

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ



УДК 691.322

DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.07

**М. С. БАЛАБАНОВ
А. Г. ЧИКНОВОРЬЯН**

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ ПЕСКА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ОТСЕВАМИ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

STUDY OF ENRICHMENT OF SAND FOR CONSTRUCTION WORKS
WITH SCREENING OF ROCKS CRUSHING

Формулируется проблема рассмотрения отсевов камнедробления как компонентного фактора формирования структуры конгломератных строительных композитов. В этом контексте представляются данные по изучению отсевов Сокского, Ивантеевского и Орского карьеров для обогащения волжских песков для строительных работ. Рассматривается влияние на прочность растворной матрицы бетона различных комбинаций отсевов с речным кварцевым волжским песком. Проведенные исследования показали эффективность применения отсевов камнедробления в качестве мелкого заполнителя при производстве железобетонных изделий. Применение отсевов дробления щебня является оправданным технологическим приемом и позволяет улучшить прочностные характеристики полученных на их основе материалов. В то же время данная работа требует дополнительных научных изысканий и разработок оптимальных соотношений заполнителей и выявления влияния различных добавок на их характеристики.

Ключевые слова: песок, щебень, отсевы горных пород, прочность

Бетон представляет собой конгломерат, свойства которого главным образом зависят от характеристик заполнителей. При этом оптимизация состава заполнителей обеспечивает получение прочного жесткого каркаса из плотно упакованных зерен заполнителей и, соответственно, сокращение расхода цемента при уменьшении усадки бетона и повышении долговечности бетона.

The article formulates the problem of considering screenings of stone crushing as a component factor in the formation of the structure of conglomerate building composites. In this context, data are presented on the study of screenings from the Soksky, Ivanteevsky and Orsky quarries for the enrichment of the Volga sands for construction work. At the same time, the influence on the strength of the mortar matrix of concrete of various combinations of screenings with river quartz Volga sand is considered. The conducted studies have shown the effectiveness of the use of stone crushing screenings as a fine aggregate in the production of reinforced concrete products. The use of crushed stone screenings is a justified technological method and allows improving the strength characteristics of the materials obtained on their basis. At the same time, this work requires additional scientific research and development of optimal ratios of aggregates and identification of the effect of various additives on their characteristics.

Key words: sand, crushed stone, screenings of rocks, strength

Существенный вклад в создание оптимальной структуры затвердевшего бетона вносят гранулометрические характеристики мелкого заполнителя. Эффективный зерновой состав мелкого заполнителя с оптимальной межзерновой пустотностью позволяет получать связные бетонные смеси с рациональным расходом цемента [1–5].

Однако применяемые в настоящее время кварцевые пески, например большинство реч-

ных песков, являются мелкими и очень мелкими и отличаются низким модулем крупности, а карьерные пески характеризуются высокой неоднородностью и содержат значительное количество пылевидных и глинистых частиц.

В этих условиях использование отсевов, получаемых при переработке нерудных горных пород на строительный щебень, при производстве мелких заполнителей для бетонов может существенно улучшить качественные показатели природных кварцевых песков, а соответственно, и физико-механические свойства бетонов на их основе [6–8].

В данной работе рассмотрена возможность применения отсевов дробления различных нерудных материалов, таких как гранит и карбонатный щебень. Для исследований были взяты отсева дробления гранитного щебня Орского месторождения, карбонатного щебня Сокского и Ивантеевского месторождений.

Речные волжские пески относятся к классу мелких с модулем крупности, равным 1,4–1,6. При таких значениях показателей модуля крупности песка расход цемента в бетоне возрастает на 10–20 % в связи с высокими показателями водопотребности и межзерновой пустотности мелких песков.

Для обеспечения проектных показателей прочности и долговечности бетонов одним из вариантов является обогащение мелких песков отсевами от дробления горных пород с модулем крупности 3,00–4,50, которые можно отнести к крупным пескам. Обогащение мелких речных песков отсевами дробления горных пород позволяет довести модуль крупности мелкого заполнителя до оптимальных значений 2,0–3,0 и обеспечить получение бетонов с заданными физико-механическими и строительно-технологическими свойствами.

Оптимизация зернового состава мелко-го заполнителя на основе природных речных

кварцевых песков отсевами камнедробления повышает прочность растворной составляющей бетонов за счет более равномерного распределения цементного камня в структуре композита.

В работе определялись основные показатели песков, такие как модуль крупности, насыпная и истинная плотность. Затем производились замесы растворов с использованием этих материалов. В качестве вяжущего был использован портландцемент Вольский М500 (В42,5).

Характеристики материалов, принятых для испытаний, приведены в табл. 1.

Испытания проводились на стандартных балочках. Расход цемента во всех испытаниях был постоянным и составлял 1,3 кг на замес. Результаты определения водопотребности композиционных смесей их прочности приведены в табл. 2 и 3.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии структуры на изломе и микроструктуры образцов, полученные для смесей, принятых для исследований. Фотографии структуры были получены с использованием микроскопа Levenhuk 3L NG, оборудованного цифровой камерой Levenhuk M35 BASE Series. Микроскоп был подключен к ноутбуку с установленным программным обеспечением LevenhukLite.

Исследования структуры растворной составляющей бетона, с применением отсевов дробления, на макроуровне (см. рис. 1 и 2) показали достаточно высокую степень адгезии заполнителей с цементным тестом, что обеспечило связность и нерасслаиваемость системы. На микрофотографиях структуры растворной составляющей бетона можно отметить интенсивное заполнение межзернового пространства мелкого заполнителя цементным клеем. Структура растворной составляющей бетона характеризуется в основном аморфной составляющей матрицы вяжущего вещества,

Таблица 1

Характеристики материалов

Вид мелкого заполнителя	Содержание частиц более 5мм, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Модуль крупности
Песок кварцевый волжский	0,5	1438	2675	1,42
Отсев дробления гранитного щебня Орского карьера	2,5	1354	2714	2,95
Отсев дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера	11,0	1393	2645	4,6
Отсев дробления карбонатного щебня Сокского карьера	24,0	1375	2550	3,79

Таблица 2

Результаты определения водопотребности смесей

Масса отсева дробления на замес, кг	Масса волжского песка на замес, кг	Расход воды на замес, мл	Водоцементное отношение смеси (В/Ц)	Диаметр расплыва раствора на встяхивающем столике, мм
Растворная смесь на основе цемента и волжского песка				
-	3,90	800	0,62	110
Растворная смесь на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера				
3,90	-	725	0,56	110
Растворная смесь на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера				
3,90	-	875	0,67	110
Растворная смесь на основе цемента и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера				
3,90	-	550	0,42	105
Растворная смесь на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера				
1,95	1,95	725	0,54	115
Растворная смесь на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера				
1,95	1,95	740	0,57	110
Растворная смесь на основе цемента, волжского песка и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера				
1,95	1,95	700	0,54	107

заполнителем и мелкими порами. При этом трещин в зоне контактов цементной матрицы и заполнителей не наблюдается, что свидетельствует о плотном и хорошем сцеплении цементного камня с заполнителями. На рис. 3 приведены графики набора прочности образцов на изгиб и сжатие.

Обозначения на графике: Ц/П – растворная смесь на основе цемента и волжского песка; Ц/И – растворная смесь на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера; Ц/С – растворная смесь на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера; Ц/Г – растворная смесь на основе цемента и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера; Ц/П/И – растворная смесь на основе волжского песка, цемента и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера; Ц/П/С – растворная смесь на основе волжского песка, цемента и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера; Ц/П/Г – растворная смесь на основе, волжского песка, цемента и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера.

Анализ выполненных экспериментальных исследований позволяет сделать некоторые выводы и обобщения. Во-первых, структура образцов на сколе, изготовленных на основе отсева дробления и песка, в «чистом» виде позволяет сделать вывод, что у образца с применением в качестве мелкого заполнителя отсева гранита – упорядоченное, слоистое расположение зерен (см. рис. 1, б). Кроме того, следует отметить, что данные слои расположены перпендикулярно линии излома.

Такое же расположение зерен заполнителя видно и на рис. 1, в, который показывает макроструктуру, при 10-кратном увеличении, для образца на отсева дробления щебня Ивантеевского карьера.

Противоположную картину можно увидеть на рис. 1, г, где наблюдается свободное (хаотичное) расположение зерен мелкого заполнителя.

Ориентация слоев заполнителя на рис. 1, б, в позволяет получить более высокое значение прочности на изгиб, что подтверждается полученными значениями (см. табл. 3 и рис. 3, б).

Таблица 3

Результаты определения прочности смесей

Срок испытаний на сутки	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа
Растворная смесь на основе цемента и волжского песка			
3-е	2005	3,96	12,01
7-е	2064	4,00	12,05
14-е	2046	4,05	18,44
28-е	2013	4,12	19,41
Растворная смесь на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера			
3-е	2233	4,35	20,65
7-е	2198	4,51	21,30
14-е	2134	4,78	22,47
28-е	2209	5,8	28,61
Растворная смесь на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера			
3-е	2159	3,2	15,31
7-е	2098	3,45	15,85
14-е	2062	3,54	17,71
28-е	2101	3,73	24,40
Растворная смесь на основе цемента и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера			
3-е	2219	5,7	18,23
7-е	2214	6,0	23,43
14-е	2209	6,24	24,58
28-е	2226	6,39	29,60
Растворная смесь на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера			
3-е	2235	3,78	22,33
7-е	2207	4,09	29,58
14-е	2182	5,07	35,69
28-е	2235	5,8	37,40
Растворная смесь на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера			
3-е	2142	3,06	16,98
7-е	2099	3,23	20,36
14-е	2070	3,45	22,10
28-е	2139	4,2	24,00
Растворная смесь на основе цемента, волжского песка и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера			
3-е	2115	4,13	19,89
7-е	2120	4,56	20,72
14-е	2117	4,59	23,54
28-е	2119	4,65	27,06



а) на основе цемента и волжского песка



б) на основе цемента и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера



в) на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера



г) на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера



д) на основе цемента, волжского песка и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера

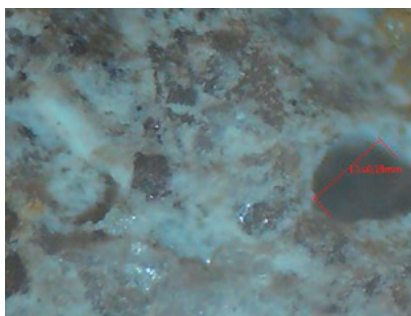


е) на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера

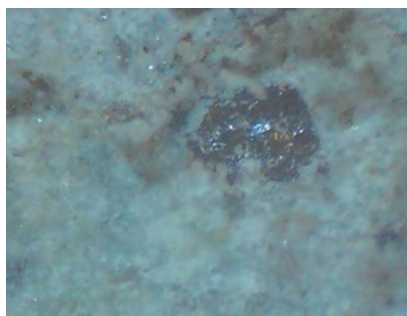


ж) на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера

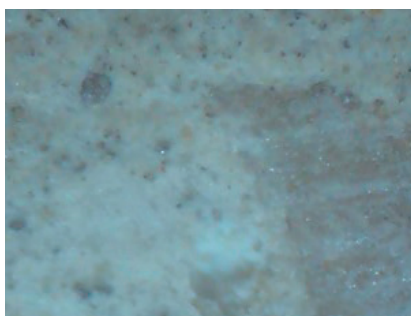
Рис. 1. Структура образцов на изломе из растворяемых смесей (увеличение 10-кратное)



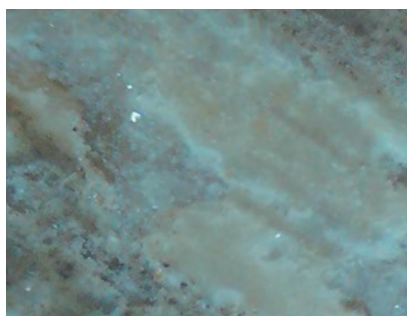
а) на основе цемента и волжского песка



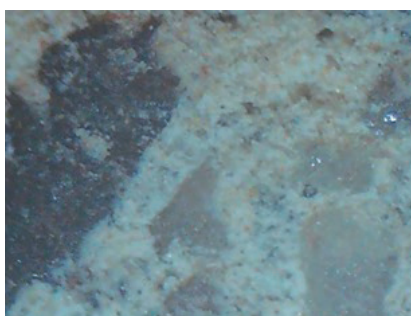
б) на основе цемента и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера



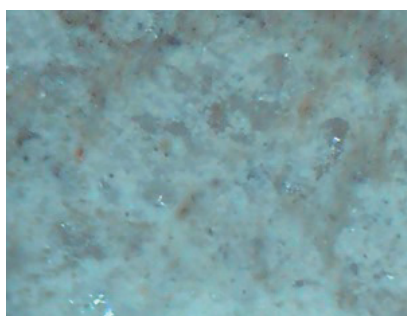
в) на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера



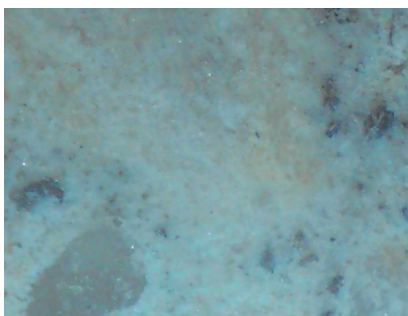
г) на основе цемента и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера



д) на основе цемента, волжского песка и отсева дробления гранитного щебня Орского карьера



е) на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Ивантеевского карьера



ж) на основе цемента, волжского песка и отсева дробления карбонатного щебня Сокского карьера

Рис. 2. Микроструктура образцов на шлифе из растворных смесей (увеличение 150-кратное)

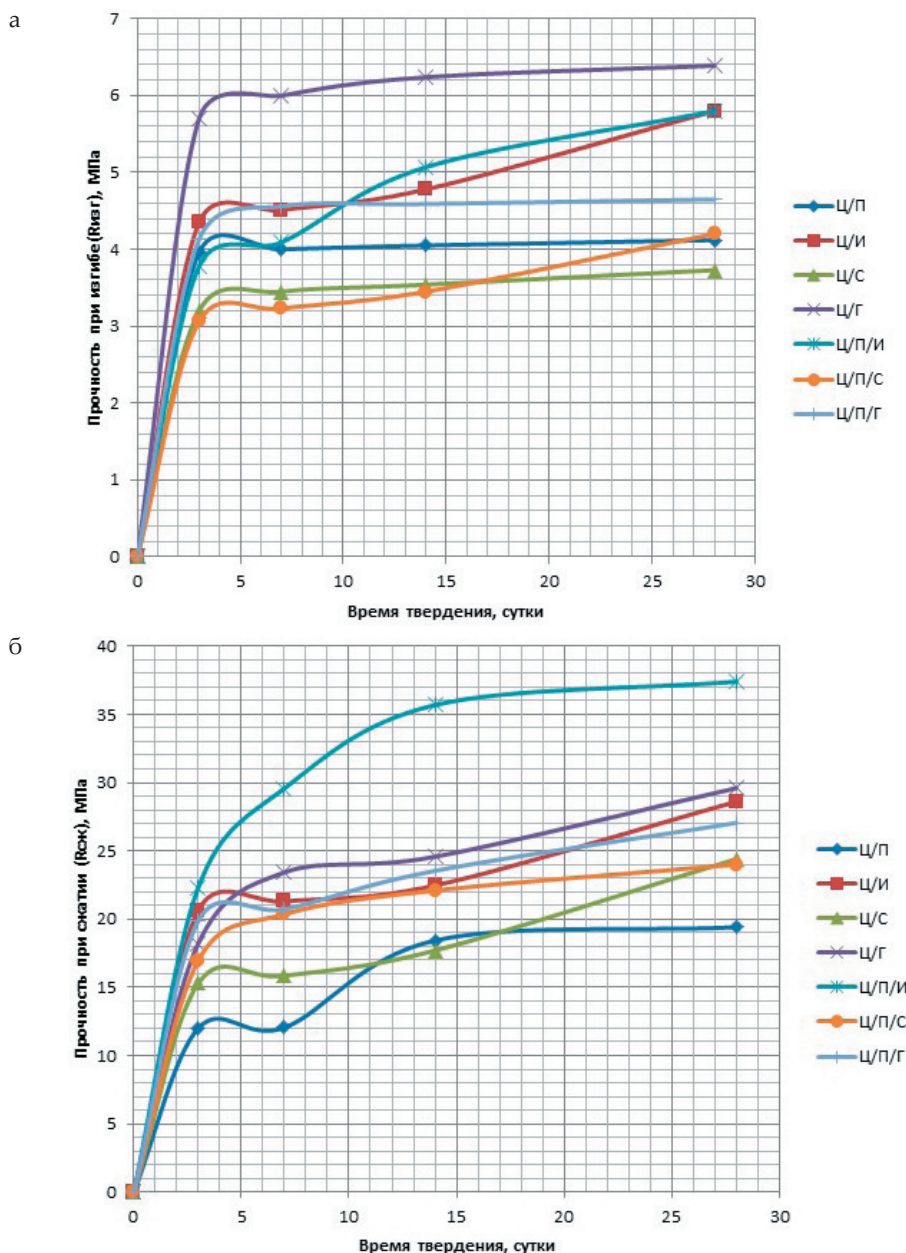


Рис. 3. Графики набора прочности образцов на изгиб (а) и сжатие (б)

Во-вторых, при применении смеси отсева дробления с песком сцепление более крупных зерен (см. модули крупности в табл. 1) отсева друг с другом, что наблюдалось при их применении без добавления песка, не наблюдается, так как песок заполняет промежутки между ними, тем самым раздвигая их. Данное изменение структуры отражается в результатах испытаний прочности при изгибе (см. рис. 3).

Самые низкие показания прочности на изгиб – у образцов, изготовленных на мелком заполнителе из песка и отсева дробления щеб-

ня Сокского карьера. Это обусловлено тем, что в первом случае, при использовании Волжского песка из-за низкого значения модуля крупности, его количества недостаточно для создания жесткого каркаса, во втором случае на прочность образцов влияет относительно низкая прочность исходной породы и разрушение происходит по зернам отсева, что видно на рис. 1, г.

Объединение этих компонентов приводит к увеличению прочностных показателей за счет того, что песок, выступая наиболее прочным

компонентом, дополняется каркасообразующим отсевом и в результате совместно повышает прочность образцов.

Низкая прочность образцов, выполненных из цементно-песчаной смеси обусловлена увеличенным расходом воды (табл. 2), что делает структуру более пористой (см. рис. 1, а, 2, а), средний размер пор составляет 0,19 мм.

При применении отсева дробления сокского щебня водопотребность раствора больше, а пористость структуры меньше. Это происходит за счет того, что часть воды впитывается в саму породу и не зацемяется в материале, образуя в дальнейшем поры. Кроме того, благодаря тому, что отсев постепенно отдает воду, рост прочности происходит плавно, что и подтверждается графиком набора прочности (см. рис. 3, б).

Небольшое различие значений прочности на сжатие между образцами, изготовленными на отсеве песка и смеси песка и отсева дробления сокского щебня, связано с тем, что разрушение происходит по зернам заполнителя и введение 50 % песка практически не влияет на прочностные характеристики, хотя и уменьшает пористость образцов, что подтверждается исследованиями их на изломе при 10-кратном, а также шлифов при 150-кратном увеличении.

Положительное влияние структуры образцов, изготовленных на отсеве дробления гранита при испытании на изгиб, одновременно снижает прочность на сжатие, увеличивая анизотропию свойств.

Применение отсева дробления ивантеевского щебня, более прочного по сравнению с сокским, позволяет повысить прочность на сжатие. А смесь отсева ивантеевского щебня и песка показывает наилучшие результаты по сравнению с остальными составами. Это произошло за счет более сбалансированного зернового состава смеси, а также благодаря близким прочностным характеристикам компонентов.

Применение отсева дробления щебня является оправданным технологическим приемом и позволяет улучшить прочностные характеристики полученных на их основе материалов. В то же время данная работа требует дополнительных научных изысканий и разработок оптимальных соотношений заполнителей и выявления влияния различных добавок на их характеристики.

Вывод. Проведенные исследования показали эффективность применения отсева камнедробления в качестве мелкого заполнителя при производстве железобетонных изделий.

На действующих предприятиях по производству сборного бетона и железобетона техническая и экономическая целесообразность применения отсева дробления горных пород, получаемых при производстве щебня из гор-

ных плотных пород для строительных работ, должна определяться соответствующими расчетами технико-экономических показателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Калинина М.Г. Отвалы и захоронения из отходов Сокского карьера карбонатных пород // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, №4. С. 60–66. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.08
2. Чумаченко Н.Г. Ресурсосберегающий подход к сырьевой базе стройиндустрии // Градостроительство и архитектура. 2011. Т. 1, №1. С. 112–116. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.22
3. Баранова М.Н., Чумаченко Н.Г.1, Тюрников В.В. Геоэкологические проблемы при карьерной добыче минерального сырья для производства строительных материалов // Градостроительство и архитектура. 2014. Т. 4, №1. С. 80–85. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.01.14
4. Бутакова М.Д., Зырянов Ф.А. Исследование влияние зернового состава отсева дробления скальных пород на прочность бетонов // Межвузовский сборник научных трудов «Строительные материалы и изделия». Магнитогорск: МГТУ, 2007. С. 146–152.
5. Виноградов Ю.И., Хохлов С.В. К вопросу об образовании «отсева» при добыче гранитного щебня // Взрывное дело. 2015. № 113/70. С. 118–125.
6. Зырянов Ф.А., Бутакова М.Д., Трофимов Б.Я. Влияние гранулометрического состава отсева дробления щебня на свойства бетонной смеси и бетона // Сборник статей международной конференции. Ростов-на-Дону, 2006. С. 68–75.
7. Макеев А.И. Научно-техническое обоснование технологии глубокой переработки отсева дробления гранитного щебня // Научный журнал строительства и архитектуры. 2011. № 3. С. 56–67.
8. Применение отсева дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах / Н.М. Морозов, В.И. Авксентьев, И.В. Боровских, В.Г. Хозин // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7. С. 26–31.

REFERENCES

1. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Kalinina M.G. Dumps and burials from wastes of Soksky quarry of carbonate rocks. *Gradstroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 60–66. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.08
2. Chumachenko N.G. Resource-saving approach to raw materials base of construction industry. *Gradstroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2011, vol. 1, no. 1, pp. 112–116. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.22
3. Baranova M.N., Chumachenko N.G.1, Tyurnikov V.V. Geocological problems in the mining of mineral raw materials for the production of building materials. *Gradstroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2014, vol. 4, no. 1, pp. 80–85. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.01.14

4. Butakova M.D., Zyryanov F.A. Study of the Impact of Grain Composition of Rock Crushing Sieves on Concrete Strength. *Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov «Stroitel'nye materialy i izdelija»* [Intercollegiate collection of scientific works "Construction materials and products"]. Magnitogorsk, MSTU, 2007, pp. 146–152. (In Russian).

5. Vinogradov Yu. I., Khokhlov S.V. On the formation of "dropout" in the extraction of granite crushed stone. *Vzryvnoe delo* [Explosive affair], 2015, no. 113/70, pp. 118–125. (in Russian)

6. Zyryanov F.A., Butakova M.D., Trofimov B.Ya. Influence of grain size distribution of crushed stone crushing on properties of concrete mixture and concrete. *Sbornik statej mezhdunarodnoj konferencii* [International Conference Articles Collection]. Rostov-on-Don, 2006, pp. 68–75. (In Russian).

7. Makeev A.I. Scientific and Technical Substantiation of the Technology of Deep Processing of Granite Crushed Stone Screening. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury* [Scientific Journal of Construction and Architecture], 2011, no. 3, pp. 56–67. (in Russian)

8. Morozov N.M., Avksentiev V.I., Borovskikh I.V., Khozin V.G. Application of crushed stone sieving in self-compacting concretes. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Civil Engineering Logbook], 2013, no. 7, pp. 26–31. (in Russian)

Об авторах:

БАЛАБАНОВ Михаил Сергеевич

старший преподаватель кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: bms-796@rambler.ru

BALABANOV Mikhail S.

Senior Lecturer of the Production of Building Materials, Products and Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: bms-796@rambler.ru

ЧИКНОВОРЬЯН Александр Григорьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: umu-sgasu@mail.ru

CHIKNOVORYAN Alexandr G.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Production of Building Materials, Products and Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: umu-sgasu@mail.ru

Для цитирования: Балабанов М.С., Чикноворьян А.Г. Исследование обогащения песка для строительных работ отсевами дробления горных пород // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3. С. 50–58. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.07.

For citation: Balabanov M.S., Chiknovoryan A.G. Study of enrichment of sand for construction works with screening of rocks crushing. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 50–58. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.07.