

УДК 691.175.5/8

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 61.31; 67.15

Научная специальность ВАК: 2.1.5 Строительные материалы и изделия (технические науки)

EDN WLLFNW

DOI 10.62980/2076-0655-2026-94-104

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ляпидевская О.Б.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

АННОТАЦИЯ

Введение. Защита подземных частей промышленных и гражданских зданий и сооружений от воздействия воды различного происхождения: грунтовых и инфильтрационных вод, техногенных протечек и других источников является основной задачей повышения их долговечности. Для предохранения подземных и заглубленных сооружений от подтоплений предусмотрена первичная и вторичная защита бетона ограждающей конструкции. Первичная защита предусматривает все необходимые меры по созданию водонепроницаемой конструкции (проектирование состава бетона, технология укладки и уплотнения и т.д.). К мерам по вторичной защите относятся устройство гидроизоляционных и антикоррозионных покрытий, а также возведение водоотводящих систем (пристенных, пластовых и кольцевых дренажей). Как правило, для вторичной защиты используют гидроизоляционные обмазочные, рулонные и листовые покрытия, а в качестве пристенного дренажа – отсыпки из фракционированных песков или гравия. Настоящая работа посвящена проблеме защиты подземных зданий и сооружений от вредного воздействия поверхностных и грунтовых вод.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования были двухслойные композиционные материалы. В качестве базового слоя во всех видах было принято профилированное полотно из первичного полиэтилена низкого давления (ПЭНД) с округлыми объемными выступами высотой 8-10 мм и фильтрующим геотекстильным полотном. Отобраны два вида рулонных композиционных материалов, предназначенных для устройства пристенного дренажа. Были проведены исследования влияния степени сжатия композиционных дренажных материалов с различными геотекстильными полотнами от грунта обратной засыпки на его водопроницаемость. Для расчета бокового давления грунта на дренажный материал принимались во внимание следующие факторы: глубина заложения подземного сооружения и тип грунта.

Результаты: Проанализированы различные способы гидроизоляции подземных конструкций и систем водоотведения. Проведена оценка эффективности используемых материалов. Рассмотрены рулонные композиционные дренажные системы, в состав которых входит базовый слой из профилированного полиэтиленового полотна и нетканые геотекстильные материалы. Приведены результаты исследований водопроницаемости двух видов дренажных систем с различными конфигурациями базового слоя и геотекстильных оболочек. Дан сравнительный анализ водопроницаемости указанных видов материалов при действии давления различных грунтов обратной засыпки при разной глубине заложения подземной конструкции. Также приведены результаты суффозионных исследований данных систем при работе в наиболее опасных грунтах (мелких и пылеватых песках).

Выводы: На основании полученных результатов сделан вывод, что водопроницаемость профилированных полотен и поровая структура нетканых геотекстилей позволяет применять их в дренажных системах на глубине до 15 м в зависимости от типа грунта засыпки. Применение рулонных композиционных дренажных материалов позволит значительно повысить качество защиты подземных сооружений и снизить трудоемкость работ по сравнению с другими дренажными системами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подземные конструкции, дренажные материалы, водоотведение, геотекстиль, суффозия.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ляпидевская О.Б. Композиционные дренажные материалы // Техника и технология силикатов. – 2026. – Т. 33, № 1. – С. 94-104. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2026-94-104> . EDN WLLFNW

Работа выполнена в НИУ МГСУ в рамках реализации Программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030». Проект 3.1 «Научный прорыв в строительной отрасли – новые технологии, новые материалы, новые методы».

Поступила в редакцию: 26.01.2026 г

Одобрена к публикации: 24.02. 2026 г.

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN WLLFNW

DOI 10.62980/2076-0655-2026-94-104

COMPOSITE DRAINAGE MATERIALS

Lyapidevskaya O.B.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Protecting the underground parts of industrial and civil buildings and structures from the effects of water of various origins, including groundwater, infiltration, man-made leaks, and other sources, is a key objective in increasing their durability. To protect underground and buried structures from flooding, primary and secondary protection of the concrete enclosing structure is provided. Primary protection includes all necessary measures to create a waterproof structure (design of concrete composition, technology of laying and compaction, etc.). Secondary protection measures include the installation of waterproofing and anti-corrosion coatings, as well as the construction of water drainage systems (wall, reservoir and ring drainage). As a rule, waterproofing coatings, rolls and sheets are used for secondary protection, and backfill made of fractionated sand or gravel is used as wall drainage. The article deals with the problem of protecting underground buildings and structures from the harmful effects of surface and groundwater.

Materials and methods of the study. The object of the study was two-layer composite materials. A profiled sheet of primary low-density polyethylene with rounded volumetric protrusions 8-10 mm high and a filter geotextile sheet was adopted as the base layer in all types. Two types of rolled composite materials intended for the installation of wall drainage were selected. Studies were conducted to examine the influence of the degree of compression of composite drainage materials with various geotextile fabrics from backfill soil on its water permeability. To calculate the lateral soil pressure on the drainage material, the following factors were taken into account: the depth of the underground structure and the type of soil.

Results. Various methods of waterproofing of underground structures and drainage systems are analyzed. An estimation of the effectiveness of the materials used is carried out. Rolled composite drainage systems, including a profiled polyethylene base layer and non-woven geotextile materials, are considered. The results of studies of the water permeability of two types of the drainage systems with different configurations of the base layers and geotextiles are presented. A comparative analysis of the water permeability of these types of materials under the influence of pressure from different types of backfilling soil at different depths of the underground structure is given. The results of the suffosion studies of these systems in the most dangerous soils (fine and dusty sands) are also presented.

Conclusion. Based on the results obtained, we can conclude that the water permeability of the profiled sheets and the pore structure of non-woven geotextiles make them suitable for use in drainage systems at a depth of up to 15 m, depending on the type of backfilling soil. The use of rolled composite drainage materials significantly improves the quality of protection of underground structures and reduces the complexity of work compared to other drainage systems.

KEY WORDS: underground structures, drainage materials, water transmission capacity, geotextiles, suffosion.

FOR CITATION: Lyapidevskaya O.B. Composite drainage materials // Engineering and Technology of Silicates. – 2026. – Vol. 33, No1 – P. 94-104. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2026-94-104> . EDN WLLFNW

*The work was carried out at NIU MSCU within the framework of the University Development Program “PRIORITY 2030”.
Project 3.1 “Scientific breakthrough in the construction industry - new technologies, new materials, new methods”*

Received by the editors: January 26, 2026

Approved for publication: February 24, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач повышения долговечности промышленных и гражданских зданий и сооружений является надежная защита их подземных частей от воздействия воды различного происхождения: грунтовых и инфильтрационных вод, техногенных протечек и других источников. Для предохранения подземных и заглубленных сооружений от подтоплений предусмотрена первичная и вторичная защита бетона ограждающей конструкции. Первичная защита предусматривает все необходимые меры по созданию водонепроницаемой конструкции (проектирование состава бетона, технология укладки и уплотнения и т.д.). К мерам по вторичной защите следует отнести устройство гидроизоляционных и антикоррозионных покрытий, а также возведение водоотводящих систем (пристенных, пластовых и кольцевых дренажей) [1, 2].

Как правило, для вторичной защиты используют гидроизоляционные обмазочные, рулонные и листовые покрытия, а в качестве пристенного дренажа (исследованию которого посвящена настоящая работа) – отсыпки из фракционированных песков или гравия. Отвод воды из пристенного дренажа осуществляется в горизонтальный трубчатый дренаж, проложенный по периметру сооружения [3, 4]. Однако использование сыпучих материалов требует значительных трудовых затрат и транспортных расходов на подготовку котлована и отсыпку больших объемов классифицированных песков и гравия. Вследствие этого, качество гидроизоляционных работ и водоотводных систем в большинстве случаев получается низким. Подвальные помещения жилых и промышленных зданий, подземные парковки, пешеходные переходы, галереи и другие сооружения нередко подвергаются подтоплению.

Для повышения качества строительства и соблюдения необходимых требований к эксплуатации подземных частей зданий и сооружений разрабатываются методы их комплексной защиты от воздействия грунтовых и поверхностных вод, которые предусматривают применение облицовочных конструкций в виде фильтрующих плит, трубофильтров, полимерных оболочек с геосинтетическими материалами и другие. Разнообразие условий функционирования подземных сооружений (различные гидрогеологические условия, глубина заложения, воздействие отрицательных температур и т.п.) ставят задачу разработки эффективных материалов для создания фильтрующих оболочек с высокими эксплуатационными свойствами [5-8].

На смену песчано-гравийных отсыпок все чаще приходят жесткие дренажные плиты из различных фильтрационных материалов (рис. 1). Крупнопористый фильтрационный бетон на различных цементах имеет достаточную водопропускную способность и высокую прочность при сжатии при любых глубинах заложения подземной конструкции: коэффициент фильтрации составляет $C_f = 50-500$ м/сут, прочность при сжатии – $R_c = 2,5-10$ МПа при толщине дренажной плиты $b = 80-100$ мм [7-9]. Однако ряд недостатков фильтрационного бетона – большая масса, высокие трудовые затраты при укладке, низкая стойкость к агрессивным грунтовым и поверхностным водам – сдерживают их широкое применение [9, 10].

INTRODUCTION

One of the main tasks in increasing the durability of industrial and civil buildings and structures is the reliable protection of their underground parts from the effects of water of various origins: groundwater, infiltration water, man-made leaks, and other sources. To protect underground and buried structures from flooding, primary and secondary protection for concrete of the walling structure is required. Primary protection includes all necessary measures to ensure a watertight structure such as concrete composition design, proper laying and compaction technologies, etc. Secondary protection measures include the installation of waterproofing and anti-corrosion coatings, as well as the mounting of water drainage systems (wall, bed, and ring drains) [1, 2].

As a rule, secondary protection is made of waterproofing coatings such as plastering, rolled and layered coatings in combination with wall drainage systems that are erected from sand and gravel filling. This study is devoted to such systems. The removal of water from the wall drainage system is carried out through a horizontal drainage pipe laid along the perimeter of the building [3, 4]. However, the use of bulk materials requires significant labor and transportation costs associated with excavating the pit and filling large volumes of classified sand and gravel. As a result, the quality of waterproofing works and drainage systems in most cases is poor. This leads to flooding of basements of residential and industrial buildings, underground parking lots, pedestrian crosswalks, galleries and other structures.

In order to improve the quality of construction and meet all service requirements for underground parts of buildings, various methods of complex protection against underground and surface water are being developed. These methods provide the use of coverings that consist of filter slabs, drainage pipes, plastic shells, in combination with geotextiles and others. The variety of working conditions of underground constructions, such as different hydrogeological conditions, the depth of foundation, the influence of negative temperatures, etc. requires the development of effective materials for creating drainage systems with high operating capabilities [5-8].

Sand and gravel backfill is being increasingly replaced by rigid drainage slabs made of various filtration materials (Fig. 1). Coarse-pored filtration concrete based on different types of cements has good water transmission capacity and high compressive strength at any depth of the underground structure: the filtration coefficient is $C_f = 50-500$ m/day, compressive strength is $R_c = 2.5-10$ MPa with a thickness of the drainage slab $b = 80-100$ mm [7-9]. However, several disadvantages of coarse-pored filtration concrete such as large mass, high labor costs during installation, low resistance to aggressive groundwater and surface water limit its widespread use [9, 10].

РИСУНОК 1

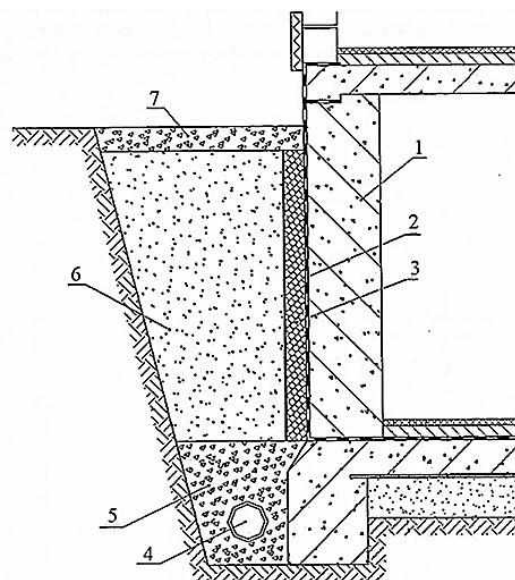
ПРИСТЕННЫЙ ДРЕНАЖ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖЕСТКИХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПЛИТ

1 – стена подвала; 2 – гидроизоляционный слой;
3 – жесткие дренажные плиты; 4 – трубофильтр;
5 – гравийная обсыпка; 6 – грунтовая засыпка;
7 – гравий

Figure 1

Wall drainage system with rigid filtering slabs

1 – basement wall, 2 – waterproofing layer;
3 – rigid filtering slabs; 4 – filtering pipe;
5 – gravel filling; 6 – soil; 7 – gravel



Фильтрационные плиты из вспененных гранул полистирола, полученных в результате спекания в точках контакта, лишены многих перечисленных недостатков фильтрационных бетонов. Они имеют малую массу $d \leq 20 \text{ кг/м}^3$, высокий коэффициент фильтрации $C_f = 500-1000 \text{ м/сут}$ при толщине плиты $b = 100 \text{ мм}$, устойчивость к агрессивным средам [11, 12]. Однако значение прочности при 10-% сжатии составляет $R_c \leq 1,0 \text{ МПа}$. С увеличением глубины заложения подземной конструкции дренажные плиты подвергаются сжимаемости (от 30 до 60% в зависимости от вида грунта), что существенно влияет на их водопроницающую способность. Кроме того, имея высокоразвитую открытую пористость, фильтрационные плиты из вспененных гранул полистирола могут подвергаться колюматации частицами различных типов грунтов, что также снижает функциональность плит [13, 14].

Наиболее перспективными системами, обладающими высокими фильтрационными характеристиками, прочностью, коррозионной стойкостью являются многослойные композиционные рулонные материалы, в состав которых входит базовый слой из профилированного полиэтилена высокого давления, а также геотекстильные материалы. Крепление композиционного дренажного материала к стене подземного сооружения осуществляется с помощью пластиковых дюбелей геотекстильным слоем наружу. По верхней кромке полотно крепится с помощью специальных профилей [15-19].

В задачи данной работы входили: 1) исследование водопроницающей способности композиционных дренажных материалов с различными геотекстильными полотнами при действии сжимающих нагрузок от грунта обратной засыпки и их сравнительный анализ; 2) исследование влияния суффозии грунтов на фильтрационную способность дренажных систем.

Материалы и методы

К исследованию были приняты двухслойные композиционные материалы. В качестве базового слоя во всех видах было принято профилированное полотно из первичного полиэтилена низкого давления (ПЭНД) с округлыми объемными выступами высотой 8-10 мм и фильтрующим геотекстильным полотном [20]. Геотекстиль представляет

Фильтрационные плиты из вспененных гранул полистирола, полученных в результате спекания в точках контакта, лишены многих из перечисленных недостатков фильтрационных бетонов. Они имеют малую массу $d \leq 20 \text{ кг/м}^3$, высокий коэффициент фильтрации $C_f = 500-1000 \text{ м/сут}$ при толщине дренажной плиты $b = 100 \text{ мм}$ и устойчивы к агрессивной среде [11, 12]. Однако, прочность при сжатии составляет $R_c \leq 1,0 \text{ МПа}$. С увеличением глубины заложения подземной конструкции дренажные плиты подвергаются сжимаемости (от 30 до 60%, в зависимости от типа почвы), что существенно влияет на их водопроницающую способность. Кроме того, из-за высоко развитой открытой пористости, плиты из вспененных гранул полистирола могут подвергаться колюматации частицами различных типов почвы, что также снижает функциональность плит [13, 14].

Самыми перспективными системами с высокими гидро-физическими, механическими и химическими характеристиками, такими как дренажная емкость, прочность и коррозионная стойкость, являются многослойные композитные рулонные материалы, состоящие из профилированного полиэтиленового базового слоя и геотекстильных тканей. Композитный дренажный материал формуют к стене подземной конструкции с помощью пластиковых дюбелей, с геотекстильным слоем наружу. Крышка фиксируется по верхней кромке с помощью специальных профилей [15-19].

Целью исследования являются несколько задач: 1) изучить водопроницающую способность композитных дренажных материалов с различными геотекстильными полотнами под воздействием сжатия почвы и провести сравнительный анализ; 2) изучить влияние суффозии грунтов на дренажную емкость этих систем.

Materials and methods

Для исследования были выбраны двухслойные композитные материалы. В качестве базового слоя во всех случаях было использовано профилированное полотно из первичного полиэтилена низкого давления с округлыми выступами высотой 8-10 мм и фильтрующим геотекстильным полотном [20]. Геотекстиль – это водопроницаемая тканая или нетканая ткань из синтетических полимеров. Она используется в многослойных дренажных структурах для защиты дренажной системы от механических повреждений и от заиливания почвой

собой водопроницаемое тканое или нетканое полотно из синтетических полимеров, применяемый в дренажных многослойных конструкциях для защиты дренажной системы от механических воздействий; он также предохраняет дренажную систему от заиливания частицами грунта. Тканый геотекстиль изготавливают путем упорядоченного переплетения текстильных нитей, лент или волокон во взаимно перпендикулярных направлениях. Тканые геотекстильные материалы, как правило, применяют для армирования грунтов, поэтому в данной работе они не рассматривались. Нетканый геотекстиль получают из направленно или произвольно ориентированных волокон, текстильных нитей или других текстильных элементов, скрепленных в единую структуру механическим (иглопробивные), термическим (термоупрочненные) или химическим (клееные) способом [21]. В композиционных системах пристенного дренажа наибольшее распространение получили иглопробивные и термоупрочненные геотекстильные материалы.

Для проведения исследований были отобраны два вида ролонных композиционных материалов, предназначенных для устройства пристенного дренажа.

Вид 1. В качестве базового слоя было принято профилированное полотно с округлыми объемными выступами и фильтрующим нетканым термоупрочненным геотекстилем из полипропилена.

Вид 2. В качестве базового слоя было принято профилированное полотно, с округлыми объемными выступами и фильтрующим нетканым иглопробивным геотекстилем из полипропилена, объемные выступы которого расположены в две противоположные стороны по типу «упаковки для яиц» и с одной стороны защищены фильтрующим геотекстилем из полипропилена. За счет такого двухстороннего расположения выступов, профилированное полотно, с одной стороны, образует вентиляционную систему заглубленной стены, а с другой – удаляет прибывающую к ней воду в дренажную систему.

Как уже было отмечено, одной из задач настоящей работы входило исследование влияние степени сжатия композиционных дренажных материалов с различными геотекстильными полотнами от грунта обратной засыпки на его водопроницаемость. Для расчета бокового давления грунта на дренажный материал принимались во внимание следующие факторы: глубина заложения подземного сооружения и тип грунта.

Расчет внешних нагрузок от бокового давления грунта на пристенный дренаж производился по формуле (1) [22]:

$$\sigma = K_a [\gamma z + q] - 2c\sqrt{K_a} \quad (1)$$

где σ – интенсивность бокового давления грунта;
 K_a – коэффициент активного бокового давления, определяемый по формуле (2):

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

γ – удельный вес грунта, принимаемый во взвешенном состоянии для водонасыщенного грунта;
 z – расстояние от верха укладки материала до дна основания (глубина заложения);
 q – вертикальная нагрузка по поверхности (временная нагрузка у стены), в нашем случае в расчетах $q = 0$;

particles. Woven geotextiles are made by interlacing textile threads, ribbons, or fibers in mutually perpendicular directions. Woven geotextile materials are commonly used for soil reinforcement, therefore they were not considered in this work. Non-woven geotextiles are made from directionally or randomly oriented fibers, threads, or other textile elements bonded into a single structure by mechanical (needle-punched), thermal (heat strengthened), or chemical (glued) methods [21]. Needle-punched and heat-strengthened geotextiles are the most widely used materials in composite wall drainage systems.

Two types of rolled composite drainage materials were taken to study.

Type 1. A profiled sheet with rounded bulges (a base layer) combined with a non-woven heat-strengthened polypropylene geotextile.

Type 2. A profiled sheet with rounded bulges (a base layer) combined with a non-woven needle-punched polypropylene geotextile. The rounded bulges of the profiled sheet are directed in two opposite sides like “an eggs box” and are protected by the filtering geotextile on one side. Due to the direction of the bulges, the profiled sheet, on the one hand – creates a ventilation system, on the other hand, leads groundwater away to the drainage system.

As mentioned above, one of the goals of the work is to study the water transmission capacity of composite drainage materials in combination with various geotextiles under the influence of soil compression. In order to calculate the lateral soil compression on the drainage system, the following factors were considered: the depth of the foundation and the type of soil.

The calculation of the external loads from the lateral pressure of the soil on the wall drainage was carried out according to the formula (1) [22]:

σ – intensity of lateral ground pressure;
 K_a – coefficient of active lateral pressure, determined by the formula (2):

γ – specific gravity of the soil assumed in suspension for a water-saturated soil;
 z – distance from the top of the material to the bottom of the base (depth of laying);
 q – vertical load on the surface (temporary load on the wall), in our case, in calculations $q = 0$;

c – удельное сцепление грунта;

φ – угол внутреннего трения грунта.

Для проведения испытаний были приняты нормативные значения грунтов при коэффициенте пористости $e = 0,55$ (табл. 1)

c – specific soil adhesion;

φ – angle of internal friction of the soil.

The standard values for soils with a porosity coefficient of $e = 0.55$ were used for testing (Table 1).

ТАБЛИЦА 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

Table 1. Soil characteristics

Тип грунта Soil types	Удельный вес, кН/м ³ Specific gravity, kN/m ³	Угол внутреннего трения, град. Angle of internal friction, deg.	Удельное сцепление, кПа Specific adhesion, kPa
Средние пески Medium sands	18,5	38	0-2
Мелкие пески Fine sands	19,0	36	0-4
Пылеватые пески Dusty sands	19,5	28	2-6
Супеси Sandy loam	20,0	26	15
Суглинки Loam	20,5	23	34
Глины Clay	21,0	21	81

Важнейшим условием обеспечения эффективной работы дренажной системы является устойчивость ее к заливанию частицами грунта обратной засыпки. Установлено, что кольматации дренажного материала не происходит, если на его контакте с грунтом формируются стабильные небольшие своды, образованные из мелких частичек несвязного грунта (пески) (рис. 2) или из агрегатированных частиц связных грунтов (глины, суглинки, супеси с числом пластичности $I_p \geq 0,01$ ед.) (рис. 3).

One of the most significant factors in ensuring the effective operation of a drainage system is its resistance to silt-ing by particles of soil fillings. It has been established that colmatation of a drainage material does not occur if stable small arches are formed at its contact with the soil. These arches can be formed from small particles of loose soil (sands) (Fig. 2) or from aggregated particles of cohesive soils (clays, loams, sandy loams with a plasticity – $I_p \geq 0.01$ units) (Fig. 3).

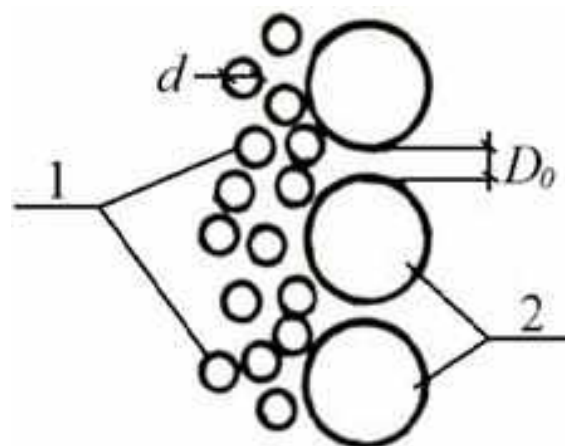
РИСУНОК 2

КОНТАКТНАЯ ЗОНА ФИЛЬТРАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С НЕСВЯЗНЫМ ГРУНТОМ

1 – несвязный грунт со сводообразующими частичками диаметром d ;
2 – фильтрующий материал с диаметром пор D_0

Figure 2

The contact zone between the filtration material and loose soil
1 – loose soil with arch-forming particles with a diameter of d ;
2 – filter material with a pore diameter of D_0



Образование небольших сводов, препятствующих кольматации дренажного материала, происходит в случае соблюдения нормативного соотношения между диаметром пор фильтрующего материала и размером сводообразующих частиц грунта [23].

Для оценки фильтрационных характеристик геотекстилей применялся следующий критерий: размер пор материала, соответствующий максимальному размеру частиц 90 % грунта, прошедшего через геотекстиль O_{90} . Эффективный размер пор характеризует фильтрующую

The formation of small arches that prevent colmatation of a drainage material occurs if the regulatory ratio between the pore diameter of the filtering material and the size of the arching soil particles is maintained [23].

The pore size criterion of the material was used to evaluate the filtration properties of geotextiles. This parameter corresponds to the maximum particle size of 90% of the soil that has passed through geotextile O_{90} . The effective pore size characterizes the filtration capacity and resistance to colmatation and suffusion, as well as the ability of the material

способность и устойчивость к кольматации и суффозии, способность материала удерживать частицы грунта [24]. Нормативное соотношение выражается следующим образом (3):

$$O_{90} < d_{90} \text{ or } \frac{O_{90}}{d_{90}} < 1 \quad (3)$$

где d_{90} – размер частиц грунта обратной засыпки, который соответствует 90%-ному их содержанию.

to retain soil particles [24]. The normative ratio is expressed as follows (3):

d_{90} – particle size of the backfilling soil, which corresponds to 90% of its content.

РИСУНОК 3

КОНТАКТНАЯ ЗОНА ФИЛЬТРАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С НЕСВЯЗНЫМ ГРУНТОМ

1 – несвязный грунт со сводообразующими частицами диаметром d ;
2 – фильтрующий материал с диаметром пор D_0

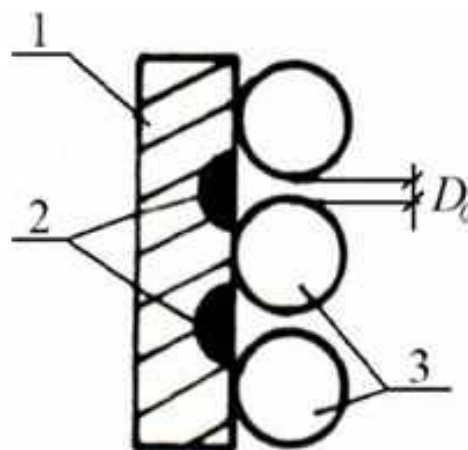


Figure 3

The contact zone between the filtration material and cohesive soil

- 1 – cohesive soil;
- 2 – aggregates of cohesive soil;
- 3 – filter material with a pore diameter of D_0

Гидравлический расчет композиционных материалов для пристенного дренажа включает в себя определение суммарного притока грунтовых и поверхностных вод к подземной конструкции. Для определения суммарного коэффициента фильтрации композиционного дренажного материала, включая водопропускную способность базового пластикового полотна (ПЭНД) и геотекстильного материала с учетом среднего коэффициента фильтрации грунта обратной засыпки применяется следующая формула (4):

$$C_{fдр} = \frac{2C_{fгр} \cdot C_f}{C_{fгр} + C_f} \quad (4)$$

где $C_{fдр}$ – коэффициент фильтрации композиционного дренажного материала;

$C_{fгр}$ – средний коэффициент фильтрации многослойного грунта засыпки;

The hydraulic calculation of composite materials for wall drainage involves the determining of the total inflow of groundwater and surface water to the underground structure. To determine the total filtration coefficient of composite drainage material, which includes the water transmission capacity of the base plastic sheet and geotextile fabric, taking into account the average filtration coefficient of the backfilling soil, the following formula is used (4):

$C_{fдр}$ – filtration coefficient of the composite drainage material;

$C_{fс}$ – average filtration coefficient of the multilayer backfilling soil;

$$C_{fгр} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{fгpi} \cdot m_{гpi}}{\sum_{i=1}^n m_{гpi}}$$

C_f – коэффициент фильтрации геотекстиля;

$C_{fгpi}$ – коэффициент фильтрации i -того слоя грунта засыпки;

$m_{гpi}$ – толщина i -того слоя грунта засыпки.

C_f – filtration coefficient of geotextile;

C_{si} – filtration coefficient of the i -th layer of the backfilling soil;

m_{is} – thickness of the i -th layer of the backfilling soil.

Результаты исследования и их анализ

В результате проведенных исследований водопропускной способности нетканых геотекстильных материалов (иглопробивных и термоупрочненных) при действии сжимающих нагрузок от грунта засыпки были получены следующие результаты. Коэффициент фильтрации, прочность

Results of research and analysis

As a result of the conducted studies on the water transmission capacity of non-woven geotextile materials (needle-punched and heat-strengthened) under the action of compressive loads from the backfilling soil, we have obtained the following results. The filtration coefficient,

и удлинение при разрыве геотекстильных материалов определялись по стандартным методикам [24, 25].

Некоторые различия полученных значений связаны с особенностями структурных характеристик материалов. Так, иглопробивные геотекстилы обладают достаточно высоким удлинением при разрыве (более 35%). В связи со сравнительно большой толщиной материала (3 – 5 мм) они препятствуют проникновению мелких частиц грунта, чем предотвращают заиливание дренажной системы. Однако, будучи достаточно мягкими материалами, иглопробивные геотекстилы имеют высокую сжимаемость при давлении грунта обратной засыпки, что снижает их водопропускную способность при высокой глубине заложения. Термоупрочненные геотекстилы имеют меньшую толщину полотна (0,1 – 0,3 мм), более жесткую структуру, меньшую сжимаемость при давлении грунта засыпки. Удлинение при разрыве термоупрочненных геотекстилей составляет более 25%. На рис. 4 представлена зависимость удлинения различных типов геотекстилей от действия нагрузки.

Основные характеристики дренажных композиционных систем 1-го и 2-го вида представлены в табл. 2.

strength and elongation at break of geotextile materials were determined using standard methods [24, 25].

Some of the differences in the values obtained are related to the structural characteristics of the materials. Thus, needle-punched geotextiles have a sufficiently high elongation at break (more than 35%). Due to the relatively large thickness of the material (3-5 mm), they prevent the penetration of small soil particles, which prevents siltation of the drainage system. However, being sufficiently soft materials, needle-punched geotextiles have a high compressibility under the pressure of the backfilling soil, which reduces their water transmission capacity at greater depths of placement. Heat-strengthened geotextiles have a lower thickness (0.1 - 0.3 mm), a more rigid structure, and less compressibility under the pressure of backfilling soil. The elongation at break of heat-strengthened geotextiles is more than 25%. Figure 4 demonstrates the dependence of the elongation of different types of geotextiles on the effect of load.

The main characteristics of drainage composite systems of Types 1 and 2 are presented in Table 2.

РИСУНОК 4

УДЛИНЕНИЕ НЕТКАНЫХ ГЕОТЕКСТИЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЕЙСТВИЯ НАГРУЗКИ

1 – иглопробивной геотекстиль,
2 – термоупрочненный геотекстиль

Figure 4

Elongation of non-woven geotextiles depending on the effect of load

1 – needle-punched geotextile,
2 – heat-strengthened geotextile

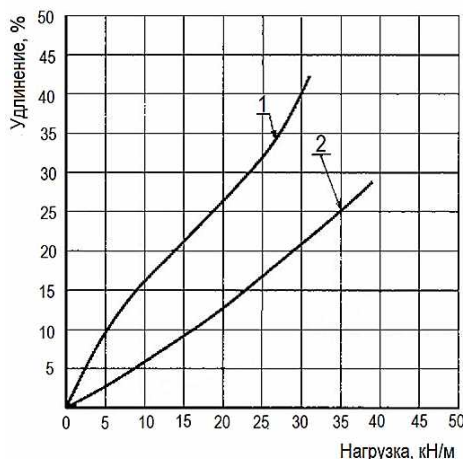


ТАБЛИЦА 2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕНАЖНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ

Table 2. Characteristics of drainage composite materials

Наименование Name	Вид 1 Type 1	Вид 2 Type 2
Коэффициент фильтрации, л/с·м Filtration coefficient, l/c·m	3,5	1,75
Прочность при сжатии, кН/м ² Compressive strength, kN/m ²	400	90
Толщина, мм Thickness, mm	9,0	12,0

Согласно проведенным исследованиям водопропускной способности нетканых (иглопробивных и термоупрочненных) геотекстильных материалов при действии сжимающих нагрузок от грунта засыпки были получены следующие результаты (рис. 5).

Результаты испытаний серии образцов 1 вида показали, что при увеличении боковой нагрузки водопропускная способность снижается в среднем на 45% при давлении грунта засыпки до 100 кПа. Такие системы эффективно работают при глубине заложения в супесях – до 15 м, в суглинках – до 12 м, в глинистых грунтах – до 10 м. Результаты испытаний серии образцов 2 вида

Based on the studies conducted on the water transmission capacity of non-woven (needle-punched and heat-strengthened) geotextile materials under the action of compressive loads from backfilling soil, the following results have been obtained (Fig. 5).

The test results of a series of samples of Type 1 showed that with an increase in lateral load, the water transmission capacity decreased by an average of 45% at a backfilling soil pressure of up to 100 kPa. These systems work effectively at a depth of up to 15 m in sandy loams, up to 12 m in loams, and up to 10 m in clay soils. The results of tests of a series of samples of Type 2 showed that with an increase in lateral

показали, что при увеличении боковой нагрузки водопрopusкная способность уменьшается в среднем на 80% при давлении грунта до 50 кПа и может применяться в средних и мелких песках до 12 м, в пылеватых грунтах – до 10 м; в супесях – до 8 м; в суглинках – до 6 м; в глинистых грунтах – до 5 м.

load, the water transmission capacity decreases by an average of 80% at a soil pressure of up to 50 kPa and can be applied in medium and fine sands up to 12 m, in dusty soils – up to 10 m; in sandy loams – up to 8 m; in loams – up to 6 m; in clay soils – up to 5 m.

РИСУНОК 5

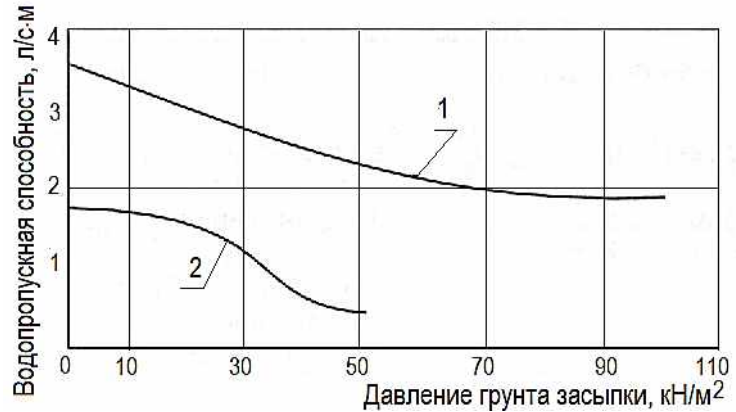
ЗАВИСИМОСТЬ ВОДОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕНАЖНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА ЗАСЫПКИ

1 – дренажная система 1-го вида;
2 – дренажная система 2-го вида

Figure 5

Dependence of the water transmission capacity of drainage composite systems on the pressure of backfilling soil

1 – drainage system of the Type 1;
2 – drainage system of the Type 2



При проведении суффозионных исследований были использованы наиболее опасные, с точки зрения кольматации пор, пески – мелкозернистые и пылеватые.

During the suffusion studies, the most dangerous soils in terms of pore colmatation were used – fine and dusty sands.

При испытании иглопробивных геотекстилей, эффективный диаметр пор которых в среднем составляет $O_{90} = 0,13$ мм (рис. 6), получены следующие результаты:

When testing needle-punched geotextiles, with an effective pore diameter of about $O_{90} = 0.13$ mm (Fig. 6), the following results were obtained:

- в мелкозернистых грунтах с диаметром зерен $d_{90} = 0,5$ мм:

- in fine-grained soils with a grain diameter $d_{90} = 0,5$ mm:

$$\frac{O_{90}}{d_{90}} = \frac{0,13}{0,5} = 0,26 < 1$$

- в пылеватых грунтах с диаметром зерен $d_{90} = 0,2$ мм:

- in dusty soils with grain diameter $d_{90} = 0,2$ мм:

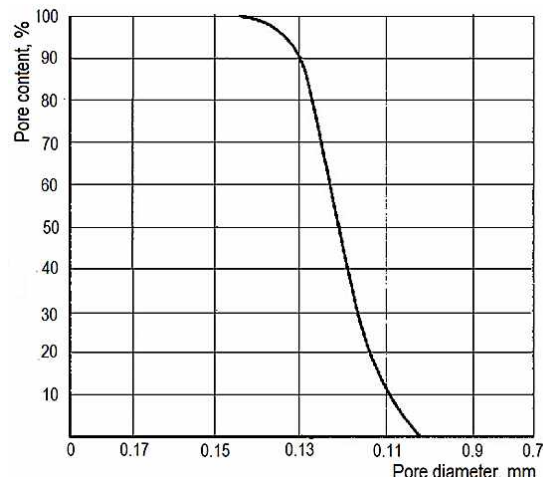
$$\frac{O_{90}}{d_{90}} = \frac{0,13}{0,2} = 0,6 < 1$$

РИСУНОК 6

ПОРОМЕТРИЯ ИГЛОПРОБИВНОГО ГЕОТЕКТИЛЯ

Figure 6

Porometry of needle-punched geotextiles



При испытании термоупрочненных геотекстилей, эффективный диаметр пор которых в среднем составляет $O_{90} = 0,10$ мм, получены следующие результаты:

When testing heat-strengthened geotextiles, with an effective pore diameter of about $O_{90} = 0.10$ mm (Fig. 6), the following results were obtained:

- в мелкозернистых грунтах с диаметром зерен $d_{90} = 0,5$ мм:

- in fine-grained soils with a grain diameter $d_{90} = 0,5$ mm:

$$\frac{O_{90}}{d_{90}} = \frac{0,10}{0,5} = 0,2 < 1$$

- в пылеватых грунтах с диаметром зерен $d_{90} = 0,2$ мм: - in dusty soils with grain diameter $d_{90} = 0,2$ mm:

$$\frac{O_{90}}{d_{90}} = \frac{0,10}{0,2} = 0,5 < 1$$

Таким образом, согласно полученным результатам, можно сделать вывод, что поровая структура нетканых геотекстилей позволяет применять их в дренажных системах при любых типах грунтов.

Выводы

Применение двухслойных дренажных композиционных материалов позволяют:

- 1) применять их в дренажных системах на глубине укладки до 15 м в зависимости от типа грунта засыпки;
- 2) повысить качество защиты подземных сооружений благодаря высокой водопроницаемости;
- 3) отказаться от использования в качестве фильтрующего материала отсыпки из классифицированных песков и гравия, снизив при этом транспортные расходы и трудоемкость работ;
- 4) заменить тяжелые плиты из крупнопористого бетона, склонного к коррозии в агрессивных средах на легкие коррозионностойкие рулонные материалы;
- 5) значительно снизить риск колыматации дренажной системы мелкими и пылеватыми песками.

Литература:

1. СП 250.1325800.2016. Здания и сооружения. Защита от подземных вод.
2. СП 104.13330.2016. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85.
3. Anderson, B. Waterproofing materials and techniques for cut-and-cover structures / B. Anderson // *Underground Space*. – 1984. – No. 8 (2). – P. 99-110. – https://archive.org/details/sim_underground-space_1984_8_index/age/n1/mode/2up.
4. Kubal, M.T. Construction Waterproofing Handbook/ M.T. Kubal // The McGraw-Hill Education. – 2023. – P. 656. – [https://openlibrary.org/books/OL48682479M/Construction_Waterproofing_Handbook_2E_\(PB\)](https://openlibrary.org/books/OL48682479M/Construction_Waterproofing_Handbook_2E_(PB)).
5. Mendes, P. Waterproofing of Concrete Foundations/ P. Mendes, J. Lopes, J. Brito, J. Feiteira // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. – 2014. – No. 28 (2). – p. 242-249. – [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000423](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000423).
6. Целоусов, А.П. Защита фундаментов от грунтовых вод / А.П. Целоусов, Н.А. Адоньев, Я.С. Рубцова [и др.] // *Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры. Сборник научных трудов II Всероссийской национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону*. – 2020. – С. 247-249. EDN: MBLBLT
7. Ozdogan, A. Performance Comparison of Abutment and Retaining Wall Drainage Systems / A. Ozdogan, W. Likos // *University of Wisconsin–Madison, Report number: FHWA/OH-2017-36*. – 2017. – <https://www.researchgate.net/publication/3211339047>.
8. Астафьева, Н.С. Защита подземных частей зданий и сооружений от воздействия подземных вод / Н.С. Астафьева, Д.В. Попов, Ю.А. Фомина [и др.] // *Региональное развитие*. – 2014. – № 3-4. – С. 202-205. EDN: TGOVEP
9. Inoyatov, D. Methods of protection of the exterior walls of the exploited buildings from moistening with ground moisture / D. Inoyatov // *International Journal of Scientific & Technology Research*. – 2020. – No. 9 (9). – P. 301-304.

Thus, based on the results obtained, we can conclude that the pore structure of non-woven geotextiles makes them suitable for use in drainage systems for all types of soil.

Conclusions

The use of two-layer drainage composite materials allows:

- 1) to apply them in drainage systems at a depth laying of up to 15 m, depending on the type of backfilling soil;
- 2) to improve the quality of protection of underground structures due to their high water transmission capacity;
- 3) to abandon the use of classified sand and gravel as filter materials, reducing transportation costs and labor intensity of work;
- 4) to replace heavy slabs of coarse-pored concrete, unstable to corrosion in aggressive environments, with light-weight corrosion-resistant rolled materials;
- 5) to significantly reduce the risk of colmatation of the drainage system by fine and dusty sands.

References:

1. SP 250.1325800.2016. Building and structures. Protection against groundwater.
2. SP 104.13330.2016. Engineering protection of the territory from flooding and impounding. Updated version of SNiP 2.06.15-85.
3. Anderson, B. Waterproofing materials and techniques for cut-and-cover structures / B. Anderson // *Underground Space*. – 1984. – No. 8 (2). – P. 99-110. – https://archive.org/details/sim_underground-space_1984_8_index/age/n1/mode/2up.
4. Kubal, M.T. Construction Waterproofing Handbook/ M.T. Kubal // The McGraw-Hill Education. – 2023. – P. 656. – [https://openlibrary.org/books/OL48682479M/Construction_Waterproofing_Handbook_2E_\(PB\)](https://openlibrary.org/books/OL48682479M/Construction_Waterproofing_Handbook_2E_(PB)).
5. Mendes, P. Waterproofing of Concrete Foundations/ P. Mendes, J. Lopes, J. Brito, J. Feiteira // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. – 2014. – No. 28 (2). – p. 242-249. – [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000423](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000423).
6. Tselousov, A.P. Protection of foundations from groundwater / A.P. Tselousov, N.A. Adoniev, Ya.S. Rubtsova [et al] // *Proceedings of the II All-Russian National Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don*. – 2020. – P. 247-249 (In Russ.). EDN: MBLBLT
7. Ozdogan, A. Performance Comparison of Abutment and Retaining Wall Drainage Systems / A. Ozdogan, W. Likos // *University of Wisconsin–Madison, Report number: FHWA/OH-2017-36*. – 2017. – <https://www.researchgate.net/publication/3211339047>.
8. Astafieva N.S. Protection of underground parts of buildings and structures from the effects of groundwater / N.S. Astafieva, D.V. Popov, Yu.A. Fomina [et al] // *Regional development*. 2014. – № 3-4 – P. 202-205. (In Russ.) EDN: TGOVEP
9. Inoyatov, D. Methods of protection of the exterior walls of the exploited buildings from moistening with ground moisture / D. Inoyatov // *International Journal of Scientific & Technology Research*. – 2020. – No. 9(9). – P. 301-304.
10. Howden, R.E. Slot drain for concrete slabs and method of forming concrete paving / R.E. Howden // *Patent WO2018172778A1*. – 2018.

10. Howden, R.E. Slot drain for concrete slabs and method of forming concrete paving / R.E. Howden // Patent WO2018172778A1. – 2018.
11. Ляпидевская, О.Б. Полимерные плиты для пристенного дренажа / О.Б. Ляпидевская // Перспективы науки. – 2019. – №9. – С. 45-49. EDN: ZLDZWD
12. Lyapidevskaya, O. Universal slabs for hydro- and heat insulation / O. Lyapidevskaya // Proceedings of the XXVI International Scientific Conference: Construction the Formation of Living Environment (FORM-2023). – 2023. – P. 410. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341001003>.
13. Ляпидевская, О.Б. Пластиковые дренажные плиты с низкотемпературным наноспеканием гранул / О.Б. Ляпидевская // Нанотехнологии в строительстве. – 2025. - №17(5). – С. 538-546. – <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2025-17-5-538-546>. – EDN: IIWXTI.
14. Lyapidevskaya, O. Filtering polymer material for wall drainage / O. Lyapidevskaya // Proceedings of the XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - the formation of living environment (FORM-2020). – 2020. – P. 869. – <https://doi/10.1088/1757-899X/869/3/032017>.
15. Sato, M. Drainage performance of geotextiles / M. Sato, T. Yoshida, M. Futaki // Proceedings of the conference Geo-textiles and Geomembranes. – 1986. – Vol. 4 (3-4). – P. 223-240. – [https://doi.org/10.1016/0266-1144\(86\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0266-1144(86)90043-9).
16. Williams, N.D. Evaluation of geotextile/soil filtration characteristics using the hydraulic conductivity ratio analysis / N.D. Williams, M.A. Abouzakhm // Journal Geotextiles and Geomembranes. – 1989. – No. 8 (1). – P. 1–26. [https://doi.org/10.1016/0266-1144\(89\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0266-1144(89)90008-3).
17. Patel, A. Geotechnical Investigation / A. Patel // Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions. – 2019. – No. 9. – P. 87-155. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817048-9.00009-3>.
18. Moayedi, H. Effect of Embedding Drainage System on Retaining Wall Structure Stability / H. Moayedi, F. Moayedi, A. Asadi, B. Huat // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2011. – No. 16. – P. 157-163.
19. Шилин, А.А. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте / А.А. Шилин, М.В. Зайцев, И.А. Золотарев, О.Б. Ляпидевская // Тверь, Изд-во «Русская торговая марка». – 2003. – с. 396. EDN: UGDIMP
20. ГОСТ 16338-85. Полиэтилен низкого давления. Технические условия.
21. ГОСТ 33068-2014 (EN 13252:2005). Материалы геосинтетические для дренажных систем. Общие технические требования.
22. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83.
23. Руководство по применению полимерных материалов (пеннопластов, геотекстилей, георешеток, полимерных дренажных труб) для усиления земляного полотна при ремонтах пути / МПС России. - М.: ИКЦ "Академкнига". – 2002. – с. 110.
24. ГОСТ Р 53238-2008. Материалы геотекстильные. Метод определения характеристики пор.
25. ГОСТ 15902.3-79. Полотна нетканые. Методы определения прочности.
11. Lyapidevskaya O.B. Polymer plates for wall drainage / O.B. Lyapidevskaya // Science Prospects. – 2019. – № 9. – P. 45-49 (In Russ.) EDN: ZLDZWD
12. Lyapidevskaya, O. Universal slabs for hydro- and heat insulation / O. Lyapidevskaya // Proceedings of the XXVI International Scientific Conference: Construction the Formation of Living Environment (FORM-2023). – 2023. – P. 410. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341001003>.
13. Lyapidevskaya, O.B. Plastic Drainage Slabs with low-temperature nanosintering of granules / O.B. Lyapidevskaya // Nanotechnologies in Construction. – 2025. – №17(5). – P. 538-546. – <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2025-17-5-538-546> – EDN: IIWXTI (in Russ.).
14. Lyapidevskaya, O. Filtering polymer material for wall drainage / O. Lyapidevskaya // Proceedings of the XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - the formation of living environment (FORM-2020). – 2020. – P. 869. – <https://doi/10.1088/1757-899X/869/3/032017>.
15. Sato, M. Drainage performance of geotextiles / M. Sato, T. Yoshida, M. Futaki // Proceedings of the conference Geo-textiles and Geomembranes. – 1986. – Vol. 4 (3-4). – P. 223-240. – [https://doi.org/10.1016/0266-1144\(86\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0266-1144(86)90043-9).
16. Williams, N.D. Evaluation of geotextile/soil filtration characteristics using the hydraulic conductivity ratio analysis / N.D. Williams, M.A. Abouzakhm // Journal Geotextiles and Geomembranes. – 1989. – No. 8 (1). – P. 1–26. [https://doi.org/10.1016/0266-1144\(89\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0266-1144(89)90008-3).
17. Patel, A. Geotechnical Investigation / A. Patel // Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions. – 2019. – No. 9. – P. 87-155. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817048-9.00009-3>.
18. Moayedi, H. Effect of Embedding Drainage System on Retaining Wall Structure Stability / H. Moayedi, F. Moayedi, A. Asadi, B. Huat // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2011. – No. 16. – P. 157-163.
19. Shilin, A.A. Waterproofing of Underground and Buried Structures in Construction and Repair / A.A. Shilin, M.V. Zajcev, I.A. Zolotarev, O.B. Lyapidevskaya // Tver, Publ. House "Russian Trademark". 2003. – P. 396 (In Russ.). EDN: UGDIMP
20. GOST 16338-85. Low-pressure polyethylene. Specifications.
21. GOST 33068-2014 Geosynthetic materials for drainage systems. General technical requirements. (EN 13252:2005. Geotextiles and geotextile-related products - Required characteristics for use in drainage systems).
22. SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83*.
23. Guidelines for the use of polymer materials (foam plastic, geotextiles, geogrids, polymer drainage pipes) to strengthen the roadbed during track repairs / M.: ICTS "Akademkniга". – 2002. – p. 110.
24. GOST R 53238-2008. Geotextiles and geotextile related products. Method of determination of the opening size characteristic.
25. GOST 15902.3-79. Nonwoven fabrics. Methods of strength determination.

Ляпидевская Ольга Борисовна – доцент, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
E-mail: olga.lyapidevskaya@inbox.ru

Lyapidevskaya Olga Borisovna – Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials Science, the Institute of Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering,
E-mail: olga.lyapidevskaya@inbox.ru