



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.168

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-51-61

Модифицирующая добавка для повышения качества асфальтобетона

С.Д. Тимрот, С.З. кзы Калаева*, Н.Л. Маркелова, Р.Э. Калаев

**Сергей Дмитриевич Тимрот, Сахиба Зияддин кзы Калаева, Надежда Леонидовна Маркелова,
Рамиль Эйвазович Калаев**

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация
timrotsd@ystu.ru, kalaevasz@ystu.ru, markelovanl@ystu.ru, ram0299@mail.ru*



Получена модифицирующая добавка на основе отхода – осадка обезжелезивания сточных подземных вод пос. Некрасовское Ярославской области. Установлено, что преобладающими компонентами данного отхода являются трех- и двухвалентное коллоидное железо в соотношении 3:1. На основе изучения физико-химических свойств отхода предлагается использовать его в качестве модификатора асфальтобетонной смеси с целью повышения адгезии битума к минеральным компонентам. Проведены исследования смеси различных марок и подобраны оптимальные условия использования осадка обезжелезивания в технологическом процессе производства асфальтобетона. Установлено, что применение модифицирующей добавки позволяет повысить сдвигоустойчивость и водостойкость асфальтобетона.

Ключевые слова: асфальтобетонные смеси, качество асфальтобетона, адгезионная добавка, осадок обезжелезивания, водостойкость, сдвигоустойчивость

Для цитирования:

Тимрот С.Д., Калаева С.З. кзы, Маркелова Н.Л., Калаев Р.Э. Модифицирующая добавка для повышения качества асфальтобетона // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 2. С. 51-61. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5160/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-51-61



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-51-61

A modifying additive for asphalt concrete quality improvement

S.D. Timrot, S.Z. kzy Kalaeva*, N.L. Markelova, R.E. Kalaev

Sergey D. Timrot, Sakhiba Z. kzy Kalaeva, Nadezhda L. Markelova, Ramil E. Kalaev

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

timrotsd@ystu.ru, kalaevasz@ystu.ru, markelovanl@ystu.ru, ram0299@mail.ru*



The paper describes the production of modifying additive on the basis of waste - deferrization sludge of waste groundwater of Nekrasovskoye settlement, Yaroslavl region. The authors found that the predominant components of this waste are trivalent and divalent colloidal iron in the ratio of 3:1. The authors propose to use this waste as a modifier of asphalt concrete mixture to increase the adhesion of bitumen to mineral components based on the study of its physical and chemical properties. The authors have conducted studies of mixes of various grades and selected optimal conditions for the use of deferrization sludge in the technological process of asphalt concrete production. The use of modifying additive allows to increase shear stability and water holding capacity of asphalt concrete.

Keywords: asphalt concrete mixtures, asphalt concrete quality, adhesion additive, deferrization sludge, water resistance, shear stability

For citation:

Timrot, S.D., Kalaeva, S.Z. kzy, Markelova, N.L. & Kalaev, R.E. (2024) A modifying additive for asphalt concrete quality improvement, *Smart Composite in Construction*, 5(2), pp. 51-61.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5160/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-51-61



ВВЕДЕНИЕ

Важным фактором влияния на потребительские свойства асфальтобетонных смесей является адгезия вяжущего к минеральным компонентам. Так, с начала XXI столетия и по настоящее время в индустрии материалов для транспортного строительства (МТС) стали широко применяться адгезионные присадки и модифицирующие добавки различного состава [1-3], которые могут быть введены в разогретый битум. Однако эти присадки и добавки имеют недостатки, а именно:

– при нагревании битума до 150-180°C происходит термическая деструкция большинства применяемых присадок и модифицирующих добавок; в результате эффективность их действия и качество МТС существенно снижается;

– стоимость присадок и модифицирующих добавок достаточно высока.

Нами в качестве модифицирующей добавки – присадки-активатора адгезии МТС используется осадок, получаемый в процессе обезжелезивания воды и вводимый дополнительно к минеральным компонентам асфальтобетона.

Подземные и поверхностные воды являются важным источником питьевой воды; при этом доля подземных вод в системе водоснабжения нашей страны составляет $\approx 46\%$ [4].

На сегодняшний день проблема выделения и переработки железа из подземных и поверхностных вод стоит особенно остро. Во многом это объясняется тем, что в России значительная доля подземных ресурсов (и в том числе – вод) характеризуется высоким уровнем железа, и это негативно сказывается на их использовании для хозяйственных нужд. [5]. Ряд требований эстетического (цветность; следы на белье и посуде, кухонном и санитарном оборудовании), технического (коррозия и забивание трубопроводов), экономического (вывод из строя бытовых умягчительных систем) и органолептического (привкус) характера, а также проблемы, возникающие в пищевой, текстильной, целлюлозно-бумажной, химической и других отраслях промышленности, загрязнение продукции и материалов промышленного применения [6, 7] приводят к технической необходимости очистки воды от соединений железа. Хотя, как известно, железо является элементом, необходимым для полноценного питания человека, и обеспечивает поддержку оптимального уровня гемоглобина в крови, его поступление в повышенных количествах в организм может нанести здоровью значительный вред. Кроме того, не стоит забывать, что именно избыток соединений железа способствует так называемому «зарастанию» водопроводных сетей и водоразборной арматуры.

Способ очистки воды от таких примесей зависит от формы железа, содержащегося в воде [8, 9].

Так, типовая технологическая схема обезжелезивания питьевой воды включает две основные стадии [10]:

1) насыщение воды кислородом, приводящее к окислению гидрокарбоната железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ до $\text{Fe}(\text{OH})_3$;

2) выделение гидроксида железа (III) на насыпных фильтрах.

Для химического процесса обезжелезивания воды характерна реакция:



Предметом настоящего исследования является осадок станции обезжелезивания питьевой воды, расположенной в пос. Некрасовское (Ярославская обл.), и образцы асфальтобетона, полученные с введением в него такой модифицирующей добавки. Внесение вклада в разработку технологии утилизации осадка обезжелезивания воды с получением



качественного МТС является актуальной задачей, решение которой касается одновременно развития транспортного строительства и важной проблемой ресурсосбережения.

Цель работы – поиск эффективного пути повышения адгезии битума к минеральной части асфальтобетона и, соответственно, повышение качества асфальтобетонных материалов, применяемых в современном дорожном строительстве.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Плотность и влажность, а также химический состав осадка станции обезжелезивания питьевой воды пос. Некрасовское (Ярославская обл.) определены нами экспериментально (табл. 1).

Таблица 1. Состав осадка станции обезжелезивания питьевой воды пос. Некрасовское (Ярославская обл.)

Table 1. Precipitation composition of the drinking water deferrization station in Nekrasovskoye settlement (Yaroslavl region)

Показатель	Значение
Плотность, г·см ⁻³	1.17–1.26
Влажность, % масс.	90.0–91.0
Нерастворимые в HCl вещества, мас%	2.9–6.7
Содержание Fe _{общ} (в пересчете на Fe ₂ O ₄), мас%.	83.1–85.0
Соотношение Fe ₂ O ₃ :FeO	3:1
Содержание Si (в пересчете на SiO ₂), мас%	2.3–5.4
Содержание Al (в пересчете на Al ₂ O ₃), мас%	0.6–1.3
Содержание Ca (в пересчете на CaO), мас%	2.6–4.8
Содержание Mg (в пересчете на MgO), мас%	1.8–4.9
Содержание Zn, Cu, Pb, мас%	Не обнаружены

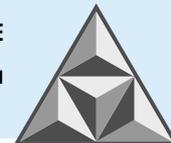
Как видно из табл. 1, отход станции обезжелезивания подземных вод обводнен, плотность осадка находится в пределах 1.17–1.26 г·см⁻³. Преобладающим компонентом отхода является коллоидное железо (II, III). Соотношение соединений железа (III) и железа (II) составляет 3:1. В небольших количествах в осадке содержатся кремний, магний, кальций и алюминий; цинк, медь и свинец не обнаружены.

После изучения состава осадка обезжелезивания воды предложено использовать его как модифицирующую добавку в асфальтобетонные смеси с целью повышения адгезии минеральных компонентов к битуму. Отсутствие хорошей адгезии битума к поверхности минеральных материалов, особенно кислых пород, приводит к преждевременному разрушению асфальтобетона и качества дорожного покрытия.

Для оценки эффективности использования предлагаемой модифицирующей добавки – суспензии гидроксида железа, получаемой в процессе обезжелезивания воды, на первом этапе использовали методику в соответствии с ГОСТ 12801-98.

Гранитный щебень (кислая порода) обрабатывали суспензией, включающей осадок обезжелезивания питьевой воды. Качество сцепления оценивали визуально (рис. 2). Были испытаны различные варианты обработки исходного щебня (рис. 2, а); щебень обрабатывали модифицирующей добавкой как в просушенном виде (рис. 2, б), так и взятой до сушки (рис. 2, в).

На втором этапе с целью подбора условий использования осадка обезжелезивания воды в технологическом процессе производства асфальтобетона проведено исследование качества дорожной смеси различных марок. На основе сделанного выбора применяли состав горячей асфальтобетонной смеси типа Б марки 1 (мелкозернистой) (см. табл. 2).

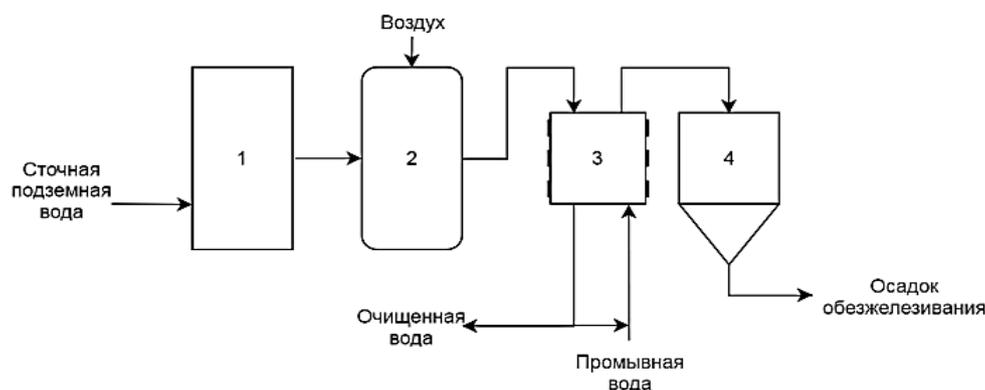
**Таблица 2.** Состав горячей асфальтобетонной смеси типа Б марки 1**Table 2.** Type B grade 1 hot asphalt concrete mix composition

№ п/п	Материал	Состав минеральной части асфальтобетона, % (битум сверх 100%)
1	Щебень фр.5-20, М1200	42.0
2	Песок из отсевов дробления, фр.0-5, М1200	55.0
4	Минеральный неактивированный порошок	3.0
5	Битум БНД 60/90	5.0

Как видно из табл. 2, значительную часть (55%) в таком составе занимает дробленый песок, фракция 0-5, М1200; дополнительно в небольшом количестве присутствует неактивированный минеральный порошок (3%).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена блок-схема обезжелезивания воды в пос. Некрасовское (Ярославская обл.).

**Рис. 1.** Схема нейтрализации и обезжелезивания воды: 1 – водозаборное сооружение;

2 – камера аэрации, эжектор; 3 – насыпной фильтр; 4 – отстойник

Fig. 1. Water neutralisation and deferrization scheme: 1 – water collection facility;

2 – aeration chamber, ejector; 3 – bulk filter; 4 – settling tank

Подземная вода поступает в водозаборное сооружение 1, затем она попадает в камеру аэрирования 2, где происходит ее насыщение кислородом. Вода, содержащая гидроксид железа (III), очищается в насыпном фильтре 3 и подается потребителю. Промывка фильтра осуществляется обратным потоком воды.

В ходе очистки на станциях водоподготовки при промывке фильтров возникают большие объемы промывных вод, которые поступают в отстойник 4 и представляют собой суспензию железосодержащего осадка, выделенного в ходе технологического процесса. Отметим, что данный железосодержащий осадок является источником загрязнения окружающей среды. Поэтому по мере накопления на дне отстойника 4 осадок необходимо систематически удалять и утилизировать. В данном случае осадок наносится на минеральные компоненты, входящие в состав асфальтобетонной смеси.

Изначально качество сцепления битума в отсутствие модифицирующей добавки – осадка обезжелезивания, удаленного из отстойника 4, визуально (см. рис. 2, а) оценивается в 2 балла.

Как видно из рис. 2, в, лучший эффект достигается на образце, обработанном добавкой до сушки; при этом качество сцепления составляет по стандарту 5 баллов. При обработке добавкой до сушки (рис. 2, б) качество сцепления составило 3 балла, а необработанный образец (рис. 2, а) имеет низкое качество сцепления.



а) Щебень без добавки
a) Crushed stone without additive



б) Щебень, обработанный
добавкой после сушки
b) Crushed stone treated with additive
after drying



в) Щебень, обработанный
добавкой до сушки
c) Crushed stone treated with additive
before drying

Рис. 2. Варианты обработки щебня модифицирующей добавкой

Fig. 2. Crushed stone treatment options with modifying additive

Данная зависимость может объясняться тем, что при нанесении добавки на горячий щебень нарушается равномерность покрытия из-за быстрого испарения воды. В этой связи рекомендуется наносить добавку-модификатор на холодные материалы.

Результаты испытаний рабочих составов асфальтобетона в отсутствие модифицирующей добавки – активатора и с различной дозировкой осадка обезжелезивания воды представлены в табл. 3 и на рис. 3, 4.

Таблица 3. Результаты испытаний асфальтобетонных смесей типа Б марки 1 в присутствии модифицирующей добавки

Table 3. Test results of type B grade 1 asphalt concrete mixtures in the presence of modifying additive

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измер.	Требования ГОСТ 9128-2013	Б-1, рабочий состав	Б-1+5% добавки	Б-1+7% добавки	Б-1+10% добавки
1	Плотность	г·см ⁻³	–	2.54	2.54	2.53	2.52
2	Водонасыщение	%	1.5 – 4.0	2.4	2.2	2.5	3.4
3	Предел прочности при сжатии и температуре 0°C	МПа	Не более 11.0	9.9	10.0	8.8	12.5
4	Предел прочности при сжатии и температуре 20°C	МПа	Не менее 2.5	4.7	4.2	4.1	6.7
5	Предел прочности при сжатии и температуре 50°C	МПа	Не менее 1.2	2.5	2.0	1.6	3.7
6	Предел прочности при сжатии и температуре 20°C (водонасыщенные образцы)	МПа	–	5.0	4.6	5.0	6.3
7	Водостойкость	–	Не менее 0.90	1.06	0,91	1.25	0.94
8	Водостойкость при длительном водонасыщении	–	Не менее 0.85	0.86	–	1.21	–
9	Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°C и скорости деформирования 50 мм·мин ⁻¹	МПа	3.5-6.0	4.1	3.8	4.2	5.1
10	Сдвигоустойчивость: – по коэффициенту внутреннего трения	–	Не менее 0.81	0.91	0.89	0.91	0.87
	– по сцеплению при сдвиге и температуре 50°C	МПа	Не менее 0.37	0.47	0.57	0.59	0.99
11	Сцепление вяжущего с минеральной частью смеси	–	Не менее ¾ поверхности остается покрытой пленкой вяжущего	Выдерживают все составы, при этом:			
				2 место	1 место		
12	Сцепление битумного вяжущего со щебнем	баллы	2-5	3	5	5	5

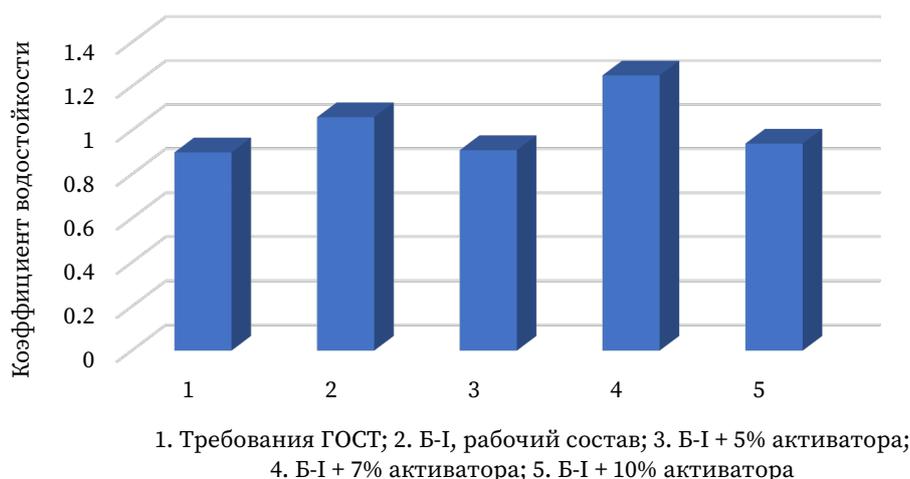
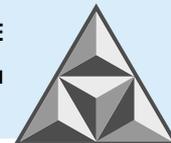


Рис. 3. Зависимость водостойкости асфальтобетона от дозировки добавки-модификатора

Fig. 3. Dependence of asphalt concrete water resistance on the dosage of modifier additive

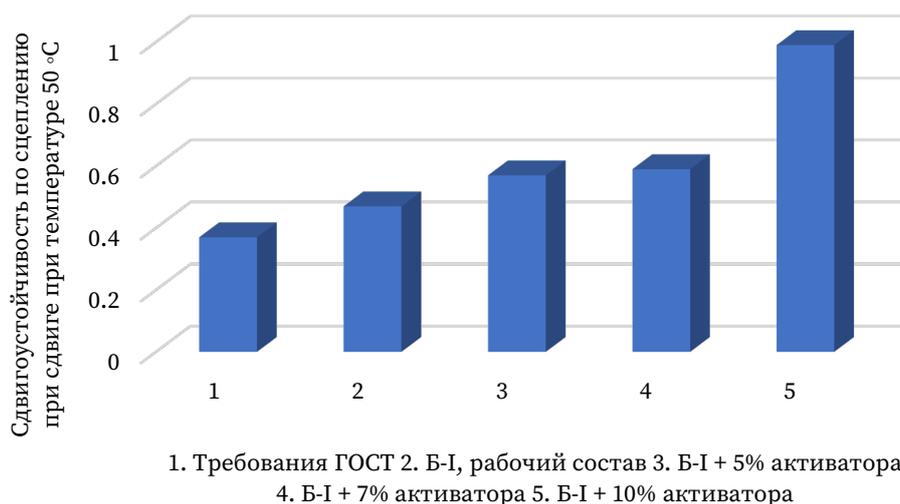


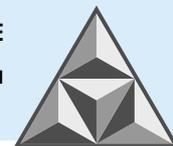
Рис. 4. Зависимость сдвигоустойчивости асфальтобетона по сцеплению при сдвиге от дозировки добавки; температура среды 50°C

Fig. 4. Shear bond resistance of asphalt concrete as a function of additive dosage; ambient temperature 50°C

Экспериментально доказано, что введение модифицирующей добавки оказывает наибольшее влияние на показатели водостойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетона при длительном насыщении. Указанные характеристики образцов значительно улучшаются. Этот факт можно объяснить повышением адгезии битума к минеральным компонентам асфальтобетона.

Поскольку качественные характеристики асфальтобетонной смеси зависят от множества физико-химических факторов (температура и давление при получении композиционного строительного материала, дисперсность компонентов и др.), на сегодняшний день логическое объяснение получила только часть результатов, связанных с включением в состав МТС указанной модифицирующей добавки.

При этом анализ рис. 3, 4 выявил, что высокие дозировки модифицирующей добавки ($\geq 10\%$), с учетом показателя прочности, являются нежелательными. Рекомендуемое количество осадка обезжелезивания питьевой воды пос. Некрасовское (Ярославская обл.) в составе МТС находится на уровне 7 мас%.



В работе предлагается также техническое новшество [11], обеспечивающее повышение качества асфальтобетонных покрытий. Так, в известной схеме (см. рис. 1) целесообразно использовать емкость, снабженную распределительной гребенкой и позволяющую проводить обработку модифицирующей добавкой минеральных материалов в холодном состоянии.

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность использования отхода обезжелезивания питьевой воды пос. Некрасовское (Ярославская обл.) в качестве модифицирующей добавки-активатора в материалы для транспортного строительства, в частности, для улучшения адгезии битума к минеральной части асфальтобетона.

2. Выявлено, что введение 7 мас% модифицирующей добавки к минеральным компонентам в холодном состоянии способствует увеличению водостойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетона, при этом качество сцепления компонентов МТС составляет 5 баллов.

Небольшие трансформации традиционной схемы производства асфальтобетона позволяют реализовать данный процесс на практике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Котов С.В., Тимофеева Г.В., Леванова С.В. и др.** Дорожные битумы с модифицирующими добавками // *Химия и технология топлив и масел*. 2003. № 3. С. 52-53.
2. **Razgovorov P., Ignatyev A., Gotovtsev V., Vlasova E.** Using Granulate Composites with Calcined Phosphogypsum and PET Additive in Asphalt: *Mat. Sci. Forum*. 2021. Vol. 1049. P. 257-265.
3. **Игнатъев А.А., Разговоров П.Б., Готовцев В.М.** Структурообразование и потребительские свойства гранулированных асфальтобетонных смесей с включением фосфогипса и вторичного полиэтилентерефталата // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 1 (105). С. 123-132.
4. Использование подземных вод [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/215.html> (дата обращения 22.03.2023);
5. **Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.** Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 676 с.
6. **Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю.** Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. М.: Стройиздат, 1975. 176 с.
7. Химическая энциклопедия: в 5 т.: Т. 1. М.: Сов. энциклопедия, 1988. 623 с.
8. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1986. С изм. № 1 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 № 635/14) (ред. от 30.12.2015).
9. **Головин В.Л.** Проблемы очистки подземных вод от устойчивых форм железа // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2003. № 6. С. 39-41.
10. **Янин Е.П.** Осадок железосодержащих подземных питьевых вод (образование, особенности, проблемы утилизации) // *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*. 2008. № 4. С. 26-57.
11. Пат. 2732176 РФ. Способ приготовления асфальтобетонной смеси / **Тимрот С.Д., Ежов А.А., Задворнов И.М., Лаврентьева М.В., Заварин О.Е.** Заявл. 21.05.2019. Оpubл. 14.09.2020. Бюл. № 26.

Поступила в редакцию 15.02.2024

Одобрена после рецензирования 17.05.2024

Принята к опубликованию 10.06.2024



REFERENCES

1. **Kotov, S.V., Timofeeva, G.V. & Levanova, S.V. et al.** (2003) "Road bitumens with modifying additives", *Chemistry and technology of fuels and oils [Khimiya i tekhnologiya topliv i masei]*, (3), pp. 52-53 (in Russian).
2. **Razgovorov, P., Ignatyev, A. & Gotovtsev, V. & Vlasova, E.** (2021) Using Granulate Composites with Calcined Phosphogypsum and PET Additive in Asphaltting, *Mat. Sci. Forum*, (1049), pp. 257-265.
3. **Ignatyev, A.A., Razgovorov, P.B. & Gotovtsev, V.M.** (2023) "Structure Formation and Consumer Properties of Granular Asphalt-Concrete Mixtures with Phosphogypsum Inclusion and Secondary Polyethylene Terephthalate", *Building and Reconstruction [Stroitel'stvo i rekonstruksiya]*, 1(105), pp. 123-132 (in Russian).
4. The use of groundwater. Available at: <https://nationalatlas.ru/tom2/215.html> (accessed 22.03.2013) (in Russian).
5. **Krainov, S.R., Ryzhenko, B.N. & Shvets, V.M.** (2004) *Geochemistry of groundwater. Theoretical, applied and environmental aspects*. M.: Nauka (in Russian).
6. **Zolotova, E.F. & Ass, G.Yu.** (1975) *Purification of water from iron, fluorine, manganese and hydrogen sulfide*. M.: Stroyizdat (in Russian).
7. Chemical encyclopedia: In 5 volumes: vol. 1. M.: Soviet Encyclopedia, 1988 (in Russian).
8. SNiP 2.04.02-84. Water supply. Outdoor networks and structures. M.: Stroyizdat, 1986. With amendment no. 1 (approved by the Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated 12/29/2011 No. 635/14) (ed. on 30.12.2015) (in Russian).
9. **Golovin, V.L.** (2003) Problems of groundwater purification from stable forms of iron, *Melioration and water management [Melioratsiya i vodnoe khozyajstvo]*, (6), pp. 39-41(in Russian).
10. **Yanin, E.P.** (2008) Sediment of iron-containing underground drinking waters (formation, features, problems of utilization), *Scientific and technical aspects of environmental protection – Working Environment*, (4), pp. 26-57 (in Russian).
11. **Timrot, S.D., Yezhov, A.A., Zadvornov, I.M., Lavrentieva, M.V. & Zavarin, O.E.** Method of preparation of asphalt concrete mixture. Pat. 2732176 Russia. 2020.

Received 15.02.2024

Approved after reviewing 17.05.2024

Accepted 10.06.2024