

Основания дорожных одежд из вторичных материалов

Асп. А. К. Каюмов¹⁾, канд. техн. наук, доц. С. И. Зиневич¹⁾,
докт. тех. наук, проф. Я. Н. Ковалев¹⁾

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

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

Реферат. Дорожные основания – главные несущие слои дорожной одежды, назначение которых – восприятие нагрузки от автомобилей и распределение ее на грунт земляного полотна. Конструкция основания определяется по расчету в зависимости от планируемой транспортной нагрузки и интенсивности движения и состоит, как правило, из нескольких слоев. Причем у капитальных покрытий верхний слой основания устраивается из материалов, укрепленных вяжущими. Основание дорожного покрытия – достаточно дорогостоящая конструкция, и важно при его устройстве, где возможно, использовать местные, а также вторичные материалы (отходы промышленной и строительной индустрии). В процессе строительно-ремонтных дорожных работ применение вторичного сырья позволяет значительно снизить затраты на их выполнение. При этом уменьшаются не только затраты, но и негативное воздействие на окружающую среду. В статье рассмотрена возможность устройства основания дорожных покрытий из таких вторичных материалов, как отработанные формовочные смеси (отходы литейного производства), цементогранулят (продукт дробления старых цементобетонных конструкций, строительного мусора) и асфальтогранулят (продукт фрезерования изношенных асфальтобетонных покрытий). В этом случае значительно уменьшается стоимость основания при обеспечении необходимой его прочности. Отработанные формовочные смеси использовали в качестве выравнивающего слоя, цементогранулят рассматривали как материал для нижнего слоя основания, а асфальтогранулят – для укрепления щебня непрочных пород (гравийного щебня) верхнего слоя основания. Нижний слой основания, устроенный из цементогранулята, должен обладать достаточной прочностью, поскольку остатки старого цементного раствора, находящиеся на каменной составляющей последнего, при уплотнении слоя способствуют лучшей его заклинке. Зерна асфальтогранулята тоже покрыты раствором, но уже асфальтовым, и при уплотнении это должно создать эффект заклинивания (скрепления) слоя. Поэтому в проводимых экспериментах вместо вяжущего при изготовлении образцов использовали асфальтогранулят. Исследованиями подтверждено, что устройство основания дорожных одежд из цемента- и асфальтогранулята обеспечивает достаточную прочность слоев основания, а отработанные формовочные смеси могут быть использованы для устройства выравнивающих слоев.

Ключевые слова: основание, асфальтогранулят, цементогранулят, прочность, температура, разрушающая нагрузка, предел прочности, сжатие, отработанная формовочная смесь, выравнивающий слой, цемент, растяжение при изгибе

Для цитирования: Каюмов, А. К. Основания дорожных одежд из вторичных материалов / А. К. Каюмов, С. И. Зиневич, Я. Н. Ковалев // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 6. С. 504–510. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-6-504-510>

Pavement Bases from Recycled Materials

A. K. Kayumov¹⁾, S. I. Zinevich¹⁾, Y. N. Kovalev¹⁾

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

Abstract. Road bases are the main bearing layers of the road pavement, the purpose of which is the perception of the load from cars and its distribution on the subgrade soil. The base structure is determined by calculation depending on the planned traffic load and traffic intensity and usually consists of two layers, and for capital coatings, the upper layer of the two-layer base is made of materials reinforced with binders. The base of the pavement is a rather expensive construction and it is important for its construction, where possible, to use local materials, as well as secondary materials, i. e. industrial and construction industry waste. In the process of construction and repair works, the use of secondary raw materials can significantly reduce the cost of their implementation. Moreover, this practice not only reduces the cost of work, but also reduces the negative impact on the environment. The paper considers the possibility of constructing a pavement base from such secondary materials as spent molding sands (foundry waste), cement granulate (a product of crushing old cement concrete structures, construction waste) and asphalt granulate (a product of milling worn asphalt concrete pavements). In this case, the cost of the base is significantly reduced while ensuring its necessary strength. Spent sands were used as a leveling layer, cement granulate

Адрес для переписки

Зиневич Сергей Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. 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

was considered as a material for the bottom layer of the base and asphalt granulate as a material for strengthening crushed stone of weak rocks (gravel crushed stone) of the upper layer of the base. The bottom layer of the base, made of cement granulate, must have sufficient strength, since the remnants of the old cement mortar, located on the stone component of the latter, when compacting the layer, contribute to its better wedging. Asphalt granulate grains are also covered with a solution, but already with asphalt mortar, and during compaction this should create the effect of jamming (fastening) of the layer. Therefore, in the experiments, asphalt granulate was used instead of a binder in the manufacture of samples. Studies have confirmed that the construction of the pavement base from cement and asphalt granulate provides sufficient strength of the base layers and spent sands can be used for leveling layers.

Keywords: base, asphalt granulate, cement granulate, strength, temperature, breaking load, tensile strength, compression, waste molding sand, leveling layer, cement, tensile bending

For citation: Kayumov A. K., Zinevich S. I., Kovalev Y. N. (2022) Pavement Bases from Recycled Materials. *Science and Technique*. 21 (6), 504–510. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-6-504-510> (in Russian)

Введение

Дорожные основания – главные несущие слои дорожной одежды, назначение которых – восприятие нагрузки от автомобилей и распределение ее на грунт земляного полотна. Конструкция основания определяется по расчету в зависимости от планируемой транспортной нагрузки и интенсивности движения и состоит, как правило, из нескольких слоев. Причем у капитальных покрытий верхний слой основания устраивается из материалов, укрепленных вяжущими. Для сборных бетонных покрытий требуется еще и выравнивающий слой [1, 2].

Основание дорожного покрытия – достаточно дорогостоящая конструкция, и важно при его устройстве, где возможно, использовать местные, а также вторичные материалы (отходы промышленной и строительной индустрии) [3, 4]. В процессе строительно-ремонтных дорожных работ применение вторичного сырья позволяет значительно снизить затраты на их выполнение. При этом уменьшаются не только затраты, но и негативное воздействие на окружающую среду [5–7].

В статье рассмотрена возможность устройства основания из вторичных материалов: нижний слой – из цементгранулята (продукт дробления старых цементобетонных конструкций, строительного мусора), верхний – из щебня, расклиненного асфальтогранулятом (продукт фрезерования изношенных асфальтобетонных покрытий), а выравнивающий слой – из отработанных формовочных смесей (отхода промышленной индустрии, где имеется литейное производство) [3, 8, 9]. Такое решение значительно уменьшит стоимость основания при обеспечении необходимой его прочности, а также снизит негативное воздействие этих отходов на окружающую среду.

Цементгранулят для нижнего слоя основания

Использование цементгранулята (продукта переработки различных дефектных или отработавших свой срок цементобетонных изделий, а также строительного мусора, образовавшегося при разборке зданий, бетонных покрытий автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов) для устройства слоя основания должно обеспечить достаточную его прочность, так как остатки бетонного раствора, находящиеся на каменной составляющей, при уплотнении будут способствовать лучшей заклинке. Для подтверждения этого методом формования (сжатия) изготовили образцы из цементгранулята и, для сравнения, из рядового щебня [10, 11]. Сжимали образцы в стальных цилиндрах диаметром 100 мм с одинаковым усилием для обоих материалов. В случае рядового щебня образец не сформовался (он просто рассыпался), а образец из цементгранулята, выдавленный из металлического цилиндра, при объеме $V = 376,8 \text{ см}^3$ имел плотность $\rho = 2,12 \text{ г/см}^3$. В процессе испытания этого образца разрушающее усилие $p = 39,52 \text{ кН}$, что соответствует пределу прочности $R = 50,07 \text{ МПа}$ (рис. 1).



Рис. 1. Образцы формования: а – цементгранулят; б – рядовой щебень

Fig. 1. Molding samples: a – cement granulate; b – ordinary crushed stone

Таким образом, используя цементгранулят, можно получать прочные основания под

дорожные одежды или нижние слои оснований для капитальных дорожных одежд.

Асфальтогранулят для верхнего слоя основания

Как отмечалось выше, верхний слой основания в соответствии с [1] должен устраиваться с использованием вяжущих материалов. Авторы статьи изучали вопрос создания верхнего слоя основания из щебня, расклиненного асфальтогранулятом. Зерна асфальтогранулята покрыты асфальтовым раствором, значит, при уплотнении это создаст эффект заклинивания (скрепления) слоя. Поэтому в процессе испытаний вместо вяжущего было принято решение использовать асфальтогранулят для укрепления слоя щебня.

Чтобы узнать, укрепляет ли асфальтогранулят щебень, а также для получения зависимости прочности образцов от количества асфальтогранулята в них методом формования (сжатия) изготавливали образцы из щебня фракции 10–20 мм, в который в разном количестве добавляли асфальтогранулят. После перемешивания компонентов смесь сжимали в стальных цилиндрах диаметром 100 мм с одинаковым усилием для образцов с различным количеством асфальтогранулята (рис. 2).



Рис. 2. Образец формования щебня, укрепленный асфальтогранулятом

Fig. 2. Crushed stone molding sample reinforced with asphalt granulate

При формовании образцов количество асфальтогранулята изменяли в следующем порядке: сначала щебень без асфальтогранулята, а затем с добавлением его в количестве 5, 10, 15, 30, 50 %. В конечном итоге, был сформован образец, состоящий из 100 % асфальтогранулята.

Зависимость разрушающей нагрузки от количества асфальтогранулята в щебне для ис-

пытанных образцов представлена в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов из асфальтогранулята на разрушающую нагрузку

Sample test results from asphalt granulate for breaking load

Количество асфальтогранулята в щебне, %	0	5	10	15	30	50	100
Разрушающая нагрузка F , кН	0	0	13,52	18,52	43,80	46,70	50,78



Рис. 3. Зависимость разрушающей нагрузки от количества асфальтогранулята в щебне

Fig. 3. Breaking load dependence on the amount of asphalt granulate in crushed stone

Анализируя данные табл. 1 и рис. 3, можно заключить следующее:

- с увеличением количества асфальтогранулята в щебне прочность образцов повышается;
- возрастание прочности образцов с увеличением количества асфальтогранулята в рядовом щебне в интервале 0–30 % происходит более интенсивно, чем в интервале 30–100 %;
- при устройстве слоя из чистого асфальтогранулята разрушающая нагрузка образца составила 50,78 кН, что соответствует пределу прочности $R = 64,36$ МПа.

В процессе выполнения эксперимента было замечено, что образцы получаются прочнее, если предварительно асфальтогранулят нагреть до 30–35 °С. Образцы с различной температурой асфальтогранулята (15 и 30 °С) испытывали при температуре воздуха 20–25 °С. Данные для двух вариантов испытаний приведены ниже.

Испытание 1. Температура асфальтогранулята 15 °С:

- состав 1: асфальтогранулят 10 % (80 г) + щебень 90 % (720 г). Образец сформовался, но разрушился до испытаний;
- состав 2: асфальтогранулят 15 % (120 г) + щебень 85 % (680 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 12,04 кН;

– состав 3: асфальтогранулят 30 % (240 г) + щебень 70 % (560 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 25,87 кН;

– состав 4: асфальтогранулят 50 % (400 г) + щебень 50 % (400 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 45,80 кН.

Испытание 2. Температура асфальтогранулята 30 °С:

– состав 1: асфальтогранулят 10 % (80 г) + щебень 90 % (720 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 9,77 кН;

– состав 2: асфальтогранулят 15 % (120 г) + щебень 85 % (680 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 16,20 кН;

– состав 3: асфальтогранулят 30 % (240 г) + щебень 70 % (560 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 30,93 кН;

– состав 4: асфальтогранулят 50 % (400 г) + щебень 50 % (400 г). Образец сформовался. Разрушающая нагрузка 47,28 кН.

Результаты испытаний представлены в виде графиков на рис. 4.

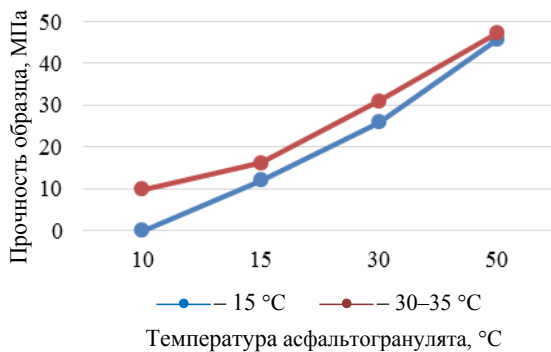


Рис. 4. Зависимость прочности образцов от температуры асфальтогранулята при их изготовлении

Fig. 4. Dependence of sample strength on the temperature of asphalt granulate during their manufacture

Отработанная формовочная смесь для устройства выравнивающего слоя под бетонные плиты

Отработанная формовочная смесь (ОФС) – это отходы литейного производства. Этот вторичный материал имеется в больших количествах на предприятиях с литейным производством, где возникают проблемы с его утилизацией.

Более 80 % всего объема литья изготавливается в формах. Исходные формовочные материалы включают: огнеупорную основу (кварцевый песок формовочный), связующие материалы и вспомогательные добавки.

В процессе литейного производства формовочные смеси подвергаются интенсивной температурной обработке. Стенки формы при заливке металла нагреваются до температуры, равной температуре металла. При заливке стали эта температура составляет 1823–1853 К. Под действием высоких температур, а также в результате взаимодействия между отливкой и формой в смесях происходят следующие процессы. Благодаря высокой температуре и химическим реакциям на границе «металл – форма» образуются легкоплавкие силикаты металла, проникающие в поры песчаной формы. На поверхности формы появляется пригар. Зерна формовочного песка под действием температуры последовательно меняют свою кристаллическую структуру и увеличиваются в объеме. Быстрое расширение зерен песка, т. е. зерен кварца, вызывает появление внутренних напряжений в песчинках, что приводит к их растрескиванию и превращению их части в пыль.

Таким образом, ОФС – это кварцевый песок, зерна которого покрыты оболочкой из связующих композиций, оставшихся после температурного воздействия в процессе литья (рис. 5).



Рис. 5. Отработанная формовочная смесь

Fig. 5. Waste molding sand

Анализ показывает, что ОФС по своему зерновому составу относится к однородным мелким и очень мелким пескам с модулем крупности, равным 0,50–1,78 [3, 12].

В момент выбора вяжущего материала для укрепления слоя из ОФС исходили из того, что отработанная формовочная смесь – это песок, хотя и с примесями. К примеру, для стабилизации супесей при строительстве оснований используют минеральные (цемент, известь) либо органические (битум, битумные эмульсии) вяжущие. В последнее время разрабатываются особые стабилизаторы – битумо-полимерные композиции. Изучим возможность укрепления отработанной формовочной смеси минеральным (цемент) и органическим (битум) вяжущим и зависимость прочности полу-

чаемого материала от количества в нем этих вяжущих.

Укрепление отработанной формовочной смеси цементом

Были изготовлены три партии образцов-балочек размером 40×40×160 мм по три образца в каждой партии (всего 9 образцов) со следующим составом:

- 1) цемент 25 % (300 г) + ОФС 75 % (900 г) + вода (150 мл);
- 2) цемент 20,83 % (250 г) + ОФС 79,17 % (950 г) + вода (125 мл);
- 3) цемент 16,67 % (200 г) + ОФС 83,33 % (1000 г) + вода (100 мл).

После изготовления и набора прочности образцы были испытаны на растяжение при изгибе, а затем на сжатие.

Определение предела прочности на растяжение при изгибе. Проводились стандартные испытания данных образцов на растяжение при изгибе по ГОСТ 10180–2012 [13]. Предел прочности при изгибе определяется после испытания трех образцов, при этом вычисляется среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов.

Результаты испытаний образцов при изгибе приведены в табл. 2 и на рис. 6.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов из отработанной формовочной смеси с цементом на растяжение при изгибе

Test results of samples from the spent molding sand with cement for tensile bending

№ партии образцов	Предел прочности на изгиб $R_{изг}$, МПа	
	Через 7 сут.	Через 28 сут.
1	2,73	4,68
2	1,04	1,79
3	0,52	0,89

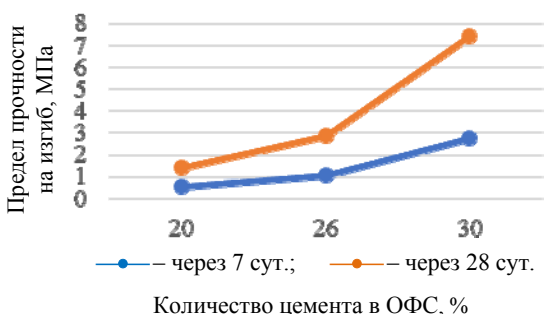


Рис. 6. Зависимость предела прочности образцов на изгиб, МПа, от количества в отработанной формовочной смеси цемента, %

Fig. 6. Dependence of flexural strength of samples for bending, МPa, on the amount of spent molding sand cement, %

Испытание образцов на сжатие. Испытания на сжатие также проводились по ГОСТ 10180–2012 [13]. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ отдельного образца, МПа, определяют по формуле

$$R_{сж} = F/A,$$

где F – разрушающая сила, кН; A – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, равная 2500 мм².

Среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытаний из шести является значением предела прочности при сжатии. Результаты испытаний образцов на сжатие приведены в табл. 3 и на рис. 7.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов из отработанной формовочной смеси с цементом на сжатие

Test results of samples from the spent molding sand with cement for compression

№ партии образцов	Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа	
	Через 7 сут.	Через 28 сут.
1	7,73	13,23
2	3,52	6,03
3	1,42	2,44

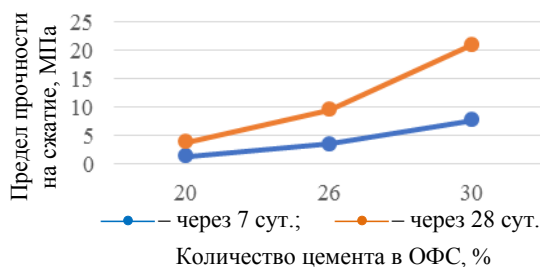


Рис. 7. Зависимость предела прочности образцов на сжатие, МПа, от количества в отработанной формовочной смеси цемента, %

Fig. 7. Dependence of tensile strength of samples for compression, МPa, on the amount of spent molding sand cement, %

Из рис. 6 и 7 видно, что повышение прочности образцов на изгиб и на сжатие с увеличением количества цемента в пределах 26–30 % происходит быстрее, чем в пределах 20–30 %. Особенно это заметно у образцов в 28-суточном возрасте.

Укрепление отработанной формовочной смеси битумом

Для испытаний укрепления ОФС битумом были изготовлены методом формования образцы, имеющие состав:

- 1) 450 г ОФС + 22,5 г битума;
- 2) 450 г ОФС + 36 г битума;

- 3) 450 г ОФС + 45 г битума;
- 4) 450 г ОФС + 67,5 г битума;
- 5) 450 г ОФС + 90 г битума.

После перемешивания компонентов смесь сжимали в стальных цилиндрах диаметром 70 мм с одинаковым усилием для образцов с различным количеством битума.

Зависимость разрушающей нагрузки от количества битума в ОФС для испытанных образцов представлена в табл. 4 и на рис. 8.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов из отработанной формовочной смеси с битумом на разрушающую нагрузку
Test results of samples from the spent molding sand with bitumen for breaking load

Количество битума в ОФС, %	5	8	10	15	20
Разрушающая нагрузка F , кН	7,89	8,73	9,30	6,62	3,96

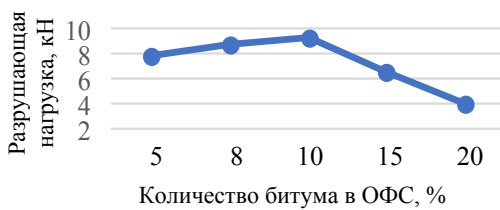


Рис. 8. Зависимость разрушающей нагрузки от количества битума в отработанной формовочной смеси

Fig. 8. Dependence of breaking load on the amount of bitumen in the spent molding sand

Анализируя данные табл. 4 и рис. 8, можно заключить следующее: повышение прочности образцов с увеличением количества битума в ОФС происходит в пределах примерно 10–12 %, а следующее добавление битума только ухудшает прочность образцов, так как смесь становится текучей.

ВЫВОДЫ

1. При устройстве нижнего слоя основания из цементогранулята обеспечивается достаточная его прочность, так как остатки старого бетонного раствора, находящиеся на каменной составляющей, при уплотнении способствуют лучшей заклинке. Это подтверждает тот факт, что из рядового щебня невозможно сформировать образцы посредством его сжатия, а из цементогранулята – можно, причем пре-

дел прочности сформованных образцов составил 50,07 МПа.

2. В случае устройства верхнего слоя основания из недостаточно прочных минеральных материалов, например из гравийной смеси, для его укрепления можно использовать асфальтогранулят, перемешивая и распределяя эти компоненты с последующим уплотнением. При этом нужно учитывать следующее:

- повышение прочности образцов с увеличением количества асфальтогранулята в минеральном материале в интервале 0–30 % происходит более интенсивно, чем в интервале 30–100 %;

- при устройстве слоя из чистого асфальтогранулята предел прочности изготовленных образцов наибольший;

- укрепляя минеральный материал асфальтогранулятом, последний желательно прогреть хотя бы до 25–30 °С.

3. Использование для сооружения верхнего и нижнего слоев основания дорожной одежды цемента- и асфальтогранулята, являющихся вторичными материалами, позволит сократить общую стоимость строительства, снизив негативное воздействие этих отходов на окружающую среду при уменьшении их складирования.

4. Отработанную формовочную смесь можно использовать в качестве выравнивающего слоя, при том что он будет укреплен вяжущим материалом. Однако следует учесть, что при укреплении цементом слой получается прочным, но одновременно жестким, а при укреплении битумом прочность ниже, но слой будет более упругим. Помимо всего прочего, отработанная формовочная смесь может быть использована для улучшения гранулометрического состава песчано-гравийной смеси при нехватке в ней мелких частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059.1–2020 (33200). Введ. 01.09.2020. Минск: Минтранс, 2020. 76 с.
2. Автомобильные дороги / Я. Н. Ковалев [и др.]. Минск: Арт Дизайн, 2006. 351 с.
3. Бусел, А. В. Получение активированных минеральных порошков из отработанных формовочных смесей и их применение в дорожном асфальтобетоне / А. В. Бусел. Минск, 1983. 23 с.

4. Шумчик, В. К. Инновационные технологии при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог / В. К. Шумчик, С. Е. Кравченко // Автомобильные дороги, мосты и подземные сооружения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Белор. нац. техн. ун-та, 21–22 окт. 2010 г. / отв. ред. И. И. Леонович [и др.]. Минск: БНТУ, 2010. Ч. 1. С. 213–223.
 5. 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.
 6. Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых, аспирантов, магистрантов и студ., Минск, 22–23 нояб. 2017 г. / ред. А. В. Бусел и др. Минск: БНТУ, 2017. 90 с.
 7. 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>.
 8. Асфальтогранулят для транспортного строительства. Технические условия: СТБ 1705–2015. Введ. 01.03.2016. Минск: Госстандарт, 2015. 14 с.
 9. Борукаев, С. Б. Применение вторичных материалов в ходе дорожных работ / С. Б. Борукаев // Молодой ученый. 2019. № 28. С. 20–22.
 10. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний: ГОСТ 8269.0–97. Введ. 01.07.1998. Минск: Минстройархитектуры, 1998. 78 с.
 11. Автомобильные дороги. Цементобетонные основания и покрытия. Правила устройства: ТКП 45-3.03-88–2007 (02250). Введ. 01.07.2008. Минск: Минстройархитектуры, 2017. 58 с.
 12. Веренько, В. А. Новые материалы в дорожном строительстве / В. А. Веренько. Минск: Технопринт, 2004. 169 с.
 13. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–2012. Введ. 01.02.2016. Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. 36с.
3. Busel A. V. (1983) *Obtaining Activated Mineral-Powders From Spent Molding Sands and Their Use in Road Asphalt Concrete*. Minsk. 23 (in Russian).
 4. Shumchik V. K., Kravchenko S. E. (2010) Innovative Technologies in the Construction, Reconstruction, Repair and Maintenance of Highways. *Avtomobil'nye Dorogi, Mosty i Podzemnye Sooruzheniya: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf., Posvyashch. 90-Letiya Belor. Nats. Tekhn. Un-ta, 21–22 Okt. 2010 g.* [Highways, Bridges and Underground Structures: Proceedings of International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Belarusian National Technical University, October 21–22, 2010]. Minsk, Belarusian National Technical University. Part 1. 213–223 (in Russian).
 5. 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. 65–70 (in Russian).
 6. Busel A. V. (ed.) [et al.] (2017) *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, Novem. 22–23, 2017*. Minsk, Belarusian National Technical University. 90 (in Russian).
 7. Zinevich S. I., Kayumov A. K., Kovalyov D. M. (2022) Use of Cement Granulate in Road Construction. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, 21 (2), 134–141. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-2-134-141> (in Russian).
 8. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1705–2015. *Granular Asphalt for Transport Construction. Technical Specifications*. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 14 (in Russian).
 9. Borukaev S. B. (2019) Use of Recycled Materials during Roadworks. *Molodoy Ucheny* [Young Scientist], (28), 20–22 (in Russian).
 10. 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, 1998. 78 (in Russian).
 11. TKP [Technical Code of Common Practice] 45-3.03-88–2007 (02250). *Car roads. Cement Concrete Bases and Coatings. Device Rules*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2017. 58 (in Russian).
 12. Verenko V. A. (2004) *New Materials in Road Construction*. Minsk, Tekhnoprint Publ. 169 (in Russian).
 13. State Standard 10180–2012. *Concrete. Methods for Determining the Strength of Control Samples*. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2016. 36 (in Russian).

Поступила 27.06.2022

Подписана в печать 30.08.2022

Опубликована онлайн 30.11.2022

REFERENCES

1. TKP [Technical Code of Common Practice] 059.1–2020 (33200). *Car Roads. Device Rules*. Minsk, Publishing House of Ministry of Transport, 2020. 76 (in Russian).
2. Kovalev Ya. N., Leonovich I. I., Yaromko V. N., Veren'ko V. A., Minin A. V., Cheptsov G. V., Yatsевич I. K. (2006) *Car roads*. Minsk, Art Dizayn Publ. 351 (in Russian).

Received: 27.06.2022

Accepted: 30.08.2022

Published online: 30.11.2022