

- Максимчук, В.Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.
- Пышкин, Б.А. Динамика берегов водохранилищ / Б.А. Пышкин. – Киев : Наукова думка, 1973. – 416 с.
- Вайтман, В.В. Моделирование переформирования поперечного профиля пляжа, сложенного неоднородными наносами / В.В. Вайтман, И.Г. Кантаржи // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 13, Вып. 6. – С. 1060–1062.
- Сапожников, Г.П. Из опыта эксплуатации креплений верховых откосов земляных плотин и берегов водохранилищ БССР / Г.П. Сапожников, Е.М. Левкевич // Водное хозяйство Белоруссии. – 1977. – Вып. 7. – С. 97–105.
- Саплюков, Ф.В. Защита берегов и дамб на водоемах от разрушения ветровыми волнами / Ф.В. Саплюков, Е.С. Ленартович // Мелиорация и водное хозяйство. – 1976. – № 10. – С. 12–18.
- Левкевич, В.Е. Опыт эксплуатации берегозащитных сооружений в Белоруссии / В.Е. Левкевич // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 1991. – № 5. – С. 66–74.
- Левкевич, В.Е. Методические рекомендации по оценке устойчивости креплений верховых откосов дамб, плотин и берегов водохранилищ Беларуси / В.Е. Левкевич, А.А. Новиков, А.В. Бузук // Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – 54 с.
- Кобяк, В.В. Прогноз абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровнем режимом : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.23.07 / В.В. Кобяк ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2013. – 22 с.
- Левкевич, В.Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.07 / В.Е. Левкевич ; Белорус. национальный техн. ун-т. – Минск, 2017. – 51 с.

Материал поступил в редакцию 12.03.2018

#### LEVKEVICH V.E. Coastal structures on the reservoirs of Belarus, their condition and operation

The article presents the results of field observations of coastal protection structures of various types used in the reservoirs of Belarus. The estimation of their condition and operational possibilities is given, the reasons and the factors influencing stability of fastenings are given. A method of bank protection developed by the author on the basis of the effect of the formation of a "self-peeling" formed during the destruction of the shore is proposed. folded non-cohesive soils with increased heterogeneity.

УДК 625.72+624.131.23

Козловский Д. С., Кравченко С. Е.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ЗАИЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ДРЕН И ПЕСЧАНЫХ ПРОСЛОЕК В ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

**Введение.** Как показывает практика, в дорожном строительстве достаточно актуальна проблема протекания суффозных процессов при неглубоком залегании грунтовых вод, высокой интенсивности атмосферных осадков, применении слабых грунтов (торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции свыше 0,5) для устройства земляного полотна или при наличии слабых грунтов в основании насыпей.

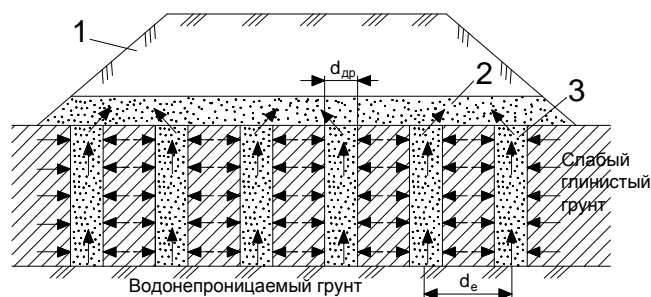
На сегодняшний день существуют различные способы искусственного улучшения основания и земляного полотна, подразумевающие под собой совместную работу слабых или глинистых водонасыщенных грунтов с песчаными грунтами. Существенные проблемы в том, что на границе контакта глинистый – песчаный грунт и в песчаном слое образуются прослойка из пылевато-глинистых частиц.

Одним из наиболее практичных и простых методов искусственного улучшения основания является предварительное обжатие грунтов давлением, равным или большим давления от сооружения. Однако время уплотнения водонасыщенных грунтов в основании транспортных сооружений очень велико, что объясняется тем, что осадка водонасыщенного грунта может произойти только после отжатия из грунта воды, заполняющей поры.

**Методика исследования.** Ускорения процесса уплотнения можно достичь устройством вертикальных песчаных дрен [1]. В результате этого путь фильтрации, для отжимаемой воды из уплотняемого грунта уменьшается, и время уплотнения резко сокращается (рис. 1).

Однако при использовании песчаных дрен в основаниях или насыпях автомобильных дорог из слабых грунтов характерно проявляются процессы заиления, из-за передвижения водой взвешенных пылевато-глинистых частиц грунта к месту фильтрования. Отсюда диаметр дрен ( $d_{др}$ ) необходимо назначать с учетом возможного заиления части дрены при фильтрации [1].

При больших глубинах залегания (18–20 м) сильно сжимаемых пылевато-глинистых грунтов, рыхлых песков, заторфованных грунтов вместо песчаных дрен целесообразно применять песчаные сваи.



1 – земляное полотно; 2 – песчаная подушка; 3 – вертикальные песчаные дренаи (стрелками показано движение отжимаемой воды);  $d_{др}$  – диаметр песчаной дрены;  $d_e$  – расстояние между дренами  
**Рисунок 1** – Схема устройства вертикальных песчаных дрен в основании земляного полотна

Анализ имеющихся исследований [1] показал, что процессы заиления песчаных грунтов наиболее активно протекают в первые 1–2 года после возведения конструкции, что существенно ограничивает применимость песчаных прорезей, дрен и свай.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Для определения времени работы песчаной дрены при наиболее характерных гидрогеологических условиях Брестской области использовался прибор для определения коэффициента фильтрации КФ-00М [2] (рис. 2). В качестве материала, заполняющего дрены, использовался песок крупный (плотность частиц  $\rho_s=2,65 \text{ г/см}^3$ ). Результаты определения гранулометрического состава грунта ситовым методом [3] представлены в таблице 1.

Козловский Денис Станиславович, старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

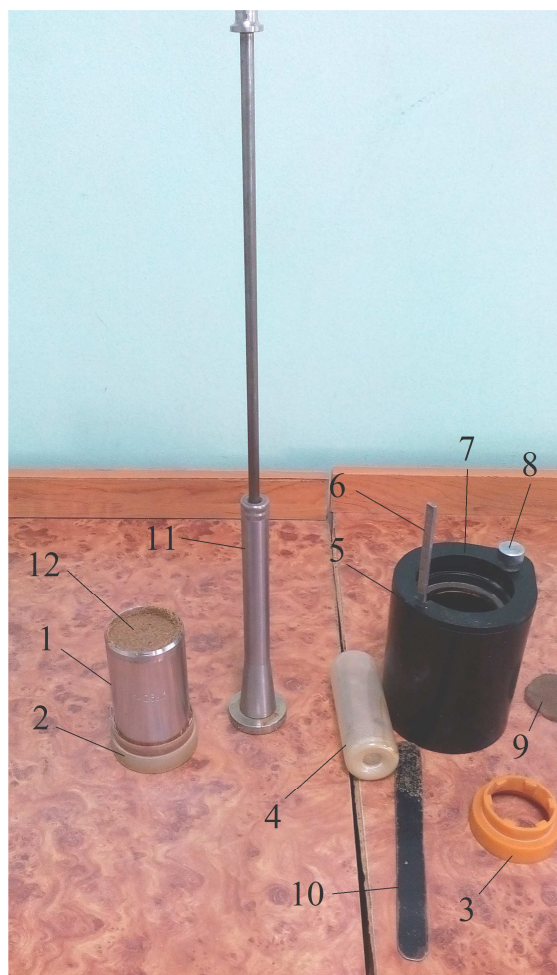
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Кравченко Сергей Егорович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 150.

Таблица 1 – Результаты определения гранулометрического состава грунта

№№пр/п	Лабораторный номер образца	Навеска воздушно-сухого грунта, г	Масса фракций, размером мм					Наименование грунта
			> 2	2-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1	
1	3	6	7	8	9	10	11	12
1	1	100	11,06	47,82	20,55	18,84	1,73	песок крупный
2	2	100	12,30	46,75	20,38	18,97	1,60	



1 – цилиндр; 2 – перфорированное дно; 3 – муфта; 4 – стеклянный баллон со шкалой объема фильтрующей жидкости; 5 – корпус; 6 – планка со шкалой градиентов напора; 7 – крышка; 8 – подъемный винт; 9 – латунная сетка; 10 – лопатка; 11 – трамбовка; 12 – испытуемый образец грунта

Рисунок 2 – Комплект оборудования для определения коэффициента фильтрации

Для определения оптимальной влажности и, соответственно, максимальной плотности, обеспечивающей требуемую степень уплотнения и прочность, были проведены соответствующие экспериментальные исследования с использованием прибора стандартного уплотнения СоюзДорНИИ [4, 5]. Анализ ряда испытаний показывает, что максимальная плотность уплотненного образца грунта  $\rho_{dmax}$  колеблется от 1,75 г/см<sup>3</sup> до 1,86 г/см<sup>3</sup> (среднее значение  $\rho_{dmax\text{ ср}}=1,81$  г/см<sup>3</sup>) при оптимальной влажности  $W_{opt}=11,2\%$ .

В первой серии экспериментов проводилось определение коэффициента фильтрации песка крупного при максимальной плотности с фильтрованием воды без содержания взвешенных пылевато-глинистых частиц (рис. 3).



1 – чаша для воды; 2 – прибор для определения коэффициента фильтрации

Рисунок 3 – Определение коэффициента фильтрации песчаного грунта

Коэффициент фильтрации определялся по формуле:

$$K_{10} = \frac{864 \cdot Q}{t \cdot F \cdot J \cdot r}, \quad (1)$$

где  $K_{10}$  – коэффициент фильтрации при температуре  $t=10^{\circ}\text{C}$ ; 864 – переводной коэффициент из см/с в м/сут;  $Q$  – расход воды, мл;  $F$  – площадь поперечного сечения цилиндра (25 см<sup>2</sup>);  $t$  – время, с;  $J$  – напорный градиент;  $r$  – температурная поправка, и

$$r = 0,7 \pm 0,03 \cdot t^{\rho}, \quad (2)$$

где  $t^{\rho}$  – температура воды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Результаты расчета представлены в таблице 2.

Для второй серии экспериментов проводилось определение коэффициента фильтрации песка крупного при максимальной плотности с фильтрованием воды с содержанием пылевато-глинистых взвешенных частиц крупностью менее 0,1 мм и концентрацией 20 г/л.

Таблица 2 – Результаты первой серии эксперимента

Наименование грунта	Напорный градиент, $J$	Время фильтрации, $t$ (с)	Объем профильтровавшейся воды, $Q$ (см <sup>3</sup> )	Температура воды, $t^0$ С	Коэффициент фильтрации, $K_{10}$ (м/сут)	Среднее значение, $K_{cp}$ (м/сут)
Песок крупный	0,9	90	10	20	42,67	42,67
		180	20		42,67	
		270	30		42,67	
		360	40		42,67	
		450	50		42,67	
		540	60		42,67	
		630	70		42,67	
		720	80		42,67	

Таблица 3 – Результаты определения изменения коэффициента фильтрации (первый этап)

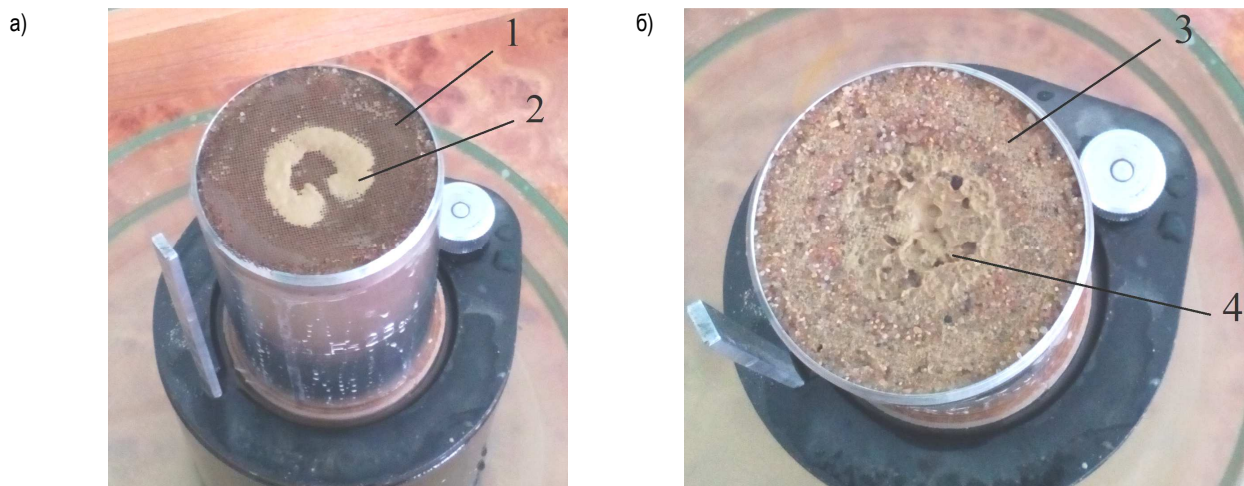
Наименование грунта	Напорный градиент, $J$	Время фильтрации, $t$ (с)	Объем профильтровавшейся воды, $Q$ (см <sup>3</sup> )	Температура воды, $t^0$ (град)	Коэффициент фильтрации, $K_{10}$ (м/сут)	Среднее значение, $K_{cp}$ (м/сут)
Песок крупный	0,9	90	10	20	42,67	42,05
		180	20		42,67	
		270	30		42,67	
		370	40		41,51	
		462	50		41,56	
		554	60		41,59	
		645	70		41,67	

Таблица 4 – Результаты определения изменения коэффициента фильтрации (второй этап)

Наименование грунта	Напорный градиент, $J$	Время фильтрации, $t$ (с)	Объем профильтровавшейся воды, $Q$ (см <sup>3</sup> )	Температура воды, $t^0$ (град)	Коэффициент фильтрации, $K_{10}$ (м/сут)	Среднее значение, $K_{cp}$ (м/сут)
Песок крупный	0,9	91	10	20	42,20	39,30
		188	20		40,85	
		291	30		39,59	
		394	40		38,98	
		497	50		38,63	
		601	60		38,34	
		707	70		38,02	
		813	80		37,79	

Таблица 5 – Результаты определения изменения коэффициента фильтрации (третий этап)

Наименование грунта	Напорный градиент, $J$	Время фильтрации, $t$ (с)	Объем профильтровавшейся воды, $Q$ (см <sup>3</sup> )	Температура воды, $t^0$ (град)	Коэффициент фильтрации, $K_{10}$ (м/сут)	Среднее значение, $K_{cp}$ (м/сут)
Песок крупный	0,9	106	10	20	36,23	31,84
		227	20		33,83	
		352	30		32,73	
		490	40		31,35	
		635	50		30,24	
		780	60		29,54	
		928	70		28,97	



а – осадок пылевато-глинистых частиц на сетке; б – заиливание песчаной дрены по площади; 1 – латунная сетка; 2 – осадок пылевато-глинистых частиц на сетке; 3 - распределение взвешенных частиц по периметру дрены; 4 – максимальный осадок пылевато-глинистых частиц  
**Рисунок 4** – Общие виды песчаных дрен после испытания

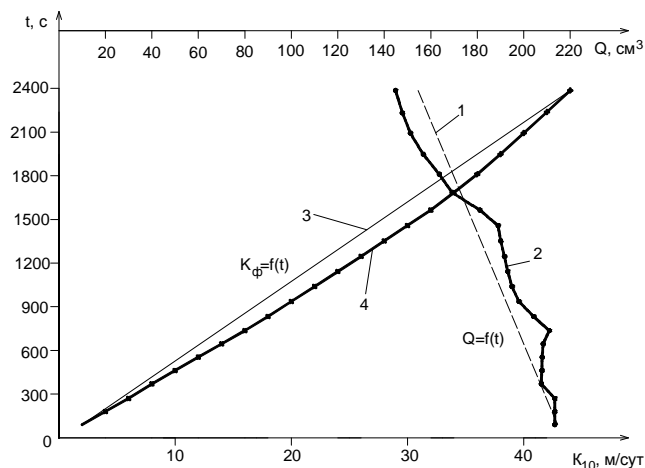
Эксперимент проводился в трехкратной повторности для выявления возможных изменений в процессе фильтрации.

Результаты экспериментов представлены в таблицах 3–5.

Исследование грунта после испытания показало:

- что наибольший осадок взвешенных частиц характерен для места выхода воды из баллона в песчаную дрену (рис. 4);
- что заиливание грунтов происходит неравномерно по всей площади (рис. 4, б);
- что пылевато-глинистые частицы проникают в песчаную дрену на глубину 4–8 мм.

По экспериментальным данным были построены графики зависимости коэффициента фильтрации от времени и объема профильтрованной воды от времени (рис. 5).



1, 3 – усредненный; 2, 4 – по экспериментальным данным

**Рисунок 5** – График зависимости коэффициента фильтрации от времени и объема профильтрованной воды от времени

Так как в соответствии с [6] коэффициент фильтрации дренажного материала должен быть не менее 1,0 м/сут на участках дорог, проходящих в насыпях, и не менее 2,0 м/сут на участках дорог, проходящих в насыпях высотой до 1,5 м или в выемках, тогда согласно графику при соответствующей концентрации взвешенных частиц

коэффициент фильтрации снизится до 1,0 м/сут через 2,4 ч, что соответствует объему профильтрованной воды, равному 779 см<sup>3</sup>.

При пересчете полученных данных на более низкую концентрацию взвешенных частиц (0,1 г/л) и при том же поперечном сечении дрены (25 см<sup>2</sup>) при суффозионных процессах на границе слоев песчаный/глинистый грунт получим: объем профильтрованной воды – 155750 см<sup>3</sup>; время заиливания – 473,01 ч непрерывной фильтрации.

**Заключение.** Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

- максимальное заиливание песчаной дрены происходит непосредственно в месте фильтрации воды через нее;
- заиливание песчаных дрен имеет линейную зависимость;
- ориентировочный срок службы песчаной дрены (прослойки) может быть определен в лабораторных условиях.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основания и фундаменты: краткий курс / Н.А. Цытович [и др.] – Москва : Высшая школа, 1970. – 384 с.
2. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: ГОСТ 25584-90. – Взамен ГОСТ 25584-83 ; введ. РБ 17.12.92. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, 1992. – 20 с.
3. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-2014. – Взамен ГОСТ 12536-79 ; введ. РБ 01.05.17. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2014. – 24 с.
4. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности: ГОСТ 22733-2016. – Взамен ГОСТ 22733-202 – Вед. 01.11.2017. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2017. – 16 с.
5. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: ГОСТ 5180-84. – введ. РБ 17.12.1992. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, – 1992. – 28 с.
6. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования = Аутамабільныя дарогі. Няжорсткае дарожнае адзенне. Правілы праектавання : ТКП 45-3.03-112-2008 (02250). – Введ. 19.11.08 (с отменой Пособия 3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85). – Минск : Минстройархитектуры, 2009. – 84 с.

Материал поступил в редакцию 30.05.2018

**KOZLOVSKY D.S., KRAVCHENKO S.E. Investigation of the rate of siltation of sand drains and sandy interlayers in road construction**

Determination of the service life of sand drains using a device for determining the coefficient of soil filtration.