Научная статья

УДК 691.32

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-790-799>

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОСТАВОВ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Э.Н. Хафизова, Ю.Ф. Панченко, Д.А. Панченко

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

hafizova_elza@mail.ru,

panchenkojf@tyuiu.ru,

panchenkoda@tyuiu.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье изучены актуальные вопросы использования технологических отходов, образующихся при дроблении горных пород.

Материалы и методы. В проведенных исследованиях использованы отсе́вы дробления горных пород производства Режевского щебеночного завода и доломитовый отсе́в Саткинского щебеночного завода. Приведены данные физико-механических свойств отходов дробления, а также исследования пылевидных частиц отсе́вов горных пород, выполненных лазерным анализатором размеров частиц Fritsch Analysette 22. Для изучения структуры бетона применялся электронный сканирующий микроскоп JEOL JSM-6510.

Результаты. Приводятся результаты исследования тяжелых цементных бетонов классов В22,5-В40 с использованием отходов дробления горных пород. Для регулирования свойств бетонов использована добавка гиперпластификатор марки MC-PowerFlow 3100 и воздухововлекающая добавка Centrament Air 202. Исследован фазовый состав контактной зоны между цементным камнем и заполнителем – гранитным отсе́вом.

Заключение. Разработаны составы тяжелых бетонов с применением отсе́вов дробления щебня и химических добавок для регулирования свойств бетона. Выпущена опытная партия железобетонных изделий на заводе ЖБИ «Ротор» п. Винзили Тюменской области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отходы дробления, горные породы, строительные материалы, отсе́вы дробления щебня, тяжелый бетон, добавки в бетон

Статья поступила в редакцию 12.08.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 14.12.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Хафизова Э.Н., Панченко Ю.Ф., Панченко Д.А. Применение технологических отходов дробления горных пород при разработке составов цементных бетонов // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 6(82). С. 790-799. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-790-799>

© Хафизова Э.Н., Панченко Ю.Ф., Панченко Д.А., 2021

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-790-799>

USE OF ROCK CRUSHING TECHNOLOGICAL WASTES FOR CEMENT CONCRETE COMPOSITIONS

Elza N. Khafizova, Iuliia F. Panchenko, Dmitrii A. Panchenko

Tyumen Industrial University,

Tyumen, Russia

hafizova_elza@mail.ru

panchenkojf@tyuiu.ru

panchenkoda@tyuiu.ru

ABSTRACT

Introduction. the article deals with the issues of the use of technological waste generated during rocks crushing.

Materials and Methods. In the research the rock crushing screenings from the Rezhevsky crushed rock plant and dolomite screenings from the Satkinsky crushed rock plant were used. The data on the physical-mechanical properties of crushing waste is presented, as well as a study of dusty rock cuttings made with a Fritsch Analysette 22 laser particle size analyser. The structure of concrete was analyzed by JEOL JSM-6510 electron microscope.

Results. The studying results of heavy weight cement concretes of classes B22.5 - B40 with crushed stone are presented in the article. To control the properties of concrete an MC-PowerFlow 3100 hyperplasticizer additive and an air-entraining additive Centrament Air 202 were used. The phase composition of the contact zone between the cement stone and the aggregate - granite screening has been investigated.

Conclusion. compositions of heavy concrete have been developed with the use of crushed stone screenings and chemical additives to regulate concrete properties. A pilot batch of reinforced concrete products was produced at the Rotor reinforced concrete plant in Vinzili, Tyumen Region.

KEYWORDS: stone crushing waste, rocks, building materials, screenings of crushed stone, heavy weight concrete, concrete additives.

The article was submitted 12.08.2021; approved after reviewing 14.11.2021; accepted for publication 14.12.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods.

There is no conflict of interest.

For citation: Khafizova E.N., Panchenko I.F., Panchenko D.A. Use of rock crushing technological wastes for cement concrete compositions. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021; 18 (6): 790-799. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-790-799>

© Khafizova E.N., Panchenko I.F., Panchenko D.A., 2021

Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Применение технологических отходов для замены природного сырья является одним из способов снижения себестоимости строительных материалов. Кроме того, это снижает нагрузку на окружающую среду и позволяет экономить природные ресурсы [1, 2, 3, 4]. На любом производстве образуются отходы и, как следствие, ухудшается экологическая обстановка регионов [5, 6, 7]. В качестве вторичного сырья отходы производства применяются в среднем около 11%. На предприятиях по производству щебеночных материалов образуется 60–90 млн м³/год отходов, в том числе при производстве щебня образуется около 20–30% отсеков, часть которых используется, однако большая часть отправляется в отвалы. По своим характеристикам и удельной стоимости отсеки дробления горных пород могут быть альтернативным вариантом в качестве мелкого заполнителя в составе тяжелых цементных бетонов [8, 9, 10, 11].

Возможность получения бетонных композиций с использованием технологических отходов дробления горных пород послужила научной предпосылкой для проведения исследований.

Для исследования авторами статьи были проанализированы близлежащие карьеры и сделан выбор в пользу изучения технологических отходов дробления горных пород карьеров Челябинской и Свердловской обл. в виде отсеков от дробления щебня [13, 14, 15, 16].

В большинстве случаев бетонные смеси с применением отходов дробления имеют недостатки в виде повышенной водопотребности, что влечет за собой снижение прочностных показателей, морозостойкости, повышение расхода цемента, и, следовательно, стоимости бетона [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Целью проведения исследования является получение тяжелых бетонов для условий Тюменского региона с применением технологических отходов дробления горных пород в качестве мелкого заполнителя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования использовались местные материалы Уральского федерального округа. Исходя из показателей модуля крупности и содержания ПГИ были выбраны два отхода дробления горных пород: гранитный отсев Режевского щебеночного завода и доломитовый отсев Саткинского щебеночного завода. При исследовании показателей бетона

в качестве контрольного применялся состав на природном песке производства ООО «Тюменьнеруд».

В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент класса прочности 42,5, нормально твердеющий ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108–2016 производства ОАО «Сухо-ложскцемент».

Для регулирования свойств бетона применялся гиперпластификатор MC Power Flow 3100 и воздухововлекающая добавка Centrament Air 202. Для исследований по определению морозостойкости использовалась комплексная добавка, состоящая из 80% поликарбоксилатов и 20% воздухововлекающей добавки.

В исследованиях применялись стандартные физико-механические и химические методы испытаний заполнителей и бетонов. Размеры пылевидных частиц отсеков дробления горных пород определялись методом лазерной дифракции. Структуру бетонов исследовали на электронном сканирующем микроскопе JEOL-JSM6510LV. Для определения фазового состава использовался рентгенофазовый анализ методом «порошка».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами были изучены свойства отходов дробления горных пород с гранитного (г. Реж, Свердловская обл.) и доломитового (г. Сатка, Челябинская обл.) карьеров. Основные показатели гранитного отсека: насыпная плотность составляет 1450 кг/м³, модуль крупности – 2,57, марка щебня по плотности – 1000, содержание ПГИ – 2,9%. Основные характеристики доломитовых отсеков: насыпная плотность – 1380 кг/м³, модуль крупности – 3,3, марка щебня по дробимости – 800 и содержание ПГИ – 5%. Минерало-петрографический состав гранита представлен следующими минералами: кварц (до 45–65%), биотит, мусковит (до 15%), роговая обманка (до 10%), полевошпат (до 15%), темноцветные минералы (до 0,5%). Гранитный отсев по крупности зерен относится к группе крупных песков. Для данного отсека характерно высокое содержание пылевидной составляющей размером менее 0,15 мм, которое согласно ГОСТ 31424–2010 не должно превышать 15% по массе для песков II класса. В анализируемом материале содержится 13% пылевидных фракций, что допустимо для бетонов низких классов по прочности на сжатие до В20, но недостаточно для применения в тяжелых бетонах классов В30–В40 и марки по морозостойкости F300. Доломитовый отсев

имеет модуль крупности выше, чем гранитный отсев, что позволяет получать заполнитель более разнообразного фракционного состава.

При выполнении экспериментальных исследований было установлено, что размеры пылевидных частиц отходов дробления горных пород составляют 10–200 мкм (рисунок 1).

Рисунок 1 – Показатели рассева отходов дробления гранитной породы

Figure 1 – Granite crushing waste dispersion indicators

Рисунок 2 – Проба отхода дробления гранитной породы (увеличение в 100 раз)

Figure 2 - Granite fragmentation waste sample (100-fold increase)

Рисунок 3 – Фазовый состав контактной зоны «цементный камень / гранитный отсев»

Figure 3 – Phase composition of the cement stone / granite cut contact zone

Как видно из результатов исследования структуры пылевидных частиц отходов дробления горных пород, выполненных электронным сканирующим микроскопом (при увеличении в 100 раз), исследуемые образцы имеют кубическую, плоскую, ромбическую форму (рисунок 2). Поверхность пылевидных фракций отходов дробления имеет микрорельефную структуру, что в дальнейшем будет способствовать лучшему сцеплению с вяжущим веществом и это позволит рассматривать ее в качестве минеральной добавки в тяжелые бетоны.

Изучение контактной зоны между отходом дробления горных пород пробы «гранит» и цементным камнем было проведено методом рентгенофазового анализа (рисунок 3).

Мелкодисперсная составляющая отходов дробления участвует в формировании структуры и свойств контактной зоны цементного камня и заполнителя – гранитного отсева. Мелкодисперсная составляющая за счет своей плоской и ромбической формы улучшает трещиностойкость контактной зоны.

Как известно, прочность и морозостойкость бетонов зависят от таких основных факторов, как вид и активность цемента, водоцементное соотношение, условия твердения, воз-

раст к моменту замораживания [15, 16, 17, 18, 19, 20].

В ходе дальнейших исследований были разработаны составы тяжелых цементных бетонов с применением технологических отходов дробления горных пород. Примерный состав опытных образцов для испытаний: вода – 170 кг/м³, цемент – 550 кг/м³, щебень – 1040 кг/м³, отход дробления горных пород – 750 кг/м³, в контрольном образце использовался природный песок. В составах 1-1, 1-2, 1-3 был применен гранитный отсев, в составах 2-1, 2-2, 2-3 использовался доломитовый отсев.

Для регулирования свойств бетонов применялись гиперпластификатор марки MC-PowerFlow 3100 и воздухововлекающая добавка Centrament Air. Соотношение добавок: MC-PowerFlow 3100 + CentramentAir 202 = (80 + 20) масс % от общей массы добавки. Количество добавок (MC-PowerFlow + CentramentAir 202) вводилось в бетонную смесь в количестве от 0,4 до 0,8% (от массы цемента).

Введение этих добавок способствует набору кинетики прочности бетона, и к 28 сут нормального твердения прочность находится в пределах 38,5-65 МПа (рисунки 4, 5).

Рисунок 4 – Исследование прочности бетона при сжатии
(гранитный отсев + добавка MC-PowerFlow 3100 + Centrament Air)

Figure 4 – Concrete compression strength study (MC-PowerFlow 3100 Centrament Air Granite Cut Off Additive)

Рисунок 5 – Изменение прочности бетона при сжатии
(доломитовый отсев + добавка MC-PowerFlow 3100 + Centrament Air)

Figure 5 – Variation of concrete compression strength
(MC-PowerFlow 3100 Centrament Air dolomite cut-off)

а

б

Рисунок 6 – Структура цементного бетона (28 сут нормального твердения):
а – с использованием отходов дробления гранита (увеличение $\times 2000$);
б – с использованием природного песка (увеличение $\times 1500$)

Figure 6 – Cement concrete structure (28 suts of normal hardening):
a Using granite crushing residues (increase $\times 2000$); b using natural sand (increase $\times 1,500$)

Была изучена структура полученных образцов тяжелого цементного бетона с увеличением в 1500 и 2000 раз (рисунок 6). Было выявлено, что в возрасте 28 сут преобладает аморфная структура цементного вяжущего. Применение отходов дробления горных пород, особенно мелких фракций 10–200 мкм, дает более плотную упаковку частиц на поверхности, чем образцы на природном песке.

Полученные данные позволяют утверждать, что при введении в бетонную смесь гиперпластификатора и вследствие этого уменьшение количества связанной воды на поверхности заполнителя при смачивании и адсорбции, мелкодисперсная составляющая способна переходить в объем цементного теста, становясь микрозаполнителем бетонной смеси.

Для улучшения показателей морозостойкости и других технологических параметров бетона было выполнено комплексное использование пластификатора и воздухововлекающей добавки (80% MC-PowerFlow 3100 + 20% Centrament Air 202). Использование этих добавок позволило получить образцы с морозостойкостью F200-F300. Исследования на морозостойкость были проведены по

ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по второму ускоренному методу. Результаты экспериментальных исследований составов были приведены ранее в статье авторов [13].

Выпущена опытная партия железобетонных лотков Л 15-11/2 (серия 3.006.1-2.87.) в количестве 20 шт. (объем 20 м^3) производства завода ЖБИ «Ротор» (п. Винзили, Тюменская обл.) с применением технологических отходов дробления по рецептурам и результатам проведенных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы свойства отходов дробления горных пород Режевского щебеночного завода и доломитовых отсеков Саткинского щебеночного завода и установлено, что мелкодисперсная составляющая способна переходить в объем цементного теста, становясь микрозаполнителем бетонной смеси.

2. Определено влияние гиперпластифицирующей добавки MC-PowerFlow 3100 и воздухововлекающей добавки CentramentAir 202 на свойства тяжелого цементного бетона, что позволило получить бетоны с марками по морозостойкости F200- F300.

3. Выполнено опытно-промышленное апробирование разработок составов тяжелых цементных бетонов с применением отходов дробления горных пород на предприятии Тюменского региона в п. Винзили на заводе ЖБИ «Ротор».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отсевы дробления – эффективный способ повышения качества бетонов / Д.Д. Хамидуллина [и др.] // Строительные материалы. 2006. № 11. С. 50–51.
2. Леонович С.Н., Полейко Н.Л. Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 66–69.
3. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов / О.Е. Харо [и др.] // Строительные материалы. 2003. № 9. С. 18–19.
4. Применение рециклируемых материалов в дорожном строительстве США и Европы. БИНТИ. 2002. № 1. С. 16–18.
5. Левкова Н.С., Горностаева Т.А. Повышение эффективности комплексного использования сырья за счет отсевов дробления щебня из изверженных пород // Вестник БГТУ им. Шухова. 2003. № 5. С. 308–311.
6. Нгуен Вьет Кыонг, Чумаков Л.Д. Комплексное использование базальтовых заполнителей в бетоне // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 164–167.
7. Крючкова И.В. Анализ нормативно-правовой базы по регулированию рынка вторичного сырья для строительства // Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. 2006. 5 с.
8. Yoshio Kasai. Criteria for use of scrap as a concrete aggregate. / Cement and Concrete. 1981. № 9. Pp.182-188.
9. Malhotra, V.M. Fly Ash in Concrete / V.M. Malhotra, A.R. Ramezaniapour // 2nd Ed, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa. Canada. – 1994. – 307 p.
10. Yanagibashi K. A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. / K. Yanagibashi, T. Yonezawa, T. Iwashimizu, D. Tsuji, K. Arakawa, M. Yamada. Environmental-Conscious Materials and System for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium. Tokyo. – 2004. – Pp.137-143.
11. Yasuhiro Dosho. Development of a Sustainable Waste Recycling System «Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method» // Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute. Scientific paper. – 2007. – Vol. 5. – № 1. – Pp. 27-42.
12. Шатов А.Н. Способ получения качественных товарных бетонов с учетом специфики материальной базы УрФО // Технологии бетонов. 2017. № 1–2. С. 10–11.
13. Leming M.L. Comparison of mechanical properties of high-strength concrete made with different raw materials. / Transportation Research Record. – 1990. – № 1284. – Pp.23-30.
14. Ахтямов В.Ф., Хафизова Э.Н. Влияние отходов нерудного производства на свойства тяжелых бетонов // Вестник СибАДИ. 2018. № 2 (60). С. 261–268.
15. Khafizova E.N. Heavy weight concretes based on technological non-metallic production wastes / E.N. Khafizova, K.A. Ibatulina, V.F. Akhatyamov / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 463 (2018) 032042 doi:10.1088/1757-899X/463/3/032042.
16. Хафизова Э.Н., Ахмятов В.Ф. Исследование влияния техногенных отходов нерудного производства на свойства бетонов // Вестник ТГАСУ. 2017. № 4. С.107–116.
17. Мелкодисперсная составляющая отсевов горных пород в тяжелых цементных бетонах / Э.Н. Хафизова [и др.] // Инновации и инвестиции. 2019. № 9. С. 261–266.
18. Лотов В.А. Приготовление бетонных смесей при производстве высокопрочных бетонов / В.А. Лотов, О.Г. Тарбеев, В.А. Кутугин // Сб. докладов 3-го (XI) Международного совещания по химии и технологии цемента. Санкт-Петербург: АЛИТинформ. 2009. 141 с.
19. Федосов С.В., Акулова М.В., Падохин В.А. Мелкозернистый бетон на механомагнитоактивированной воде с добавкой суперпластификатора // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 120–127.
20. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Полянских И.С. Бетон повышенной долговечности при производстве опор линий электропередач // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 1–3.
21. Леонович С.Н., Полейко Н.Л. Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 66–69.
22. Бетонные композиты с использованием гравийно-песчаных смесей месторождений Чеченской Республики / А.Х. Аласханов [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. Т. 46, № 2. С. 136–147.
23. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. № 2 (46). С. 65–70.
24. Естемесов. З.А. Строительные отходы – неисчерпаемый источник богатства для строителей / З.А. Естемесов [и др.] // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. Том XVI, № 4 (22). С. 57–63.
25. Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклнкерных вяжущих щелочной активации) // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 457460.

REFERENCES

1. Hamidullina D.D., Garkavi M.S., Jakubov V.I., Rodin A.S., Kushka V.N. Otsevy drobleniya - jeffektivnyj sposob povysheniya kachestva betonov. [Stone screening dust are the effective way to improve the quality of concretes]. *Stroitel'nye materialy*. 2006. 11: 50-51. (in Russian)
2. Kharo O.E., Levkova N.S., Lopatnikov M.I., Gornostaeva T.A. Ispol'zovanie otkhodov pererabotki gornyx porod pri proizvodstve nerudnykh stroitel'nykh materialov. [Use of recycling rock wastes in the manufacture of non-metallic building materials]. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2003. 9: 18-19. (in Russian)
3. Primenenie retsikliruemykh materialov v dorozhnom stroitel'stve SShA i Evropy. [Application of recyclable materials in road construction in Europe and the United States]. *BINTI*. 2002. 1: 16-18. .
4. Levkova N.S., Gornostayeva T.A. Povyshenie jeffektivnosti kompleksnogo ispol'zovaniya syr'ya za schet otsevv drobleniya shhebnja iz izverzhennykh porod. [Increase of complex use efficiency of raw materials due to screenings of crushed stone from igneous rocks]. *Bulletin of BSTU named after Shukhov*. 2003. 5: 308-311. (rus).
5. Nguyen Viet Kyong, Chumakov L.D. Kompleksnoe ispol'zovanie bazalt'ovykh zapolnitelej v betone. [Complex use of basalt aggregates in concrete]. Scientific and technical journal "Vestnik MSSU", 2009. 1: 164-167. (rus).
6. Kryuchkova I.V. Analiz normativno-pravovoj bazy po regulirovaniyu rynka vtorichnogo syr'ya dlja stroitel'stva. [Analysis of the regulatory and legal framework for regulating the market of secondary raw materials for construction]. *Voronezh State Architectural and Construction University*. 2006. 5. (in Russian)
7. Yoshio Kasai. Criteria for use of scrap as a concrete aggregate. *Cement and Concrete*. 1981. 9:182-188.
8. Malhotra V.M., Ramezaniapour A.R. Fly Ash in Concrete. 2nd Ed, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa. Canada, 1994, 307 p.
9. Yanagibashi K., Yonezawa T., Iwashimizu T., Tsuji D., Arakawa K., Yamada M. A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. *Environmental-Conscious Materials and System for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium*. Tokyo. 2004: 137-143.
10. Yasuhiro Dosho. Development of a Sustainable Waste Recycling System "Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method". *Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute. Scientific paper*. 2007. 5(1): 27-42.
11. Shatov A.N. Sposob polucheniya kachestvennykh tovarnykh betonov s uchedom spetsifiki material'noi bazy UrFO. [Method for obtaining high-quality commercial concretes taking into account the specificity of the material base of the Urals Federal District]. *Tekhnologii betonov [Concrete Technologies]*. 2017. 1-2: 10-11 (in Russian)
12. Leming M.L. Comparison of mechanical properties of high-strength concrete made with different raw materials. *Transportation Research Record*. 1990. 1284: 23-30.
13. Akhtyamov V.F., Khafizova E.N. Vliyanie otkhodov nerudnogo proizvodstva na svoystva tjazhelyh betonov [Influence of technological non-metallic production wastes on heavy weight concrete properties]. May 2018. The Russian Automobile and Highway Industry Journal 15(2):261-268 DOI:10.26518/2071-7296-2018-2-261-268
14. Khafizova E.N. Heavy weight concretes based on technological non-metallic production wastes / E.N. Khafizova, K.A. Ibatulina, V.F. Akhtyamov / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 463 (2018) 032042 doi:10.1088/1757-899X/463/3/032042.
15. Khafizova E.N., Akhtyamov V.F. Issledovanie vlijanija tehnogennykh otkhodov nerudnogo proizvodstva na svoystva betonov. [Study of technological wastes influence of non-metallic production on concrete properties]. *Vestnik of TSUAB*. 2017. 4: 107-116 (in Russian)
16. Khafizova E.N., Akhtyamov V.F., Panchenko I.F., Panchenko D.A. Melkodispersnaja sostavljajushaja otsevv gornyx porod v tjazhelyh cementnyh betonah. [Micro-fine component of stone screening dust in heavy weight cement concrete]. *Innovacii i investicii*. 2019. 9: 261-266.
17. Lotov V.A., Tarbeev O.G., Kutugin V.A. Prigotovlenie betonnyh smesej pri proizvodstve vysokoprochnykh betonov. [Preparation of concrete mixtures for the production of high-strength concrete] *Reports of the 3rd (XI) International Meeting on Chemistry and Cement Technology*. St. Petersburg: ALITinform, 2009: 141 (in Russian)
18. Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E., Padokhin V.A. Melkozernistyj beton na mehanomagnitoaktivirovannoju vode s dobavkoj superplastifikatora. [Fine-grained concrete on mechano-magneto-activated water with the addition of a superplasticizer]. *Bulletin of MGSU*. 2012. 5: 120-127 (in Russian)
19. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Polyansky I.S. M.M. Beton povyshennoj dolgovechnosti pri proizvodstve opor linij jelektroperedach. [Concrete of increased durability in the production of power transmission towers]. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2014. 5: 1-3 (in Russian)
20. Berdichevsky G.I., Vasiliev A.P., Malinina L.A. Proizvodstvo sbornyx zhelezobetonnykh izdelij. [Manufacture of precast concrete units]. Reference guide: Stroizdat. 1989. 447 p. (rus).
21. Leonovich S.N., Polejko N.L. Jekspluatacionnye harakteristiki betona na zapolnitele iz osadochnykh gornyx porod [Performance characteristics of concrete on aggregate from sedimentary rocks]. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2016. 8: 66-69 (in Russian).
22. Alaskanov, A. Kh., Murtazaev, S.A. Yu., Saidumov, M. S. and Khubaev, M.S. M. [et al.] (2019) 'Betonne kompozity s ispol'zovaniem graviino-peschannykh smesei mestorozhdenii Chechenskoi Respubliki' [Concrete composites using gravel-sand mixtures from the deposits of the Chechen Republic]. Bulletin of the

Dagestan State Technical University. Technical sciences. 46. 2: 136147.

23. Murtazaev, S.A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. Privolzhskii nauchnyi zhurnal. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. Volga Scientific Journal]. 2 (46): 6570.

24. Estemesov Z.A., Sultanbekov T.K., Sarsenbaev N.B., Sauganova G.R. Stroitel'nye othody – neischerpaemyi istochnik bogatstva dlja stroitelej. [Construction waste – an inexhaustible source of wealth for builders]. Herald of GSTOU. Engineering sciences. V XVI. 2020. 4 (22): 57-63.

25. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. (2019) 'Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders'. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. 1: 457460.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Хафизова Э.Н. Постановка цели и задачи исследования, анализ результатов исследования, редактирование статьи.

Панченко Ю.Ф. Проведение экспериментальных исследований, обработка результатов экспериментов.

Панченко Д.А. Проведение экспериментальных исследований, оформление статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Elza N. Khafizova. Statement of the goal and objectives of the research, analysis of results, editing of the article.

Iuliia F. Panchenko. Experimental research, calculation of results.

Dmitrii A. Panchenko. Experimental research, paper work.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хафизова Эльза Назифовна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные материалы», Scopus Author ID - SC 57205439303.

Панченко Юлия Федоровна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные материалы», Scopus Author ID – SC 57200297111.

Панченко Дмитрий Алексеевич – старший преподаватель кафедры «Строительные материалы», Scopus Author ID – SC 57200293773.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elza N. Khafizova, Cand. of Sci., Associate Professor, Scopus Author ID - SC 57205439303.

Iuliia F. Panchenko, Cand. of Sci., Associate Professor, Scopus Author ID – SC 57200297111.

Dmitrii A. Panchenko, Senior Lecturer, Scopus Author ID – SC 57200293773.