

Научная статья
УДК 624.131.65.001.5

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ВЫПОЛНЯЮЩЕГО ФУНКЦИЮ РАЗДЕЛЕНИЯ

Василий Викторович Наумов¹, Павел Владимирович Афонин²,
Дмитрий Сергеевич Максимов³

^{1, 2, 3} ООО «ТЕРАТЕКС», Благовещенск, Республика Башкортостан, Россия

¹ nvv@teratexgeo.ru

Аннотация. В статье приведены результаты исследования фильтрующей способности разделительных геосинтетических прослоек при капиллярном поднятии воды. Определены влияющие на фильтрационную способность физико-механические и технологические показатели геотекстилей.

Ключевые слова: геотекстиль, капиллярное поднятие воды, капиллярное прерывание, фильтрация геотекстиля, поверхностная плотность геотекстиля, разделение грунта

Для цитирования: Наумов В.В., Афонин П.В., Максимов Д.С. Фильтрационная способность геосинтетического материала, выполняющего функцию разделения // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2022. Т. 306. С. 41–49.

Original article

FILTRATION CAPACITY OF GEOSYNTHETIC MATERIAL PERFORMING THE SEPARATION FUNCTION

Vasily V. Naumov¹, Pavel V. Afonin², Dmitry S. Maksimov³

^{1, 2, 3} «TERATEX», Blagoveshchensk, Republic of Bashkortostan, Russia

¹ nvv@teratexgeo.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the filtering capacity of separating geosynthetic interlayers during capillary rise of water. The physical-mechanical and technological parameters of geotextiles affecting the filtration capacity are determined.

Keywords: geotextile, capillary rising of water, capillary breaking, geotextiles filtration, mass per unit area of geotextiles, soil separation

For citation: Naumov V.V., Afonin P.V., Maksimov D.S. Filtration capacity of geosynthetic material performing the separation function. *Proceedings of the VNIIG*. 2022. 306:41-49. (In Russ.).

Применение геосинтетических материалов в различных грунтовых конструкциях позволяет оптимизировать конструкции или решить локальную проблему. Геосинтетические материалы можно классифицировать по видам в зависимости от выполняемых функций: армирование, разделение, фильтрация, дренирование, борьба с эрозией, гидроизоляция, теплоизоляция, защита [1, 2].

При строительстве линейных объектов автомобильных, железных дорог, а также в гидротехническом и горном строительстве применяется геосинтетический материал, выполняющий функцию разделения. Применяя геотекстильные материалы для разделения грунтов, не стоит забывать о функциях фильтрации и дренирования, так как эти свойства материалов взаимосвязаны и работают в конструкции одновременно. Например, в автомобильной дороге для геосинтетического материала, выполняющего функцию разделения, есть требования [3, таблица 1], которые описывают основные технические характеристики. Однако требование коэффициента фильтрации является справочным показателем и не регламентируется. Аналогичные требования предъявляются в других стандартах на геосинтетические материалы [4, 5], но обязательными для контроля являются показатели прочности и фильтрации, при этом минимальные показатели стандартами не определены. Ухудшение фильтрационных свойств геосинтетического материала, выполняющего функцию разделения, может привести к нарушению водно-теплого режима грунтовой конструкции с образованием увлажненного грунта под геосинтетическим материалом и, как следствие, ухудшению физико-механических характеристик грунта. В связи с этим возникают деформации ослабленного грунта. Такие наблюдения были описаны в работах [6, 7], где зафиксировано снижение фильтрационной способности нетканого геотекстиля на основной площадке земляного полотна и, как следствие, образование деформаций ослабленного грунта в результате его переувлажнения.

На основании вышесказанного были произведены лабораторные исследования влияния разделяющей геосинтетической прослойки в зоне капиллярного поднятия воды в грунте [8].

Следовательно, целью исследования было установить влияние разделительной прослойки в зоне капиллярного поднятия воды в грунте и изменения влажности грунта на границе разделения.

Для исследования были изготовлены два грунтовых лотка с размерами 200×300×400 мм (рис. 1). В боковой стенке лотка на уровне 50 мм от дна располагался подвод воды, имитирующий водонасыщение грунтовой водой прототипа.

В качестве разделяющей геосинтетической прослойки был выбран материал на основании нормативных требований в автодорожной отрасли.

Для оптимизации времени эксперимента и ускорения процесса капиллярного поднятия воды в качестве грунта для испытания использовался песок средней крупности по ГОСТ 8736-2014 [9].

В боковые отверстия через шланги подавалась вода для поддержания грунтовой воды на уровне 80 мм от дна лотка.

Общий вид модели представлен на рис. 2.

При разборке модели отбираются пробы на влажность и плотность грунта в аналогичных точках, как при сооружении модели (рис. 3).

По результатам исследования было установлено, что все три испытанные варианта разделяющих прослоек работают в качестве капиллярно-прерывания и ограничивают подъем воды, при этом образуют под собой зону повышенной влажности (рис. 4). Повышенная влажность образуется из-за прерывания капиллярного поднятия и невозможности бокового отвода воды (глухие стенки грунтового лотка).

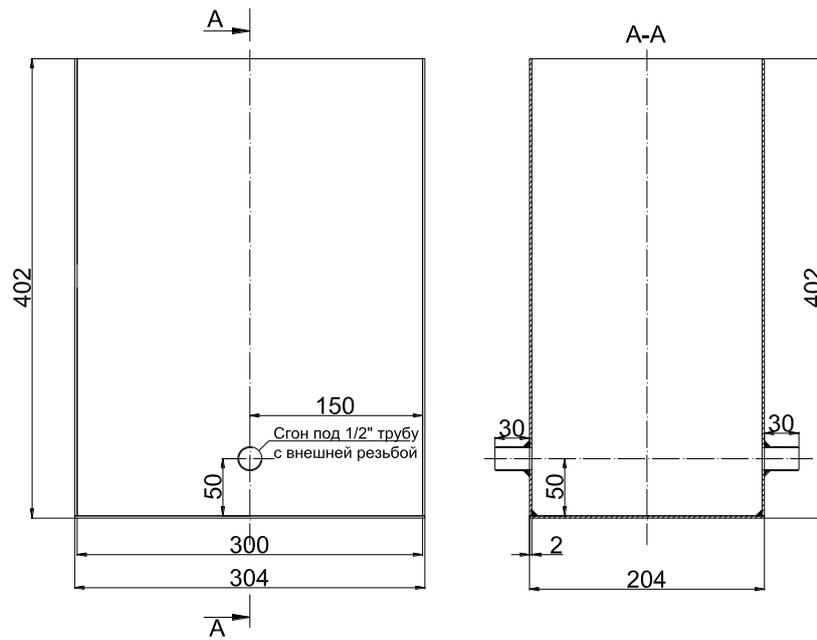


Рис. 1. Вид грунтового лотка



Рис. 2. Общий вид лотков с водонасыщением



Рис. 3. Разборка и укладка разделяющей прослойки

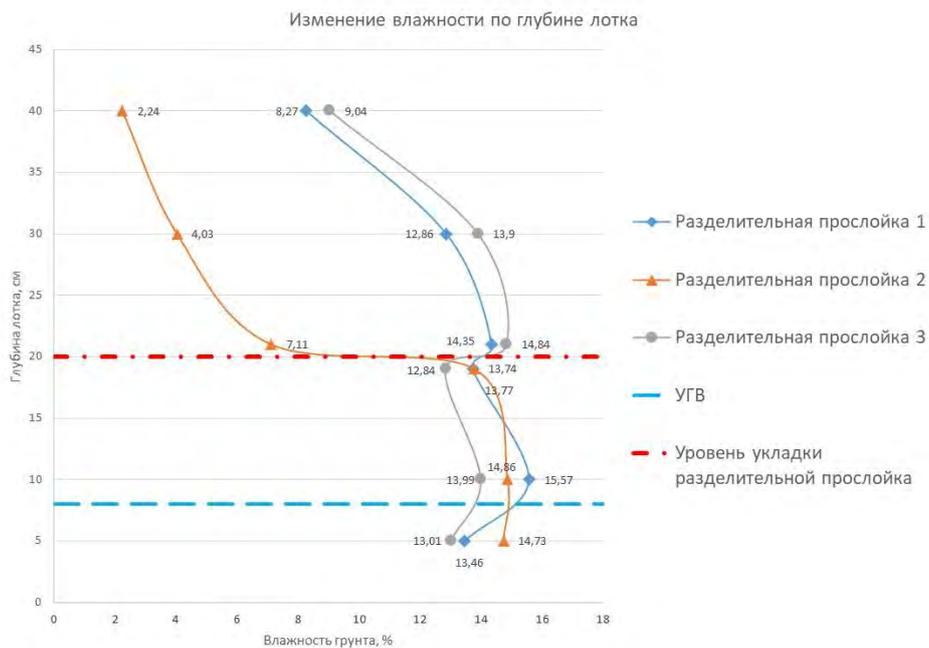


Рис. 4. Изменение влажности грунта по высоте грунтового лотка при различных разделяющих прослойках

Анализируя данные, приведенные на рис. 4, видно, что разделяющая прослойка 2 работает с проявлением мембранного эффекта. Влажность под этой прослойкой и над ней составляет 13,77 и 7,11 % соответственно. Отмечается значительный перепад влажности – практически в 2 раза.

Резкого перепада влажности грунта под и над разделяющей прослойкой 1 и 3 не наблюдается.

В связи с этим были проанализированы фильтрационные способности разделяющих прослоек, исследованных в эксперименте (таблица ниже).

Коэффициент фильтрации геосинтетических материалов, участвующих в исследованиях

Наименование материала	Коэффициент фильтрации, м/сут
Разделяющая прослойка 1	65
Разделяющая прослойка 2	8
Разделяющая прослойка 3	78

Разделительная прослойка 2 имеет наименьший коэффициент фильтрации, что объясняет задержку воды. Данный эффект похож на ситуацию, когда происходит кольматация материала, и он становится менее водопроницаемым.

Работа разделительной прослойки оказывает положительный эффект на состояние вышележащих и нижележащих грунтов. Однако проведенные исследования показывают, что если разделительная прослойка создает

мембранный эффект (недостаточно пропускает воду), то возникает ряд неблагоприятных условий в виде скопления воды под разделительной прослойкой, что способствует дополнительному увлажнению грунта в зоне контакта.

Увеличение влажности грунта на контакте с геосинтетической прослойкой приводит к ухудшению коэффициентов сцепления и трения грунтов и, как следствие, к уменьшению модуля упругости совместной конструкции. Данные факты подтверждены на VIII международной научно-практической конференции «Инновационные технологии: пути повышения межремонтных сроков службы автомобильных дорог» 27 января 2022 г. в выступлении доктора техн. наук, профессора ФАУ «РОСДОРНИИ» Кулижников Александра Михайловича, а также по результатам работ, проведенных ранее в МАДИ.

Разделяющие прослойки (необлагодующие или обладающие малыми коэффициентами фильтрации) могут в процессе эксплуатации аккумулировать под собой (в подстилающем грунте) повышенную влажность, тем самым способствуя созданию зоны «ослабленного» грунта (грунта с пониженными прочностными характеристиками), то есть формированию в дорожной одежде водяных линз, что может приводить к развитию деформаций грунта от сдвиговых нагрузок и усилению параметров влияния морозного пучения. Следовательно, важным физико-механическим показателем, определяющим работу материала в конструкции дорожной одежды, является требуемое для данных конструкций и подстилающих грунтов значение коэффициента фильтрации разделяющих прослоек.

Косвенное влияние на фильтрационную способность также оказывает поверхностная плотность нетканого геотекстиля. Чем выше поверхностная плотность, тем ниже становятся характеристики коэффициента фильтрации. При этом есть зависимость: чем выше поверхностная плотность, тем выше механические характеристики нетканого геотекстиля и ниже фильтрационная способность. Однако такая зависимость не работает при сравнении нетканых материалов одной поверхностной плотности, но разного исходного сырья (полипропилен, полиэфир) или способа производства (штапель, спанбонд, каландрирование, термообработка). В лаборатории АНО «НИИ ТСК» провели испытания на прочность при растяжении различного (по способу производства) нетканого геотекстиля с разной поверхностной плотностью. Результаты представлены на рис. 5.

Анализируя представленные на рис. 5 результаты, можно сделать вывод, что поверхностная плотность нетканого геотекстиля является лишь косвенным показателем для выполнения основных функций геотекстиля. Сегодняшние технологии производства позволяют изготавливать нетканый геотекстиль с более высокими механическими характеристиками при уменьшении поверхностной плотности.

Анализируя рис. 6, можно сделать вывод, что нетканый геотекстиль из полиэфирного сырья дает меньшую прочность при одинаковых способах производства. Производство нетканого геотекстиля из полипропиленового сырья дает большую прочность нетканого геотекстиля.

На графике рис. 7 видно, что прочность нетканого геотекстиля может быть такой же, как у нетканого геотекстиля с большей чем в 2 раза поверхностной плотностью.



Рис. 5. Прочность при растяжении нетканого геотекстиля при различной поверхностной плотности. Фотография из аккаунта АНО «НИИ ТСК»

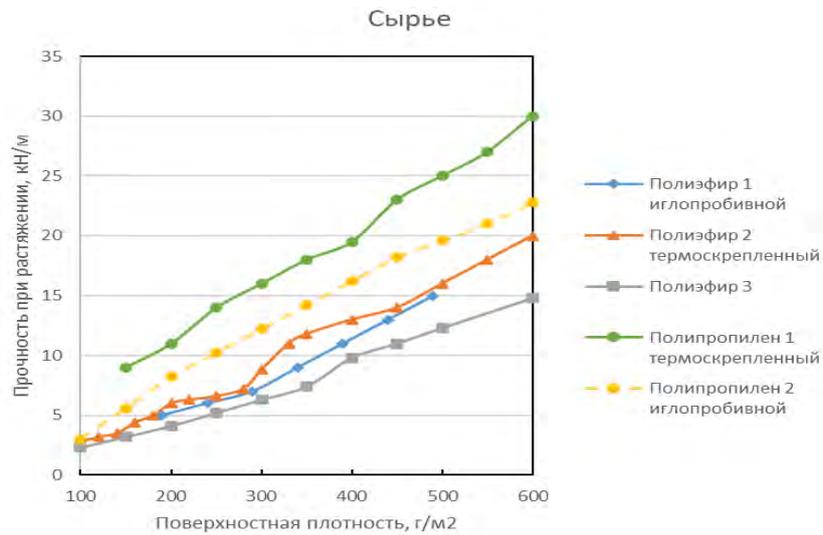


Рис. 6. Сравнение прочности нетканого геотекстиля для различного сырья и типа изготовления



Рис. 7. Сравнение прочности при растяжении для различных нетканых геотекстилей

Таким образом, можно сделать вывод, что ориентироваться на такой нестабильный показатель, как поверхностная плотность, ошибочно, так как он не позволяет четко определить и сравнить требуемые физико-механические показатели геотекстильных материалов, участвующие в работе конструкции.

Вторым по значимости для определения фильтрации геотекстильных материалов стал показатель открытых пор. Исследования влияния структурных параметров геотекстилей на их фильтрующую способность проводили в Институте мелиорации в 2006 г. [10]. Учитывая, что чем выше прочность геотекстиля, тем выше поверхностная плотность, но ниже коэффициент фильтрации, был произведен анализ влияния диаметра элементарных волокон на коэффициент фильтрации геотекстиля, где отмечается, что чем больше диаметр элементарных волокон, тем больше значение коэффициента фильтрации. Следовательно, разный диаметр волокон у различных нетканых геотекстилей зависит не от поверхностной плотности, а от типа сырья материала и способа изготовления. Структура фильтров (нетканого геотекстиля) под микроскопом показывает, что размер пор, видимый в проходящем свете, различный и зависит от способа производства. А размер пор влияет на фильтрационную способность.

Стоит обратить внимание, что основной принцип проектирования геотекстиля основывается на скреплении волокон путем различных способов термического и механического воздействия, таких как каландрирование, иглопробив, термическое воздействие сжатым воздухом и подогрев в печах. Данные способы основаны на перпендикулярном скреплении материала относительно плоскости полотна и не позволяют создавать пути фильтрации воды вдоль тела материала. Следовательно, продольная фильтрация в геотекстилях данного типа затруднена и практически невозможна на большие расстояния в независимости от толщины материала, что подтверждается при проведении следующего эксперимента на капиллярное поднятие воды с выводом геополотна из лабораторного лотка.

В рамках развития нашего эксперимента в одном из лотков было прорезано плоскощелевое отверстие на высоте 20 см, далее последовательность опыта по капиллярному поднятию повторялась, но геотекстильный материал выводился через отверстие за периметр лотка. В результате эксперимента вывода воды в плоскости материала не наблюдалось. Это свидетельствует о том, что без воздействия дополнительного давления (подпора) вода не будет дренировать в плоскости. Поэтому важно не накапливать воду возле геотекстильной прослойки, а иметь достаточные коэффициенты фильтрации для прохождения воды через материал.

Заключение

Проведенные исследования различных разделительных прослоек, а также анализ нормативной документации показывают, что отсутствие нормативного требования коэффициента фильтрации к разделительным прослойкам может приводить к тому, что пониженная фильтрационная способность разделительной прослойки способствует образованию под ней дополнительного увлажнения нижележащего грунта и, как следствие,

ухудшению физико-механических характеристик грунта, что в дальнейшем приводит к его деформациям.

Поверхностная плотность геотекстильного материала является косвенным показателем для выполнения основных функций. Сегодняшние технологии производства нетканого геотекстиля позволяют изготавливать нетканый геотекстиль с более высокими механическими характеристиками при уменьшении поверхностной плотности. Данный показатель характеризует затраты сырья на производство материала и не отражает прочностные и фильтрационные показатели, так как является технологическим показателем производственных линий, зависящим от вида сырья и технологии скрепления полотен геотекстиля, необходимых для достижения тех или иных характеристик. Использование современных геотекстильных материалов позволит оптимизировать затраты при правильном указании физико-механических показателей без поверхностной плотности.

Таким образом, в результате проделанной работы выявлена необходимость исследования физико-механических показателей разделительных геосинтетических прослоек, применяемых в грунтовых сооружениях в условиях, приближенных к проектным и эквивалентным нагрузкам, с целью определения минимально допустимых и безопасных показателей, участвующих в работе конструкций, таких как: прочность при растяжении, коэффициенты фильтрации, прочность при продавливании и диаметры открытых пор (для фильтрующих материалов).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **ГОСТ Р 55028-2012.** Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения.
2. **ГОСТ Р 53225-2008.** Материалы геотекстильные. Термины и определения.
3. **ГОСТ Р 56419-2015.** Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для разделения слоев дорожной одежды из минеральных материалов. Технические требования
4. **ГОСТ 32804-2014 (EN 13251:2005).** Материалы геосинтетические для фундаментов, опор и земляных работ. Общие технические требования (DIN EN 13251:2005 MOD)
5. **ГОСТ 33069-2014 (EN 13253:2005).** Материалы геосинтетические для защиты от эрозии (береговая защита). Общие технические требования (DIN EN 13253:2005 MOD)
6. **Бушуев М.В.** Эффективность применения геотекстиля в конструкции железнодорожного пути: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. СПб., 2008. 185 с.
7. **Черняев Е.В.** Техничко-технологические решения по повышению нормативного срока службы геотекстиля, применяемого в конструкции балластной призмы железнодорожного пути: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. СПб., 2010. 160 с.
8. **Наумов В.В., Максимов Д.С., Афонин П.В., Зайцев А.А.** Исследование влияния разделяющей геосинтетической прослойки в зоне капиллярного поднятия воды в грунте // Проектирование автомобильных дорог: сборник докладов 80-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. М.: А-проджект, 2022. С. 109–117.
9. **ГОСТ 8736-2014.** Песок для строительных работ. Технические условия.

10. Казмирук И.Ч., Митрахович А.И., Климов В.Т., Опанасенко О.Н. Влияние структурных параметров геотекстилей на их фильтрующую способность // Мелиорация. 2016. № 1 (75). С. 11–20.

REFERENCES

1. GOST R 55028-2012. Public roads and highways. Geosynthetics for road construction. Classification, terms and definitions. (In Russ.)
2. GOST R 53225-2008. Geotextiles. Terms and definitions. (In Russ.)
3. GOST R 56419-2015. Automobile roads of general use. Geosynthetic materials for separation of pavement layers from mineral materials. Technical requirements. (In Russ.)
4. GOST 32804-2014 (EN 13251:2005). Geosynthetic materials for foundations, piers and for use in earth works. General Technical requirements (DIN EN 13251:2005 MOD). (In Russ.)
5. GOST 33069-2014 (EN 13253:2005). Geosynthetic materials to protect against erosion (coastal protection). General technical requirements. (DIN EN 13253:2005 MOD). (In Russ.)
6. Bushuev M.V. Efficiency of geotextile application in railway track construction: dissertation of Cand. Sci. (Techn.): 05.22.06. Saint Petersburg, 2008. 185 p. (In Russ.)
7. Chernyaev E.V. Technical and technological solutions to increase the standard service life of geotextiles used in the construction of a ballast prism of a railway track: dissertation of Cand. Sci. (Techn.): 05.22.06. Saint Petersburg, 2010. 160 p. (In Russ.)
8. Naumov V.V., Maksimov D.S., Afonin P.V., Zaytsev A.A. Investigation of the effect of the separating geosynthetic layer in the zone of capillary rise of water in the soil. *Road lay-out: the collection of 80th International Scientific, Methodological and Research Conference of the Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI)*. Moscow: A-project; 2022. P. 109-117. (In Russ.)
9. GOST 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. (In Russ.)
10. Kazmizuk I.C., Mitrakhovich A.I., Klimkov V.T., Opanasenko O.N. How structural parameters of geotextile affects filtering properties. *Land Reclamation*. 2016;(1):11-20. (In Russ.)

Информация об авторах

В.В. Наумов – канд. техн. наук, заместитель технического директора;

П.В. Афонин – технический директор;

Д.С. Максимов – начальник проектного отдела.

Information about the authors

V.V. Naumov – Cand. Sci. (Techn.), Deputy Technical Director;

P.V. Afonin – Technical Director;

D.S. Maksimov – Head of the Project Department.

Статья поступила в редакцию 25.10.2022; одобрена после рецензирования 14.11.2022; принята к публикации 22.12.2022.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted for publication 22.11.2022.