

Повышение устойчивости земляного полотна автомобильных дорог

Д.В. Жолоб¹, Е.В. Жолоб²

¹Воронежский государственный технический университет

²Сочинский государственный университет

Аннотация: Наиболее эффективным способом увеличения прочности и устойчивости свойств грунтов является применение армирующих материалов при устройстве земляного полотна, который представляет собой комбинацию грунта и армирующих элементов. В качестве армирующих элементов применяются различного рода материалы, но в последнее время наиболее востребованы стали синтетические материалы (геосинтетики). В настоящее время геосинтетики – быстроразвивающееся семейство материалов, используемых в геотехническом строительстве. Известно, что при выполнении работ по перехвату фильтрационных потоков со стороны притока влаги и с целью понижения уровня грунтовых вод, необходимо устраивать дренажи различного типа, как горизонтальные, так и вертикальные, отличающиеся по конструкции и применяемым материалам. Дренажи позволяют повысить несущие свойства грунтов в основании дорожно-транспортных сооружений. В статье приведены и проанализированы принципы работы систем водоотвода, что позволило сделать вывод о том, что существующие фильтры дренажей имеют различного рода недостатки и нуждаются в совершенствовании. В процессе теоретических и экспериментальных исследований предложены рекомендации для повышения эффективности работы системы водоотвода, а также её конструкция и способ устройства. В настоящее время различные геосинтетические материалы эффективно применяются в качестве дрен и фильтров при выполнении строительных работ в дополнение или взамен традиционных материалов. Кроме того, их значительно проще укладывать в полевых условиях и зачастую они более экономичны в ситуациях, когда доступные зернистые материалы не удовлетворяют проектным требованиям. Экспериментально подтверждена эффективность предложенной конструкции из перфорированной дренажной трубы и щебня в обойме между слоями геоматериала, позволяющая достичь максимальной фильтрующей способности работающих совместно дискретного материала и геотекстиля.

Ключевые слова: трубофильтр, дренажная система, нетканый геотекстиль, дренажная труба, фильтрация, водопроницаемость, поверхностная плотность, жизненный цикл сооружения, кольцевая жёсткость.

Введение

При строительстве, капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог, различных транспортно-технических и гидротехнических сооружений, первостепенное значение имеет своевременный и эффективный отвод грунтовой воды, путем применения дренажных систем высокого качества [1, 2]. Общеизвестно, что основной причиной деформаций и разрушений земляного полотна является как

поверхностная, так и грунтовая вода. Необходимо обеспечить хорошую фильтрующую способность, высокую водопроницаемость, прочностные характеристики и надежность системы водоотвода, тем самым повысить несущую способность земляного полотна на всем периоде жизненного цикла используемого сооружения [3, 4]. Анализ данных, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, свидетельствует о высокой эффективности применения геотекстильного материала в качестве главного компонента при строительстве дренажных систем [5].

В системах водоотвода, геоткань играет важную роль – предотвращает проседанию грунтового слоя в дренажной системе, а также уменьшает процесс диффузии мелких частиц щебня в воду. Геотекстиль используется в качестве фильтра, который сохраняет дренажную систему в рабочем состоянии и предотвращает её заиливание грунтовыми частицами [6].

В СССР массовое производство и использование геоматериалов стимулировало открытие крупных нефтяных месторождений в Западной Сибири. Известно, что в этих регионах ярко выражен дефицит качественных грунтов для устройства земляного полотна подъездных дорог к добывающим месторождениям. На рис. 1 представлена конструктивная схема повышения несущей способности грунтов, предложенная учёными СоюзДорНИИ, путем укладки полотнищ геоматериала на поверхность земли, а также размещение в межлежащих слоёв земполотна в обойме из этих материалов.

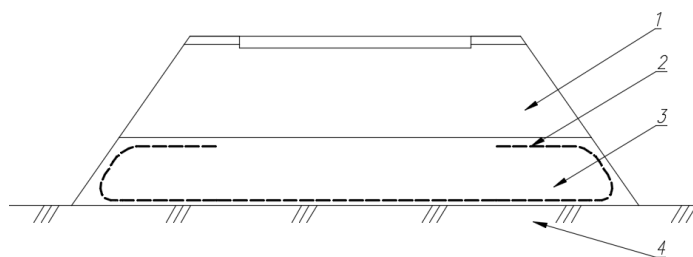


Рис. 1. – Конструктивная схема повышения несущей способности грунта

1 – основной грунт насыпи; 2 – армирующее полотно из геотекстиля;

3 – дренажный грунт в обойме геотекстиля; 4 – слабое основание

Требования к геотекстильным материалам

В настоящее время геотекстильный материал подразделяется на три основные группы и состоит из: органических, минеральных и искусственных волокон. Широкое применение практически во всех областях сферы строительства получил геотекстиль из органических волокон. Полотно из синтетических волокон, (полиэтилена, полипропилена, полиэстера, нейлона и др.) изготавливается с помощью механического или термического закрепления элементов между собой. За счет изменения толщины нитей и их плотности скрепления, получаются различные по физическим свойствам материалы [7]. Для получения геоматериалов применяется также иглопробивная технология. Нетканый геотекстиль применяется в качестве разделительной прослойки между слоями грунта и дренажной трубой, предотвращая перемещение грунтовых частиц и мельчайших фракций внутрь конструкции [8]. Нити геотекстиля скреплены не вплотную и имеют маленькие просветы, которые позволяют легко проводить грунтовую воду, в то же время препятствуют вымыванию грунта и заиливанию дна трубы. Этот параметр называется показателем поверхностной плотности. Чем выше этот показатель геотекстиля, тем выше его эксплуатационные возможности. К ним относятся прочность на разрыв и повышенная сопротивляемость к повреждениям.

Следует иметь в виду, что высокий показатель поверхностной плотности негативно влияет на фильтрующие способности материала. Чем выше поверхностная плотность, тем выше сопротивление при прохождении грунтовой воды [9, 10]. По этой причине, создается избыточное давление на дренажную конструкцию, которого можно избежать при правильном подборе геотекстильного материала. Рекомендуемый специалистами ООО «ГеоЭталон» показатель поверхностной плотности геотекстиля при строительстве дренажных систем находится в пределах от 150 г/м² до 350

г/м². Геотекстиль является необходимым материалом, который благодаря своим качествам обладает хорошей химической и физической стойкостью, может неограниченно долго находиться во влажной среде, процессы гниения его не затрагивают, он не повреждается насекомыми и грызунами. Материалы, из которых производится геотекстиль обеспечивает выполнение им возложенных функций в большом диапазоне температур, от -60 до +110 градусов Цельсия без утраты заданных параметров качества. Значительным преимуществом является то, что он без утраты эксплуатационных свойств переносит циклы замораживания-оттаивания благодаря прочностным характеристикам при продольном и поперечном удлинении. Основные физико-механические показатели геотекстиля представлены в таблице № 1.

Таблица № 1

Физико-механические показатели нетканого геотекстиля

| № п/п | Наименование показателей | Значения показателей | | | | |
|-------|---|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Поверхностная плотность, г/м ² . | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 2 | Толщина при давлении 2 кПа, мм не менее | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 3,2 | 3,4 |
| 3 | Относительное удлинение при 25% / 50% нагружении от разрушающего, % | 58/93 | 55/90 | 53/88 | 47/85 | 45/80 |
| 4 | Показатель удлинения при максимальной нагрузке в продольном/поперечном направлении, % | 80/70 | 80/70 | 80/70 | 80/70 | 80/70 |
| 5 | Показатель разрывной нагрузки в продольном/поперечном направлении, кН/м | 3,0/3,4 | 5,6/6,0 | 6,0/6,5 | 6,7/7,6 | 7,2/8,6 |
| 6 | Коэффициент фильтрации при нагрузке 2 кПа, м/сут | 600 | 600 | 550 | 500 | 450 |

Дренажи с фильтрующими элементами на основе геотекстиля должны удовлетворять критерию, гарантирующему удерживание окружающего грунта с внешней стороны фильтра при свободном проходе грунтовой воды через тело фильтра [11]. В соответствии с удерживающим критерием $FOS \leq n \cdot D_s$, где FOS – фильтрационный размер геотекстиля, который ассоциируется с размерами пор и структуры, n – число, зависящее от используемого критерия, D_s – характерный размер частиц окружающего грунта. Также фильтр должен быть в значительной мере более водопроницаем, чем окружающий грунт на протяжении всего транспортного сооружения [12, 13]. Таким образом, критерий водопроницаемости для геотекстилей: $kG \geq N \cdot k_s$, где kG – коэффициент фильтрации геотекстиля, N – число, зависящее от проектных характеристик (обычно варьируется от 10 до 100) и k_s – коэффициент фильтрации окружающего грунта [14].

Критерии засорения, гарантирующие работоспособность геотекстиля, основываются на соотношении между размерами фильтрационных пор геотекстиля и частиц грунта, которые допускаются в составе потока жидкости, пропускаемого через тело фильтрующего элемента. Для оценки совместимости предполагаемого к использованию геотекстильного фильтра и грунта, необходимо выполнять эксплуатационные фильтрационные лабораторные испытания.

Обоснование конструктивного решения дренажа

Для исправной работы дренажной системы необходимо использовать качественные материалы. Основными критериями эффективности дренажа является правильно подобранный диаметр трубы и гранулометрический состав фильтрующего материала. Эти показатели играют важную роль. Во-первых, трубы для дрен подбираются с учетом их глубины залегания. Этим критерием является кольцевая жесткость. Она обозначается латинскими буквами SN и следующими за ними цифрами (сопротивляемость нагрузкам).

При укладке труб на глубину до четырех метров, жесткость должна быть SN4, до шести метров – SN6. На стадии проекта необходимо правильно рассчитать диаметр дренажной трубы, ведь требующий отвода объема воды будет составлять не только грунтовая вода, но и поверхностная вода (дождевая) с прилегающей площади водосбора [15]. Во-вторых, они должны быть гофрированными и перфорированными с размером круглых отверстия от 1,5 до 5 мм или прямоугольных пропилов от 3 до 7 мм, расположенных в шахматном порядке с шагом 100 – 200 мм. В основном производят трубы из полимеров – ПВД и ПНД (полиэтилен высокого и низкого давления) [16]. Для недопущения заиливания дна трубы и засоров перфорации, ее оборачивают геотекстильным материалом. С его помощью создается разделительно-фильтрационный слой, способствующий повышению срока эксплуатации объекта. Срок службы работы геотекстиля в качестве фильтрующего элемента колеблется от 10 – 15 лет, что позволяет сократить, межремонтные работы. Чем толще слой фильтрующего элемента, тем длиннее путь фильтрации, и тем эффективнее он задерживает в себе фильтрующие частицы. Этот процесс называется кольматацией [17, 18]. В процессе эксплуатации происходит засорение геотекстиля частицами грунта, и он перестает пропускать через себя воду. Основная задача геотекстиля – сформировать «обратный фильтр» у своей поверхности. При оценке фильтрационных возможностей геотекстиля можно пользоваться следующими критериями: $O_{90W} < d_{90}$ или $O_{90W} < 1$; где O_{90W} – это эффективный размер пор геотекстиля, соответствующий диаметру зерен грунта, 90% которого удерживается геотекстилем, мм; d_{90} – это диаметр зерен грунта засыпки, соответствующего 90 – процентному их содержанию, мм. Максимального эффекта можно достичь с применением двух слоев фильтрующих геосинтетических материалов, разделенных между собой прослойкой дренажного составляющего. На эту роль, с точки зрения

специалистов по дренированию [19], отлично подходит щебень фракции 20 – 40 мм., который беспрепятственно пропускает грунтовую воду и в то же время является дополнительным барьером от грунтовых частиц мелкой фракции, защищая дно дренажной трубы, обернутой вторым слоем геотекстильного полотна, от заиливания [20, 21]. Геотекстиль, напрямую контактирующий с грунтом, должен иметь поверхностную плотность ниже, чем геотекстиль контактирующий с телом дренажной трубы. В таком случае, крайний материал будет меньше засорен мелкими частичками грунта в процентном соотношении с более плотным материалом, что позволит уже практически чистой грунтовой воде проходить через прослойку щебня. Второй слой геотекстиля, оборачивающий тело дренажной трубы, будет последним этапом фильтрации и очистки грунтовой воды. Этим способом получается достичь лучшей фильтрующей способности от геотекстильного материала и щебня, работающих совместно, следовательно, обезопасить дно трубы от заиливания и закупорки перфорированных отверстий. Данная конструкция не снижает стоимость водоотводящего сооружения по сравнению с технологией предыдущего поколения (обсыпка щебнем и песком), но существенно сокращает затраты при его дальнейшей эксплуатации. На рис. 2 представлена данная конструктивная схема.

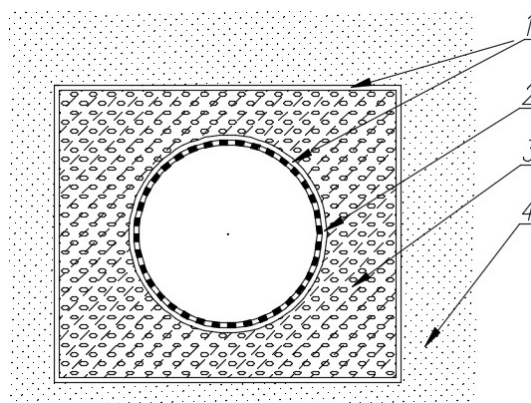


Рис. 2. – Конструктивная схема дренажа

- 1 – геотекстильное полотно; 2 – перфорированная дренажная труба;
3 – щебень; 4 – грунт обратной засыпки

Технология укладки геотекстиля для дренажа

Перед началом строительства дренажной системы необходимо определить тип почвы и гранулометрический состав грунта для правильного выбора поверхностной плотности геотекстиля. Важно установить местоположение самой высокой и самой низкой точки участка водопонижения, определить уровень грунтовых вод (УГВ) и глубину промерзания грунта (УПГ), для последующего определения и подбора дренажной трубы необходимой кольцевой жесткости и достаточной водопрпускной способности [19].

Авторами данной статьи было принято решение о устройстве экспериментального участка дренажной системы летом, в период, когда УГВ самый низкий. Первостепенно устраивается траншея с наименьшим допустимым уклоном водоприемных труб, в зависимости от их диаметра должны находиться в пределах от 0,001 (при $d = 500$ мм) до 0,007 (при $d = 150$ мм) и глубиной ниже УПГ на 40 см. Ширина траншеи на 45 – 50 см больше диаметра трубы. Дно траншеи выравнивается и уплотняется. После устройства траншеи в нее укладывают выравнивающий слой из песка с фильтрующей способностью не менее 5 м/сут. и толщиной зависящей от типа почвы (суглинистых 15 см, глинистых не менее 20 см), который накрывается геотекстильным полотном так, чтобы края выходили наружу канавы с достаточным запасом для последующего закрытия конструкции. Система горизонтального трубчатого дренажа должна включать в себя смотровые, перепадные и приёмные колодцы. На дно траншеи, уже с уложенным геотекстилем, засыпается щебень фракции 10 – 20 мм., толщиной слоя 30 – 40 см. Затем начинается укладка дренажных труб, от дренажного колодца, с соблюдением уклона. Трубы необходимо тщательно обмотать геотекстилем, закрепив места стыков веревкой или тонкой проволокой для предотвращения раскрытия. Помимо пропускной способности, в функции геотекстиля входит

защита перфорационных отверстий трубы от засорения. Для соединения элементов конструкции используются двусторонние муфты и разнообразные по форме фитинги. Прокладку осуществляют аккуратно, без коррекции размещения трубы, чтобы не повредить обмотку. Следующим шагом монтажа дренажных труб будет их засыпка слоем щебня, толщиной около 20 см. и его последующим уплотнением, после чего конструкция оборачивается находящимися на поверхности полотнами геотекстиля с минимальным нахлестом друг на друга, и закрепление места стыков веревкой или тонкой проволокой для предотвращения раскрытия. Оставшуюся часть траншеи заполняют местным грунтом с его послойным уплотнением, рис. 3.



Рис. 3. – Технология укладки дренажной трубы:

- а) дренажная труба; б) обратная засыпка местным грунтом;
- в) дренажный колодец; г) отвод воды в ливневую канализацию

Выводы

В ходе анализа систем водоотвода авторами данной статьи выявлено, что строительство дренажа является сложным и трудоёмким технологическим процессом, который требует индивидуального подхода к

каждому конкретному случаю на основе результатов инженерно-геологических изысканий с учётом различных факторов, влияющих на правильный выбор конструкции водоотвода.

Как показывают результаты теоретических и практических исследований, разработанная конструкция дренажа с использованием фильтра из двух слоёв нетканого геотекстильного материала с применением дискретной щебёночной прослойки между ними, повышают эффективность функционирования всей системы по сравнению с традиционной технологией устройства водоотводных сооружений. Также существенными положительными достоинствами являются: повышение надёжности, долговечности, устойчивости и стабильной работы предложенной конструкции дренажа с применением трубофильтра из нетканого геотекстиля. Прделанные работы и их результаты могут быть использованы на всей территории Российской Федерации как на стадии проекта, так и при строительстве, реконструкции и ремонте водоотводных сооружений.

Литература

1. Ананьев В.П. Инженерная геология, издание второе. Москва: Высшая школа, 2002. С. 266-271.
2. Masrouri F. Laboratory hydraulic testing in unsaturated soils / F. Masrouri, K.V. Bicalho, K. Kawai // *Geotechnical and Geological Engineering*. 2008. Vol. 26. № 6. pp. 691-704.
3. Окост М.В. Повышение нагрузок и скоростей движения требует усиления железнодорожного земляного полотна // *Инженерный вестник Дона*, 2008, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/71.
4. Жолоб Д.В. Влияние влажности склонов и давления грунта на транспортные сооружения Черноморского побережья Кавказа // *Всероссийский форум молодых исследователей (10 мая 2020)*. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. 49 с.

5. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу, издание второе. Москва: Колос, 1984. С. 90-96.
 6. Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог, I Том, издание второе. Москва: Транспорт, 1987. 137 с.
 7. Васильев А.П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД), Том I. Москва: Информавтодор, 2005. 646 с.
 8. Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах). Пенза: ПГУАС, 2009. 412 с.
 9. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты, издание второе. Санкт-Петербург: Ленинград Стройиздат, 1988. 82 с.
 10. Подольский Вл.П. Технология и организация строительства автомобильных дорог, I Том «Земляное полотно». Издательство Воронежского государственного университета, 2005. 528 с.
 11. Tuller M. Water Retention and Characteristic Curve / M Tuller, D Or. – Elsevier Ltd., 2015. pp. 278-285.
 12. Королев В.А. Водопроницаемость грунтов. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2010. 211 с.
 13. Рыльцева Ю.А. Лысов В.А. Совершенствование методов расчета процессов обезвоживания осадков природных вод на площадках подсушивания // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1011.
 14. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты, издание четвертое. Москва: Высшая школа, 2007. С. 96-97.
 15. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. Москва: Высшая школа, 2002. 39 с.
 16. Подольский Вл.П. Технология и организация строительства автомобильных дорог. Дорожные покрытия. Москва: Академия, 2012. 304 с.
-



17. Жолоб Д.В. Особенности формирования поровой структуры обратных фильтров горизонтальных дренажей в связных грунтах // Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (23-25 мая 2018) «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России». Волгоград: ВолгГТУ, 2018. 132 с.
18. Nield D.A. Convection in Porous Media / D.A. Nield, A. Bejan. – New York: Springer, 1999. 545 p.
19. Криулин К.Н. Дренажные системы. Санкт-Петербург: Студия НТ-Принт, 2014. 13 с.
20. Кириллов В.С. Основания и фундаменты, издание второе. Москва: Транспорт, 1980. 17 с.
21. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. Ижевск: НИЦ, 2004. 628 с.

References

1. Anan'yev V.P. Inzhenernaya geologiya, izdaniye vtoroye [Engineering geology, second edition]. Moskva: Vysshaya shkola, 2002. pp. 266-271.
 2. Masrouri F. Laboratory hydraulic testing in unsaturated soils. F. Masrouri, K.V. Bicalho, K. Kawai. Geotechnical and Geological Engineering. 2008. Vol. 26. № 6. pp. 691-704.
 3. Okost M.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2008. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/71.
 4. Zholob D.V. Vserossiyskiy forum molodykh issledovateley (10 maya 2020) [All-Russian Forum of Young Researchers (May 10, 2020)]. Petrozavodsk: MTSNP «Novaya nauka», 2020. 49 p.
 5. Eggel'smann, R. Rukovodstvo po drenazhu, izdaniye vtoroye [Drainage Guide, second edition]. Moskva: Kolos, 1984. pp. 90-96.
-

6. Andreyev O.V. *Proyektirovaniye avtomobil'nykh dorog, I Tom, izdaniye vtoroye* [Design of highways, Volume I, second edition]. Moskva: Transport, 1987. 137 p.

7. Vasil'yev A.P. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya avtomobil'nykh dorog: Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika (SED), Tom I* [Construction and reconstruction of highways: The Reference Encyclopedia of the Road Worker (SED), Volume I]. Moskva: Informavtodor, 2005. 646 p.

8. Boldyrev G.G. *Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenti (v voprosakh i otvetakh)* [Soil mechanics. Foundations and foundations (in questions and answers)]. Penza: PGUAS, 2009. 412 p.

9. Dalmatov B.I. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti, izdaniye vtoroye* [Soil Mechanics, foundations and foundations, second edition]. Sankt-Peterburg: Leningrad Stroyizdat, 1988. 82 p.

10. Podol'skiy V.I.P. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog, I Tom «Zemlyanoye polotno»* [Technology and organization of road construction, Volume I "Roadbed"]. Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2005. 528 p.

11. Tuller M. *Water Retention and Characteristic Curve*. M Tuller, D Or. Elsevier Ltd., 2015. pp. 278-285.

12. Korolev V.A. *Vodopronitsayemost' gruntov* [Water permeability of soils]. Sankt-Peterburg: VSEGEI, 2010. 211 p.

13. Ryl'tseva YU.A. Lysov V.A. *Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №3*. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1011.

14. Ukhov S.B. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti, izdaniye chetvertoye* [Soil Mechanics, Foundations and Foundations, fourth edition]. Moskva: Vysshaya shkola, 2007. pp. 96-97.

15. Fedotov G.A. *Inzhenernaya geodeziya* [Engineering geodesy]. Moskva: Vysshaya shkola, 2002. 39 p.

16. Podol'skiy V.I.P. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva avtomobil'nykh dorog. Dorozhnyye pokrytiya [Technology and organization of road construction. Road surfaces]. Moskva: Akademiya, 2012. 304 p.
17. Zholob D.V. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (23-25 maya 2018) «Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii» [International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists (May 23-25, 2018) "Youth and scientific and technological progress in the road industry of the South of Russia"]. Volgograd: VolgGTU, 2018. 132 p.
18. Nield D.A. Convection in Porous Media. D.A. Nield, A. Bejan. New York: Springer, 1999. 545 p.
19. Kirillov V.S. Osnovaniya i fundamenty, izdaniye vtoroye [Foundations and Foundations, second edition]. Moskva: Transport, 1980. 17 p.
20. Masket M. Tsecheniye odnorodnykh zhidkostey v poristoy srede [Flow of homogeneous liquids in a porous medium]. Izhevsk: NITS, 2004. 628 p.
21. Kriulin K.N. Drenazhnyye sistemy [Drainage systems]. Sankt-Peterburg: Studiya NT-Print, 2014. 13 p.