

RESULTS OF RESEARCH OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF THE COMBINED SAND-GRAVEL MIXTURE

Ja. S. Smirnov-Tumanov¹, N. M. Panchenko²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Emperor Alexander I Saint Petersburg State transport University,
St. Petersburg, Russian Federation

The exact values of the coefficients of filtration and porosity for crushed stone and sand were separately studied and determined, but in no reference it is impossible to find the given indices for a combined gravel-sand mixture. This is important, since in real construction conditions, not the “pure” material, but its mixture, is most often used. Therefore, the research task was to study the physical and mechanical properties and mechanisms of the functioning of the combined gravel-sand mixture. As a tool for solving the problem, the Darcy instrument was chosen. The laboratory installation, by means of which the experiments were performed, was designed and assembled specially for the experiment. The description of the sequence of experiments is presented, the results obtained in the course of the experiment are presented, namely: the values of the filtration and porosity coefficients for soils with a specified percentage, and the corresponding graphical dependencies of these indices on the composition of the mixtures studied. Studies have shown that the change in the sought-for quantities is non-linear, and, depending on the percentage of the samples in question, their values are different tens of times. These characteristics and the dependencies built on them are of practical use in the construction and operation of hydraulic structures, in geotechnics, melioration and petroleum and gas industry, since they allow selecting the necessary composition of inert materials (sand and crushed stone) to ensure a given filtration factor and predict the filtration properties combined soils with known proportions. Due to the obtained results, it is possible to artificially combine the proportions of the mixtures so that the filtration coefficient of the created material is many orders of magnitude lower than that of the original ingredients alone.

Keywords: filtration coefficient, porosity, Darcy’s method, combined mixture, crushed stone, sand.

For citation:

Smirnov-Tumanov, Jaroslav S., and Nataliy M. Panchenko. “Results of research of physical-mechanical properties of the combined sand-gravel mixture.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 338–345. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-338-345.

УДК 626

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННОЙ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ

Я. С. Смирнов-Туманов¹, Н. М. Панченко²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
императора Александра I», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Изучены и определены точные значения коэффициентов фильтрации и пористости для щебня и песка по отдельности, однако ни в одном справочнике невозможно найти данных показателей для комбинированной щебеночно-песчаной смеси. Это важно, так как в реальных условиях строительства чаще всего используется не «чистый» материал, а именно его смеси. Поэтому задачей исследования явилось изучение физико-механических свойств и механизмов функционирования комбинированной щебеночно-песчаной смеси. В качестве инструмента для решения поставленной задачи был выбран прибор Дарси. Лабораторная установка, при помощи которой выполнялись опыты, была спроектирована и собрана специально для поставленного эксперимента. В работе сделано описание последовательности проведения опытов, представлены результаты, полученные в ходе проведенного эксперимента, а именно величины

коэффициентов фильтрации и пористости для грунтов с заданным процентным соотношением и соответствующие графические зависимости данных показателей от состава изучаемых смесей. Исследования показали, что изменения искомых величин имеют нелинейный характер и в зависимости от процентного содержания рассматриваемых образцов их значения различаются в десятки раз. Данные характеристики и построенные на их основе зависимости имеют практическую пользу в строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, в геотехнике, мелиорации и нефтегазовом деле, так как позволяют выбирать необходимый состав инертных материалов (песка и щебня) для обеспечения заданного коэффициента фильтрации и прогнозировать фильтрационные свойства комбинированных грунтов с известными пропорциями. Благодаря полученным результатам, можно искусственно скомбинировать пропорции смесей таким образом, чтобы коэффициент фильтрации созданного материала был на много порядков ниже, чем у исходных ингредиентов в отдельности.

Ключевые слова: коэффициент фильтрации, пористость, метод Дарси, комбинированная смесь, щебень, песок.

Для цитирования:

Смирнов-Гуманов Я. С. Результаты исследования фильтрационных свойств комбинированной щебеночно-песчаной смеси / Я. С. Смирнов-Гуманов, Н. М. Панченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 338–345. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-338-345.

Введение (Introduction)

Для проектирования, а также качественного строительства и эксплуатации грунтовых сооружений, дренажных и водопонижающих систем необходимо знать точные значения пористости и коэффициента фильтрации грунта. Кроме того, эти данные важны не только для строительной сферы, они также применяются, например, при определении дебита скважин в горной и нефтегазовой отраслях. Для песка и щебня различной крупности значения пористости и коэффициента фильтрации определены с достаточной точностью и подробно освещены в работах В. М. Гольдберга, В. А. Королева [1], [2].

В случае комбинированного грунта (смеси песка и щебня в различных пропорциях) не имеется достоверных данных, так как его фильтрационные свойства ранее изучены не были. Поэтому представленные в данном исследовании функциональные зависимости физико-механических свойств песчано-щебёночных смесей от составляющих их пропорций и выявленные в результате так называемые «особые точки» функциональных зависимостей — экстремумы, имеют практический интерес.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Исследование фильтрационных свойств комбинированной щебеночно-песчаной смеси осуществляется с помощью прибора Дарси. Принцип работы этого прибора заключается в использовании цилиндрического сосуда, заполненного исследуемым материалом, через который при постоянной разнице напоров пропускается вода. С помощью пьезометров определяется давление в различных по высоте сечениях испытуемого образца [3]. В процессе проведения эксперимента изменялся процентный состав смеси, измерялись показания пьезометров и определялся расход воды согласно ГОСТ 25584-90 и ГОСТ 5180-84.

Ввиду того, что режим течения жидкости в порах ламинарный, потери напора пропорциональны скорости ее движения в первой степени [4]. Эта зависимость впервые была установлена при исследованиях движения воды в песчаных фильтрах французским инженером Анри Фалибером Гаспаром Дарси и получила название *закона Дарси*, или *линейного закона фильтрации* [5].

Исторически закон был получен экспериментально, он может быть получен с помощью осреднения уравнений Навье–Стокса (1), описывающих течение в масштабе пор (в настоящее время имеются доказательства для пористых сред с периодической и случайной микроструктурой). Закон выражает зависимость скорости фильтрации флюида от градиента напора:

$$\vec{u} = -k \cdot \vec{I}, \quad (1)$$

где \vec{u} — скорость фильтрации; k — коэффициент фильтрации; \vec{I} — градиент напора.

Область применения закона Дарси ограничена фильтрацией жидкости, подчиняющихся закону вязкого трения Ньютона (закону Навье–Стокса) [6], [7]. Для ньютоновских жидкостей область применения закона Дарси ограничивается малыми скоростями фильтрации, при которых кинетической энергией потока можно пренебречь. При больших скоростях зависимость между градиентом давления и скоростью фильтрации нелинейна (корреляцию с экспериментальными данными дает квадратичная зависимость — закон фильтрации Форхгеймера).

Лабораторная установка была спроектирована специально для проводимого эксперимента. Фильтрационная колонна состоит из пластиковой трубы диаметром 200 мм и высотой 2 м с концевой заглушкой в своей нижней части и вмонтированным в неё многооборотным вентиляем. В трубу с шагом 400 мм через отверстия, снабжённые резиновым уплотнителем, установлено пять пьезометров. Пьезометры расположены так, чтобы от начала трубы до первого измерительного прибора и от конца трубы до последнего оставалось по 200 мм в качестве технологического запаса. Трубки пьезометров — это резиновые шланги диаметром 12 мм, жестко закреплённые на деревянном стенде с соблюдением прямолинейности. Передняя стенка стенда имеет масштабную-координатную сетку, позволяющую снимать натурные показания с точностью до 1 мм [8].

При помощи описанной ранее установки был проведен эксперимент, целью которого было получение функциональных зависимостей: «коэффициент фильтрации — процентное соотношение исследуемого образца», «пористость — процентное соотношение исследуемого образца» и «коэффициент фильтрации — пористость». Исследование проводилось дискретным методом с шагом 20 %. Изучению подверглись шесть типов песчано-щебёночных смесей, процентное содержание которых дано в табл. 1. Для того, чтобы изготовить смеси заданного процентного содержания, в образцы № 1 и 2 добавили песок, получив в результате образцы № 2 и 3 соответственно, а образцы № 5 и 4 были созданы из образцов № 6 и 5 путем добавления в них щебня. Так как отработанная смесь образца № 3 для дальнейшего эксперимента непригодна, необходимо использовать два комплекта опытного материала.

Таблица 1

Процентное содержание песчано-щебёночных смесей

№ п/п. смеси	Содержание щебня, %	Содержание песка, %
1	100	0
2	80	20
3	60	40
4	40	60
5	20	80
6	0	100

Для определения пористости могут применяться различные методики (например, гидростатическое взвешивание, парафинизация и др.). В данном случае использовался объемный метод как наиболее простой, бюджетный и достоверный [9]. Сущность его заключалась в следующем: мерный сосуд заполняется образцом исследуемой смеси, объём (V_c) и масса (m_c) которого известны, затем медленно, чтобы не происходило изменений структуры грунта, заполняется «до краев» водой, после чего с помощью лабораторных весов определяется вес добавленной жидкости, а затем рассчитывается её объём, который будет соответствовать объёму пор образца исследуемой смеси ($V_{пор}$). Сопоставив V_c и $V_{пор}$, можно судить о пористости опытного материала.

При определении коэффициента фильтрации выходными данными являлись показания пьезометров, полученные фотофиксацией результатов измерений в режиме реального времени, и фильтрационный расход для всех образцов, измеряемый объемным методом [10]. Под сливной вентиль подставлялась тара, заполненная песчано-щебёночной смесью нужного процентного соотношения, и с помощью секундомера определялось время её наполнения. Далее производилось взвешивание смеси на лабораторных весах, что позволило вычислить вес отобранной в течение определенного периода времени жидкости, дважды измерялась температура жидкости лабораторным термометром и рассчитывалась её плотность. Зная плотность, объём жидкости и время наполнения тары, можно определить фильтрационный расход [11].

Для каждой смеси производилось вычисление пяти вариантов коэффициента фильтрации, обусловленные следующими граничными условиями: верхняя граница — это пропускная способность питающего трубопровода, нижняя граница — это оцениваемые потери напора на пьезометрическом стенде, которые могут быть определены с учётом погрешности (1 мм — одна клетка масштабно-координатной сетки). Промежуточные значения были добавлены для получения полной картины результатов исследования, затем результат осреднялся. Кроме того, производился расчёт трех вариантов коэффициента пористости для пробы из верхней, средней и нижней частей трубы, результат также осреднялся.

Результаты (Results)

В результате проведённого эксперимента определялись значения пористости n и значения коэффициента фильтрации k_f для описанных ранее образцов щебёночно-песчаных смесей (приведены в табл. 2 и 3 соответственно) и были построены графические зависимости: «коэффициент фильтрации — процентное соотношение исследуемого образца», «пористость — процентное соотношение исследуемого образца», «коэффициент фильтрации — пористость» (представлены на рис. 1 – 3 соответственно).

Таблица 2

Определение пористости

№ п/п. смеси	Содержание щебня, %	Содержание песка, %	Пористость n
1	100	0	0,4395
2	80	20	0,3405
3	60	40	0,2217
4	40	60	0,2553
5	20	80	0,3031
6	0	100	0,3517

Таблица 3

Определение коэффициента фильтрации

№ п/п. смеси	Содержание щебня, %	Содержание песка, %	Коэффициент фильтрации k_f , см/с
1	100	0	24,219
2	80	20	1,430
3	60	40	0,032
4	40	60	0,077
5	20	80	0,578
6	0	100	1,290

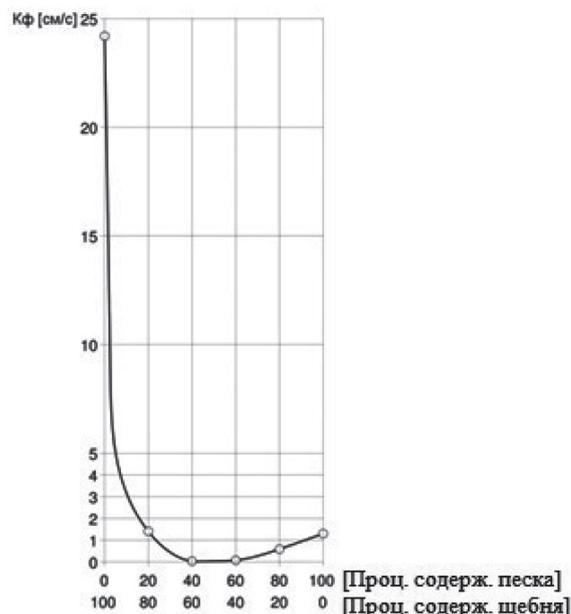


Рис. 1. Зависимость коэффициента фильтрации от процентного соотношения исследуемого образца

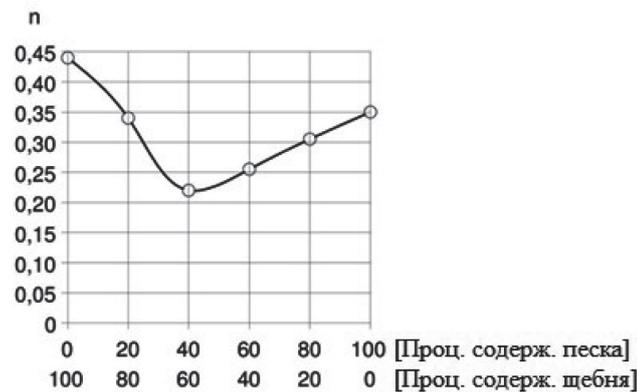


Рис. 2. Зависимость пористости от процентного соотношения исследуемого образца

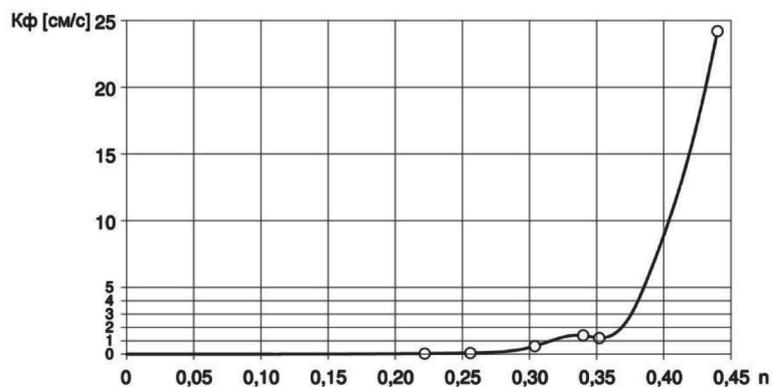


Рис. 3. Зависимость коэффициента фильтрации от пористости

Обсуждение (Discussion)

Вопросы, касающиеся свойств грунтов и их показателей, таких как плотность, прочность, пористость, влажность, коэффициент фильтрации и др., остаются неизменно важными для строительства и эксплуатации сооружений. Поэтому используя научную базу, созданную А. Дарси, Ю. Вейсбахом, Ж. Дюпюи, современные учёные продолжают свои исследования в данной области как в России [12], [13], так и за рубежом [14].

Проведя ранее описанный эксперимент и обработав его результаты, были построены графические зависимости и выявлено влияние процентного содержания щебёночно-песчаных смесей на коэффициент фильтрации (см. рис. 1) и пористость материала (см. рис. 2), а также коэффициента фильтрации от пористости (см. рис. 3). Исследования показали, что коэффициент фильтрации k_f в зависимости от процентного содержания образца изменяется нелинейно, у смесей № 2 и 6 он примерно одинаков, так же, как и у смесей № 3 и 4, но уже на порядок ниже. Самый низкий коэффициент фильтрации k_f обнаружен в смеси № 3 (см. рис. 1). Та же картина наблюдается и при изучении пористости материала (см. рис. 2). Этот эффект объясняется тем, что с увеличением процентного содержания песка в образце происходит удлинение пути просачивания жидкости за счёт сужения пор, что создает дополнительные сопротивления на пути фильтрационного потока. Зависимость коэффициента фильтрации от пористости (см. рис. 3) иллюстрирует малые значения коэффициента фильтрации k_f при пористости $n < 0,35$ и существенный рост этого коэффициента при достижении значения $n \leq 0,35$. Это объясняется достижением некоторой «свободы движения» фильтрационного потока при определённом показателе пористости и, как следствие, ощутимым снижением сопротивления.

Волнообразная форма графика до достижения значения пористости 0,35 обусловлена тем, что четыре точки, расположенные на гребне волны и слева от него, описывают фильтрационный процесс через комбинированную смесь «щебень – песок», а пятая точка графика, лежащая в «занижении», описывает фильтрационный процесс через чистый песок. Хорошо известно, что грунты разной природы имеют разные свойства (в том числе значения коэффициента фильтрации) при одинаковой пористости.

Выводы (Summary)

1. Результаты, полученные в ходе эксперимента, подтверждают существенное уменьшение значения коэффициента фильтрации k_f комбинированной смеси при добавлении песка в щебень в указанном процентном содержании и доказывают, что при наличии двух грунтов, имеющих разные значения k_f , возможна их комбинация таким образом, что коэффициент фильтрации k_f новой получившейся смеси будет в несколько раз ниже, чем каждого исходного грунта в отдельности.

2. Построенные зависимости могут оказать помощь в выборе необходимого состава инертных материалов (песка и щебня) для обеспечения заданного коэффициента фильтрации k_f , а также облегчить прогнозирование фильтрационных свойств комбинированных грунтов с известными пропорциями, поскольку позволяют комбинировать пропорции смесей таким образом, что коэффициент фильтрации созданного материала будет на много порядков ниже, чем у каждого из исходных ингредиентов в отдельности. Таким образом, полученные в ходе эксперимента результаты могут быть эффективны и с пользой применены на практике.

3. Знание описываемых эффектов может быть применено при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений, в геотехнике, мелиорации и нефтегазовом деле (в том числе при кольматации скважин).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг В. М. Проницаемость и фильтрация в глинах / В. М. Гольдберг, Н. П. Скворцов. — М.: Недра, 1986. — 160 с.
2. Королев В. А. Водопроницаемость грунтов / В. А. Королев // Российская геологическая энциклопедия. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. — С. 198–212.
3. Высоцкий Л. И. Рекомендации по использованию формул для коэффициента Дарси при расчете распределения осреднённых скоростей / Л. И. Высоцкий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. — 2014. — № 4 (16). — С. 204–212.
4. Гладков С. О. О законе Дарси в условиях сохранения энтальпии / С. О. Гладков // Письма в журнал технической физики. — 2002. — Т. 28. — № 20. — С. 50–57.
5. Шевченко О. Н. Особенности процесса многофазной фильтрации в условиях нарушения линейного закона Дарси / О. Н. Шевченко // Успехи современной науки. — 2016. — Т. 3. — № 2. — С. 52–56.
6. Синцов И. А. Фильтрация жидкости к горизонтальным скважинам после гидроразрыва пласта / И. А. Синцов // Инновационные технологии для нефтегазового комплекса. Сб. науч. тр., посвященный 45-летию кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» / под ред. В. П. Овчинникова. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. — С. 298–303.
7. Шевченко О. Н. Определение критических значений скоростей фильтрации в условиях нарушения закона Дарси / О. Н. Шевченко // Успехи современной науки и образования. — 2016. — № 2. — С. 140–145.
8. Смирнов-Туманов Я. С. Разработка лабораторной установки для исследования фильтрационных свойств комбинированной щебеночно-песчаной смеси / Я. С. Смирнов-Туманов, Н. М. Панченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 5 (39). — С. 128–133. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-128-133.
9. Толпаев В. А. Влияние проницаемости гравийного фильтра на дебит буровой скважины при линейном законе Дарси / В. А. Толпаев, Ю. В. Харченко, В. В. Захаров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. — 2003. — № 3. — С. 36–42.
10. Токарева М. А. Трёхмерная задача фильтрации жидкости в вязкоупругой деформируемой среде / М. А. Токарева // Сб. науч. тр. международной молодежной школы-семинара «Ломоносовские чтения

на Алтае» / под ред. Е. Д. Родионова. — Барнаул: Алтайский государственный университет, 2012. — С. 219–221.

11. *Котовец А. А.* Исследование фильтрации в скальном трещиноватом основании плотины с противофильтрационной завесой и дренажом / А. А. Котовец // Мелиорация антропогенных ландшафтов: Межвузовский сб. науч. ст. — Новочеркасск: Набла, 2005. — С. 133–135.

12. *Shtykov V. I.* The Performance of Geotextile Materials Used for Filtration and Separation in Different Structures as an Important Part of Geotextiles Requirements / V. I. Shtykov, L. S. Blazhko, A. B. Ponomarev // *Procedia engineering*. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 247–251. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.039.

13. *Blazhko L. S.* Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils / L. S. Blazhko, V. I. Shtykov, E. V. Chernyaev // *Procedia engineering*. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 710–715. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.112.

14. *Kumor Ł. A.* Geotechnical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment / Ł. A. Kumor, M. K. Kumor, M. Kopka // *Procedia engineering*. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 291–297. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.047.

REFERENCES

1. Gol'dberg, V.M., and N.P. Skvortsov. *Pronitsaemost' i fil'tratsiya v glinakh*. M.: Nedra, 1986.
2. Korolev, V.A. "Vodopronitsaemost' gruntov." *Rossiiskaya geologicheskaya entsiklopediya*. SPb.: Izdatel'stvo VSEGEI, 2010: 198–212.
3. Vysotskiy, Lev Ilich. "Guidance for the use of formulas for darcy coefficient calculating the distribution of averaged velocities." *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems* 4(16) (2014): 204–212.
4. Gladkov, S.O. "O zakone Darsi v usloviyakh sokhraneniya ental'pii." *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoi fiziki* 28.20 (2002): 50–57.
5. Shevchenko, O.N. "The features of the multiphase flow process under the conditions of violation of the Darcy law." *Modern Science Success* 3.2 (2016): 52–56.
6. Sintsov, I.A. "Fil'tratsiya zhidkosti k gorizonta'nym skvazhinam posle gidrorazryva plasta." *Innovatsionnye tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa. Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyi 45-letiyu kafedry «Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin»*. Tyumen': TyumGNGU, 2010: 298–303.
7. Shevchenko, O.N. "The determination of the values of filtration velocities in terms of violation of the Darcy law." *Modern Science Success* 2 (2016): 140–145.
8. Smirnov-Tumanov, Jaroslav Sergeevich, and Natalia Mikhailovna Panchenko. "The development of laboratory installation to study the filtration properties of the combined sand-gravel mixture." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 5(39) (2016): 128–133. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-128-133.
9. Tolpaev, V.A., Yu.V. Kharchenko, and V.V. Zakharov. "Vliyanie pronitsaemosti graviinogo fil'tra na debit burovoi skvazhiny pri lineinom zakone Darsi." *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki* 3 (2003): 36–42.
10. Tokareva, M.A. "Trekhnernaya zadacha fil'tratsii zhidkosti v vyazkouprugoi deformiruemoi srede." *Sbornik nauchnykh trudov statei mezhdunarodnoi molodezhnoi shkoly-seminara «Lomonosovskie chteniya na Altae»*. Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 2012: 219–221.
11. Kotovets, A.A. "Issledovanie fil'tratsii v skal'nom treshchinovatom osnovanii plotiny s protivofil'tratsinnoi zavesoi i drenazhom." *Melioratsiya antropogennykh landshaftov. Mezhevuzovskii sbornik nauchnykh statei*. Novochechekassk: Nabla, 2005: 133–135.
12. Shtykov, V.I., L.S. Blazhko, and A.B. Ponomarev. "The Performance of Geotextile Materials Used for Filtration and Separation in Different Structures as an Important Part of Geotextiles Requirements." *Procedia engineering* 189 (2017): 247–251. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.039.
13. Blazhko, Ludmila S., Valerii I. Shtykov, and Evgenii V. Chernyaev. "Enhancement of Subgrade's Bearing Capacity in Low Water Permeable (Clay) Soils." *Procedia engineering* 189 (2017): 710–715. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.112.
14. Kumor, Łukasz Aleksander, Maciej Kordian Kumor, and Monika Kopka. "Geotechnical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment." *Procedia engineering* 189 (2017): 291–297. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.047.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смирнов-Туманов Ярослав Сергеевич —

ассистент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: smirnov-tumanov@gumrf.ru

Панченко Наталия Михайловна —

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный

университет путей сообщения императора

Александра I»

190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,

Московский пр., 9

e-mail: panchnat@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Smirnov-Tumanov, Jaroslav S. —

assistant

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: smirnov-tumanov@gumrf.ru

Panchenko, Nataliy M. —

PhD, associate professor

Emperor Alexander I

Saint Petersburg

State Transport University

9 Moskovsky Av., St. Petersburg, 190031,

Russian Federation

e-mail: panchnat@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 5 марта 2018 г.

Received: March 5, 2018.