

УДК 625.14

**Л. С. Блажко, В. И. Штыков, Ю. А. Канцибер,
А. Б. Пономарев, Е. В. Черняев**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ЗАЩИТА ОТ КОЛЬМАТИРОВАНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЕ В КАЧЕСТВЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО СЛОЯ

Изложены условия, при которых геотекстильный материал сохраняет свои фильтрационные свойства в течение нормативного срока службы. При несоблюдении этих условий материал будет интенсивно кольматироваться. Кольматация геотекстиля приводит к потере его водопроницаемости. Поскольку не каждый геотекстиль обладает требуемым размером фильтрационного хода, в некоторых случаях срок его службы можно продлить с помощью слоя песка, методика подбора которого изложена в статье. Приводится экспериментальное подтверждение теоретических положений.

геотекстильный материал, кольматирование, фильтрационные свойства, защита, балластная призма.

Введение

Кольматированием называется процесс заполнения порового пространства мелкими (пылеватыми и глинистыми) частицами, находящимися во взвешенном состоянии в фильтрующейся воде, результатом которого является уменьшение активной пористости геотекстильных материалов и резкое снижение фильтрационных свойств.

Кольматирование сверху частицами диаметром не более 0,05 мм будет незначительным, и геотекстильный материал сохранит свои фильтрационные свойства в требуемых пределах в течение нормативного срока службы, если расчетное значение диаметра фильтрационного хода d_u^r данного материала удовлетворяет требованию

$$0,165 \text{ мм} \leq d_u^r \leq 0,220 \text{ мм}. \quad (1)$$

При этом величина d_u^r определяется по зависимости [1]:

$$d_u^r = 2 \cdot d_p \left(\frac{1}{\sqrt{1-n}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right), \quad (2)$$

где d_p – диаметр волокна геотекстильных материалов; n – пористость.

В результате полевых исследований геотекстильных материалов, уложенных в балластную призму в качестве разделительного слоя, было установлено, что около 30% из них в ближайшие 4–8 лет станут практически водонепроницаемыми. В табл. 1 в качестве примера приведены данные по Октябрьской железной дороге.

Из анализа табл. 1 следует, что только на двух участках (ПЧ-7, 224 км ПК 2+13 и ПЧ-10, 68 км ПК 10 1-й путь), где уложен геотекстиль марки Polyfelt (к сожалению более полная маркировка во всех документах отсутствует), расчетный диаметр фильтрационного хода приближается к нижнему значению рекомендуемого предела изменения d_u^r (1), при

ТАБЛИЦА 1. Сроки сохранения фильтрационных свойств геотекстилем

Место отбора образцов	Марка геотекстиля и год укладки	n	d_u^r , мм	K_ϕ , м/сут	T , лет
ПЧ-7; 223 км	Polyfelt, 1999	0,83	0,134	35	22 года (до 2022 г.)
ПЧ-7; 224 км	Polyfelt, 2000	0,84	0,139	45	24 года (до 2024 г.)
ПЧ-7; 224 км	Polyfelt, 2000	0,86	0,152	60	32 года (до 2032 г.)
ПЧ-7; 233 км	Polyfelt, 2000	0,85	0,145	46	20 лет (до 2020 г.)
ПЧ-7; 225 км	Турар, 2000	0,63	0,119	4	10 лет (до 2010 г.)
ПЧ-10; 82 км	Турар, 2000	0,68	0,132	0,24	8 лет (до 2008 г.)
ПЧ-7; 224 км	Турар, 2000	0,63	0,119	2	8 лет (до 2008 г.)
ПЧ-7; 224 км	Турар, 2000	0,67	0,129	3	9 лет (до 2009 г.)
ПЧ-10; 68 км	Polyfelt, или Дор-НИТ, 1993	0,85	0,161	69	62 года (до 2055 г.)
ПЧ-7; 225 км	Турар, 2000	0,67	0,129	3	9 лет (до 2009 г.)
ПЧ-7; 233 км	Polyfelt, 1999	0,84	0,139	11,6	13 лет (до 2012 г.)
ПЧ-7; 232 км	Polyfelt, 1999	0,84	0,139	6,3	11 лет (до 2010 г.)

Примечания. n – пористость геотекстиля в исходном состоянии, в долях; K_ϕ – коэффициент фильтрации в частично закольматированном состоянии; T – расчетная продолжительность сохранения фильтрационных свойств.

которых материал пропускает через себя все частицы размером $\leq 0,05$ мм. На остальных участках к моменту раскопок (2005 и 2007 г.), т. е. через 6–8 лет после укладки, коэффициент фильтрации существенно снизился.

При раскопках на участке ПЧ-7; 224 км, ПК 3+80 в 2008 г. было установлено, что геотекстильный материал Турар SF 94 уже закольматировался (по прогнозным расчетам, это должно было произойти в 2009 г.). Различие результатов прогнозного расчета и действительного срока службы в один год может быть обусловлено различиями, хотя и небольшими, в свойствах геотекстильного материала.

Срок службы геотекстиля гарантированно увеличивается, если наряду с укладкой геотекстильного материала на слой песка и с присыпкой его слоем песка толщиной не менее 10 см при очередном ремонте, в рамках которого будет выполняться глубокая очистка или вырезка балластного слоя, вместе с загрязнителями будет удаляться и частично за-

кольматированный пятисантиметровый слой песка. Оставшийся над геотекстилем слой песка должен восстанавливаться до исходной толщины чистым песком, близким по гранулометрическому составу к песку защитного слоя. Срезку загрязненного песка или отсыпку нового песчаного слоя целесообразно выполнять машиной для глубокой очистки щебеночного балласта СЧУ 800, у которой в перечне рабочих функций предусмотрены и данные технологические операции.

Как подобрать гранулометрический состав песка для прикрытия сверху геотекстильного материала?

Прежде всего необходимо выяснить, являются ли пески или песчано-гравийные смеси (ПГС) суффозионными. Механическая суффозия в песчаном или песчано-гравелистом грунте будет развиваться, если в них имеются частицы, диаметры которых меньше наибольшего фильтрационного хода. Такие частицы в защитном слое из песка или ПГС должны

отсутствовать. В то же время гранулометрический состав песка или ПГС будет зависеть от размеров фильтрационных ходов в геотекстильном материале.

Гранулометрический состав несугфозионного песка или ПГС следует определять по хорошо обоснованной экспериментами зависимости [2]:

$$\frac{d_i}{d_{\min}} = 1 + \left(\frac{P_i}{P_{10}} \right)^x \cdot \frac{\eta - 1}{5\eta}; \quad (3)$$

$$x = 1 + 1,28 \cdot \lg(\eta), \quad (4)$$

где P_i – процентное по массе содержание в песке или ПГС частиц диаметром меньше d_i , $P_{10} = 10\%$; d_{\min} – минимальный диаметр частиц в данном грунте; $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ – коэффициент

неоднородности песка или ПГС; d_{10} и d_{60} – диаметры частиц, меньше которых в составе песка или ПГС содержится, соответственно, 10 и 60% частиц по массе.

Задаваясь разными значениями $P_i = 10; 20; 40; 60$ и 100 , по формуле (3) вычисляем соответствующие им значения d_i .

В табл. 2 приведены расчетные данные по гранулометрическому составу верхнего защитного слоя для геотекстильных материалов с величиной $d_u^r = (0,100-0,165)$ мм несугфозионных песчаных или песчано-гравелистых грунтов. Как уже говорилось выше, для геотекстильных материалов, у которых расчетный диаметр фильтрационного хода d_u^r удовлетворяет требованию (1), верхний защитный слой можно не устраивать.

1 Пример подбора гранулометрического состава защитного слоя

Рассмотрим на примере, как следует подбирать гранулометрический состав верхнего слоя песка или ПГС.

Допустим, для устройства разделительного слоя мы имеем геотекстильный материал марки Технолайн, имеющий поверхностную

ТАБЛИЦА 2. Расчетный гранулометрический состав верхнего защитного слоя для геоматериалов из несугфозионных песчаных или песчано-гравелистых грунтов

d_u^r , мм	η	d_{\min} , мм	Процентное содержание частиц, мм					
			d_{10}	d_{17}	d_{20}	d_{40}	d_{60}	d_{100}
0,100	3	0,36	0,41	0,47	0,50	0,80	1,23	2,28
	5	0,30	0,38	0,43	0,48	0,96	1,90	4,08
	10	0,24	0,29	0,38	0,45	1,26	2,90	8,47
	15	0,20	0,24	0,36	0,41	1,40	3,60	12,16
	20	0,19	0,22	0,34	0,39	1,64	4,40	16,88
0,165	3	0,48	0,54	0,62	0,67	1,07	1,62	3,08
	5	0,39	0,45	0,57	0,62	1,25	3,10	5,29
	10	0,32	0,38	0,51	0,60	1,68	3,80	11,29
	15	0,28	0,33	0,48	0,57	1,97	4,95	17,04
	20	0,25	0,30	0,45	0,55	2,15	6,00	22,14

Примечания. η – коэффициент неоднородности песка или песчано-гравийной смеси защитного слоя; d_{\min} – минимальный диаметр частиц в песке или песчано-гравийной смеси защитного слоя.

плотность 350 г/м^2 , диаметр волокна $d_p = 0,033 \text{ мм}$ и пористость $n = 0,78$.

1. По формуле (2) определим расчетный диаметр фильтрационного хода данного геотекстильного материала:

$$d_u^r = 2 \cdot d_p \left(\frac{1}{\sqrt{1-n}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right) =$$

$$= 2 \cdot 0,033 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-0,78}} - \frac{1}{\sqrt{3,14}} \right) = 0,10 \text{ мм.}$$

В ближайшем карьере находится ПГС, гранулометрический состав которой близок по составу к грунту, описанному в пятой строке табл. 2. Выпишем из нее данные, необходимые для расчета: коэффициент неоднородности $\eta = 20$; $d_{17} = 0,34 \text{ мм}$, пористость $n = 0,36$. Коэффициент фильтрации этой смеси $K_\phi = 0,095 \text{ см/с}$. Коэффициент кинематической вязкости воды (для температуры $15 \text{ }^\circ\text{C}$) $\nu = 0,0114 \text{ см}^2/\text{с}$.

2. Определим диапазон величин диаметров суффозионных частиц d_{ci} , которые данный геотекстильный материал будет беспрепятственно пропускать:

$$d_{ci} \leq \frac{d_u^r}{3,3 \dots 4,4} = (0,023 \dots 0,031) \text{ мм.}$$

Таким образом, геоматериал Технолайн будет беспрепятственно пропускать через себя все частицы мельче $0,03 \text{ мм}$. Соответственно, все более крупные частицы должны быть задержаны верхним защитным слоем.

3. Определим расчетный диаметр фильтрационного хода верхнего защитного слоя [3]:

$$d_u = 2\pi \sqrt{\frac{2K \cdot \nu}{n \cdot g}} =$$

$$= 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,095 \cdot 0,0114}{0,36 \cdot 981}} = 0,15 \text{ мм.} \quad (5)$$

4. Вычислим d_{cr} – диаметр сводообразующих частиц для верхнего защитного слоя:

$$d_{cr} \geq 0,555 \cdot d_u =$$

$$0,555 \cdot 0,15 = 0,083 \text{ мм.} \quad (6)$$

5. Определим диаметр суффозионных частиц, которые будут вынесены фильтрационным потоком через переходную зону между балластом и защитным слоем песка, т. е. через поры сводообразующих частиц [2]:

$$d_{ci} < 0,77 \cdot J \cdot d_{cr} =$$

$$0,77 \cdot 0,41 \cdot 0,083 = 0,026 \text{ мм,} \quad (7)$$

где J – коэффициент, учитывающий характер расположения мелких частиц внутри балласта и принимаемый равным $0,41$.

Как следует из п. 2, эти частицы будут свободно проходить и через геотекстильный материал. Более крупные суффозионные частицы будут откладываться в верхнем пятисантиметровом слое защитного слоя песка, одновременно принимая участие в формировании переходной зоны между балластом и защитным слоем песка.

2 Оценка эффективности действия защитного слоя

Изложенный способ защиты геотекстильного материала от кольматирования был апробирован на вновь строящемся II пути по направлению Гатчина – Войсковицы Октябрьской железной дороги. Защитный слой толщиной 10 см устраивали из песка следующего состава (после отсева фракции мельче $0,16 \text{ мм}$): $n = 0,32$; $d_{10} = 0,35 \text{ мм}$; $d_{17} = 0,40 \text{ мм}$;

$$d_{60} = 1,05 \text{ мм}; \quad \eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 3,00.$$

Оценку эффективности действия защитного слоя песка проводили в такой последовательности. На выбранном участке в шпальном ящике на поверхности балласта устанавливали три металлические рамки. После того как в первую рамку было залито 38 л суспензии, во вто-

рую – 76 л, а в третью – 114 л, рамки извлекали. Балласт в месте установки каждой из рамок удаляли вручную до поверхности защитного слоя. Каждую рамку устанавливали на частично закольматированный через нее песок с целью определения его коэффициента фильтрации. Определение дало следующие результаты:

- исходное значение коэффициента фильтрации частично закольматированного защитного слоя из песка до начала опыта – 30 м/сут;

- через 5 лет – 1,72 м/сут;
- через 10 лет в среднем – 0,8 м/сут;
- через 15 лет в среднем – 0,8 м/сут.

Из полученных результатов следует, что коэффициент фильтрации в течение последних пяти лет практически не будет меняться. Последнее обусловлено тем, что коэффициент фильтрации в этом случае относится уже не к частично закольматированному слою песка, а к слою частиц, откладывающихся на сводообразующих частицах на поверхности защитного слоя песка. Учитывая, что максимальная суточная нагрузка от ливневых осадков однопроцентной обеспеченности равна 0,06 м/сут, защитный слой будет отводить в нижележащий закольматированный слой песка поступающую на его поверхность воду. Геотекстиль, извлеченный после окончания эксперимента из-под защитного слоя песка, практически совсем не изменил своих фильтрационных свойств. Следовательно, если при очередном ремонте, в рамках которого будет выполняться глубокая очистка или вырезка балластного слоя, вместе с загрязненным щебнем удалить и частично закольматированный слой песка толщиной 5 см, а затем оставшийся над геотекстилем слой песка восстановить до исходной толщины песком такого же состава или щебеночным балластом, то срок службы геотекстиля будет продлен до очередного ремонта. Если защитный слой не применять, то, как показали результаты выполненных ранее полевых обследований состояния геотекстилей, у которых расчетный диаметр фильтрационного хода равен 0,10 мм,

эти геотекстильные материалы будут полностью закольматированы в первые 10 лет.

Заключение

1. Кольматирование сверху частицами диаметром не более 0,05 мм будет незначительным и геотекстильный материал сохранит свои фильтрационные свойства в требуемых пределах в течение нормативного срока службы, если расчетное значение диаметра фильтрационного хода d_u^r данного материала удовлетворяет требованию $0,165 \text{ мм} \leq d_u^r \leq 0,220 \text{ мм}$.

2. Срок службы геотекстиля гарантированно увеличится, если наряду с укладкой геотекстильного материала на слой песка и присыпке его слоем песка толщиной не менее 10 см при очередном ремонте, в рамках которого будет выполняться глубокая очистка или вырезка балластного слоя, вместе с загрязнителями будет удаляться и частично закольматированный пятисантиметровый слой песка с последующим восстановлением чистым песком, близким по гранулометрическому составу к песку защитного слоя до исходной толщины.

Библиографический список

1. **Об оценке** пригодности геотекстильных материалов в качестве защитно-фильтрующих для дренажа / В. И. Штыков, А. Б. Пономарев // Тез. докл. междунар. симп. «Чистая вода России 2003», Екатеринбург, 14–18 апр. 2003 г. – Екатеринбург, 2003. – С. 33.

2. **Рекомендации** по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – Ленинград : Энергия, 1971. – 105 с.

3. **Исследование** фильтрационных свойств зернистых материалов, исходя из модели криволинейных фильтрационных ходов / В. И. Штыков // Вестн. Украин. гос. акад. водных ресурсов «Современные проблемы теории фильтрации». – Ровно, 1998. – С. 170–173.