

УДК 624.131.64

Исследование фильтрационных свойств волокнистых полимерных материалов при изменении давления

В. М. Герасимов^а, Е. И. Нижегородцев^б

Забайкальский Государственный Университет, ул. Александро-Заводская 30, Чита, Россия

^аvic.gerasimov.zabgu@yandex.ru, ^бdj_world@mail.ru

Статья поступила: 6.09.2013, принята 19.11.2013

Волокнистые полимерные материалы применяются при создании дренажных систем, служащих для защиты искусственных грунтовых сооружений от увлажнения атмосферными осадками и грунтовыми водами. Материалы, входящие в состав дренажных конструкций, характеризуются свойствами водопроницаемости, изменяющимися под воздействием внешней нагрузки. В рамках статьи представлены исследования изменения фильтрационной способности конструкции пластового дренажа на основе волокнистого полимерного материала, в зависимости от прикладываемой внешней вертикальной нагрузки, в плоскости, перпендикулярной к плоскости расположения материала. Для проведения экспериментов была создана специальная установка, позволяющая проводить исследования изменения фильтрационной способности дренажа непосредственно в грунтовом массиве. Испытаниям были подвергнуты дренажные конструкции, состоящие из материалов с различной поверхностной плотностью и толщиной. Полученные выводы отражают влияние вертикального давления, вызывающее ухудшение фильтрационной способности, обусловленное, в первую очередь, уменьшением пористости волокнистого полимерного материала, вызванным увеличением плотности вследствие деформации сжатия, что в последствии приводит к снижению эффективности всей дренажной системы. При устройстве дренажей из волокнистых полимерных материалов, входящих в состав конструкций массивных искусственных грунтовых сооружений, необходимо учитывать снижение фильтрующей способности при увеличении давления.

Ключевые слова: дренаж, фильтрация, волокнистый полимерный материал, геотекстиль.

Research into filtering properties of fibrous polymeric materials under pressure

V. M. Gerasimov^а, E. I. Nizhegorodtsev^б

Zabaikalsky State University, 30 Aleksandro-Zavodskaya St, Chita, Russia

^аvic.gerasimov.zabgu@yandex.ru, ^бdj_world@mail.ru

Received 6.09.2013, accepted 19.11.2013

The fibrous polymer materials are used to develop the drainage systems that serve to protect the artificial soil structures from moisture precipitation and groundwater. The materials being part of the drainage structures are characterized by permeability varying under the external load influence. In this article, the study of changes in the bed drainage filtration capacity based on fibrous polymeric material and depending on the applied external vertical load in the plane perpendicular to the material plane has been presented. To conduct the experiments, a special plant that enables studying the drainage properties directly in the soil mass has been constructed. The drainage structures consisting of the materials of different thickness and surface density were put to the test. The obtained findings reflect the effect of the vertical pressure on the filtration capacity deterioration primarily due to decreasing of the fibrous polymeric material porosity caused by the increase in density owing to compression deformation. This subsequently results in reducing the efficiency of the entire drainage system. When providing the drainages made of fibrous polymeric materials being part of massive artificial soil structures, you need to consider the reduction in the filtering properties under the pressure increase.

Keywords: drainage, filtration, fibrous polymeric material, geotextile

Волокнистые полимерные материалы в настоящее время широко применяются при создании дренажных систем для защиты искусственных грунтовых сооружений. Популярность таких материалов обусловлена рядом свойств, выгодно отличающих их от традиционных малосвязных дренажных материалов (щебень, гравий), а именно малый вес, высокая водопроницаемость, стойкость к химически агрессивным средам, высокие прочностные характеристики. Как следствие, отмечается снижение себестоимости и трудоемкости. Кроме того, волокнистые полимерные материалы обладают

способностью задерживать твердые частицы грунта на своей поверхности, пропуская воду. Это препятствует их вымыванию, что предохраняет грунтовый массив от разрушения [1].

В ходе исследований фильтрационных свойств при изменении давления необходимо определить зависимость «давление – скорость фильтрации». Для изучения процессов водоотведения и дренирования была сконструирована экспериментальная установка [2]. Она представляет собой емкость призматической формы, заполненную грунтом. В массиве грунта устраивается

конструкция дренажа из геотекстильных материалов; в одной из стенок установки имеется прорезь, необходимая для отведения поступающих вод. Снизу, посредством гибкого трубопровода, подводится вода. Верхняя часть открыта и позволяет создавать необходимую нагрузку на дренаж.

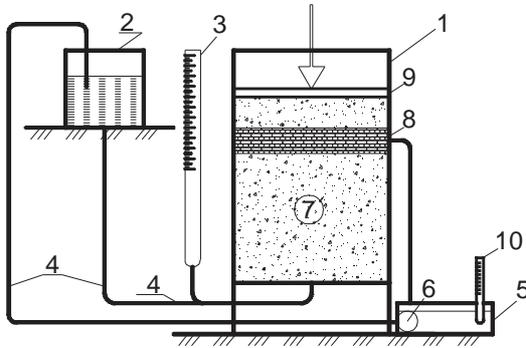


Рис. 1. Схема установки: 1 – корпус призматической формы; 2 – бак с водой; 3 – пьезометр; 4 – гибкая подводка; 5 – сливной бак; 6 – насос; 7 – грунт; 8 – конструкция дренажа; 9 – штамп для передачи нагрузки; 10 – термометр

Данная установка позволяет проводить экспериментальные исследования фильтрующей способности дренажей на основе синтетических нетканых материалов. Конструкция создает условия, приближенные к реальным. Подавать воду можно как сверху, так и снизу. В рамках проводимых исследований подача воды осуществлялась снизу, тем самым моделируя воздействие напорных грунтовых вод на вышележащий грунтовый массив.

Фильтрационный расход проводился измерением объема жидкости мерным цилиндром с точностью до 1 см³ за определенное время с точностью до 1 с. Измерение температуры проводилось при помощи технического ртутного термометра, по ГОСТ 2045-71, с точностью до 0,5 °С.

Условия проведения испытаний. Дренажная конструкция представляет собой несколько слоев волокнистого полимерного материала, расположенных по грунту под определенным углом, поверх уложена гидроизоляционная мембрана. Испытания проводились с различными по поверхностной плотности геотекстильными материалами и различным количеством слоев.

Использовались материалы с поверхностной плотностью: 400 г/см²; 300 г/см²; 250 г/см².

Грунт: песчано-гравийная смесь (берег реки Ингода) – гравий (40-70 мм) – 70 %, песок (Мкр = 1,7) – 30 %.

Температура воды: +21,0 °С.

Напор: 60 мм.

Площадь ГМ: 0,0729 м².

Уклон дренажа в грунте: 2,5°.

Нагрузка прикладывалась ступенями: 0; 0,7 кПа; 1,4 кПа; 2,1 кПа.

Для наглядного представления, а также определения характера зависимости, результаты были обработаны с помощью MS Excel и представлены в графической форме. Помимо этого была проведена аппроксимация данных с целью получения линейной зависимости.

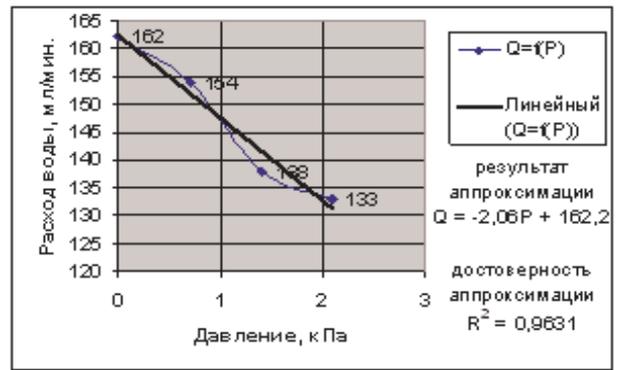


Рис. 2. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 1 пов. пл. 400 г/м², $t_0 = 3,9$ мм.

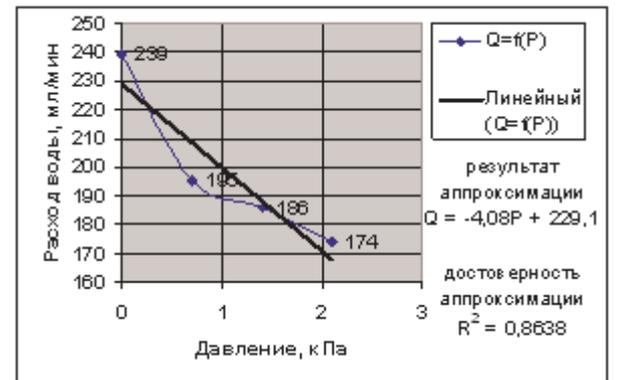


Рис. 3. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 1 пов. пл. 400 г/м², $t_0 = 7,8$ мм.

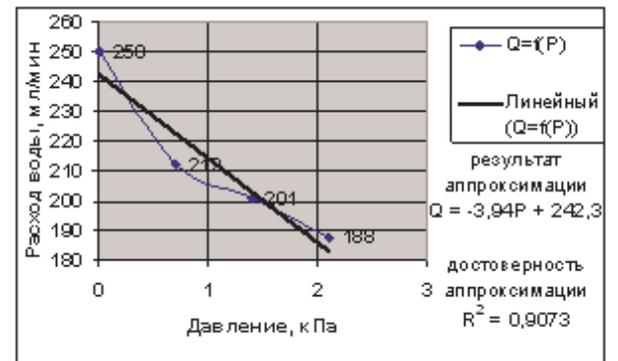


Рис. 4. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 1 пов. пл. 400 г/м², $t_0 = 11,7$ мм.

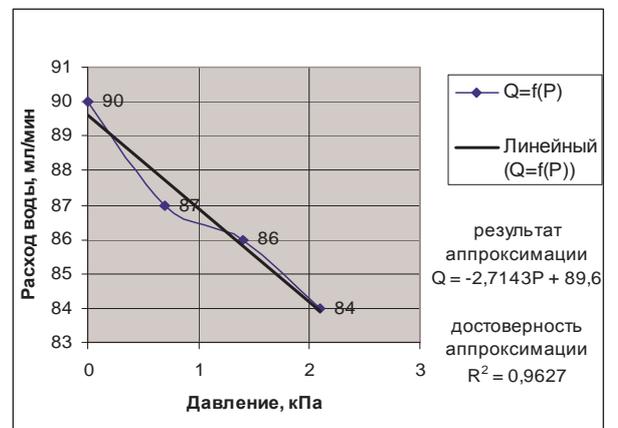


Рис. 5. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 2 пов. пл. 300 г/м², $t_0 = 2,2$ мм.

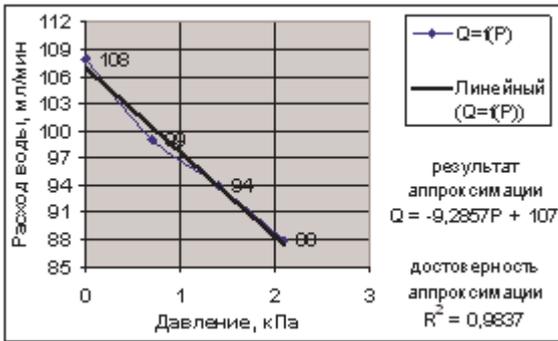


Рис. 6. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 2 пов. пл. 300 г/м^2 , $t_0 = 4,4 \text{ мм}$.

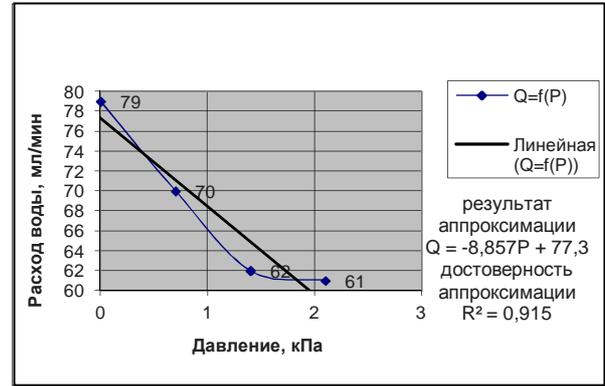


Рис. 10. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 3 пов. пл. 250 г/м^2 , $t_0 = 4,5 \text{ мм}$.

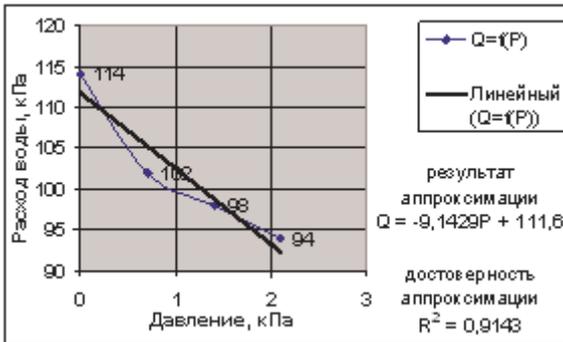


Рис. 7. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 2 пов. пл. 300 г/м^2 , $t_0 = 6,6 \text{ мм}$.

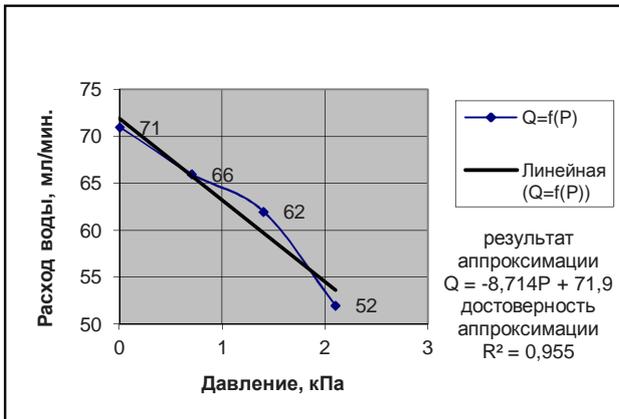


Рис. 8. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 3 пов. пл. 250 г/м^2 , $t_0 = 1,5 \text{ мм}$.

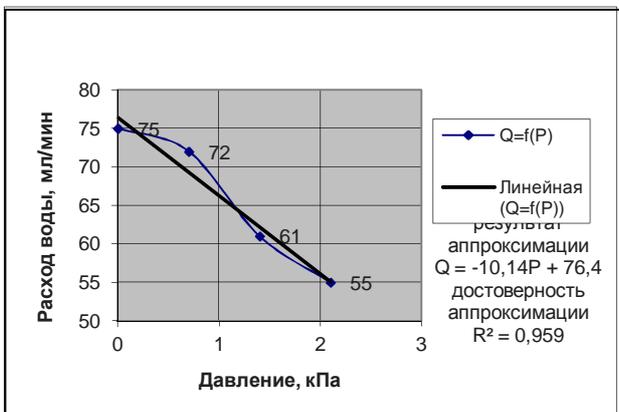


Рис. 9. Зависимость изменения объема расхода воды $Q = f(P)$ Материал № 3 пов. пл. 250 г/м^2 , $t_0 = 3 \text{ мм}$.

Таким образом, в ходе проведения экспериментов были определены зависимости для различных материалов и толщины. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что при увеличении давления, оказываемого на дренажную конструкцию из волокнистого полимерного материала, существенно снижается его фильтрующая способность. Данное явление обусловлено в первую очередь снижением пористости волокнистого полимерного материала. В свою очередь, пористость зависит от плотности [3]:

$$\Pi = 1 - \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала в процессе сжатия, кг/м^3 ; ρ_0 – плотность волокон, кг/м^3 .

Плотность волокнистого материала в процессе сжатия определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{F \cdot t}, \quad (2)$$

где m – масса образца, кг ; F – площадь образца, м^2 ; t – высота слоя, м .

$$t = t_0(1 - \varepsilon), \quad (3)$$

где ε – относительная деформация.

Величина относительной деформации определяется в зависимости от степени сжатия, оказываемой внешними нагрузками [3]:

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma}{0,15 \cdot 10^6 \cdot K \cdot \rho_0 \cdot t_0 \cdot g} \right)^{1/n}, \quad (4)$$

где σ – усилие сжатия, МПа ; K – поправочный коэффициент; ρ_0 – начальная объемная плотность, кг/м^3 ; t_0 – начальная высота слоя материала, м ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; n – показатель нелинейности, равный 2,5.

Поправочный коэффициент K зависит от плотности волокнистого материала (табл. 1).

Таблица 1

$\rho_0, \text{ кг/м}^3$	70	90	110	130	150
K	0,5	1	1,5	2	2,5

Водопроницаемость материала напрямую зависит от его пористости. Таким образом, основываясь на физических характеристиках волокнистого полимерного материала, можно рассчитать снижение продольной водопроницаемости под определенной нагрузкой [4], что является важным показателем при проектировании дренажных систем.

Заключение

Многие производители геотекстиля в характеристиках производимого ими материала указывают значение водопроницаемости без учета нагрузки. При устройстве дренажей из волокнистых полимерных материалов, входящих в состав конструкций массивных искусственных грунтовых сооружений, необходимо учитывать снижение фильтрующей способности при увеличении давления.

Литература

1. Свалова К.В. Экспериментальные исследования задерживающей способности твердой фазы при механической очистке сточных вод фильтрованием с применением волокнистых полимерных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М., 2013. № 6. С. 391-396

2. Герасимов В.М., Нижегородцев Е.И. Отведение грунтовых вод из тела искусственной грунтовой насыпи с помощью пластовых дренажей // Вестн. Забайкальского гос. ун-та 2012 № 82. С. 12-15

3. Герасимов В.М. Волокнистые полимерные материалы в геотехнологии: моногр. Чита: ЧитГУ, 2010. 207 с.

4. Бугай Н.Г., Кривоног В.В., Пивовар Н.Г., Фридрихсон В.Л. Гидродинамические, физико-механические характеристики и структурные параметры волокнистых дренажных фильтров // Прикладная гидромеханика. 2001. № 3. Киев, С. 5-18.

References

1. Svalova K.V. Experimental studies of the solid phase retention capacity in the process of mechanical wastewater treatment by filtration using fibrous polymeric materials // Gorny informatsionno-analitichesky byulleten'. M., 2013. S. 391-396.

2. Gerasimov V.M., Nizhegorodtsev E.I. The disposal of groundwater from the artificial dirt fill body using bed drainage // Vestn. ZabGU. 2012 № (8)87. 2012. Chita. S. 12-15

3. Gerasimov V. M. Fibred polymeric materials in geotechnology. Chita. ChitGU. 2010. 207 s.

4. Bugay N. G., Krivonog V.V., Pivovar N. G., Fridrikhson V.L. Hydrodynamic, physical and mechanical properties and structural parameters of fibred drainage filters // Prikladnaya gidromekhanika. Kiev. 2001. № 3. S. 5-18.