает большую нагрузку.

#### 4.8. Геокомпозиты

Геокомпозиты представляют собой комбинацию двух или нескольких типов геосинтетических материалов, различных по своим свойствам и функциональным возможностям. Они получили широкое распространение в различных областях строительства, т.к. позволяют создавать многофункциональные конструкции, обеспечивающие эффективную и надежную работу сооружений.

*Tefond Drain* представляет собой композицию мембраны Tefond и нетканого полиэстера. Материал сочетает в себе высокую механическую прочность и фильтрующие свойства. Полиэстер, закрепленный

поверх выступов мембраны, образует воздушный зазор, облегчающий отток влаги к дренажной трубе и защиту оклеечной гидроизоляции [88].

*Tefond Drain Plus* – это покрытие, состоящее из мембраны *Tefond Plus* и тканого геотекстиля из полипропилена. Материал эффективно фильтрует мелкие частицы почвы, засоряющие дренажный материал и мешающие нормальному оттоку воды. *Tefond Drain Plus* осуществляет дренаж не только с помощью дренажного материала, но и за счет воздушного зазора, образующегося, между мембраной и полипропиленовым полотном. Композит *Tefond Drain Plus* обеспечивает водо- и паронепроницаемость, высокую прочность на сжатие, устойчивость к проникновению корней растений, стойкость к воздействию удобрений и микроорганизмов почвы, а также дренаж при создании садов и газонов на крыше [88].

Геокомпозиты марки «TENAX» являются комбинацией различных геосинтетических материалов. Благодаря своей многофункциональности, они имеют широкий спектр применения. Существуют различные типы каждой марки материала, отличающиеся физико-механическими характеристиками [21].

*Tenax MDP* (тип 200-2250) – это геокомпозит из полиэтилена высокой плотности, представляющий собой комбинацию геомембраны с заостренными зубчиками и нетканого геотекстиля. Комбинация геотекстиля (фильтрующее действие) и зубчатой геомембраны (дренаж и защита) образует законченную систему «фильтр-дренаж-защита-водонепроницаемость».

*Tenax Tendrain* (тип 1000/1, 1300/1) – геокомпозиты, которые представляют собой комбинацию геосетки и нетканого геотекстиля. Геосетка изготовлена из полиэтилена низкой плотности, стабилизированного сажей, а геотекстиль – из полипропилена.

Геотекстиль в композиции выполняет функцию фильтра, а геосетка осуществляет дренаж и распределение нагрузки, что образует законченную систему «фильтр-дренаж-защита».

*Tenax GT* (тип 220-330-440) – это геокомпозиты из полипропилена, специально разработанные для стабилизации и укрепления грунта. Данные геокомпозиты изготавливаются путем соединения георешетки *Tenax LBO SAMP* с нетканым полипропиленовым геотекстилем. Они обладают высокой прочностью на разрыв и эластичностью, высоким сопротивлением к повреждению конструкции и воз-

действию окружающей среды. При использовании данного геокомпозита георешетка обеспечивает механическое закрепление с усиливаемым грунтом, а геотекстиль – разделение и фильтрацию.

*Tenax TN* (тип 450-600-900-1200) – это геокомпозиты, представляющие собой комбинацию геосетки и нетканого геотекстиля. Геосетка изготовлена из полиэтилена высокой плотности, а геотекстиль – из полипропилена.

Совместное использование геотекстиля (фильтрующая функция) и геосетки (дренаж и распределение нагрузки) обеспечивает эффективную работу системы «фильтрация-дренаж-защита».

*Tenax TNT* (тип 450-600-900-1200) – геокомпозиты, представляющие собой комбинацию геосетки Tenax и нетканого геотекстиля. Геосетка изготовлена из полиэтилена высокого давления, а геотекстиль – из полипропилена.

Комбинация геотекстиля (фильтрующее действие) и геосетки (дренаж и распределение нагрузки) образует эффективно работающую систему «фильтр-дренаж-защита».

*Enkagrid TRC* – многофункциональный высокопрочный композиционный материал, представляющий собой сетку из арамидных волокон Twaron, связанных с нетканым термоскрепленным материалом Colback. Enkagrid TRC выполняет сразу три функции: разделительную, армирующую, фильтрующую. Twaron обладает прочностью, в пять раз превышающую прочность обычной стали, и малым удлинением (3,5 %) при растяжении. Применение Enkagrid TRC позволяет улучшить дренаж, обеспечить малые деформации и повысить характеристики дорожной одежды [24].

В таблице прил. 1 приведены физико-механические характеристики рассмотренных в настоящей работе геосинтетических материалов, а в таблице прил. 2 – основные области их применения.

## 5. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В настоящее время геосинтетические материалы имеют весьма широкий диапазон применения в строительстве. В связи с этим можно выделить четыре основные группы, которые объединяют различные направления использования геосинтетиков: геотехника, транспортное строительство, природоохранная инженерия и гидравлика.

### 5.1. Применение геосинтетиков в геотехнике

#### 5.1.1. Армирование грунтовых сооружений, слабых оснований и подпорных стен

Геосинтетики являются наиболее перспективным материалом для армирования грунтов благодаря своим уникальным свойствам: высокой прочности, устойчивости к низким температурам и агрессивным средам, неподверженности коррозии и гниению. В этих целях чаще всего используют объемные сотовые георешетки, плоские геосетки и геоткани [83, 140, 160, 162, 165, 205].

Армирование насыпи выполняется путем послойной укладки геосинтетика между пластами грунта по всему телу сооружения или в области откосов в пределах участков возможных критических деформаций (рис.2) [45, 120, 162, 165, 174, 213].

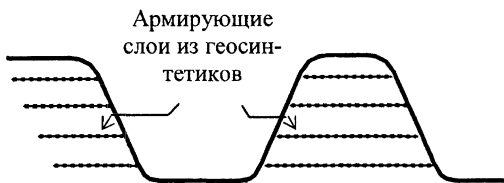


Рис. 2. Схема армирования откосов

Возведение подпорных стен выполняется аналогично. Полотно заводится в тело насыпи на расчетное расстояние, а противоположный его конец заворачивается у поверхности стены и закрепляется нагелями. Широко распространена практика сооружения подпор-

ных стен путем оборачивания слоев грунта геотекстилем. Такое решение позволяет возводить сооружения с практически вертикальными откосами и является альтернативой традиционному, более дорогостоящему методу строительства подпорных стен из железобетона (рис.3) [119, 144, 160].

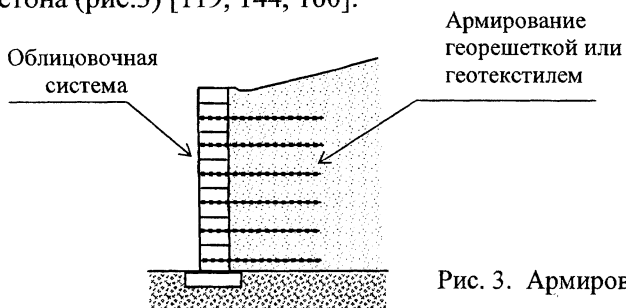


Рис. 3. Армированная стенка

Поверхность откоса армогрунтовой насыпи или подпорной стены должна быть облицована или озеленена с применением противозерозионных материалов. В качестве облицовки также используют различные геосинтетические материалы (георешетки, геосетки) и конструкции из них. Интересной разработкой, реализованной на ряде объектов США, является облицовка, выполненная из блоков с открытыми площадками, наполненными грунтом и засаженными растительностью. Такая «живая» стенка полностью закрывает каменную облицовку, а также способствует поддержанию нормальных климатических условий в районе эксплуатации объекта [133].

Перспективным направлением в области укрепления стеновых конструкций является устройство анкерующих систем с использованием полимерных канатов или полос. Будучи прикрепленными одним концом к облицовочным поверхностям или к слоям геосинтетиков, а другим в грунте (скале), они объединяют облицовочные и армирующие конструкции в одно целое с подпорной грунтовой зоной [132, 142].

Современные решения, в целях обеспечения наиболее эффективной работы конструкции предусматривают комплексное использование различных типов геосинтетиков, каждый из которых выполняет определенное функциональное назначение. Увеличение несущей способности грунтовой насыпи с одновременным отводом фильтрующей жидкости из тела сооружения достигают путем ар-

мирования откоса двухслойной конструкцией из георешетки или геоткани и нижележащего водопроницаемого слоя нетканого иглопробивного геотекстиля и одновременно устройства за армированным грунтовым блоком дренажа из геокомпозитных листовых дрен или геосеток (рис.4). Эта конструкция эффективна в случае использования для строительства грунтов с низкой гидравлической проницаемостью [144].



Рис. 4. Схема укрепления насыпи комплексным методом

При строительстве сооружений на слабых деформируемых грунтах применение геосинтетических материалов для укрепления оснований является альтернативой таким традиционным дорогостоящим методам, как полная или частичная замена грунта, устройство свайного поля и т.д. [172, 173]. Полотно, уложенное на всю ширину в основание насыпи, увеличивает зону распределения локальных нагрузок и тем самым компенсирует низкие характеристики грунта, позволяя минимизировать осадки сооружения, расположенного на слабом основании (рис. 5).

Следует также отметить особо важную роль правильного выбора армирующего геоматериала. Так, для конструкций временных сооружений, где воздействие нагрузок кратковременно, возможно применение геосинтетиков любых типов. Для конструкций с длительным расчетным сроком службы и наличием постоянной составляющей усилия на геосинтетик требуется учитывать фактор ползучести полимера и допускаемые деформации армогрунтовой конструкции [37].

В настоящее время ведется разработка совершенно новых типов геоматериалов – электрокинетических геосинтетиков, позволяющих значительно улучшить работу элементов конструкции. В их состав

входят электропроводящие полимеры, углеродные и металлические нити. Использование таких материалов позволяет посредством процессов электроосмоса, ионной миграции и электрофореза модифицировать и улучшить качество грунта в армированной зоне: ускорить его консолидацию и отвод фильтрующей жидкости, обеспечить лучшее сцепление арматуры с грунтом [157].

Одним из перспективных направлений исследований будущего является создание предварительно напряженной геосинтетической арматуры. Учитывая возможную релаксацию напряжений, преднапряжение армирующего геосинтетика могло бы исключить потенциальные деформации как самого материала, так и сооружения в целом [142].

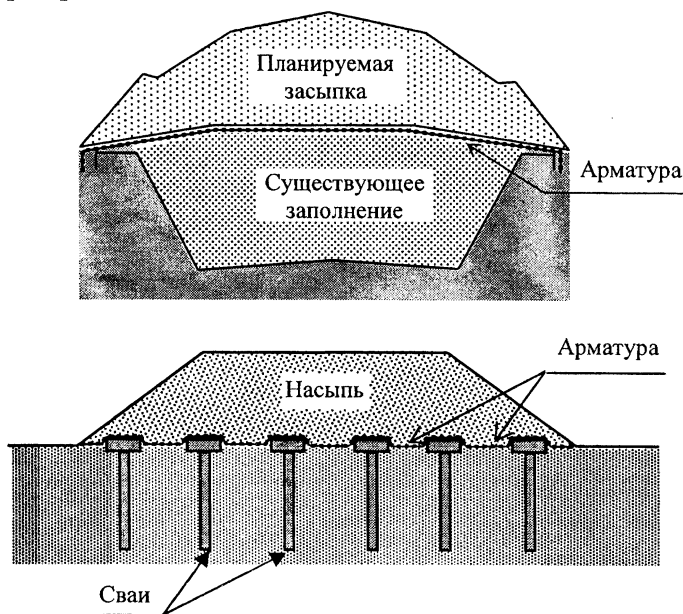


Рис. 5. Армирование оснований насыпей с помощью геосинтетических материалов

### 5.1.2. Гидроизоляция плотин и туннелей

При строительстве плотин и дамб устройство противofильтрационных экранов из полимерных мембран является широко распространенным способом их защиты от воздействия фильтрационных

сил и потоков [2, 49, 109, 111, 154, 175, 176, 211, 214]. Положительное влияние пленочных экранов отмечают также при сложных условиях работы грунтовых плотин: неравномерной деформации сооружения и основания при их сжатии и просадке, растворении включений и прослоек, подработке территорий и т.д. В этих случаях пленочные экраны проявляют себя как эффективное средство защиты плотины от трещин, способствуя смятию (прессованию) их гидростатической нагрузкой [12].

Наиболее часто устройство экрана выполняется на верховом откосе подпорного сооружения. Его конструкция включает основной гидроизолирующий материал – геомембрану, а также слой из нетканого геотекстиля для предохранения гидроизоляции от механических повреждений. Для защиты от внешних воздействий экран покрывают слоем грунта или облицовкой [53].

Известны также и другие способы размещения пленочных противофильтрационных конструкций в теле сооружения.

Повышение надежности работы плотины (дамбы) на сильнодеформируемом основании может быть осуществлено путем укладки полиэтиленовой пленки в виде вертикальной ступенчатой зигзагообразной диафрагмы по верховому клину и центральной части сооружения (рис. 6).

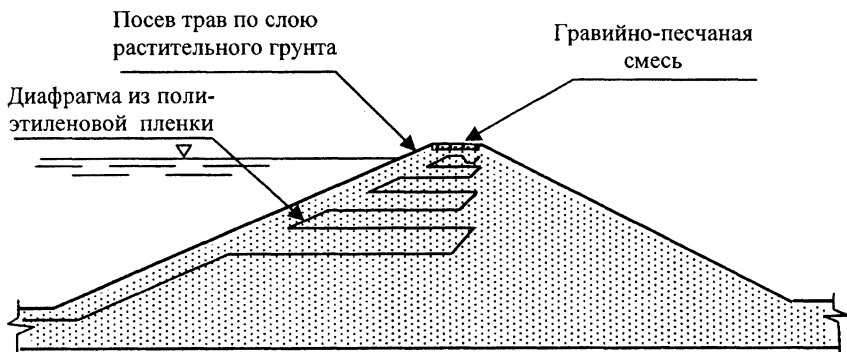


Рис. 6. Дамба с пленочной ступенчатой диафрагмой

В случае неравномерной осадки основания и сооружения такая конструкция диафрагмы, являясь противофильтрационным элементом, также способствует повышению прочности и устойчивости

сооружения, т.к. препятствует образованию непрерывных поверхностей обрушения и распространению сквозных продольных и поперечных трещин в теле плотины, а также обеспечивает их самозалечивание в большем объеме тела дамбы [7, 45, 52].

Обеспечение водонепроницаемости плотины также достигается путем устройства пленочной вертикальной диафрагмы в центральной ее части на всю высоту сооружения либо, в случае наращивания плотины, на величину наращивания по высоте [164].

Для восстановления и ремонта функционирующих грунтовых плотин учеными США предложен проект по устройству водонепроницаемого композитного слоя, выполненного, как и в предыдущем случае, вертикально в центральной части плотины и состоящего из геомембраны и бентонитовой глины. На всю высоту сооружения (и часть его основания, если необходимо) выполняется выемка траншеи, которая заполняется бентонитовой глиной с последующей установкой геомембраны (листы, рулоны, панели) вертикально на верховой грани траншеи (рис.7). Кроме глинистого заполнителя может быть использована тщательно отсортированная грунтовая засыпка, обеспечивающая водонепроницаемость конструкции [147].

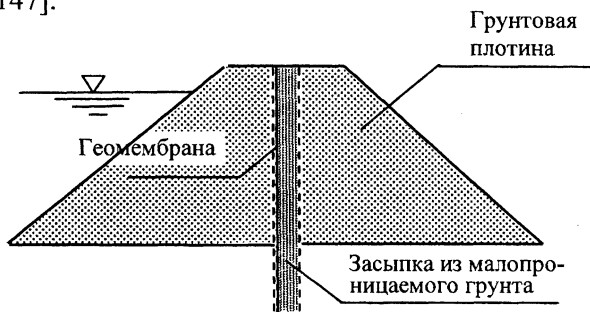


Рис.7. Гидроизоляция грунтовой плотины с помощью геомембраны

Геомембраны также широко используются для ремонта бетонных плотин, имеющих существенный износ и допускающих фильтрацию через сооружение. Широко известным способом гидроизоляции таких сооружений является устройство непосредственно на верховом откосе покрытий из изолирующей мембраны. Целесооб-

разно также устройство под геомембраной слоя геосетки, обеспечивающей дренаж утечек через мембрану, которые могут иметь место в процессе эксплуатации [163].

Обычно ремонт таких сооружений предусматривает опорожнение водохранилища. В настоящее время ведутся разработки по осуществлению ремонта без спуска воды, предусматривающие водолазные работы с использованием соответствующего оборудования. Положительный опыт выполнения такого вида работ накоплен в Италии. Перспективным является и использование надувных систем, крепящихся к мембране для защиты ее в зимний период от ломающегося льда, куски которого, в случае их большой толщины, могут существенно повредить мембрану [123].

Геомембрана также широко используется для гидроизоляции туннелей [128]. Водонепроницаемая обшивка, состоящая из геомембраны, объединенной с толстым иглопробивным нетканым геотекстилем и дренажным водовыпуском у подошвы геотекстиля, является эффективной системой борьбы с фильтрацией.

## **5.2. Применение геосинтетиков в транспортном строительстве**

Применение геосинтетиков в дорожном строительстве за последние годы достигло широких масштабов. Их использование позволяет решать многие проблемы строительства и эксплуатации транспортных магистралей: повысить несущую способность грунтов и покрытий дорог, обеспечить устойчивость насыпей и откосов при строительстве на слабых грунтах; предотвратить образование трещин в дорожном покрытии; создать эффективные дренажные системы.

### ***5.2.1. Усиление дорожных одежд***

В дорожных конструкциях геосинтетики обычно используются для выполнения следующих функций [8, 161]:

- геотекстили как разделяющие и/или армирующие прослойки между земляным полотном и материалом засыпки дорожного основания;
- георешетки как армирующий слой между земляным полотном и материалом засыпки;

- георешетки как поперечная арматура в пределах слоя грунтовой засыпки основания.

Полосы из геосинтетика укладывают в продольном направлении по всей ширине земляного полотна, затем соединяют склеиванием или сшиванием. Взаимопроникания зернистого материала, после его отсыпки на слой геотекстиля, в подстилающий грунт не происходит (рис.8,а). Работая совместно с грунтом, армирующие слои перераспределяют нагрузку между участками конструкции, тем самым обеспечивая равномерное уплотнение земляного полотна, предупреждая возникновение просадки и колееобразование на дороге [141]. Такой способ армирования насыпи называется макроармированием.

Практикуется также и микроармирование дорожной насыпи, когда отдельные волокна, нити или маленькие кусочки микросетки смешиваются с частицами грунта, образуя таким образом армированную массу [134]. Существует опыт армирования грунтовой засыпки с помощью высокопрочных непрерывных полимерных волокон из полиэстера [150]. Хорошие результаты дает применяемое на практике укрепление асфальтобетонных дорожных покрытий путем введения в подготовку элементов микросетки или отдельных волокон из полипропилена, беспорядочно рассеянных по всему объему материала (рис.8,б) [134].

В настоящее время ведутся исследования, связанные с проблемой ремонта дорожного полотна. В частности, зарубежными учеными предлагается следующая технология ремонта выбоин в земляной основе. Выбоину выстилают иглопробивным нетканым геотекстилем по мере укладки его на поверхности земляного полотна. Затем область выемки засыпают грунтом, армированным геоволокнами. Предварительно из центра выбоины в толщу земляного полотна на глубину его промерзания прокладывают фитильный дренажный сток для предотвращения водонасыщения заполняющего выемку грунта [125]. Такое решение может стать эффективным способом ликвидации неровностей и повреждений земляного полотна и позволяет избежать возможных локальных деформаций в грунтовой засыпке и, как следствие, неравномерной осадки и повреждений дорожных одежд (рис.8, в).



Рис. 8. Использование геосинтетиков для усиления дорожных одежд:  
 а) типовой вариант использования геосинтетиков;  
 б) армирование геоволокнами и микро-решетками материала дорожной одежды;  
 в) схема ремонта выбоины в земляном полотне

### 5.2.2. Бестраншейный ремонт труб

Наряду со старением инфраструктуры в городской среде наблюдается ухудшение технических систем жизнеобеспечения, в частности трубопроводов, выполняемых различными по размерам, форме и материалу. Ремонт труб с использованием бестраншейных технологий является распространенной практикой, где успешно могут быть использованы полимерные материалы.

Существующие традиционные способы ремонта ведут к уменьшению диаметра функционирующей трубы. Перспективным способом в этом направлении является использование расширяющей трамбовки, выполненной под большим давлением, при помощи бокового направленного взрыва входной трубы, в результате которого происходит увеличение ее диаметра. За этим взрывным действием следует вставка новой трубы или обшивки такого плана, чтобы первоначальная пропускная способность трубы не уменьшалась. Полимерные надувные трубы или прокладки из геомембраны в этом случае предпочтительны (рис.9) [138, 139, 146].

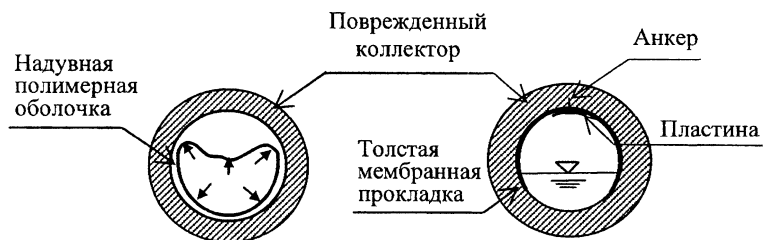


Рис. 9. Ремонт трубы с помощью геомембранной обшивки

### 5.2.3. Системы борьбы с эрозией

Согласно имеющимся данным, потери грунта с поверхности сооружений мелиоративного, сельскохозяйственного и транспортного назначения вследствие водной и ветровой эрозии достаточно велики. Эрозия почв не только негативно воздействует на земляные сооружения и сельскохозяйственные угодья, она является основным источником загрязнения водных объектов вследствие попадания частиц грунта в местную водную систему [116]. Для контроля и ограничения эрозии грунта широко применяются различные геосин-

тетические материалы и композитные соединения, выполненные из геоячеек, геосеток, георешеток, геоматов и др. Они укрепляются на грунте (склоне насыпи), засыпаются землей и засеиваются травой. Через некоторое время такое сочетание искусственного и естественного слоев на длительный срок защищает грунтовую поверхность от эрозии, вызванной ветром, а также водными и дождевыми потоками [167].

Эффективной разработкой является крепление противоэрозионного геоматериала на откосе с помощью длинных стержней (от 3 до 5 м), а также болтов или гвоздей. Такая система не только предотвращает эрозию грунта, но и армирует потенциально слабые или очень крутые грунтовые откосы (рис.10). Эта технология, апробированная в США, получила название «анкерная паучная сетка» [148].

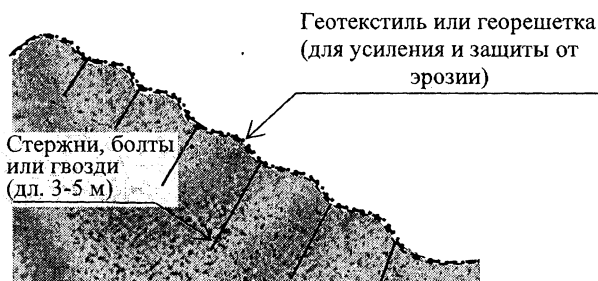


Рис. 10. Стабилизация откоса с применением анкерной паучной сетки

В будущем разработка мероприятий по стабилизации поверхностей откосов и склонов может быть связана с контролем за сдвигом под действием сил тяжести больших грунтовых и иных, составляющих часть откоса, массивов. Таковыми могут быть, например, представляющие опасность снежные лавины. Стабилизирующая сила, тормозящая движение снежного массива, может быть создана с помощью геосеток, а также высокопрочного геотекстиля и георешеток, укрепленных в верхней части откоса анкерами (рис. 11). Несомненно, создание такой конструкции требует тщательной оценки возможных напряжений на сетке, подбора соответствующих анкер-

ных материалов, оценки критических нагрузок для экстремальных погодных условий [142].

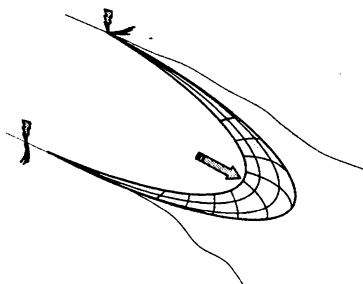


Рис. 11. Задержание снежных лавин с помощью геосеток

### **5.3. Применение геосинтетиков в природоохранной инженерии**

В связи с непрерывным ростом промышленного производства, а также процессами жизнедеятельности человека чрезвычайно актуальной является проблема захоронения промышленных и бытовых отходов. Строительство современных экологически безопасных полигонов для резервации отходов успешно осуществляется с применением геосинтетиков. С их помощью решаются задачи гидро- и газоизоляции участков для захоронения, отвода фильтрата и сбора биогаза, усиления слабых оснований и противозерозионной защиты склонов [46, 137].

#### ***5.3.1. Системы экранирования полигонов***

В практике изоляции полигонов и свалок получили распространение композитные системы, включающие геомембрану, природный материал с малой гидравлической проницаемостью (глина), а также дренирующий слой (дрены, трубы) для сбора и удаления фильтрата. Гидроизоляцию дна и откосов котлована выполняют путем поочередной укладки названных выше материалов: глина – геомембрана – дренирующая прослойка [7, 13, 51, 136].

В настоящее время, в связи с ростом индустрии производства полимерных материалов, внедряются новые более совершенные

конструкции, в которых сведено до минимума использование природных материалов, а в качестве изоляции, дренажных и защитных слоев используются геомембраны и геотекстиль, являющиеся более надежными и имеющие гораздо меньшую толщину. Это позволяет существенно увеличить полезный объем котлована под отходы, что особенно важно в условиях постоянно уменьшающейся площади земель около населенных пунктов, на которых возможно строительство полигона [113].

### 5.3.2. Системы изолирующей кровли

Для создания закрытой системы изоляции полигонов сооружаются покрывающие конструкции, которые укладываются непосредственно на отходы. Они выполняются аналогично экранам и состоят из композитного барьера, например, геомембраны и уложенного под ней слоя геосинтетической либо уплотненной природной глины, а также дренажного и газопроводящего слоев, расположенных соответственно выше и ниже изолирующего покрытия (рис. 12) [145].

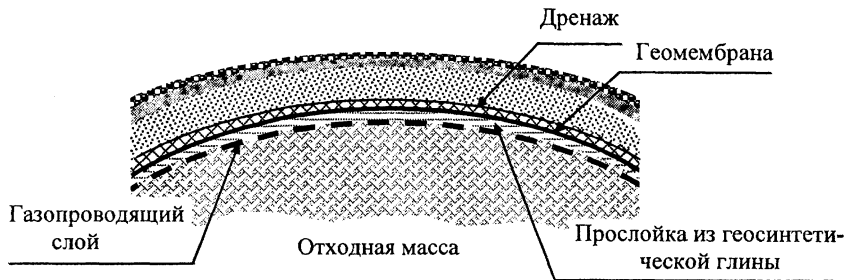


Рис. 12. Типовая система изолирующей кровли

Современные разработки по сооружению закрытых полигонов предусматривают также эффективную газосборную систему, осуществляющую перехват и отвод биогаза из толщи отходов, а затем переработку его в энергию (рис. 13).

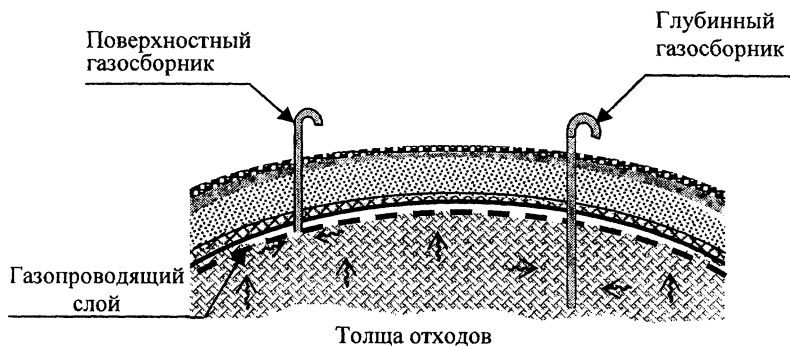


Рис. 13. Система сбора и удаления газа

### ***5.3.3. Вертикальные барьеры и донные экраны для заброшенных свалок***

В связи с тем, что глубина и состав отходов заброшенных необорудованных свалок часто оказываются неизвестными, наиболее целесообразным решением по их локализации являются сохранение массы отходов на прежнем месте и изоляция их от окружающих земель вертикальным барьером. Он может быть сформирован путем отрывки траншеи, которая заполняется малопроницаемым грунтом (грунт/бентонит, грунт/золевая пыль и т.д.), а верховая грань ее оборудуется геомембраной (рулоны, панели). Такой барьер обеспечивает эффективную защиту прилегающих территорий от загрязнения продуктами разложения отходов (рис. 14). Современные решения таких изолирующих конструкций также предлагают устройство щели или ворот в геомембранной стене, через которые возможен выпуск концентрированных жидких отходов с последующей их биологической и химической обработкой [168].

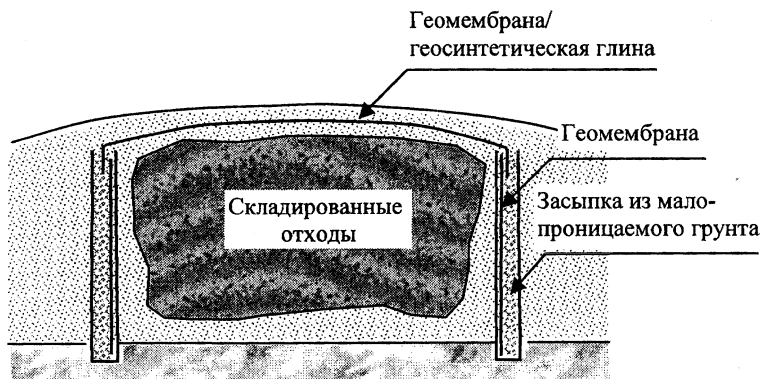


Рис. 14. Изоляция свалки с помощью вертикальных барьеров

В то время как сооружение защитных покрытий и вертикальных барьеров не представляет технических сложностей, устройство донных экранов в целях полной изоляции котлованов с отходными массами в настоящее время остается достаточно проблематичным и методы установки изолирующего дна под толщей отходов пока не известны. Проектные решения в этом направлении предполагают, например, осуществление под нее струйной цементации. Это может быть выполнено через скважину, устраиваемую путем бурения сквозь массу отходов, либо, что предпочтительнее, наклонного, бокового бурения без их затрагивания (рис. 15) [122, 129].

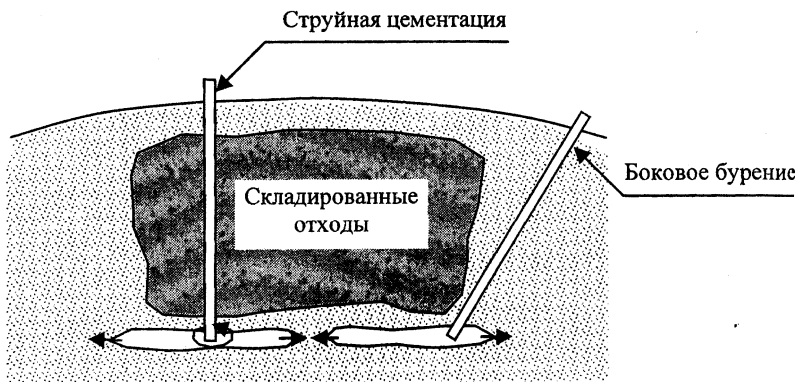


Рис. 15. Устройство изолирующего дна свалки

Как возможный вариант выполнения этой задачи, на стадии разработки находится проект, включающий сооружение глубокой шахты, через которую можно было бы установить сплошной горизонтальный геомембранный пол под толщиной отходов. Его конструкция включает композитный слой из геомембраны и геосинтетической глины, который может быть дополнен вышележащим пластом из геотекстильных труб. Реализация такой разработки, представленной Бюро подземных выработок США, обеспечила бы полное капсулирование содержимого свалок, что гарантировало бы их полную безопасность для окружающих территорий.

#### **5.4. Применение геосинтетиков при строительстве водопроводящих сооружений**

Системы транспортировки поверхностных вод включают в себя разветвленную сеть каналов, а также различного рода водоемы и водохранилища, надежная гидроизоляция которых является обязательным условием при их эксплуатации. В качестве противофильтрационного покрытия дна и откосов, а также противооползневой защиты этих сооружений широко используются геосинтетики: геомембраны, геотекстилы, а также конструкции на их основе.

##### *5.4.1. Экранирование каналов, водоемов и парковых прудов*

Облицовка каналов пленочными или листовыми мембранами является одним из самых ранних направлений их использования, относящимся к 50-м годам 20-го столетия.

Широкое распространение получили грунтопленочные и бетонопленочные облицовки, когда полотнища укладывают на дно и откосы канала и покрывают защитным слоем грунта либо бетонными плитами. Обычно облицовочные работы выполняются при опорожненном канале [126, 156].

Перспективным направлением в данной области является разработка технологии облицовки каналов при их полном или частичном заполнения водой или другими жидкостями. Так, в США на опытных участках канала, заполненного водой, была осуществлена укладка облицовочного покрытия, состоящего из полотен гео-

мембраны, защитного слоя геотекстиля и слоя быстротвердеющего бетона. Работа по устройству экрана выполнялась захватками. Во время укладки последующего полотна защитного экрана, бетон на предыдущем участке достигает его начального схватывания, которого достаточно для первоначальной устойчивости конструкции. Со временем происходит окончательное твердение бетона. Работы выполнялись с помощью установленной поперечно оси канала передвижной фермы. Описанная технология является, по существу, способом выполнения покрытия по методу скользящей опалубки [124]. На откосах канала также сформированы продольные ступени, которые служат лестницей в случае необходимости спасения находящихся в канале животных (рис. 16). Такая технология производства работ эффективна, когда невозможны другие, альтернативные варианты выполнения облицовки или ремонта дна и откосов, а также в случае попадания в воду опасных отходов производства при функционировании каналов на территориях промышленных предприятий и агропромышленных комплексов.



Рис. 16. Схема облицовки канала при его полном или частичном заполнении водой или другими жидкими средами

Наряду с разработкой надежных защитных покрытий экранов дальнейшие исследования также предполагается направить на создание прочных мембран, которые могли бы функционировать в открытом виде, без какого-либо покрытия. Такие толстые текстурированные пленки существуют и проходят испытание на опытных участках Бюро мелиорации США [166].

Облицовка геомембранами бассейнов, прудов и небольших озер в парках и садах, предназначенных для разведения водных растений, а также выращивания и размножения водных животных, например, креветок, рыб, водоплавающих птиц, является перспективной и широко применяющейся на практике технологией. Современные разработки в этой области направлены на создание толстых (более 2,5 мм) текстурированных мембран, которые могли бы противостоять случайным повреждениям, а также исключать возможность их сползания по поверхности откоса. Такие мембраны должны включать в свой состав наполнители, препятствующие окислению материала и придающие ему стойкость к биологической деструкции [142, 158].

#### 5.4.2. Контроль эрозии и стабилизация береговых склонов и откосов

В целях защиты береговых акваторий от эрозии и размыва водным потоком в последние годы широко применяются геотубы. Это объемные закрытые цилиндрические системы, изготовленные из высокопрочного тканого геотекстиля и заполненные местным грунтом. Геотубы имеют диаметр от 1 до 4 м, а длина их может составлять от 20 до 200 м. Они монтируются на берегу или непосредственно в воде на глубине до 3 м, а затем укладываются на защищаемую поверхность (рис. 17).

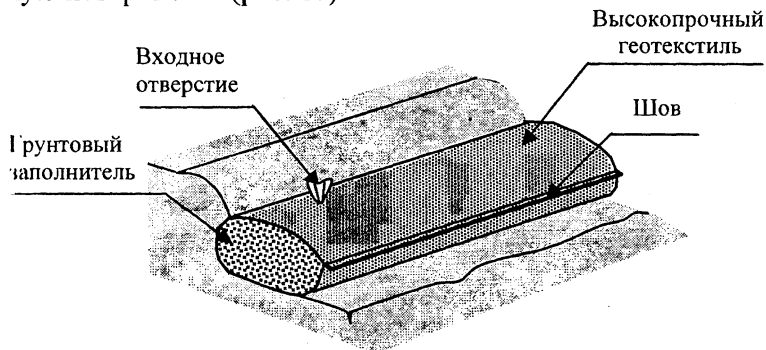


Рис. 17. Укладка одиночной тубы

Заполнение объема геотуб водно-грунтовой смесью производится путем гидравлического нагнетания ее через впускные рукава, расположенные на определенном расстоянии друг от друга по всей длине тубы. Для защиты геотуб от ультрафиолетовой деградации, а также случайных повреждений они покрываются слоем грунта [151]. Геотубы также применяются при строительстве плотин, ядер дамб и пирсов. Дальнейшее внедрение этих конструкций может быть продвинуто, благодаря использованию для их изготовления высокопрочных жестких тканей, которые могут эксплуатироваться в открытых условиях более 20 лет, а также иметь структуру, позволяющую заполнять тубу угловатым крупным гравием и известняком.

### 5.4.3. Захоронение донных наносов

Речной поток в естественном состоянии имеет в своем составе наносы – твердые минеральные частицы грунта, которые являются продуктами размывающей деятельности воды. Наносы, влекомые течением, частично выпадают на дно рек, каналов и водохранилищ, со временем уменьшая их сечение и емкость, а также вызывая опасность нарушения нормальной работы энергетических, ирригационных установок водных систем, создавая затруднения для судоходства вследствие уменьшения глубин и т.д.

Для резервации, транспортировки и захоронения наносов, вычерпанных из рек, гаваней и дельт, успешно используются геотекстильные контейнеры – тубы до 15 м длиной, изготавливаемые из высокопрочного геотекстиля, заполненные грунтом и сшитые (рис. 18) [127]. Контейнеры перевозят на барже к месту захоронения и опускают под воду.

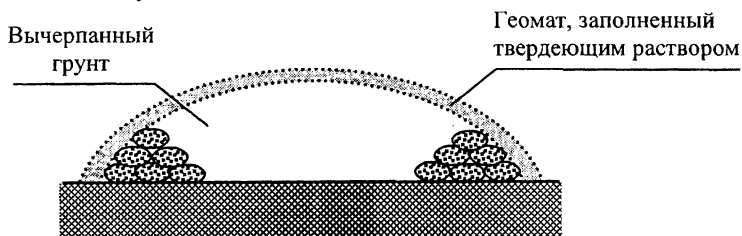


Рис. 18. Захоронение геотекстильных контейнеров, заполненных грунтом

Такой блок складированных контейнеров, в которых могут содержаться и загрязненные грунты, сверху изолируется специальным покрытием – подушкой из геотекстиля, заполненной цементным раствором.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в настоящей работе анализ литературных данных по изучению свойств, разработке и использованию геосинтетических материалов в различных областях строительства позволяет сделать вывод о том, что в последние годы ускоренными темпами развиваются научно-исследовательские работы в области создания геосинтетиков, обладающих принципиально новыми свойствами по сравнению с традиционными строительными материалами. Это способствует неуклонному расширению сферы их применения в мировой строительной практике.

Как следует из вышеизложенного, геосинтетики широко применяются в дорожном строительстве (усиление и ремонт дорожных покрытий, обеспечение устойчивости насыпей и откосов при строительстве на слабых грунтах), гидротехническом и мелиоративном строительстве (гидроизоляция и укрепление откосов плотин, дамб, каналов и водохранилищ), горной промышленности (изоляция хранилищ жидких и твердых промышленных отходов, образующихся в результате переработки полезных ископаемых), промышленном и гражданском строительстве (гидроизоляция и герметизация элементов конструкций сооружений, изоляция хранилищ неутрализованных сточных вод промышленных предприятий). Они эффективно используются в составе фильтрующих и дренажных конструкций в грунтах.

Обладая совокупностью высоких физико-механических и химических показателей, геосинтетики проявляют хорошую сопротивляемость механическим нагрузкам, химическую и биологическую стойкость к воздействию широкого спектра загрязняющих веществ и агрессивных сред, в том числе и таких, где использование других строительных материалов невозможно.

Одним из важнейших преимуществ геосинтетических материалов является возможность их легкой транспортировки и укладки

в строительных конструкциях. Использование геосинтетиков позволяет значительно ускорить производство строительномонтажных работ.

Современные композитные материалы отличаются широкими функциональными возможностями, благодаря чему создают в конструкциях эффективные и экономичные системы "экранный дренаж", "гидроизоляция-арматура", "фильтр-дренаж-защита-гидроизоляция" и т.д. Это дает возможность заменить несколько элементов разного назначения, выполненных из традиционного материала, одним, выполненным из геосинтетика.

Современные технологии строительства с использованием геосинтетических материалов позволяют создавать новые типы конструкций, превосходящие традиционные по прочности, надежности и долговечности с одновременным уменьшением расхода природных строительных материалов, сокращением сроков строительства и энергозатрат, а также обеспечением социально-экологической безопасности эксплуатируемых сооружений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алавердян Р.А. Исследование вопросов применения полимерных пленочных экранов на водоемах и водохранилищах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / ВНИИГ им. Б.Е.Веденева. – Л., 1976. – 27 с.
2. Алавердян Р.А. Результаты девятилетних наблюдений за полимерными экранами на водоемах и водохранилищах Армянской ССР // Труды координационных совещаний по гидротехнике / ВНИИГ им. Б.Е. Веденева. – 1972. – Вып. 74. – С. 119–123.
3. Устойчивость бортов и осушение карьеров // А.И. Арсентьев [и др.]. – М.: Недра, 1982. – 165 с.
4. Батероу К., Щербина Е.В. Применение геосинтетических материалов как армирующих элементов в основаниях, насыпях и дорожных покрытиях // Механика грунтов и фундаментостроение: Российская национальная конференция. – СПб., 1990.
5. Беляшевский Н.Н. К вопросу воздействия волн на обратный фильтр из минерально-волоконистых материалов, уложенных под бетонное крепление напорных откосов плотин // Мелиора-

- ция и водное хозяйство: сб. – Киев: Урожай, 1976. – Вып. 37. – С. 53–60.
6. Березинский А.Р. Пластмассы в гидротехническом строительстве. – М.: Энергия, 1971. – 89 с.
  7. Оценка безопасности шламоохранилищ калийного производства / Б.А. Богатов, А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 73 с.
  8. Бондарева Э.Д. Армирование дорожных одежд нежесткого типа геотекстилями // Повышение эксплуатационной надежности автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР: сб. – Л., 1991. – С. 33–36.
  9. Бондарева Э.Д., Валерьянов В.И., Диндаров В.Э. Технико-экономические аспекты применения геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Строительные материалы. – 1997. – № 9. – С. 16–19.
  10. Бондарь К.Я., Ершов Б.Л., Соломенко М.Г. Полимерные строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1974. – 271 с.
  11. Бородина И. «Ареан-Геосинтетикс» пришел к дорожникам и строителям с новыми материалами // Строительство и городское хозяйство. – 2003. – № 61.
  12. Булатов Г.Я. Пленочный экран как защита от трещин в плотине // Проблемы совершенствования асфальтовых и полимерных противофильтрационных конструкций гидросооружений: Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
  13. Верстов В.В. Современные строительные технологии для охраны окружающей среды и энергосбережения при утилизации отходов на полигонах // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1996. – № 10. – С. 7–13.
  14. Воробьев В.А., Андрианов Р.А. Технология полимеров. – М.: Высшая школа, 1980. – 303 с.
  15. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. – М.: Химия, 1981. – 295 с.
  16. Геоматериалы // Каталог фирмы «ИнтерЭкспрессСервис». – 2004.
  17. Геомембрана // Проспект фирмы "Техполимер". – 2002. – 3 с.

18. Геосинтетические материалы для автомобильных дорог // Петербургский строительный рынок. – 2004. – № 5 (70). – 3 с.
19. Геомембрана «Junifol» // Проспект фирмы JUTA (Чешская Республика). – 5 с.
20. Геосинтетика и гидроизоляция // Каталог фирмы «Гидрокор». – СПб., 2004.
21. Геосинтетика: общие сведения, информация, терминология, области применения // Информационные материалы ЗАО «СтруктураСтрой». – СПб., 2002.
22. Геосинтетические и конструкционные строительные материалы (фирма «Ареан») // Дизайн и строительство. – 1996. – № 1.
23. Геосинтетические изолирующие материалы // Проспект фирмы «National Seal Company» (Швейцария). – 2 с.
24. Геосинтетические материалы // Информационные материалы фирмы «Геостройкомплекс». – 2004.
25. Геосинтетические материалы в дорожном строительстве Санкт-Петербурга // Планета строительства. – 2001. – № 3.
26. Геосинтетические материалы для дорожного и ландшафтного строительства // Информационные материалы фирмы «Евроизол». – Киев, 2001.
27. Гидроизоляция и противорадоновая защита пленками PVC и PE-HD / Инструкция ЗАО "Стройтехпласт". – 2001. – 38 с.
28. Гидроизоляцию обеспечат маты VOLCLAY // Петербургский строительный рынок. – 2002. – № 7–8. – С. 94–95.
29. Гладштейн О.И., Марков А.Ю., Новиков М.Г. Новые технологии изоляции источников загрязнения окружающей среды // Вода. – 2002. – №2. – С. 21–22.
30. Глебов В. Д. Конструкционные полимерные материалы и их применение в энергетическом строительстве. – Л.: Энергия, 1972. – 56 с.
31. Глебов В. Д., Лысенко В. П., Лосев Е. Д. Исследование возможности устройства пленочных противодиффузионных элементов грунтовых плотин при отрицательных температурах. // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – Л., 1977. – Т. 119. – С. 73–76.
32. Глебов В. Д., Лысенко В. П., Федоров Ю. А. Особенности технологии устройства полимерного пленочного экрана

- в суровых климатических условиях // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – 1980. – Т. 141. – С. 22–25.
33. Глебов В.Д., Крохина Е.Н. Пленочные полимерные экраны гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. – 1976. – № 11. – С. 15–17.
  34. Каддо М.Б. Армогрунтовые конструкции из геотканей Geolon // Транспортное строительство. – 2003. – № 6. – С. 22–23.
  35. Казарновский В.Д. Синтетические текстильные материалы в гражданском строительстве. – М., 1984. – 159 с.
  36. Калициемс В.А., Смилга Х.А., Валтер Я.Я. Новые материалы в дренажных конструкциях, способствующие повышению интенсивности их осушительного действия и долговечности мелиоративных систем // Эксплуатационная долговечность мелиоративных систем с применением конструкций из полимерных материалов: сб. – Елгава: ВНИИводополимер, 1984. – С. 35–47.
  37. Каменев Е.Н. Основы рационального выбора полимерных материалов. – Л.: Знание, 1984.
  38. Каменев Е.Н., Мясников Г.Д., Платонов М.П. Применение пластических масс. – Л.: Химия, 1985. – 448 с.
  39. Карамян Г. А. Опыт применения полимерных пленок для борьбы с фильтрацией из водоемов // Гидротехника и мелиорация. – 1964. – № 1. – С. 34–38.
  40. Кисина А.М., Ладъженская Л.Л. Новые гидроизоляционные и кровельные материалы и их долговечность. – Л.: Энергия, 1980. – 79 с.
  41. Каталог: Смолы и пластмассы. – М.: Инфопрот, 1991. – 567 с.
  42. Копытовских А.В., Климов В.Т. Механическая кольматация фильтров дренажных колодцев из волокнистого пористого полиэтилена // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 2. – С. 22–25.
  43. Кричевский И. Е. Полиэтиленовые противофильтрационные экраны земляных хранилищ производственных сточных вод // Труды координационных совещаний по гидротехнике / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – Л., 1972. – Вып. 74. – С. 98–105.
  44. Кричевский И. Е. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации полимерных пленочных экранов сооружений по

- защите окружающей среды в СССР и за рубежом: Обзор информ. / ЦБНТИ. – 1979. – № 9. – 65 с.
45. Круглов Г.Г., Гатилло С.П., Минчукова М.Е. Исследование устойчивости откосов дамб шламохранилищ, оборудованных пленочными противofильтрационными элементами, на подрабатываемых территориях // Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидравлических сооружений: Материалы Международного симпозиума / Академия МАГИ, ВНИИГ им. Б.Е.Веденева. – СПб., 2002. – 7 с.
  46. Круглов Г.Г., Минчукова М.Е. Проектирование и расчет конструктивных элементов дамб шламохранилищ // Budownictwo i Ingeneria Srodowiska: Материалы 23-го Международного симпозиума студентов и молодых ученых / Зеленогурский университет. – Зелена Гура, 2002. – С. 65-71.
  47. Леонович И.И. Использование геосинтетиков в дорожном строительстве // Будаўніцтва, строітельство, construction. – 2003. – №3. – 9 с.
  48. Справочник по химии полимеров / Ю.С. Липатов, А.Е. Нестеров, Т.М. Гриценко, Р.А. Веселовский. – Киев: Наукова думка, 1971. – 534 с.
  49. Лысенко В.П. Экспериментальные исследования пленочных противofильтрационных устройств плотин из местных материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ВНИИГ им. Б.Е.Веденева. – Л., 1973.
  50. Мембранные технологии // Проспект АОЗТ "Растро". – 2002. – 5 с.
  51. Методы защиты дрен от заиления, применяемые в Латвии / Я.А. Аболиньш [и др.]. – Т. XIV. – Елгава, 1970. – С. 23–61.
  52. Минчукова М.Е. Влияние формы пленочных экранов на устойчивость откосов грунтовых плотин // Budownictwo i Ingeneria Srodowiska: Материалы 23-го Международного симпозиума студентов и молодых ученых / Зеленогурский университет. – Зелена Гура, 2001. – С. 92–98.
  53. Минчукова М.Е. Исследование устойчивости откосов песчаных плотин с пленочными экранами // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : Материалы VI Международного научно-методического семинара / БІПА. – Минск, 2000. – С. 425–431.

54. Минчукова М.Е., Кисель Н.Н. Обоснование и выбор геотекстильных материалов при их применении в водохозяйственном строительстве // Актуальные проблемы современного строительства: Материалы 57-й Международной научно-технической конференции молодых ученых (аспирантов, докторантов и студентов) / СПбГАСУ. – СПб., 2004. – С. 107–112.
55. Минчукова М.Е., Коревицкий Г.А. Современные технологии производства строительных конструкций с использованием полимеров // Материалы 61-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов / СПбГАСУ. – СПб., 2004. – С. 29–31.
56. Минчукова М.Е., Круглов Г.Г. Полимерные гидроизоляционные материалы: свойства и перспективы применения в строительстве // Социально-экономические и экологические проблемы мелиорации и водного хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции / Белорусская сельскохозяйственная академия. – Горки, 2004. – С. 65–69.
57. Минчукова М.Е., Круглов Г.Г. Современные геосинтетические материалы в водохозяйственном строительстве // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы 56 Международной научно-технической конференции / БНТУ. – Минск, 2003. – С. 147–151.
58. Минчукова М.Е., Тур А.В. Оценка эффективности использования шероховатых полимерных экранов подпорных гидросооружений // Актуальные проблемы современного строительства: Материалы 56-й Международной научно-технической конференции молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов / СПбГАСУ. – СПб., 2003. – С. 129–133.
59. Молчанов Ю.М. Физические и механические свойства полиэтилена, полипропилена и полиизобутилена: справочник. – Рига: Зинатне, 1966. – 439 с.
60. Ничипорович А.А. Плотины из местных материалов. М.: Стройиздат, 1973. – 320 с.
61. Новик Н.П., Гайлитис И.Ю. Применение полимерных фильтрующих элементов для совершенствования конструкций дренажных фильтров // Полимерные материалы и НТП в мелиорации и водном хозяйстве: Тезисы Всесоюзного научно-технического совещания. – М., 1980. – С. 169–171.

62. Новиков В.У. Полимерные материалы для строительства. – М.: Стройиздат, 1995. – 448 с.
63. Новиковский В. Э., Сокольская В. В. Опыт применения синтетических материалов для борьбы с потерями воды на фильтрацию из каналов и водоемов // Гидротехника и мелиорация. – 1961. – №4. – С. 22–29.
64. Новые фильтрационные материалы для мелиорации и водного хозяйства / Ф.В. Рекнер [и др.]. // Применение полимерных материалов в мелиоративном строительстве: Тезисы докл. Всесоюзного НТС / ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1982. – С. 79–80.
65. Опыт применения пленочных противофильтрационных устройств в накопителях сточных вод промышленных предприятий. / В. М. Павилонский, Г. В. Исаков, В. А. Крупин, Л.А.Ганн // Применение полимерных материалов в гидротехническом строительстве: Материалы конференций и совещаний по гидротехнике /ВНИИГ им.Б.Е. Веденеева. – СПб., 1980. – С. 32–34.
66. Основы технологии полимерных строительных материалов // Под ред. В.М. Хрулева. – Мн.: Вышэйшая школа, 1981.
67. Пивовар Н.Г., Бугай Н.Г., Рычко В.А. Дренаж с волокнистыми фильтрами. – Киев: Наукова думка, 1980. – 215 с.
68. Пленочные противофильтрационные устройства гидротехнических сооружений / Под ред. И.Е. Кричевского. – М.: Энергия, 1976. – 207 с.
69. Подгурский В. Геомембрана как элемент экологической культуры в строительстве // Дизайн и строительство. – 1997. – № 2.
70. Полимерные материалы в гражданском строительстве // Сб. науч. трудов ЛенЗНИИЭП; Госгражданстрой. Труды СоюздорНИИ. – Л., 1976.
71. Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. – М.: Труды СоюздорНИИ, 1981. – 105 с.
72. Полимерные пленочные материалы /Под ред. В.Е. Гуля. – М.: Химия, 1976. – 247 с.
73. Попченко С.Н. Гидроизоляция сооружений и зданий.–Л.: Стройиздат, 1981. – 304 с.
74. Профессиональные решения в кровле и гидроизоляции // Каталог компании «Эверест–Изоляция». – М., 2004.

75. Прочная почва под ногами: армирование грунта георешетками Tensar (информация ООО “Массар”) // Строительство и городское хозяйство. – 2004. – № 70.
76. Радченко В.Г., Семенов В.М. Применение геосинтетических материалов при строительстве плотин // Гидротехническое строительство. – 1994. – № 5. – С. 50–54.
77. Резник В.Б. Применение полимерных материалов для защиты гидротехнических сооружений // Применение полимерных материалов в мелиоративном строительстве: Тезисы докл. Всесоюзн. НТС / ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1982. – С. 99.
78. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. – М.: Химия, 1974. – 272 с.
79. Родькин А.П. Геосинтетические материалы для дорожного строительства // Строительные материалы. – 2000. – № 12. – С. 24–26.
80. Защита откосов мелиоративных каналов и дамб от водной и ветровой эрозии /В.А.Скотников и др.– Мн.: Ураджай, 1984.– 160 с.
81. Смыслова Р.А., Котлярова С.З. Справочное пособие по герметизирующим материалам на основе каучуков. – М.: Химия, 1976.
82. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химмлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. – М.: Стройиздат, 1988. – 309 с.
83. Барвашов В.А., Воронель Д.А. Сооружения из армированного грунта: Обзор. – М.: ВНИИС, 1984. – 68 с.
84. Справочник по пластическим массам. В 2 т. Т. 1, 2. – М., 1975.
85. Строительные материалы XXI века // Информационные материалы ЗАО «Ареангеосинтетикс». – 2004.
86. Строительные материалы, оборудование //Прспект ОАО Нелидовский завод пластмасс. – 2002. – 2 с.
87. Строительные материалы, оборудование //Прспект ООО ПСМ–Альфа. – 2002. – 2 с.
88. Строительные материалы, оборудование //Прспект ООО Тегола–Самара. – 2002. – 3 с.
89. Строительные материалы: Справочник /Под ред. А.С.Болдырева, П.П.Золотова. – М.: Стройиздат, 1989. – 568 с.

90. Такахаси Г. Пленки из полимеров / Под ред. А.В.Фадеевой; пер. с яп. – М.: Химия, 1971. – 152 с.
91. Теплов Б. Ф., Овчинников Ю. В. Изменение физико-механических свойств материалов из пластифицированного ПВХ со временем // В кн.: Труды III межвузовской конференции по применению пластмасс в строительстве. – Казань, 1972. – С. 213–214.
92. Томин Е.Е. О надежности пластмассового дренажа, уложенного бестраншейным способом // Технология и механизация мелиоративных работ: сб. – М.: ВНИИГиМ, 1980. – С. 33–37.
93. ТУ 17–14–101–79. Полотно нетканое иглопробивное защитно-изолирующее (СИЗИ).
94. ТУ 17–БССР–05–93–15–88. Полотно нетканое мелиоративное из отходов производства.
95. ТУ 17–РСФСР–52–10201–81. Полотно нетканое клееное для защиты дрен от заиления.
96. ТУ 17–РСФСР–52–11251–86. Полотно иглопробивное мелиоративное (ПИМ).
97. ТУ 17–РСФСР–52–9814–80. Полотно нетканое клееное.
98. ТУ 17–РСФСР–62–11262–86. Полотно нетканое термоскрепленное защитно-фильтрующее для мелиоративного строительства.
99. ТУ 17–СССР–515–84. Полотно иглопробивное для мелиорации.
100. ТУ 17–УзССР–14–301–87. Полотно холстопробивное для мелиорации.
101. ТУ 21–29–81–81. Полотно иглопробивное для дорожного строительства.
102. ТУ 33–1018147–01–84. Трубофильтр дренажный пластмассовый /В.Т.Климков, Е.Г.Сапожников, Т.В.Ставрова, В.Ф.Найдук.– Мн.: БелНИИМиВХ, 1984. – 12 с.
103. ТУ 33–РСФСР–62–88. Полотно иглопробивное мелиоративное (ПИМ–Ф).
104. ТУ 33–Союзводполимер–24–87. Полотно нетканое с пропиткой вспененными латексами мелиоративное (ПВЛ–М).
105. ТУ 63–178–102–85. Полотно клееное фильтровальное.
106. Филиппович И.В. Минчукова М.Е. Конструкции пленочных противofильтрационных материалов и их влияние на проч-

- ность низконапорных земляных плотин // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – Вып.8. – С. 9–14.
107. Анализ конструкций защитных дамб из местных грунтов шламохранилищ ПО "Беларуськалий"/ И.В. Филиппович, А.И. Алтунин, В.Н. Заяц и др. – Мелиорация земель, строительство и эксплуатация водохозяйственных объектов: н-т сб. – Деп. в ЦБНТИ МВХ СССР. – Вып.4. – 1992.
108. Хруппа И.Ф., Иванов В.П. Гидротехнические сооружения и сельскохозяйственная мелиорация. – М., 1983.
109. Цахомов А. Б. Использование пленочного материала на поливинилхлоридной основе для противодиффузионной защиты шламоотвала Кармановской ГРЭС // Энергетическое строительство. – 1976. – № 1. – С. 11–13.
110. Шефтель В.О. Вредные вещества в пластмассах. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 544 с.
111. Широков Н.Е. Экранирование земляных сооружений полимерной пленкой // Промышленное строительство. – 1975. – № 8. – С. 10–11.
112. Шкундин Б.М., Ронжин И.С. Геотекстиль в гидротехническом строительстве//Гидротехническое строительство.– 1992.– №4. – С. 41–43.
113. Шлее Ю., Никогосов Х.Н., Ткачев А.А. Современные технологии строительства полигонов для захоронения отходов с использованием геосинтетических материалов // Экология и промышленность России. – 2003. – №1. – С.18–22.
114. Штепа Б. Г. Применение полимерных материалов в мелиорации // Пластические массы. – 1973. – № 11. – С. 28–35.
115. Шульженко Ю.П. Безрулонные кровельные материалы (обзор). – М.: ВНИИЭСМ, 1976.
116. Применение защитно-фильтрующих материалов в мелиоративном строительстве/ Э.Х. Эглий [и др.]. // Применение полимерных материалов в мелиоративном строительстве: тезисы докл. Всесоюзного научно технического совещания / ЦБНТИ МВХ СССР. – М., 1982. – С. 61–63.
117. Энциклопедия полимеров. – М.: Советская энциклопедия, 1972, 1973, 1974. – Т. 1, 2, 3.

118. A new working stress method for prediction of reinforcement loads in geosynthetic walls / Allen T.M., Bathurst R., Holtz R., etc. // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2003. – Vol. 40, No 5. – P. 976–995.
119. Bathurst R. J., Simac M. R. Geosynthetic reinforced segmental retaining wall structures in North America // *Geotextiles, Geomembranes and Related Products: Proc, 5th Int. Conf. / Spec. Vol. Southeast Asia Chapter. International Geosynthetic Society*. – Singapore, 1994. – P. 29–54.
120. Blatz James A., Bathurst Richard J. Limit equilibrium analysis of large-scale reinforced and unreinforced embankments loaded by a strip footing // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2003. – Vol. 40, No 6. – P. 1084–1093.
121. Bourdeau P. Dimensionnement des geotextiles utilises comme armatures // *Strasse und Verkehr*. – 1984. – No 6. – P. 215–216.
122. Brandl H. Geomembranes for vertical waste containment sealing // *Geotextiles Geomembranes and Related Products: Proc, 4th Int. Conf. / The Hague*. – Netherlands, 1990. – P. 511–516.
123. Cazzuffi D. The use of geomembranes in Italian dams // *Int. J. Water Power and Dam Constr.* – 1987. – Vol. 26, No 2. – P. 44–52.
124. Comer A.I., Kube M., Sayer. M. Remediation of existing canal linings // *J. Geotextiles and Geomembranes*. – 1996. – Vol. 14 (5–6). – P. 313–326.
125. D'Andrea R., Sage, J. D. The use of drainage wicks for the mitigation of frost effects on existing roadways // *Geosynthetics'89: Proc. Conf./ San Diego., California, 1989*. – Vol. 2. – P. 305–315.
126. First Plastic Dam Lining Installed in New South Wales // *Power Farming and Better Farming Digest in Australia and New Zealand*. – 1958. – No 7. – P. 131.
127. Fowler J. Geotubes and Geocontainers for Hydraulic Applications // *Proc. Cleveland Section ASCE*. – New York, 1995.
128. Frobels R. K. Geosynthetics in the NATM Tunnel Design // *Proc. Geosynthetics for Soil Improvement, Geotech. / Spec. Publ. 18, ASCE*. – New York, 1988. – P. 51–67.
129. Gabr M.A. Longwall mining technique for liner placement // *Report to U.S. Bureau of Mines*
130. Geogrid reinforced railway embankments on piles: Monitoring /

- E. Gartung, J. Verspohl, D. Alexiew, F. Bergmair // *Geosynthetics: applications, design and construction* / Rotterdam: Balkema, 1996. – P. 251–258.
131. Geomembrane liner installed in Greek Island reservoir, despite obstacles // *Water Engineering & Management*. – 1996. – Vol. 143, No 7. – P. 17.
  132. Ghiassian, H., Hryciw, R. D. and Gray, D. H. Laboratory testing apparatus for slopes stabilized by anchored geosynthetics // *Geotech. Testing J.* – 1996. – Vol. 19(1). – P. 65–73.
  133. Gray D. H, Sotir R.B. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization*. – Wiley, New York, 1996.
  134. Gregory G. H., Chill. D. S. Stabilization of earth slopes with fiber reinforcement // *Proc. 6th Int. Geosynthetic Conf. / Industrial Fabrics Association International*. – St. Paul. Minn, 1998. – P. 1073–1078.
  135. Gubbe L.–W. G ranular–fill d am p rotected by P V C m embrane // *Civil Engineering*. – 1977. – No 7. – P. 72–75.
  136. Hsuan Y. G., Koerner R. M. Antioxidant depletion lifetime on HDPE geomembranes // *J. Geotech. and Geoenvir. Eng.* – 1988. – ASCE, Vol. 124(6). – P. 532–541.
  137. Jeon H., Kim S., Chung Y., Yoo H., Mlynarek J. Assessments of long–term filtration performance o f d egradable p refabricated geotextile drains // *Polymer Testing*. – 2003. – Vol. 22, No 7. – P. 779–785.
  138. Jeyapalan J. K., Jeyapalan. M. *Advances in underground pipeline engineering II* // ASCE. – New York., 1995.
  139. *Underground pipeline materials, design and construction* /J. K. Jeyapalan, W. E. Saleira, A.Al–Shaikh, etc. // *Advances in Underground Pipeline Engineering II* /Jeyapalan J.K. and Jeyapalan M., eds. – ASCE, New York, 1995. – P. 25–41.
  140. The use of geosynthetics to prevent the structural collapse of fills over areas prone to subsidence / G. T. Kempton, C. R. Lawson, C.T.F.P. Jones, M. Demertlash // *Geosynthetics: Applications, design and construction*. DeGroot, Den Hoedt. and Termaat, eds. – Rotterdam: Balkema, 1996. – P. 317–324.
  141. Kinney T. C. Using geogrids to limit longitudinal cracking of roads in interior Alaska // *Geosynthetics '93: Proc. Conf. / Industrial Fabrics Association International*. – St. Paul. Minn. – 1993. – 109–121.

142. Koerner Robert M. Emerging and future developments of selected geosynthetic applications // *Journal of Geotechnical & Geoinvironmental Engineering*. – 2000. – Vol. 126, No 4. – P. 293.
143. Koerner Robert M., Soong Te–Yang. The evolution of geosynthetics // *Civil Engineering*. – 1997. – Vol. 67, No 7. – P. 62.
144. Koerner R. M. Designing with geosynthetics. – 4th Ed. – Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J., 1998.
145. Koerner R. M., Daniel D E. Final covers for solid waste landfills and abandoned dams. ASCE. Reston, Va., 1997.
146. Koerner G. R., Koerner. R. M. Geosynthetic use in trench–less pipe remediation and rehabilitation // *Geotextiles and Geomembranes*. – 1996. – Vol. 14(3/4). – P. 223–237.
147. Koerner R. M, Guglielmetti J. Vertical barriers: Geomembranes // *Proc. Int. Containment Technol. Workshop, Assessment of Barrier Technologies*. PB96–180583, R. R. Rumer and J. K. Mitchell, eds., NTIS. – 1995. – P. 95–118.
148. Koerner R. M. In–situ soil slope stabilisation using anchored nets // *Low Cost and Energy Saving Constr. Mat.: Proc. Conf. / Fang H.–Y., ed. – Envo. – Bethlehem. Pa., 1998. – P. 465–478.*
149. Koerner R. M., Welsh J. P. Construction and geotechnical engineering using synthetic fabrics. – Wiley, New York, 1980.
150. Leflaive E., Liausu P. The reinforcement of soils by continuous threads // *Proc. 3rd Int. Conf. on Geotextiles / Austrian Society of Engineers and Architects*. – Vienna, 1986. – P. 1159–1162.
151. Leshchinsky G, Leshchinsky O. Geosynthetic confined pressurized slurry (GeoCoPS) // *Tech. Rep. CPAR–GL96–1 / U.S. Army Corps of Engineers*. – Washington. D.C., 1996.
152. Innovations and performances of PVD and dual function geosynthetic application / G.A. Lorenzo, D.T. Bergado, W. Bunthai // *Geotextiles & Geomembranes*. – 2004. – Vol. 22, No 1/2. – P. 75–100.
153. Membranes // *Проспект фирмы «Monarflex A–S»*. – Denmark. – 3 с.
154. Parametres of friction of sandy grounds on polymeric membranes / M. Minchukova, A. Tur, M. Nikitenko, V. Myakota // *AQUA–2003: Proc. 24th Int. Symp.* – Plock, 2003 – P. 304–307.

155. Soil strengthening using random distributed mesh elements / A.McGown, K. Z. Andrawes, N. Hytiris, F. B. Mercer. // Proc. 14th ISSMFE Conf. / BiTech. – Vancouver, 1985. – P. 1735–1738.
156. Morrison W. R., Starbuck J. G. Performance of plastic canal linings: Rep. No. REC–ERC–84–1 / Bureau of Reclamation. U.S., Department of Interior. – Washington, D.C., 1984.
157. Nettleton T.M., Jones C.J. Electrokinetic geosynthetics and their applications // Industrial Fabrics Association International: Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics. – St. Paul, Minn, 1998. – P. 871–876.
158. Owen J. Recommended Procedures for Installing Pond Liners // Materials Performance. – 1976. – Vol. 15. – P. 33–37.
159. Polyfelt Geosynthetics // Информационные материалы предприятия Polyfelt Ges.m.b.h. (Австрия). – 2004.
160. Kerry Rowe R., Ho S.K. Horizontal deformation in reinforced soil walls // Canadian Geotechnical Journal. – 1998. – Vol. 35, No 2. – P. 312–327.
161. Robert A. Douglas. Repeated-load behavior of geosynthetic-built unbound roads // Canadian Geotechnical Journal. – 1997. – Vol. 34, No 2. – P. 197–203.
162. Rowe R.K. Reinforced Embankments: Analysis and Design // J. Geotechn. Eng. – 1984. – Vol. 110, No 2.
163. Sciuero A. M., Vaschelti G. L. Geomembranes for masonry and concrete dams: State-of-the-art report // Geosynthetics: Applications, design and construction. M. B. de Groot, G. Jen Hoedt, R. J. Termaat, eds. – Rotterdam: Balkema, 1996. – P. 889–898.
164. Sembenelli P., Rodriguez E. A. Geomembranes for earth and earth-rock dams: State-of-the-art report // Geosynthetics: Applications, design and construction. M. B. de Groot G. den Hoedt and R. J. Termaat, eds. – Rotterdam: Balkema, 1996. – P. 877–888.
165. Sprague C. J., Koutsourais M. The evolution of geotextile reinforced embankments // Geotech. Spec. Publ. 30. R. H. Borden, R.D. Holtz, and I. Juran, eds. – ASCE, New York, 1992. – P. 1129–1141.
166. Swihart J. J. Deschutes canal lining demonstration: Construction report // Proc. 5th Int. Geosynthetic Conf., Southeast Asia Chapter / International Geosynthetics Society. – Singapore, 1994. – P. 553–556.

167. Theisen M. S. The role of geosynthetics in erosion and sediment control: an overview // J. Geotextiles & Geomembranes. – 1992. – Vol. 11(4–6). – P. 199–214.
168. Thomas R. W., Koerner, R. M. Advances in HDPE barrier walls // Geotextiles & Geomembranes. – 1996. – Vol. 14(7/8). – P. 393–408.
169. Tritico Philip A. Improvements needed in geosynthetics design and construction // Civil Engineering. – 1994. – Vol. 64, Issue 6. – P. 6.
170. Using fabrics to the fill // Civil Engineering, USA. – 1978. – No 12. – P. 59, 61–65.
171. Vinyl-coated nylon protects dam // Modern Paint and Coatings, USA. – 1979. – Vol. 69. – P. 38.
172. Voskamp W., Risseew P. Method to establish the maximum allowable load under working conditions of polyester reinforcing fabrics // J. Geotextiles & Geomembrane. – 1987. – Vol. 6(2). – P. 173–189.
173. Yetimoglu Temel, Salbas Omer. A study on shear of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers // Geotextiles & Geomembranes. – 2003. – Vol. 21, Issue 2. – P. 103–111.
174. Zonberg J., Arriada F. Strain distribution within geosynthetic-reinforced slopes // J. of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering. – 2003. – Vol. 129, Issue 1. – P. 32–46.

### **Изобретения**

175. А.с. 950854 СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Пластмассовая труба / Н.З. Косяк, В.Т. Климов, А.И. Мурашко (СССР). – Оpubл. 25.08.82, бюл. № 30 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 30.
176. А. с. 539120 СССР, МКИ 2 Е 02 В 3/12; Е 02 D 17/20. Покрытие для укрепления откосов / В.Т.Климов, Э.И.Михневич и А.И.Мурашко.
177. Заявка на изобретение 2000109374/04 РФ, МПК7 С 08 J 5/18. Способ получения полимерного пленочного материала / А.А.Галкин. – Оpubл. 10.02.02 // Изобретения. – 2002. – № 4.
178. Заявка на изобретение № 2000117286/03 РФ, МПК7 Е 02 D27/34. Армирующая сетка и строительная конструкция, содержащая такую сетку / Ван Влит Ари Хендрик Франс,

- Петерс Себастиан Мартинус и др. – Оpubл. 20.07.02 // Изобретения. – 2002. – № 20.
179. Заявка на изобретение 2000129862/04 РФ, МПК7 D 06 N 5/00, В 32 В. Способ изготовления многослойного кровельного и гидроизоляционного материала /Валухов А.А., Дудник В.П. и др. (РФ). – Оpubл. 10.11.2002 // Изобретения. – 2002. – № 31.
180. Заявка на изобретение 2001121489/04 РФ, МПК7 С 08 L 101/00. Синтетические полимеры, содержащие смеси–добавки усиленного действия / Пфенднер Рудольф, Хоффман Курт и др. – Оpubл. 27.06.2003 // Изобретения. – 2003. – № 19.
181. Заявка на изобретение 2001133696/03 РФ, МПК7 Е 02 D 17/20. Георешетка / Ким А.И., Бубновский В.В., Лукачев Н.Н. (РФ). – Оpubл. 20.09.2003 // Изобретения. – 2003. – № 26.
182. Заявка на изобретение 2001135729/04 РФ, МПК 7 С 08 G 69/16. Способ получения полиамида / Барнягина О.В., Галибеев С.С. и др. – Оpubл. 10.07.2003// Изобретения. – 2003. – № 19.
183. Заявка на изобретение 99111689/04 РФ, МПК7 С 08 L 23/06. Способ получения стабилизированной полиэтиленовой пленки / Таюрский В.А., Заказов А.Н. и др. – Оpubл. 27.02.2001 // Изобретения. – 2001. – № 6.
184. Заявка на изобретение 99115378/13 РФ, МПК7 Е 02 В 3/16. Способ создания противотрационного экрана на откосах и дне выемок /Бабелло В.А., Беяков А.Е. – Оpubл. 27.04.2001 // Изобретения. – 2001. – № 12.
185. Заявка на изобретение 99115925/2 РФ, МПК7 В 29 В 15/10. Способ получения армированного полимерного композиционного материала / В.Н. Студенцов, А.А. Мизинцов. – Оpubл. 20.06.2001 // Изобретения. – 2001. – № 17.
186. Заявка на изобретение 99120401/12 РФ, МПК7 В 29 D 7/00. Полиэтиленовая пленка. / Фейгин А.Н. – Оpubл. 10.07.2001 // Изобретения. – 2001. – № 19.
187. Заявка на патент 20010039320 США, МПК С 08 F 210/14. Ethylene copolymer compositions./Jacobsen Grant B., Matsushita Fumio, Spencer Lee, Wauteraerts Peter L. – Оpubл. 8.11.2001.
188. Заявка на патент 20172814 США, МПК В 32 В 007/02. Geomembrane and method of manufacture/ Nobert James E., Raia Jesse W. – Оpubл. 21.11.2002.

189. Заявка на патент 20030096128 США, МПК В 32 В 027/00. Polyethylene films with improved physical properties / Farley James McLeod, Szul John F. – Оpubл. 22.05.2003.
190. Заявка на патент 20030109611 США, МПК С 08 К 005/15, С 07 D 307/93. Stabilization of synthetic polymers / Schrinner Kerstin, Xanthopoulos Pascal. – Оpubл. 12.06.2003.
191. Патент 2165852 РФ, МПК7 В 32 В 27/2. Способ получения армированного пленочного материала / Кузьмицкий Г.Э., Федченко Н.Н. и др. – Оpubл. 27.04.2001 // Изобретения. – 2001. – №12.
192. Патент 2166016 РФ, МПК7 D 04 Н 13/00. Фильтрующий нетканый материал. / Мензелинцева Н.В., Желтобрюхов В.Ф и др. – Оpubл. 27.04.2001 // Изобретения. – 2001. – № 12.
193. Патент 2174127 РФ, МПК7 С 08 F 210/12. Способ получения бутылкаучука. / Г.Т. Щербань, В.М. Бусыгин, Р.Т. Шиянов. – Оpubл. 27.09.2001 // Изобретения. – 2001. – № 27.
194. Патент 2174525 РФ, МПК7 С 08 J 5/18. Способ получения стабилизированной полиэтиленовой пленки / В.А. Таюрский, А.Н. Заказов, В.В. Амосов. – Оpubл. 10.10.2001 // Изобретения. – 2001. – № 28.
195. Патент 2177007 РФ, МПК7 С 08 F 110/02. Способ получения полиэтилена. / Ю.Н. Кондратьев, В.С. Зернов, В.М. Южин – Оpubл. 20.12.2001 // Изобретения. – 2001. – № 35.
196. Патент 2179560 РФ, МПК7 С 08 F. Полиэтиленовая пленка и другие изделия, содержащие полиэтилен / Джорж Норрис Фостер, Тонг Чен , Роберт Гарольд Фогель и др. – Оpubл. 20.02.2002 // Изобретения. – 2002. – № 5.
197. Патент 2180030 РФ, МПК7 Е 02 D 17/20. Геомат / Р.К.Гареев, М.З.Шайдуллин. – Оpubл. 27.02.2002 // Изобретения. – 2002. – № 6.
198. Патент 2189317 РФ, МПК7 В 29 С 65/06. Сетка для армирования грунта, имеющая большую площадь поверхности и высокий предел прочности при растяжении, способ и устройство для ее изготовления. /Хеертен Георг, Мюллер Фолькхард, Привих Штефан и др. – Оpubл. 20.09.2002 // Изобретения. – 2002. – № 26.

199. Патент 2193580 РФ, МПК7 С 08 L 27/06. Поливинилхлоридная пленка / Я.М. Абдрашитов, Р.Ф. Нафикова и др. – Оpubл. 27.11.2002 // Изобретения. – 2002. – № 33.
200. Патент 2193582 РФ, МПК7 С 08 L 27/06. Полимерная композиция / Я.М. Абдрашитов, Ю.К. Дмитриев. – Оpubл. 27.11.2002 // Изобретения. – 2002. – № 33.
201. Патент 2199444 РФ, МПК7 D 32 D 27/32. Способ получения соэкструзией полиэтиленовой многослойной пленки и многослойной пленки, полученной таким способом / Брамбилла Джузеппе. – Оpubл. 27.02.2003 // Изобретения. – 2003. – № 6.
202. Патент 2202660 РФ, МПК7 D 01 F 6/74. Способ изготовления арамидной ткани / Гхораши Хамид М., Рутье Даниэль. – Оpubл. 20.04.2003 // Изобретения. – 2003. – № 11.
203. Патент 2205255 РФ, МПК7 D 04 H 13/00. Нетканый материал. / Н.В. Мензелинцева, В.Ф. Желтобрюхов и др. – Оpubл. 27.05.2003 // Изобретения. – 2003. – № 15.
204. Патент 2205908 РФ, МПК7 D 03 P 25/00. Защитная ткань с полимерным покрытием. / Е.Л. Смирнова, А.В. Лукашевский, А.В. Шемаков. – Оpubл. 10.06.2003 // Изобретения. – 2003. – № 19.
205. Патент 4610568 США, МПК E02D 017/20. Slope stabilization system and method / Koerner Robert M. – Оpubл. 09.09.1986.
206. Патент 5980155 США, МПК E 02 D 017/20, E 02 D 003/00. Composite geosynthetics and methods for their use / Jones Colin John, Eng Kjell. – Оpubл. 9.11.1999.
207. Патент 5651641 США, МПК B 32 B 5/02, E 02 D 17/20. Geosynthetics / Stephens Thomas C, Frauenfelder Krock Teri L. – Оpubл. 29.07.1997.
208. Патент 5735640 США, МПК B 32 B 5/02. Geotextiles and geogrids in stabilization and base course reinforcement applications / Mattel William M, Meyer Bradley Ross. – Оpubл. 07.04.1998.
209. Патент 5736237 США, МПК С 08 L 23/08. Geomembranes / Nicholas Antonios, Rhee Aaron Seung-Joon. – Оpubл. 07.04.1998.
210. Патент 6505996 США, МПК E 01 F 005/00. Drainage system with unitary void-maintaining structure and method for constructing system / Ianniello Peter J., Zhao Aigen, Capra Giovanni. – Оpubл. 14.01.2003.

211. Патент 6612779 США, МПК E 02 B 007/06, E 02 B 003/10. Embankment dam and waterproofing / Scuero Alberto. – Оpubл. 02.09.2003.
212. Патент PCT (WO) 03033585 США, МПК C 08 L 9/00, C08L 23/00. Polymeric membrane compositions / Yu Thomas C., Dharmaraja N. – Оpubл. 24.04.2003.
213. Патент 1274991 Италии, МПК E 02 D. Method of supporting and reinforcing embankments, very steep slopes and vertical walls using geotextiles, geomembranes, geogrids and the like / Albert Luigi. – Оpubл. 29.07.1997.
214. Патент 1282332 Италии, МПК E 04 B. Process and means for the waterproof application of sheets known as geomembranes to substrates, particularly and section for performing such process / Chierichetti Pierluigi. – Оpubл. 16.03.1998.
215. Полезная модель 21919 РФ МПК 7 E01 D. Рулонный гидроизоляционный материал /О.М. Аскандаров. – Оpubл. 27.02.02 // Изобретения. Полезные модели. – 2002. – № 6.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Физико-механические свойства геосинтетических материалов**

№ пп	Материал	Масса на ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	Прочность на растяжение, (продольная/поперечная)		Прочность на разрыв, (продольная/поперечная)		Относительное удлинение (прод/попер), %	Рабочий диапазон температур, °С	Водопроницаемость, м/сут	Параметры	
			кН/м <sup>2</sup>	кН/м	кН/м <sup>2</sup>	кН/м				Толщина, мм	Ширина, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Геомембраны</b>											
1	Полиэтиленовая пленка марки "В"	-	13900	-	-	-	262	-70...+100	-	0,2	12000
2	VLDPE-мембрана	900..1800 <sup>(1)</sup>	-	-	≥0,005 кН/мм <sup>2</sup>	-	600...800	-	-	1...2	-
3	HDPE-мембрана	-	-	-	>0,016 кН/мм <sup>2</sup>	-	400...700	от -75	-	0,75..2,5	6180 6700
4	Техполимер-мембрана	-	18600/ 17600	-	-	-	465/410	-70...+60	-	1,0; 3,0	1886; 3140
5	Гидропласт	-	-	-	-	-	-	-40...+70	-	7,0...26,0	1200... 1500
6	FATRAFOL -790	-	Высокая прочность	-	-	-	-	-20...+70	-	1,5; 1,7	1300
7	FATRAFOL-801*	1,27...2,54	≥ 15000	-	-	-	≥ 250	-20...+70	-	1,0...2,0	1300; 1200
8	FATRAFOL-803*	0,76...2,54	19100/ 17300	-	23000/ 21000	-	357/371	-20...+70	-	0,6...2,0	1300; 1200
9	FATRAFOL -804	2,54	17800/ 16700	-	-	0,03 кН/мм	328/362	-20...+70	-	2,0	1200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	AQUAPLAST-805	0,76 1,27	-	-	-	-	Отличное растяжение	-20...+70	-	0,6; 1,0	1300
11	EKOPLAST-806	-	20700/ 19100	-	-	-	386/438	-20...+70	-	1,0; 1,5	1300
12	FATRAFOL -807	2,3	-	1,4/1,4 <sup>(2)</sup>	-	0.06 кН/мм	≥ 80,1 / 73,0	-20...+70	-	3,0	1300
13	FATRAFOL-808	2,3	-	1,0/1,17 <sup>(2)</sup>	-	≥ 0.06 кН/мм	≥ 95,8 / 83,0	-20...+70	-	2,5	1300
14	FATRAFOL 810	1,9	-	1,198/1,195 <sup>(2)</sup>	-	-	≥ 21 / 24	-20...+70	-	1,2; 1,5	1300
15	FATRAPAR-E	0,182	-	-	26700/ 21000	-	627/612	-20...+70	-	0,15; 0,20	1400
16	Бутилкаучук- пленка, армиро- ванная нейлоном	-	до 14,0	-	-	-	350...1500	-60...+105	-	0,8...2,0	6,0
17	SWELLTITE	2,5	-	-	-	-	-	-15...+40	8,64×10 <sup>-10</sup>	1,5; 2,3	1020
18	Tefond	0,6	-	-	-	>0,3 <sup>(2)</sup>	25	-30...+60	-	-	2070
19	Tefond HP	0,85	-	-	-	>0,65 <sup>(2)</sup>	25	-30...+60	-	-	2070
20	Nicotarp*	0,3	24...28/ 24...28	-	-	-	20...19/ 20...17	-	-	0,45; 0,8; 0,85	2000... 6000
21	DURA SEAL HD DURA SEAL LL DURA SEAL PP FRICTION SEAL	0,94	-	-	26200	130	-	≥ -75	3×10 <sup>-11</sup>	1,0...2,5	4,57.. 9,3
22	Blackline TFS *	0,46...1,39	-	-	18000/ 17100	8,9...26,5	540 / 610	≥ -30	-	0,5...1,5	-
23	Atarfil	-	-	-	-	-	до 1000	-	-	до 6,0	1200 2000

## Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	Junifol	940 <sup>(1)</sup>	-	-	26000/ 30000	-	600...800	≥ -40	-	0,75...2,5	5100
25	Carbofol	942 <sup>(1)</sup>	-	0,016..0,05 кН/мм	-	0,027...0,084 кН/мм	700	-	-	1,0...3,0	5100
	Геомембрана шероховатая	942 <sup>(1)</sup>	-	0,016..0,05 кН/мм	-	0,027...0,084 кН/мм	700	-	-	1,0...3,0	3050.. 9400
26	Carbofix	-	-	-	>0,02 кН/мм <sup>2</sup> (по диаго- нали)	-	>600	-	-	2,0...5,0	1000
27	Monarflex	0,25	-	7,3	-	-	-	-40...+75	-	0,25	-
28	Алькортин 0251*	1,4...2,375	-	-	≥0,029 кН/мм <sup>2</sup>	-	≥750	-	-	1,5;2,0	5800
	Алькортин 0274*	0,46...1,87	-	-	≥0,018 кН/мм <sup>2</sup>	-	≥550	-	-	0,5...2,0	5800
29	Bentofix	5,0	-	10/10	-	-	10/6	-	≤0,4×10 <sup>-5</sup>	6,0	4850
30	GSE StudLiner	940 <sup>(1)</sup>	-	-	0,02 кН/мм <sup>2</sup>	-	600	≥ -77	-	2,0...5,0	2000
31	GSE HD DRS	940 <sup>(1)</sup>	-	-	0,035 кН/мм <sup>2</sup>	-	≥ 700	-	-	1,0...2,5	7500

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Битумно-гидроизоляционные материалы</b>											
32	Гидрокрон	-	-	-	-	0,35...0,6 <sup>(2)</sup>	-	Высокая теплоустойчивость в течение 2 ч (+90°)	-	-	-
33	Эластокрон	-	-	-	-	0,35...0,6 <sup>(2)</sup>	-	Отличная эластичность при низких температурах (-25°) и высокая теплоустойчивость (+100°)	-	-	-
34	Бикрон	-	-	-	-	0,35...0,6 <sup>(2)</sup>	-	Отличная эластичность при низких температурах (-15°) и высокая теплоустойчивость в течение 2 ч. (+85°)	-	-	-
35	Стеклоизол	-	-	-	-	0,29...0,6 <sup>(2)</sup>	-	Гибкость при 0° и высокая теплоустойчивость в течение 2 ч (+80°)	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	Изоэласт Изоэласт К * Изоэласт П *	4,5...6,0 3,0...5,5	- -	- -	- -	0,6 / - <sup>(2)</sup> 0,6 / - <sup>(2)</sup>	- -	Температура хрупкости -40°; теплостой- кость +90°	-	-	-
37	Изопласт	5,5	-	-	-	5,8/ - <sup>(2)</sup>	-	гибкость при ≤-15°; теплостой- кость ≥+120°	-	-	1000
38	Кинепласт *	2,0...4,0	-	-	-	>0,3/ - <sup>(2)</sup>	-	гибкость при ≤-5°; теплостой- кость ≥110°	-	-	1000
39	Мостопласт	5,5	-	-	-	1,0/0,9 <sup>(3)</sup>	-	гибкость при ≤-25°; температура размягчения + 110°	-	-	1000
<b>Геотекстили</b>											
40	Terrafix 609 Terrafix 813	0,64 0,62	- -	- -	- -	12 / ≥12 12 / ≥12	70 / 40 70 / 40	- -	3,24×10 <sup>3</sup> 3,45×10 <sup>3</sup>	5,3 6,7	5800 5800
41	Secutex: PP-цветной* PP-белый *	0,4...1,2 0,15...0,4	- -	7..22,5/11..40 5..18 / 8..25	- -	- -	90 / 60 60 / 40	- -	7,3...1,7×10 <sup>3</sup> 4,4...9,5×10 <sup>3</sup>	3,6...9,5 1,8...3,3	5800 2000.. 5900
42	Secudren *	0,8...1,0	-	8 / 12	-	-	50 / 40	-	8,6×10 <sup>3</sup>	12...20	2000
43	Derotex *	0,3...0,8	-	7..16/10..25	-	-	110/80	-	2,6...4,32×10 <sup>2</sup>	3,0...5,5	5800

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
44	Geolon PET *	0,34...2,1	-	100..1000 <sup>(3)</sup> /-	-	-/ 50,0..100,0	10,0...11,0	-	-	0,7...3,0 <sup>(4)</sup>	5000
45	Geolon PP *	0,1...1,2	-	10...230 <sup>(3)</sup> /-	-	15..500/ 15..200	7...13	-	-	0,5...3,2 <sup>(4)</sup>	5200
46	NETEX *	0,11...0,3 0,4...1,2	- -	- -	- -	41...45/ 6...60	70/70	- -	1,46×10 <sup>3</sup> 3,45×10 <sup>3</sup>	1,8..9,5 7,65	2000.. 6500
47	TYPAR *	0,068...0,35	-	2,8...12,7	-	3,3...24,5	30...55	-	0,23...2,16 ×10 <sup>2</sup>	0,36...0,9	-
48	Stabilenka *	0,36...1,96	-	150..1000/ 45...100	-	-	8...12/ -	-	0,17...2,16 × 10 <sup>3</sup>	-	-
49	Polyfelt TS *	0,105...0,38	-	7,5...28/ 7,5...28	-	-	75...80/ 35...40	-	высокая водопрони- цаемость	1,0...3,2	4000 2000
50	Polyfelt P *	0,5...1,5	-	31...70/ 31...54	-	-	80 / 65...120	-	1,64×10 <sup>2</sup>	4,0...10,5 <sup>(4)</sup>	5000.. 6000
51	Polyfelt F *	0,4...0,8	-	23...35/ 23...35	-	-	85 / 85	-	1,3...2,16 ×10 <sup>2</sup> <sup>(4)</sup>	3,5...6,5 <sup>(4)</sup>	6000
52	Polyfelt PGM	0,14	-	9,0	-	-	< 80	-	-	1,4 <sup>(4)</sup>	1000; 3800
53	Polyfelt PGM G*	0,3...0,43	-	50...100/ 50...100	-	-	3.0	-	-	1,4 <sup>(4)</sup>	950... 900
54	Polyfelt Rock PEC *	0,28...0,54	-	35...200/ 14,0	-	-	13 / 60	-	2,16×10 <sup>2</sup>	1,9...3,0	5300
55	Polyfelt Rock W *	0,28...1,6	-	70...800/ 70...100	-	-	<12 / <12	-	0,86 <sup>(4)</sup>	-	3500
56	Геотекс Марка А Марка Б	0,3 0,35	- -	- -	- -	30/60 35/70	120	-60...+100	1,5×10 <sup>2</sup>	3,5 <sup>(4)</sup> 4,0 <sup>(4)</sup>	1600 2200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
57	Армодор	-	-	-	-	5,0	40...50	-	$0,4 \times 10^2$	3,0...4,0	1500
58	Полиэфирное полотно ДС5 -3	0,4	-	-	-	0,5 / 0,3	100...130	-	-	3,8	2600
59	Иглопробивное геотекстильное полотно (СТБ 1104-98)	0,4...0,5	-	-	-	0,3 / 0,2	100...130	-	-	8,0	2600
60	Пинема-ТС *	0,19...0,6	-	3,0...11, 6	-	-	115...125/ 130...140	-	$>1,3 \times 10^2$	2,2...6,7	-
61	Нетканый синтетический материал с семенами многолетних трав (СТБ 1030-96) *	0,2...0,8	-	-	-	0,5/0,35	130/150	-	-	-	1500
62	Геобел *	0,4...0,5	-	-	-	-	45	-60...+110	-	-	-
<b>Геосетки</b>											
63	Enkagrid PRO *	0,23...0,5	-	20...90 <sup>(5)</sup>	-	40...180	8	-	-	-	5000
64	Enkagrid MAX	0,24	-	20...40 <sup>(5)</sup>	-	-	10	-	-	-	5000
65	Tenax CE *	0,45...1,0	-	4,0...8,5	-	-	40...80	-	-	4,0...5,5	2300
66	HaTelit C 40/17 40/17	0,33 0,24	-	50/50 50/50	-	-	12/12 12/14	-	$\leq 190$	-	-
67	Robulon	0,52	-	-	-	40/35	35/25	-	-	10	5000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Георешетки</b>											
68	Tenax MS *	0,24...0,6	-	12...30	-	-	-	-	-	3,2	4400
69	Tenax TT SAMP *	0,3...1,0	-	25...90 <sup>(5)</sup>	-	-	-	-	-	1,3	1000
70	Геосот-Пинема*	1,15...1,8	-	-	-	-	-	-65...+40	-	75	-
71	Tenax LBO SAMP *	0,27...0,65	-	14...28/ 14...30 <sup>(5)</sup>	-	20...40/ 20...40 <sup>(6)</sup>	-	-	-	2,0	4000
72	Polyfelt ROCK G*	0,2...0,4	-	35...110/ 30...80	-	-	15 / 15	-	-	-	3200
73	Fortrac *	0,21...0,56	-	110...35/ 30...20	-	80...250	12,5	-	-	-	-
74	Tensar *	0,22...0,53	-	14...28/ 14...28 <sup>(5)</sup>	-	20...40/ 20...40	-	-	-	0,8...2,2	3800... 4000
75	Secugrid	-	-	20...40/ 20...40 <sup>(5)</sup>	-	30...60/ 30...60	8 / 8	-	-	-	4750
<b>Геоматы</b>											
76	Enkamat *	0,3...0,45	-	-	-	1,5...2,3	-	-	-	10...20	1000 5750
77	Colbondrain	0,07 кг/м	-	-	-	1,7 кН/ 0,1 м	25 / 31	-	0,95x10 <sup>2</sup>	5,3	100
78	Tenax Multimat (30 ; 100)	0,18 0,32	-	-	3,8 / 13 8 / 20	-	-	-	-	17	2200
79	Polymat *	0,43...0,76	-	1,5...2,0	-	-	-	-	-	12...20	2000
80	Tenax Promat	0,1	-	-	-	4...6 / 4...6 <sup>(6)</sup>	-	-	-	2,0	1800 4400

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
81	Secumat	0,6	-	-	-	≥ 2 / 4	≥ 15 / 10	-	-	-	2000
82	Polyfelt DC *	0,66...1,28	-	12...26/ 12...23	-	-	-	-	-	0,86... 1,83	1500... 2000
83	Polyfelt DN *	0,52...1,0	-	6,5...12/ 3,5...6,5	-	-	-	-	-	3,5...6,0	1500 2000
84	Megadrain *	0,55...0,8	-	10...20/ 10...20	-	-	-	-	-	12...20 <sup>(4)</sup>	2000
85	Enkadrain *	0,64...0,95	-	-	-	10...60	-	-	-	10...22	1000
<b>Геоячейки</b>											
86	Tenax Tenweb*	0,7...1,0	-	-	-	1,2 кН/полоса	15	-	-	75...100	5000.. 5800
87	Геокаркас	-	-	-	-	20,0	50	-40...+60	-	70...100	-
<b>Геокомпози́ты</b>											
88	Tefond Drain	0,74	-	-	-	>0,3 <sup>(2)</sup>	25	-30...+60	-	-	2070
89	Tefond Drain Plus	0,78	-	-	-	>0,35 <sup>(2)</sup>	25	-30...+60	-	-	2070
90	Tenax GT *	0,14...0,79	-	-	-	20...40/ 20...40 <sup>(6)</sup>	-	-	-	4,0...7,0	3800
91	Tenax MDP *	1,38...2,43	-	-	-	17...25	-	-	-	8...11 <sup>(7)</sup>	1500
92	Tenax Tendrain *	1,12...1,56	-	-	-	17...28	60	-	-	6...7,5 <sup>(7)</sup>	2000
93	Tenax TN *	0,57...1,32	-	-	-	10...15	60	-	-	4,5...10,0 <sup>(7)</sup>	2000
94	Tenax TNT *	0,71...1,52	-	-	-	14...23	60	-	-	5,0...11,0 <sup>(7)</sup>	2000
95	Enkagrid TRC *	0,13...0,17	-	19...38 <sup>(5)</sup>	-	20...40/ 20...40	3,5	-	2,5×10 <sup>2</sup>	-	3100

Примечание к таблице \* – приведены интервалы характеристик для различных марок и типов материалов;

- (1) – плотность,  $\text{кг/м}^3$ ;
- (2) – прочностные характеристики при ширине испытываемого образца  $b = 5 \text{ см}$ ;
- (3) – прочностные характеристики при 10%-м удлинении образца;
- (4) – характеристики материала при нагрузке  $P = 2 \text{ кН/м}^2$ ;
- (5) – прочностные характеристики при 5%-м удлинении образца;
- (6) – прочностные характеристики при максимальной нагрузке;
- (7) – характеристики материала при нагрузке  $20 \text{ кН/м}^2$ .

Геосинтетические материалы и области их применения

№ пп	Наименование материала	Область применения	Производитель
1	2	3	4
<b>Полимерные материалы</b>			
1	Полиэтилен низкой плотности (ПНП, LDPE)	Используются для производства геосинтетических элементов различного назначения	
2	Полиэтилен высокой плотности (ПВП, HDPE)		
3	Поливинилхлорид (ПВХ, PVC)		
4	Полиамид (ПА, РА)		
5	Бутилкаучук (БК)		
6	Полипропилен (ПП, PP)		
7	Полистирол (ПС, PS)		
8	Полиизобутилен (ПИБ)		
9	Полиэтиленовая пленка марки "В"	гидроизоляция плотин и дамб, водоемов, каналов	Беларусь
10	VLDPE-мембрана	<ul style="list-style-type: none"> <li>- строительство сооружений в просадочных грунтах</li> <li>- изоляция свалок; рекультивация полигонов твердых бытовых и промышленных отходов</li> <li>- гидроизоляция туннелей</li> </ul>	США

1	2	3	4
11	HDPE-мембрана	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция накопителей бытовых и промышленных отходов, полигонов ТБО, экранирование гидросооружений</li> <li>- строительство и реконструкция гидросооружений</li> <li>- гидроизоляционное и антикоррозионное покрытие бетонных, кирпичных, металлических поверхностей</li> <li>- гидроизоляция емкостей для питьевой воды</li> <li>- гидроизоляция мостов, туннелей</li> </ul>	США
12	Техполимер-мембрана	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция полигонов твердых промышленных и бытовых отходов, могильников, площадок кучного выщелачивания</li> <li>- противofiltrационная защита накопительных, аварийных резервуаров и отстойников в нефтедобывающей, химической, металлургической промышленности</li> <li>- экранирование искусственных водоемов, каналов</li> <li>- радонзащитная система зданий и сооружений</li> <li>- гидроизоляция фундаментов, цоколей, зданий, подземных сооружений и автодорог; устройство плоских кровель</li> <li>- защита от коррозии и гидроизоляция сборных и монолитных железобетонных конструкций</li> <li>- полимерное покрытие для защиты конструкций от воздействия агрессивных сред</li> </ul>	Россия

1	2	3	4
13	Гидропласт	<ul style="list-style-type: none"> <li>- гидроизоляция подземных туннелей, мостов, фундаментов зданий</li> <li>- улучшение сцепления насыпного грунта с подлежащим дренажное полотно</li> </ul>	Россия
14	FATRAFOL- 801	гидроизоляция подземных и ирригационных сооружений от напорной и просачивающейся жидкости	Чехия
15	FATRAFOL-803	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция каналов, наземных и подземных сооружений от агрессивной напорной и просачивающейся жидкости</li> <li>- создание противорадонового барьера оснований сооружений</li> </ul>	Чехия
16	FATRAFOL -804	гидроизоляция кровли	Чехия
17	AQUAPLAST-805	гидроизоляция прудов, оросительных и пожарных водохранилищ, мелких резервуаров воды	Чехия
18	ЕКОPLAST-806	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция сооружений от поверхностных и грунтовых вод, хранилищ нефтепродуктов;</li> <li>- создание противорадонового барьера</li> </ul>	Чехия
19	FATRAFOL -807	ремонт кровель с битумосодержащими покрытиями	Чехия
20	FATRAFOL-808	гидроизоляция для устройства кровель с растительным слоем – «зеленых кровель»	Чехия
21	FATRAFOL –809	гидроизоляционное укрытие обработанных участков полигонов ТБО	Чехия

1	2	3	4
22	FATRAFOL 810	кровельная гидроизоляция	Чехия
23	FATRAPAR-E	создание паронепроницаемых барьеров, кровельных конструкций с изоляционным слоем	Чехия
24	Полипропиленовая пленка–двухслойно-ориентированная	гидроизоляционное покрытие объектов сложной конфигурации (туннели)	США
25	Бутилкаучук – пленка, армированная нейлоном	экранирование водоемов, каналов, резервуаров	США
26	SWELLTITE	наружная гидроизоляция подземных строительных конструкций и сооружений	США
27	Tefond	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция междуэтажных перекрытий</li> <li>- наружная гидроизоляция подземных строительных конструкций и сооружений</li> <li>- защита гидроизоляционных мембран от механических повреждений</li> <li>- использование в качестве подушки под фундамент</li> </ul>	Италия
28	Tefond HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- защита гидроизоляционных мембран от механических повреждений</li> <li>- укрепление грунта при строительстве автомобильных и железных дорог</li> <li>- гидроизоляция туннелей и подземных сооружений</li> <li>- разделительный слой дорожных конструкций</li> <li>- дренаж в дорожных конструкциях</li> </ul>	Италия
29	Nicotarp (марки 100; 100HD; 100 2HD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- гидроизоляция резервуаров, бассейнов, отстойников, полигонов ТБО</li> <li>- организация шлакоотвалов</li> </ul>	Испания

1	2	3	4
30	DURA SEAL HD DURA SEAL LL DURA SEAL PP FRICTION SEAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция накопителей бытовых и промышленных отходов, экранирование гидросооружений</li> <li>- изоляция растворных каналов и прудов</li> <li>- изоляция промышленных площадок и поплавокых покрытий</li> </ul>	Швейцария
31	Nicoflex (на основе Nicotarp)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- гидроизолирующий слой для резервуаров для хранения и сбора воды</li> <li>- облицовка декоративных прудов и озер</li> <li>- прокладки для водостойкой отмостки</li> <li>- гидроизоляция дорог, туннелей</li> <li>- защита бетонных конструкций</li> <li>- покрытия для отвальных куч</li> <li>- водонепроницаемые емкости для жидкостей для туннелей</li> <li>- непроницаемая для жидкости отмостка с целью защиты почвы</li> <li>- непроницаемые для воздуха вакуумные покрытия для более быстрой усадки песка</li> <li>- сбор сточных вод для дренажа и канав на автомагистралях</li> </ul>	Испания
32	Blackline TFS	гидроизоляция водоемов, прудов	Дания
33	Atarfil	изоляция полигонов бытовых и промышленных отходов	Испания
34	Atarflex	<ul style="list-style-type: none"> <li>- гидроизоляция туннелей</li> <li>- внутренняя отделка интерьеров объектов и резервуаров</li> </ul>	Испания

1	2	3	4
35	Junifol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция свалок бытовых и промышленных отходов и накопителей</li> <li>- противофильтрационная защита автостоянок, бензоколонок и автострад</li> <li>- гидроизоляция низконапорных плотин, каналов, хранилищ питьевой воды</li> <li>- обустройство туннелей, мостов, виадуков</li> <li>- изоляция строительных площадок</li> <li>- защита от просачивания воды из озер, морей, водохранилищ и каналов</li> </ul>	Чехия
36	Carbofol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- увеличение стойкости асфальтового дорожного полотна при строительстве и ремонте</li> <li>- гидроизоляция полигонов для захоронения отходов</li> <li>- противофильтрационная завеса в гидросооружениях для защиты от загрязнения</li> <li>- изоляция резервуаров хранения питьевой воды</li> <li>- гидроизоляция дамб и каналов</li> </ul>	Германия
37	Carbofix	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изоляция промышленных и коммунальных канализационных каналов в химической и металлургической промышленности</li> <li>- изоляция отстойников</li> <li>- защита бетонных конструкций от агрессивных веществ и элементов</li> <li>- реконструкция уже действующих объектов</li> </ul>	Германия

1	2	3	4
38	Bentofix	<ul style="list-style-type: none"> <li>- гидроизоляция дамб, каналов, водостоков</li> <li>- покрытие и изоляция засоренной и зараженной почвы</li> <li>- изоляция оснований под свалки отходов</li> <li>- изоляция паров и газов</li> <li>- защита геомембран от механических повреждений</li> <li>- устройство сорбционных мембран</li> <li>- устройство вертикальных перегородок</li> <li>- увеличение стойкости асфальтового и дорожного полотна при строительстве и ремонте</li> </ul>	Германия
39	Monarflex	<ul style="list-style-type: none"> <li>- радонзадерживающий барьер</li> <li>- защитное покрытие для складироваемых материалов</li> <li>- защитный подстилающий слой</li> <li>- защитные покрытия мостов</li> </ul>	Дания
40	Алькортин 00251 Алькортин 00274	гидроизоляция хранилищ с отходами, нефтяных и других инженерных сооружений	Россия
41	GSE StudLiner	защита бетона от коррозии при строительстве канализационных отстойников, бетонных фундаментов в обводненных грунтах, промышленных емкостей и резервуаров, очистных сооружений	Дания
42	GSE HD DRS	гидроизоляция дамб, каналов с откосами повышенной крутизны, полигонов для захоронения отходов	Дания

1	2	3	4
<b>Битумно-полимерные гидроизоляционные материалы</b>			
43	Гидрокрон Г Гидрокрон ТН	- гидроизоляция фундаментов, мостов, туннелей, дорог, бассейнов - ремонт старого кровельного ковра	Россия
44	Бикрон	ремонт старого кровельного ковра	Россия
45	Эластокрон	- устройство и ремонт примыканий и других кровельных узлов; - гидроизоляция помещений с влажным режимом	Россия
46	Стеклоизол	устройство кровли и гидроизоляции	Россия
47	Изоэласт К  Изоэласт П	- устройство кровель различных конфигураций - гидроизоляция фундаментов и подземных сооружений (гаражи, туннели, галереи) - гидроизоляция мостов, виадуков - противодиффузионная защита бассейнов и каналов	Россия
48	Изопласт	гидроизоляция мостов, дорог, тоннелей, виадуков, бассейнов и других сооружений	Россия
49	Кинепласт	- устройство кровель различных конфигураций - гидроизоляция фундаментов и подземных сооружений (гаражи, туннели, галереи) - гидроизоляция мостов, виадуков - противодиффузионная защита бассейнов и каналов	Россия
50	Мостопласт	- гидроизоляция мостов, дорог, тоннелей, виадуков, бассейнов и других сооружений в районах строительства с суровым климатом	Россия

1	2	3	4
<b>Геотекстили</b>			
51	Terrafix	<ul style="list-style-type: none"> <li>- противоэрозионная защита и рекультивация нарушенных земель</li> <li>- фильтрующий слой при возведении дамб</li> <li>- реконструкция и защита дна водоканалов</li> <li>- укрепление берегов рек и морей</li> <li>- защита от размыва и облицовка водоемов, рек, водоканалов</li> <li>- строительство искусственных оснований и фундаментов, взлетно-посадочных полос аэродромов, армогрунтовых конструкций, подпорных стенок, автостоянок и грузовых терминалов</li> <li>- устройство кровель</li> <li>- дренаж</li> </ul>	Германия
52	Depotex	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фильтр в дренажных и газоотводных системах</li> <li>- гидроизоляция полигонов бытовых и промышленных отходов</li> <li>- устройство кровель</li> <li>- разделительный слой на объектах дорожного и железнодорожного строительства</li> <li>- укрепление берегов от размыва</li> <li>- защитный слой при строительстве искусственных оснований и фундаментов</li> <li>- слой для замены толстых подстилающих слоев из песка</li> </ul>	Германия

1	2	3	4
53	Secutex	<ul style="list-style-type: none"> <li>- разделительный слой при строительстве автодорог</li> <li>- защита изолирующего покрытия или трубопроводов от механических повреждений</li> <li>- защитное и дренажное покрытие полигонов твердых бытовых и промышленных отходов</li> <li>- покрытие и изоляция засоренной и зараженной почвы</li> <li>- гидроизоляция дамб, каналов, водостоков</li> <li>- устройство сорбционных мембран</li> <li>- увеличение стойкости асфальтового дорожного полотна при строительстве и ремонте</li> </ul>	Германия
54	Secudren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- дренаж воды и газов при строительстве полигонов бытовых и промышленных отходов</li> <li>- защитный слой геомембран</li> <li>- системы вертикального дренажа фундаментов, подземных бетонных конструкций</li> <li>- водоотвод при строительстве дорог и фундаментов</li> <li>- дренажная система на объектах паркового и ландшафтного строительства</li> </ul>	Германия
55	Stabilenka	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирование насыпей и откосов дорог на слабых основаниях;</li> <li>- укрепление свалок</li> </ul>	Германия
56	Geolon PET	армирование насыпей повышенной крутизны, подпорных стенок, слабых оснований	Германия

1	2	3	4
57	Geolon PP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирование слабых оснований и насыпей с откосами повышенной крутизны</li> <li>- армирующий, разделительный и фильтрующий слой при строительстве и ремонте дорожного полотна</li> </ul>	Германия
58	ТУРАР	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирующий, фильтрующий, разделительный и дренажный слой при строительстве автодорог</li> <li>- фильтр при устройстве дренажных систем</li> <li>- дренаж при устройстве фундаментов, подпорных стен, насыпей из переувлажненного грунта</li> <li>- укрепление берегов рек и водоемов</li> </ul>	США
59	NETEX	<ul style="list-style-type: none"> <li>- разделительный слой при строительстве автодорог и автодорожных насыпей</li> <li>- укрепление насыпей на слабых основаниях</li> <li>- защита откосов от эрозии</li> <li>- разделительный слой при строительстве временных опорных конструкций</li> <li>- дренажный слой при строительстве туннелей и трубопроводов</li> <li>- фильтрующий элемент под железнодорожным полотном</li> <li>- фильтрующий элемент защиты мостовых опор</li> <li>- защита от прорастания растительности вокруг фундаментов, песчаного дна водоемов</li> </ul>	Чехия

1	2	3	4
60	Дорнит	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирование насыпей из грунта повышенной влажности</li> <li>- разделительный и дренажный слой дорожного полотна</li> <li>- устройство кровли</li> <li>- фильтр при устройстве дренажных систем</li> <li>- защита склонов и откосов от эрозии</li> <li>- армирование дна и откосов рек и водоемов</li> <li>- защита мембран от механических повреждений</li> <li>- защита от грызунов и прорастания корней</li> </ul>	Беларусь
61	Polyfelt TS	разделительный и фильтрующий слой при устройстве дорожных насыпей	Австрия
62	Polyfelt P	защита гидроизоляционного материала от механических повреждений	Австрия
63	Polyfelt F	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фильтрующий слой при строительстве гидросооружений</li> <li>- укрепление откосов и дна водоемов</li> </ul>	Австрия
64	Polyfelt PGM	укрепление и стабилизация дорожного полотна	Австрия
65	Polyfelt PGM G	армирование асфальтового дорожного полотна	Австрия
66	Polyfelt Rock PEC	укрепление и дренаж дорожного полотна	Австрия
67	Polyfelt Rock W	армирование грунтовых насыпей	Австрия
68	Армодор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирование грунтовых насыпей</li> <li>- защита мембран от механических повреждений</li> </ul>	Беларусь

1	2	3	4
69	Полиэфирное полотно ДС5-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- предотвращения опускания засыпок в почвы с низкой несущей способностью</li> <li>- фильтр при устройстве дренажных систем</li> <li>- укрепление дорожных покрытий на слабых основаниях</li> <li>- укрепление набережных и откосов, предрасположенных к сползанию</li> </ul>	Беларусь
70	Пинема-ТС	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление и дренаж дорожного полотна</li> <li>- фильтр при устройстве дренажных систем</li> </ul>	Беларусь
71	Нетканый синтетический материал с семенами многолетних трав (СТБ 1030-96)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление откосов земляных и водоотводных сооружений</li> <li>- озеленение участков местности</li> <li>- реконструкция мелиоративных систем</li> <li>- биологическая защита участков местности, загрязненных радионуклидами</li> </ul>	Беларусь
72	Полотно иглопробивное геотекстильное Геобел	балластировка труб при строительстве трубопроводов	Беларусь
73	Geolon GRID	армирование асфальтобетонных покрытий	Германия
<b>Геосетки</b>			
74	Enkagrid PRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление слабых оснований</li> <li>- армирование грунтовых подпорных стен</li> <li>- армирование насыпей с откосами повышенной крутизны</li> </ul>	Германия
75	Enkagrid MAX	армирование дорожных насыпей на слабых основаниях	Германия
76	Ha Telit	армирование асфальтобетонных покрытий	Германия

1	2	3	4
77	Tenax CE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- дренаж при устройстве полигонов бытовых отходов</li> <li>- защита геомембран от механических повреждений</li> <li>- дренаж жидкостей и газов, присутствующих в почве над и под покрывающей мембраной</li> <li>- выщелачивание и сбор дождевой воды над геомембраной в объектах строительства</li> </ul>	Италия
<b>Георешетки</b>			
78	Tenax MS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление основания насыпей</li> <li>- разделение внутренних оснований насыпей и дорог</li> </ul>	Италия
79	Tenax TT SAMP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление грунта при строительстве опорных стен</li> <li>- укрепление крутых склонов</li> <li>- укрепление земляных насыпей</li> <li>- восстановление оползневых участков</li> <li>- стабилизация набережных</li> </ul>	Италия
80	Геосот-Пинема	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление откосов земляных насыпей</li> <li>- армирование слабых оснований и строительных конструкций</li> </ul>	Беларусь
81	Polyfelt ROCK G	армирование асфальтобетонных покрытий	Австрия
82	Fortrac	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирование крутых откосов и вертикальных стен</li> <li>- армирование грунта и укрепление откосов насыпей на слабых основаниях</li> <li>- армирующий слой при устройстве дорог на слабых основаниях</li> </ul>	Германия
83	Tensar	армирование грунта и укрепление откосов в насыпях при строительстве дорог	Великобритания

1	2	3	4
84	Secugrid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- армирование оснований дорожных одежд автомагистралей на слабых основаниях, крутых склонах и в подпорных конструкциях</li> <li>- армирование оснований насыпей и насыпных слоев на грунтах, усиленных сваями</li> <li>- армирование трубопроводных траншей</li> <li>- защитное покрытие полигонов для захоронения отходов и шламонакопителей</li> </ul>	Германия
85	Tenax LBO SAMP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- укрепление оснований насыпей</li> <li>- армирование дополнительного зернистого слоя асфальтобетонного покрытия и балластного слоя железнодорожного полотна</li> <li>- защита асфальтобетонных покрытий от возникновения трещин</li> <li>- защита от образования колеи и усталостного трещинообразования в дорожных одеждах</li> <li>- распределение нагрузок</li> <li>- уменьшение грязевых потоков, стабилизация уклонов дорог и набережных</li> <li>- усиление склонов</li> <li>- защита от эрозии</li> </ul>	Италия
<b>Геоматы</b>			
86	Enkamat	защита грунтовых откосов и склонов от эрозии	Германия
87	Colbondrain	вертикальный дренаж в слабых грунтах	Германия

1	2	3	4
88	Tenax Multimat (30, 100)	защита откосов от эрозии	Италия
89	Polymat	- защита откосов от эрозии - уменьшение скорости водного потока	Австрия
90	Tenax Promat	защита откосов от эрозии	Италия
91	Robulon	- противозерозионная защита откосов повышенной крутизны - озеленение берегов водоемов - защита русел водотоков - удержание растительного слоя на скалистых склонах - защита гидроизоляции от механических повреждений	Германия
92	Secumat	- противозерозионная защита склонов и откосов объектов дорожного и железнодорожного строительства - защитное покрытие при строительстве полигонов для захоронения отходов - защита берегов рек и каналов от воздействия волн и водного потока - экстремальное озеленение и рекультивация, армирование грунта	Германия
93	Polyfelt DC Polyfelt DN	горизонтальное дренирование при высоких нагрузках	Австрия
94	Megadrain	горизонтальное дренирование при незначительном гидравлическом градиенте	Австрия
95	Enkadrain	- фильтр при устройстве вертикальных и горизонтальных дренажных систем - дренаж подземных сооружений	Германия

1	2	3	4
96	Voltex	изоляция вертикальных и горизонтальных поверхностей туннелей, крыш, подземных сооружений	США
97	Bentomat	противофильтрационный экран при строительстве свалок и полигонов ТБО	США
98	Na Bento	- гидроизоляция полигонов захоронения отходов - гидроизоляция фундаментов	США
<b>Геоячейки</b>			
99	Tenax Tenweb	- защита от эрозии склонов, набережных, берегов озер и рек - стабилизация оснований дорог и парковочных площадок	Италия
100	Прудон-2004	- укрепление откосов насыпных сооружений, конусов мостов и путепроводов - строительство подпорных стенок - укрепление оснований автомобильных и железных дорог, русел, постоянных водотоков, аэродромов, вертолетных площадок	Россия
101	Геокаркас	- армирование слабых оснований и подпорных стен - защита конусов путепроводов - защита откосов от эрозии - укрепление откосов и дорожных конструкций	Россия
102	FATRAFOL- 790	облицовка бассейнов	Чехия
103	Tefond Drain	- защита оклеечной гидроизоляции - дренаж защищаемых поверхностей зданий	Италия
104	Tefond Drain Plus	- гидроизоляция каналов, туннелей - дренаж воды - дренаж при создании садов и газонов на крышах	Италия

1	2	3	4
105	TEX-NET	устройство дренажных систем	Швейцария
106	Tenax GT	стабилизация и укрепление грунта	Италия
107	Tenax MDP	фильтрация, дренаж и механическая защита при устройстве полигонов по захоронению отходов, подземных сооружений, опорных стен, подземных каналов	Италия
108	Tenax Tendrain	фильтрация, дренаж и распределение нагрузки при устройстве полигонов по захоронению отходов, подземных сооружений, опорных стен, подземных каналов	Италия
109	Tenax TN	фильтрация, дренаж и распределение нагрузки при устройстве полигонов по захоронению отходов, подземных коммуникаций, подпорных стен, садов, спортивных площадок, оснований дорог, земляных туннелей	Италия
110	Tenax TNT	фильтрация, дренаж и распределение нагрузки при устройстве полигонов по захоронению отходов, подземных сооружений, опорных стен, подземных каналов, садов и спортивных площадок, оснований дорог	Италия
111	Enkagrid TRC	разделение, фильтрация и армирование грунта при устройстве дорожных одежд	Германия

Научное издание

МИНЧУКОВА Маргарита Евгеньевна

ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ:  
ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА,  
ПРИМЕНЕНИЕ

Монография

Технический редактор М.И. Гриневич  
Компьютерная верстка О.В. Дубовик

---

Подписано в печать 02.06.2006.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 7,4. Уч.-изд. л. 5,8. Тираж 105. Заказ 617.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.