

Использование цементогранулята в дорожном строительстве

Канд. техн. наук, доц. С. И. Зиневич¹⁾, асп. А. К. Каюмов¹⁾, инж. Д. М. Ковалев¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Изучена возможность применения в процессе строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог цементогранулята – продукта переработки старого цементобетона и мусора, образующегося при сносе зданий и сооружений. Использование вторичных материалов в дорожной отрасли – один из источников экономии природного сырья. При этом решаются экологические проблемы посредством утилизации старых отработанных материалов и конструкций. Исследованы характеристики цементогранулята, определена возможность его применения для устройства оснований под дорожные одежды, а также как заменителя щебня при изготовлении бетонных плит сборных покрытий. В первом случае использование цементогранулята эффективным является метод заклинки. Экспериментально подтверждено, что остатки цементного раствора на поверхности щебня, бывшего в употреблении, способствуют лучшему его заклиниванию, тем самым создавая более прочный слой основания. Чтобы оценить возможность применения цементогранулята как заменителя щебня для изготовления бетонных плит сборных покрытий, проведены стандартные исследования этого материала, подобран состав цементобетонной смеси, изготовлены и испытаны стандартные образцы. Результаты экспериментов показали, что использование цементогранулята для таких целей вполне допустимо. В частности, средняя прочность образцов в испытанной партии оказалась равной 45,13 МПа, а гарантируемая – 35,13 МПа, что соответствует классу бетона В35. Данные показатели демонстрируют, что применение цементогранулята вполне может быть востребовано при строительстве и реконструкции местных дорог. В настоящее время, как известно, выполняется программа по повышению транспортно-эксплуатационного уровня местных дорог, а это – около 70 тыс. км. И здесь, конечно, потребуется огромное количество дорожно-строительных материалов.

Ключевые слова: цементогранулят, основание под дорожные одежды, метод заклинки, бетонные плиты, сборные покрытия, подбор состава, цементобетонная смесь, цементобетон

Для цитирования: Зиневич, С. И. Использование цементогранулята в дорожном строительстве / С. И. Зиневич, А. К. Каюмов, Д. М. Ковалев // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 2. С. 134–141. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-2-134-141>

Use of Cement Granulate in Road Construction

S. I. Zinevich¹⁾, A. K. Kayumov¹⁾, D. M. Kovalyov¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The possibility of using cement granulate, a product of processing old cement concrete and waste generated during the demolition of buildings and structures, has been studied in the construction, reconstruction and repair of highways. The use of recycled materials in the road industry is one of the sources of saving natural raw materials. In addition, the use of waste solves environmental problems through the disposal of old waste materials and structures. Having completed the study of cement granulate, the possibility of using it for the construction of foundations for road pavements, as well as a substitute for crushed stone in the manufacture of concrete slabs of prefabricated coverings, has been determined. In the first case of using cement granulate, the wedge method is effective. It has been experimentally confirmed that the remains

Адрес для переписки

Зиневич Сергей Иванович
Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 237-38-81
Zinev2018@gmail.com

Address for correspondence

Zinevich Sergey I.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 237-38-81
Zinev2018@gmail.com

of cement mortar on the surface of used crushed stone contribute to its better wedging, thereby creating a more durable base layer. In order to assess the possibility of using cement granulate as a substitute for crushed stone for the manufacture of prefabricated concrete slab, standard studies of this material were carried out, the composition of the cement concrete mixture was selected, and standard samples were manufactured and tested. The test results have shown that the use of cement granulate for such purposes is quite acceptable. In particular, the average strength of the samples in the tested batch turned out to be 45.13 MPa and the guaranteed strength was 35.13 MPa, which corresponds to the B35 class of concrete. These indicators demonstrate that the use of cement granulate may well be in demand in the construction and reconstruction of local roads. At present, as it is known, a program is being implemented to improve the transport and operational level of local roads, and this is about 70 thousand kilometers. And here, of course, a huge amount of road construction materials will be required.

Keywords: cement granulate, bases for road pavements, wedge method, concrete slabs, prefabricated coverings, selection of composition, cement-concrete mixture, cement concrete

For citation: Zinevich S. I., Kayumov A. K., Kovalyov D. M. (2022) Use of Cement Granulate in Road Construction. *Science and Technique*. 21 (2), 134–141. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-2-134-141> (in Russian)

Введение

Вопросы охраны окружающей среды приобретают все большую остроту в связи с продолжающимся увеличением объема отходов производства промышленной и строительной индустрии, которые в свою очередь являются загрязнителями экологии. Учет данного фактора становится обязательным условием во всех областях деятельности человека, в том числе и в дорожном строительстве, где имеется реальная база для утилизации крупнотоннажных отходов.

Использование при выполнении дорожных строительно-ремонтных работ вторичного сырья позволяет значительно снизить затраты на их выполнение. При этом еще уменьшается негативное воздействие на окружающую среду [1–3].

Цементогранулят – продукт переработки различных дефектных или отработавших свой срок цементобетонных изделий и строительного мусора, образовавшегося при разборке зданий, бетонных покрытий автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов. Такое сырье в Беларуси имеется в достаточном количестве на полигонах твердых бытовых отходов, где его перерабатывают в цементогранулят [4].

Поскольку цементогранулят получают измельчением различных изделий и конструкций, в нем могут встречаться включения битого кирпича, керамической плитки, древесины. Поэтому прежде чем исследовать этот материал на пригодность к тому или иному элементу дороги, его необходимо дополнительно подготовить (очистить от возможных посторонних вклю-

чений). После предварительной подготовки цементогранулят имел вид, представленный на рис. 1



Рис. 1. Цементогранулят, используемый при испытаниях
Fig. 1. Cement granulate used in testing

Цементогранулят для устройства основания дорожного покрытия по методу заклинки

Для определения возможности использования цементогранулята вместо природного щебня из горных пород при устройстве оснований дорожных одежд по методу заклинки были определены зерновой состав и модуль крупности этого материала. Для определения зернового состава цементогранулята применяли ситовой анализ согласно ГОСТ 8269.0 [5]. После просеивания получили зерновой состав цементогранулята, приведенный в табл. 1.

Модуль крупности зерен M_k составил 2,18. Сравнив гранулометрические составы испытываемых смесей цементогранулята и его модуль крупности с требованиями нормативных документов, в частности [6], можно сделать вывод, что фракции 0–40 по своему составу аналогичны смесям с номерами С11 и С12 по [6].

Зерновой состав цементогранулята
Grain composition of cement granulate

Размер отверстий сита, мм	Частный остаток, %, цементогранулята фракции		Полный остаток, %, цементогранулята фракции	
	до 20 мм	до 40 мм	до 20 мм	до 40 мм
40	0	5,69	0	5,69
30	0	0	0	5,69
20	1,00	34,57	1,00	40,26
15	26,27	22,78	27,27	63,04
10	30,97	15,58	58,24	78,62
5	26,97	11,29	85,21	89,91
2,5	5,29	4,20	90,51	94,11
1,25	2,70	1,90	93,21	96,00
0,63	1,60	0,90	94,81	96,90
0,315	1,60	1,10	96,40	98,00
0,14	1,10	1,40	97,40	99,40
0,071	1,60	0,40	99,00	99,80
≤0,071	1,00	0,20	100,00	100,00

Вместе с тем по своим свойствам из-за наличия остатков старого раствора на поверхности зерен эти смеси должны отличаться. И совершенно очевидно, что при уплотнении такого слоя с целью его заклинки эффект должен быть иным, чем у щебня из горных пород, не бывшего в употреблении. Для подтверждения данного предположения в экспериментах для формования асфальтобетонных образцов использовали металлические цилиндры диаметром 100 мм, в которых на испытательном прессе мощностью 50 т заклинивали щебень из цементогранулята фракций 0–40, а затем таких же фракций щебень из горных пород, не бывший в употреблении. Усилие уплотнения и для одного, и для другого щебня было одинаковым. После последующего выдавливания из цилиндра заклиненного щебня при испытаниях на том же прессе было установлено, что заклиненный слой из цементогранулята требует большего усилия (на 15 %) для разрушения по сравнению со щебнем из горных пород, не бывшим в употреблении. Таким образом, при устройстве оснований по методу заклинки целесообразно применять цементогранулят.

Цементогранулят как альтернатива щебню при приготовлении бетонных смесей для плит сборных покрытий

Для того чтобы сделать заключение о возможности использования цементогранулята как

крупного заполнителя при проектировании бетонных смесей для плит сборных покрытий, выполнили стандартные испытания этого материала. Зерновой состав и модуль крупности цементогранулята определяли в первой задаче, одновременно выявляя характеристики материала: насыпную плотность, плотность зерен, пустотность и дробимость.

Насыпную плотность цементогранулята определяли путем взвешивания его определенной массы в воздушно-сухом состоянии в соответствии с п. 4.17 [5] по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V},$$

где m – масса мерного цилиндра, г; m_1 – то же мерного цилиндра с цементогранулятом, г; V – объем мерного цилиндра, см³.

Результаты испытаний по определению насыпной плотности цементогранулята приведены в табл. 2.

Плотность зерен цементогранулята рассчитывали в соответствии с п. 4.16.1 [5]

$$\rho_3 = \frac{m}{m_1 - m_2} \rho_v,$$

где m – масса пробы в сухом состоянии, г; m_1 , m_2 – то же в насыщенном водой состоянии на воздухе и в воде соответственно, г; ρ_v – плотность воды, г/см³.

Результаты испытаний по определению плотности зерен цементогранулята приведены в табл. 3.

Таблица 2

Определение насыпной плотности цементогранулята
Determination of bulk density of cement granulate

Наименование материала	Объем цилиндра, см ³	<i>m</i> , г	<i>m</i> ₁ , г	Насыпная плотность, г/см ³	Средняя насыпная плотность, г/см ³
Цементогранулят фракций 5–20	10000	1545	15455	1,39	1,39
			15462	1,39	

Таблица 3

Определение плотности зерен цементогранулята
Determination of grain density of cement granulate

Наименование материала	Плотность воды, г/см ³	<i>m</i> , г	<i>m</i> ₁ , г	<i>m</i> ₂ , г	Плотность зерен, г/см ³	Средняя плотность зерен, г/см ³
Цементогранулят фракций 5–20	1	1000,0	1095,3	703,4	2,551	2,55
			1093,7	701,2	2,548	

Пустотность цементогранулята (% по объему) находили расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности цементогранулята в соответствии с п. 4.16.2 [5]

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z} \right) \cdot 100,$$

где ρ_n , ρ_z – насыпная и средняя плотность зерен цементогранулята, г/см³.

Результаты расчета пустотности цементогранулята приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета пустотности цементогранулята
Results of calculation of cement granulate voidness

Наименование материала	Насыпная плотность, г/см ³	Плотность зерен, г/см ³	Пустотность, %
Цементогранулят фракций 5–20	1,39	2,55	45,43

Дробимость цементогранулята. Дробимость щебня (гравия) определяли по степени

разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре в соответствии с п. 4.8 [5]. Испытание выполняли на цементогрануляте фракций 5–20. Согласно требованиям, он был рассеян на две более узкие фракции 5–10 и 10–20, каждую из которых испытывали отдельно.

Дробимость D_r определяли с точностью до 1 % по формуле

$$D_r = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100,$$

где m – масса испытываемой пробы щебня (цементогранулята), г; m_1 – то же остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы (цементогранулята), г.

Результаты расчета дробимости цементогранулята приведены в табл. 5.

Марка по дробимости цементогранулята фракций 5–10 и 10–20 соответствует 600. Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что он соответствует требованиям, предъявляемым к крупному заполнителю при проектировании цементобетонной смеси [7, 8].

Таблица 5

Результаты расчета дробимости цементогранулята
Results of calculating crushability of cement granulate

Наименование материала	Контрольное сито, мм	<i>m</i> , г	<i>m</i> ₁ , г	D_r , %	Марка по дробимости
Цементогранулят фракций 5–10	1,25	317,47	256,44	19,22	600
Цементогранулят фракций 10–20	2,5	285,34	237,55	16,75	

Подбор состава цементобетона

Было принято решение подобрать состав цементобетона максимальной прочности на сжатие класса В35. Цементобетон данного класса применялся на объекте МКАД-2, требования к которому были такими, как для I категории.

Согласно [9] (Приложение А), класс бетона на сжатие соответствует В35, С28/С35. Нормативное сопротивление f_{ck} должно составлять не менее 28 МПа, гарантированная прочность бетона $f_{c.cube}^G$ – не менее 35 МПа, требуемая прочность бетона $f_{c.тр}$ при подборе состава – не менее 45 МПа.

Для подбора цементобетона использовали следующие материалы:

- цемент. В роли гидравлического вяжущего применяли портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ДП по ГОСТ 33174 [10]. Основные физико-механические свойства цемента представлены в табл. 6;
- песок строительный, крупный, первого класса, соответствует требованиям ГОСТ 8736 [11]. Его основные физико-механические свойства представлены в табл. 7, гранулометрический состав – в табл. 8, графическое отображение – на рис. 2;
- воду, отвечает требованиям СТБ 1114 [12].

Таблица 6

Физико-механические свойства цемента
Physical and mechanical properties of cement

Наименование материала	Плотность, т/м ³		Межзерновая пустотность, %	Предел прочности, МПа		Класс прочности цемента
	насыпная	истинная		на сжатие	на изгиб	
Цемент	1,15	2,99	61,54	48,1	6,2	42,5Н

Таблица 7

Физико-механические свойства песка
Physical and mechanical properties of sand

Наименование материала	Плотность, т/м ³		Пустотность, %	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Модуль крупности
	насыпная	истинная			
Песок (природный)	1,485	2,683	44,65	1,89	2,18

Таблица 8

Гранулометрический состав песка
Granulometric composition of sand

Размер зерен, мм	Масса песка на сите, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Модуль крупности
10	0	0	0	
5	17,40	1,74	1,74	
2,5	39,40	3,94	5,68	
1,25	94,70	9,47	15,15	
0,63	172,70	17,27	32,42	
0,315	376,00	37,60	70,02	
0,14	248,70	24,87	94,89	
0,071	42,00	4,20	99,09	
<0,071	9,10	0,91	100,00	

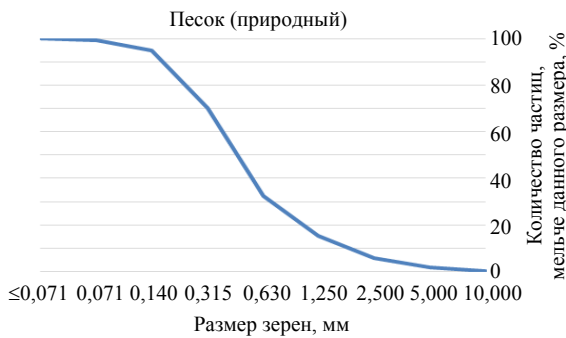


Рис. 2. Гранулометрический состав природного песка первого класса

Fig. 2. Granulometric composition of natural sand of the first class

Состав цементобетонной смеси

Состав цементобетонной смеси рассчитывали в соответствии с СТБ 1182 [13]. В связи с отсутствием в составе пластификаторов и иных добавок для придания требуемой удобоукладываемости принимали максимальное водоцементное отношение ($B/C = 0,45$) для покрытий дорог I–III категорий в соответствии с [14]. Состав цементобетонной смеси представлен на рис. 3.

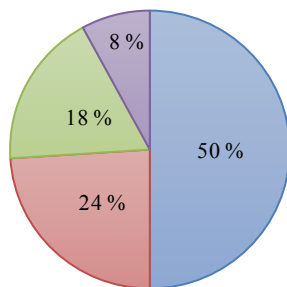


Рис. 3. Состав цементобетонной смеси:

■ – цементогранулят фракций 5–20; ■ – песок;
■ – цемент; ■ – вода

Fig. 3. Composition of cement-concrete mixture:

■ – cement granulate fractions 5–20; ■ – sand;
■ – cement; ■ – water

Удобоукладываемость цементобетонной смеси оценивали по осадке конуса, от формован-

ного в соответствии с п. 5 [15]. Результат испытаний представлен в табл. 9.

Таблица 9

Результат испытаний цементобетонной смеси на удобоукладываемость

Result of testing cement concrete mixture for workability

Наименование характеристики	Результат испытания		Среднее значение
Осадка конуса, см	3,27	3,43	3,35

В соответствии с [16] марка бетона по осадке конуса (по удобоукладываемости) П1, она наиболее предпочтительна для дорожных бетонов.

Из полученной бетонной смеси выполняли формовку стандартных образцов-кубов размерами $100 \times 100 \times 100$ мм в соответствии с ГОСТ 10180 [17]. Прочность бетона на сжатие f_c , МПа, вычисляли по формуле

$$f_c = \alpha \frac{F}{A},$$

где α – масштабный коэффициент, для формы $100 \times 100 \times 100$ мм $\alpha = 0,95$; F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь рабочего сечения образца, мм^2 .

Результат испытаний цементобетона приведен в табл. 10.

Гарантированную прочность бетона находили по формуле

$$f_{c.cube}^G = f_{cm} (1 - 1,64K_v),$$

где f_{cm} – предел прочности на сжатие бетона (средний), МПа; K_v – коэффициент вариации (изменчивости).

В соответствии с п. 3.5 [13] примем коэффициент вариации 13,5 %. Результаты расчетов прочности цементобетона представлены в табл. 11.

Таблица 10

Результат испытаний цементобетона

Test result for cement concrete

Проектный класс бетона по прочности, МПа	Размер формы, мм	Масштабный коэффициент	Масса образца, г	Средняя плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	Средняя прочность образца в серии, МПа
В35	$100 \times 100 \times 100$	0,95	2345,3		2,34		
			2353,0	474		45,03	

Результаты расчетов прочности цементобетона
Calculation results of cement concrete strength

Проектный класс бетона по прочности, МПа	Средняя прочность образца в серии f_{cm} , МПа	Требуемая прочность бетона при подборе состава $f_{c,тр}$, МПа	Гарантированная прочность бетона $f_{c,cube}^G$, МПа		Общее заключение
			полученная	требуемая	
V35	45,13	45,00	35,13	35,00	Соответствует требованиям нормативных документов

ВЫВОДЫ

1. На основании выполненных исследований установлено, что цементогранулят (продукта переработки различных поврежденных железобетонных изделий) можно рекомендовать для устройства оснований по методу заклинки, а также в качестве альтернативы щебню при приготовлении бетонных смесей для плит сборного покрытия.

2. Цементогранулят особенно может быть востребован при строительстве и реконструкции местных дорог. В настоящее время выполняется программа по повышению транспортно-эксплуатационного уровня местных дорог, а это – около 70 тыс. км. Поэтому потребуется огромное количество дорожно-строительных материалов. Применение вторичных ресурсов позволит не только снизить затраты на строительство, но и уменьшить негативное их воздействие на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги / Я. Н. Ковалев [и др.]. Минск: Арт Дизайн, 2006. 351 с.
2. Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых, аспирантов и студ., Минск, 22–23 нояб. 2017 г. / ред. А. В. Бусел и др. Минск: БНТУ, 2017. 90 с.
3. Веренько, В. А. Новые материалы в дорожном строительстве / В. А. Веренько. Минск: Технопринт, 2004. 169 с.
4. Реут, Ж. В. Цементогранулят как альтернатива природному сырью / Ж. В. Реут, С. И. Зиневич, Д. М. Ковалев // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол. С. Е. Кравченко (гл. ред.) и др. Минск: БНТУ, 2020. С. 65–70.
5. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний: ГОСТ 8269.0–97. Введ. 01.01.1999. Минск: Минстройархитектуры, 1999. 78 с.
6. Смесей щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия: СТБ 2318–2013. Введ. 01.01.2014. Минск: Госстандарт, 2013. 18 с.
7. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059.1–2020. Введ. 01.09.2020. Минск: Мин-во трансп. и коммуник. Респ. Беларусь, 2020. 76 с.
8. Автомобильные дороги. Цементобетонные основания и покрытия. Правила устройства: ТКП 45-3.03-88–2007. Введ. 20.12.2007. Минск: Минстройархитектуры, 2017. 44 с.
9. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия: СТБ 1544–2005. Введ. 01.07.2005. Минск: Минстройархитектуры, 2005. 36 с.
10. Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования: ГОСТ 33174–2014. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2015. 11 с.
11. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736–2014. Введ. 01.04.2017. Минск: Госстандарт, 2016. 18 с.
12. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: СТБ 1114–98. Введ. 01.01.1999. Минск: Минстройархитектуры, 1998. 20 с.
13. Бетоны. Правила подбора состава: СТБ 1182–99. Введ. 01.07.2000. Минск: Минстройархитектуры, 2000. 16 с.
14. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия: СТБ 2221–2020. Введ. 01.04.2021. Минск: Госстандарт, 2020. 28 с.
15. Смесей бетонные. Методы испытания: СТБ 1545–2005. Введ. 01.07.2005. Минск: Минстройархитектуры, 2005. 26 с.
16. Смесей бетонные. Технические условия: СТБ 1035–96. Введ. 01.07.1997. Минск: Минстройархитектуры, 1996. 52 с.
17. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–2012. Введ. 01.07.2013. Минск: Минстройархитектуры, 2013. 36 с.

Поступила 30.11.2021

Подписана в печать 01.02.2022

Опубликована онлайн 31.03.2022

REFERENCES

1. Kovalev Ya. N., Leonovich I. I., Yaromko V. N., Verenko V. A., Minin A. V., Cheptsov G. V., Yatsевич I. K. (2006) *Highways*. Minsk, Art Design Publ., 351 (in Russian).
2. Busel A. V. (ed.) (2017) *Innovatsii v Stroitel'stve i Eksploatatsii Dorozhno-Stroitel'nogo Kompleksa: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. Molod. Uchenykh, Aspir., Magistrantov i Stud., Minsk, 22–23 Noyab. 2017 g.* [Innovations in the Construction and Operation of the Road Construction Complex: Proceedings of International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Graduate Students, Undergraduates and Students, Minsk, Nov. 22–23, 2017]. Minsk, Belarusian National Technical University Publ., 90 (in Russian).
3. Verenko V. A. (2004) *New Materials in Road Construction*. Minsk, Tekhnoprint Publ., 169 (in Russian).
4. Reut Zh. V., Zinevich S. I., Kovalev D. M. (2020) Cement Granulate as an Alternative to Natural Raw Materials. *Dorozhnoe Stroitel'stvo i ego Inzhenernoe Obespechenie: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf.* [Road Construction and its Engineering Support: Proceedings of International Scientific and Technical Conference]. Minsk, Belarusian National Technical University Publ., 65–70 (in Russian).
5. State Standard 8269.0–97. *Crushed Stone and Gravel from Dense Rocks and Industrial Waste for Construction Work. Methods of Physical and Mechanical Tests*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1999. 78 (in Russian).
6. STB [Standards of the Republic of Belarus] 2318–2013. *Crushed Stone-Gravel-Sand Mixtures for Pavements and Foundations of Roads and Airfields. Specifications*. Minsk, Gosstandart Publ., 2013. 18 (in Russian).
7. ТКР [Technical Code of Good Practice] 059.1–2020. *Highways. Rules for Construction*. Minsk, Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, 2020. 76 (in Russian).
8. ТКР [Technical Code of Good Practice] 45-3.03-88–2007. *Highways. Cement Concrete Bases and Coatings. Rules for Construction*. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2017. 44 (in Russian).
9. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1544–2005. *Structural Heavy Concrete. Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2005. 36 (in Russian).
10. State Standard 33174–2014. *Public Automobile Roads. Cement. Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 11 (in Russian).
11. State Standard 8736–2014. *Sand for Construction Work. Specifications*. Minsk, Gosstandart Publ., 2016. 18 (in Russian).
12. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1114–98. *Water for Concretes and Mortars. Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1998. 20 (in Russian).
13. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1182–99. *Concretes. Rules for the Selection of Composition*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2000. 16 (in Russian).
14. STB [Standards of the Republic of Belarus] 2221–2020. *Structural Heavy Concretes for Transport and Hydraulic Engineering Construction. Specifications*. Minsk, Gosstandart Publ., 2020. 28 (in Russian).
15. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1545–2005. *Concrete Mixes. Test Methods*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2005. 26 (in Russian).
16. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1035–96. *Concrete Mixes. Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1996. 52 (in Russian).
17. State Standard 10180–2012. *Concretes. Methods for Determining the Strength of Control Samples*. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2013. 36 (in Russian).

Received: 30.11.2021

Accepted: 01.02.2022

Published online: 31.03.2022