

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.3

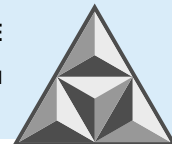
DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47

# Оценка качества сырьевых материалов республики Бурунди для производства дорожных бетонов

**Ф. Ндайзейе, Н. А. Белькова, Т.И. Шелковникова, Е.И. Иващенко**

**Фуади Ндайзейе, Наталья Анатольевна Белькова\*, Татьяна Иннокентьевна Шелковникова,  
Елена Ивановна Иващенко**

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация  
*ndayizeyefouadi779@gmail.com, verlnata@mail.ru\*, tshelk@mail.ru, ivachenko@cchgeu.ru*



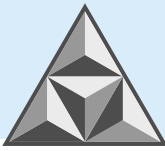
*Проведены исследования песка и щебня, взятых из двух рек в Республике Бурунди, на соответствие характеристик нормативным показателям и для оценки возможности получения на их основе цементных дорожных бетонов. Установлено, что цемент, производимый бурундийской компанией BUCECO (BURUNDI CEMENT COMPANY), может быть использован только для устройства оснований дорожного полотна; для покрытия дорог допускается применение цемента от Tanzania Portland Cement. Установлено, что материалы заполнителей (песок и щебень) пригодны для производства дорожных бетонов после предварительного обогащения. Предложены основные технологические мероприятия, обеспечивающие заданный уровень качества дорожного строительства в Бурунди при использовании местного сырья.*

**Ключевые слова:** дорожные бетоны Бурунди, сырьевые материалы, качество, цемент, песок, щебень

**Для цитирования:**

Ндайизейе Ф., Белькова Н. А., Шелковникова Т.И., Иващенко Е.И. Оценка качества сырьевых материалов республики Бурунди для производства дорожных бетонов // *Умные композиты в строительстве*. 2025. Т. 6, вып. 3. С. 38-47. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6456/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47

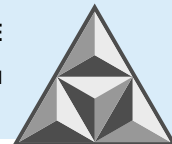
# Quality assessment of raw materials in the Republic of Burundi for road concrete production

**F. Ndayizeye, N.A. Belkova, T.I. Shelkownikova, E.I. Ivashchenko**

**Fuadi Ndayizeye, Natalya Anatolyevna Belkova\*, Tatyana Innokentievna Shelkownikova,  
Elena Ivanovna Ivashchenko**

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

*ndayizeyefouadi779@gmail.com, verlnata@mail.ru\*, tschelk@mail.ru, ivashchenko@cchgeu.ru*



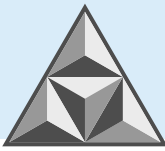
*Studies were conducted on sand and crushed stone sourced from two rivers in the Republic of Burundi to assess their compliance with standard specifications and their suitability for producing cement-based road concrete. It was established that cement produced by the Burundian company BUCECO (BURUNDI CEMENT COMPANY) is only suitable for the construction of roadbed foundations; for pavement surfaces, the use of cement from Tanzania Portland Cement is recommended. The study found that the aggregate materials (sand and crushed stone) are suitable for the production of road concrete after preliminary processing. Key technological measures are proposed to ensure the required quality standards for Burundian road construction using local raw materials.*

**Keywords:** *Burundian road concrete, raw materials, quality, cement, sand, crushed stone*

**For citation:**

Ndayizeye F., Belkova N.A., Shelkovnikova T.I., Ivashchenko E.I. Quality assessment of raw materials in the Republic of Burundi for road concrete production // *Smart Composite in Construction*. 2025. Vol. 6, Iss. 3. P. 38-47. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6456/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47



## ВВЕДЕНИЕ

Перспективы использования цементных бетонов для дорожного строительства в различных условиях их эксплуатации постоянно расширяются. Это обусловлено их преимуществом по сравнению с асфальтобетонами – прежде всего, достаточно высокой прочностью, независимостью деформативных свойств от характеристик окружающей среды, высокой износостойкостью. Если рассматривать потребности Республики Бурунди в материалах для строительства дорог, то, по данным Дорожного управления, 46% дорог Бурунди находятся в плохом состоянии и нуждаются в восстановлении [1, 2]. Таким образом, проблема подбора и оптимизации составов для устройства дорожного полотна является актуальной. При этом и к дорожным бетонам, и к сырьевым материалам для их изготовления предъявляются особые требования.

Целью настоящего исследования является оценка качества и определение области применения основных сырьевых материалов для тяжелых бетонов в Бурунди.

Основные задачи исследования:

- определение основных свойств сырьевых материалов для дорожных бетонов в Республике Бурунди;
- оценка оптимальной области применения исследованных сырьевых материалов;
- обоснование нормативных требований к сырьевым материалам и свойствам бетонов для применения на дорогах Республики Бурунди.

В настоящей работе проведен анализ литературных источников [3-5], который показал, что на территории Бурунди практически отсутствует собственная система нормативной документации. При производстве продукции и оценке ее качества используются французские и европейские нормативные документы. При этом многие из них полностью соответствуют российским нормативным документам, а значительная часть стандартов актуализирована на территории РФ в виде международных. Это касается, в частности, требований к сырьевым материалам для бетонов и основным методам определения их свойств [6].

Для проектирования дорог и производства дорожных материалов используют ряд нормативных документов – СП 34.13330.2021 «Свод правил. Автомобильные дороги» и ГОСТ Р 59300-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия». Согласно этим документам, для основных слоев дорожного полотна может быть использован цементный бетон с классами В30 и В<sub>тб</sub> 4,0 (для монолитного покрытия), а также классами В7,5 и В<sub>тб</sub> 1,2 (для монолитного основания).

По ГОСТ Р 59300-2021 к сырьевым материалам для бетонов предъявляют следующие требования:

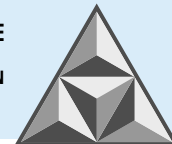
1. Бетонная смесь характеризуется несколькими показателями, среди которых фигурируют: показатель удобоукладываемости (подвижность П1...П5); сохраняемость свойств во времени (классы С1-С4).

2. Особые требования предъявляются к цементам. Так, по вещественному составу используют цементы следующих типов:

- для оснований – ЦЕМ II/A-Ш, ЦЕМ II/B, ЦЕМ III/A, ЦЕМ V/A;
- для покрытий – ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-Ш.

Также нормируются: показатели нормальной плотности цементного теста ( $\leq 30\%$ ); содержание трехвалентного алюмината ( $\leq 8\%$ ); удельная поверхность частиц цемента при измерении методом Блейна ( $280-400 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ).

3. В качестве мелкого заполнителя могут применяться природные и дробленые пески с модулем крупности 2.3...2.8, содержанием пылевидных и глинистых частиц не более 2% и содержанием глины в комках не более 0.25%.



4. В качестве крупного заполнителя применяется фракционированный щебень с содержанием зерен пластинчатой и игольчатой формы («лещадной») не более 15%; зерен слабых пород в щебне должно быть не более 5% от массы. Также нормируются показатели содержания пылевидных и глинистых частиц (не более 2%) и глины в комках (не более 0.25%). Марка по прочности должна быть не ниже М400 (для основания) и М800 (для покрытия дорог).

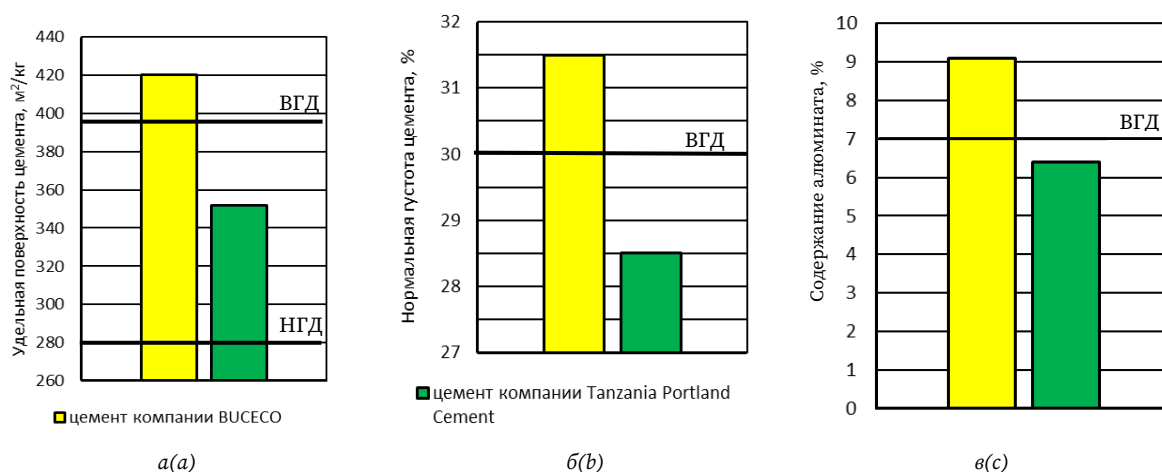
В случае, если имеется несоответствие свойств крупного и мелкого заполнителей по содержанию примесей, улучшить характеристики можно различными способами [7-13]. Так, в [10, 11] предлагается обогащение заполнителей путем их промывки и фракционирования.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Проведена оценка качества сырья, необходимого для производства дорожных бетонов. В качестве объектов исследования использовали:

- цементы двух производителей – ЦЕМ II/В-П 32,5 М компании *BUCECO (BURUNDI CEMENT COMPANY)* и ЦЕМ I 42,5 Н компании *TWIGA (Tanzania Portland Cement)*;
- песок природный, отобранный из рек Рувиронза и Музази;
- щебень валунов из рек Рувиронза и Музази.

Характеристики портландцемента крупных компаний Бурунди приведены на рис. 1.



**Рис. 1.** Результаты оценки основных свойств портландцемента: *a* – удельная поверхность; *б* – нормальная плотность; *в* – содержание трехкальциевого алюмината

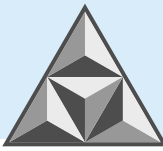
**Fig. 1.** The results of the assessment of the main properties of Portland cement: *a* – specific surface area; *b* – normal density; *c* – content of tricalcium aluminate

Свойства сырья и материалов определяли в соответствии с методиками, приведенными в российских и международных нормативных документах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

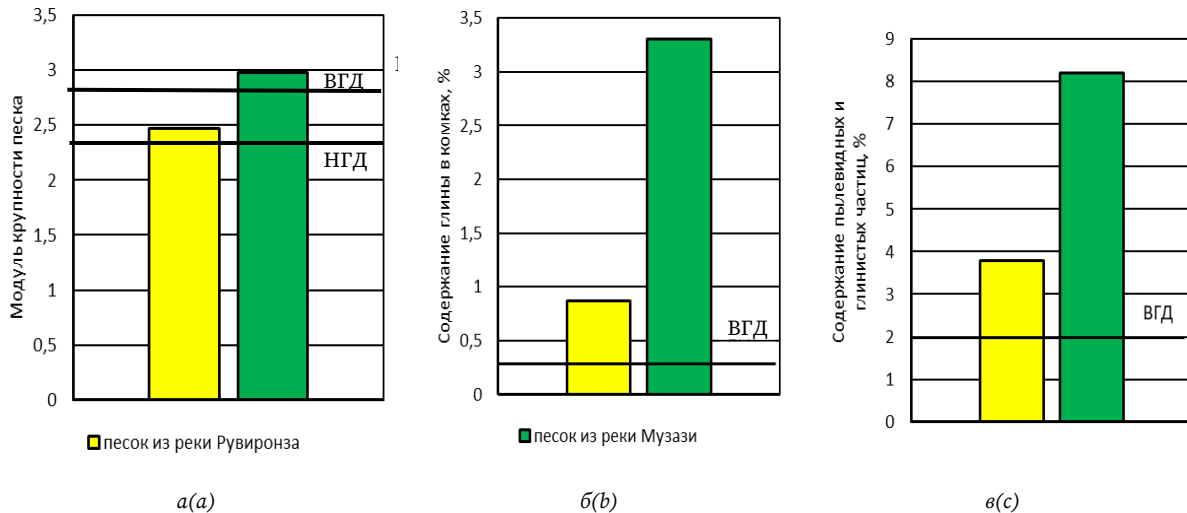
На представленных диаграммах обозначены заданные нормативами границы допусков (для бетона покрытия дорожного полотна) – верхние (ВГД) и нижние (НГД).

Как следует из данных, представленных на рис. 1, основные характеристики портландцемента компании *BUCECO* не соответствуют нормативным требованиям по всем показателям. Однако определение предела прочности при изгибе показало, что полученное значение составляет 6.05 МПа (выше нормы 6.0 МПа). При этом величина удельной поверхности выходит за верхнюю границу (400 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>), то есть цемент имеет высокую степень помола. Цемент компании *TWIGA* имеет основные показатели, не выходящие за нормативные границы допуска. Следует отдельно отметить существенное превышение количества



трехкальциевого алюмината в цементе компании *BUCECO* над ВГД, что является основным препятствием для его применения в дорожных бетонах.

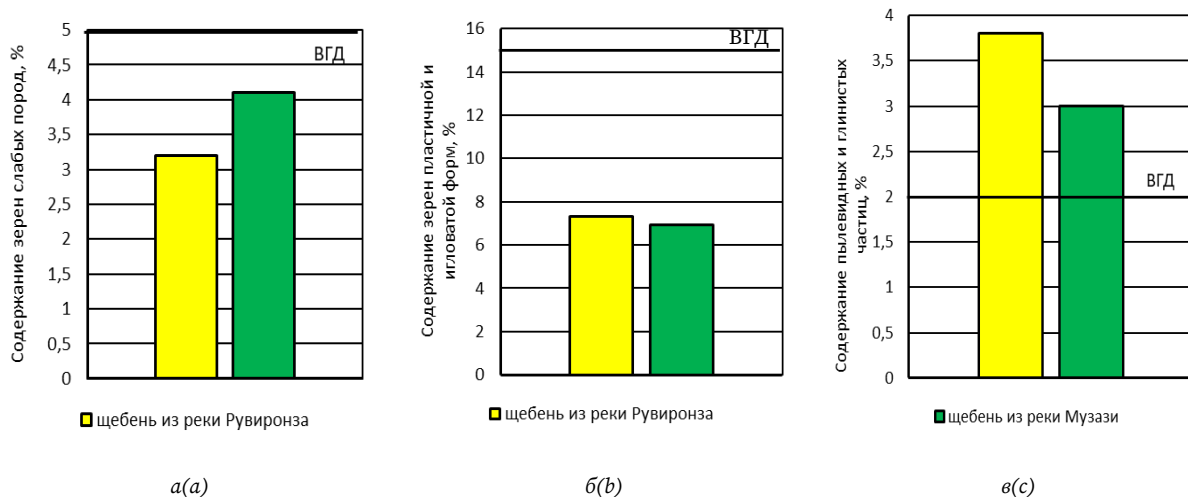
Характеристики песков из рек Рувиронза и Музази (рис. 2) не соответствуют нормативным требованиям по содержанию глины в комках и пылевидных и глинистых частиц.



**Рис. 2.** Оценка свойств песка: *a* – модуль крупности; *б* – содержание глины в комках; *в* – содержание пылевидных и илистых частиц

**Fig. 2.** Sand properties: *a* – modulus of size; *b* – clay content in lumps; *c* – content of dust and silt particles

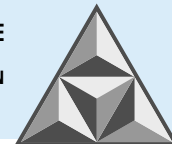
При этом количество пылевидных и глинистых частиц песка из реки Рувиронза превышает нормативные значения примерно в два раза (3.8% при допустимом показателе 2.0%); для песка же из реки Музази этот показатель выше в 4 раза (8.2%). По содержанию количества глины в комках песок из реки Музази является более загрязненным (превышение в 13 раз). Показатель модуля крупности для песка из реки Рувиронза находится в заданных стандартом границах; для песка из реки Музази этот показатель немного завышен (2.98 против верхнего граничного значения 2.80).



**Рис. 3.** Результаты оценки свойств щебня: *a* – содержание зерен слабых пород; *б* – содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы; *в* – содержание пылевидных и илистых частиц

**Fig. 3.** Crushed stone properties assessment results: *a* – content of soft rock grains; *b* – content of grains of lamellar and needle shape; *c* – content of dust and silt particles

Для щебня, взятого из этих рек, также наблюдается несоответствие по этим показателям (превышение в 2.0-2.5 раз, см. рис. 3). Марки по прочности соответствуют М800 и М1000 для



щебня из рек Рувиронза и Музази соответственно. При этом количество зерен слабых пород и «лещадных» частиц находится в пределах нормативных значений.

В рамках исследований проведен анализ полученных данных и определена область применения указанных сырьевых материалов.

Область применения цементов для дорожных бетонов определяется не только их физико-механическими характеристиками, но и допустимым минералогическим составом. Так, цемент компании *BUCECO* относится к типу ЦЕМ II/ В-II (портландцемент с минеральными добавками). Следовательно, согласно ГОСТ Р 59300-2021, а также в соответствии с полученными результатами исследования, этот цемент может быть использован только для бетона основания дорожного полотна. В то же время цемент, производимый компанией *TWIGA*, имеет другой тип – ЦЕМ I (портландцемент без активных минеральных добавок). При этом, как показано в данной работе, его основные технические характеристики не выходят за установленные границы, следовательно, именно этот цемент может быть использован для бетонов при устройстве покрытия дорожного полотна.

В качестве мелкого заполнителя для бетона в дорожном покрытии может применяться песок из реки Рувиронза, так как его модуль крупности соответствует нормативному показателю. В качестве крупного заполнителя бетонов как для основания, так и для покрытия дорожного полотна пригодными являются любые из исследованных материалов, поскольку они отвечают необходимым требованиям и по прочности, и по форме зерен.

## ВЫВОДЫ

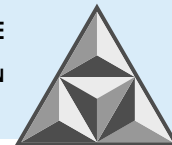
Для получения дорожных бетонов в условиях Республики Бурунди допускается использование портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н компании *TWIGA*. Согласно результатам исследований, для песка и щебня наблюдается несоответствие по показателям содержания примесей, поэтому их применение в качестве заполнителей для бетонов дорожного полотна требует предварительного обогащения.

Корректировка свойств сырья Бурунди для дорожного строительства возможна также за счет использования армирующих волокон или добавок-модификаторов различного типа.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Бигиримана Ж., Павлов А.П.** Особенности условий эксплуатации автомобильного транспорта в Бурунди // *Вестник МАДИ*. 2020. № 1(60). С. 38-42.
2. **Ntunzwenimana J.B.** Stratégie nationale en matière de planification et de gestion du secteur du transport et son plan d'actions 2018-2027 au Burundi. Bujumbura. 2018. 199 p.
3. **Lapidus A.A., Ndayiragije Y.** Integrated Quality Index of Organizational and Technological Solutions for Implementation of Burundian Capital Master Plan // *Mat. Sci. Forum*. 2018. Vol. 931. P. 1295-1300.
4. **Meijer F., Visscher H.** Quality control of constructions: European trends and developments // *Int. J. of Law in the Built Envir.* 2017. Vol. 9. № 2. P. 143-161.
5. **Белькова Н.А., Ндайизейе Ф., Шмитько Е.И.** Обоснование нормативных и технических требований к характеристикам автомобильных дорог в республике Бурунди // *Химия, физика и механика материалов*. 2023. № 3(38). С. 69-80.
6. **Усачев С.М., Кукина О.Б., Ками К.** Исследование свойств сырьевых материалов для бетонов в республике Бурунди // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2023. № 1(69). С. 36-46.
7. **Кукина О. Б., Волокитина О.А., Волков В.В., Шуваев Д.И., Чунихина А.С.** Проектирование конструктивных слоев оснований фундаментов сооружений и дорожных одежд на модифицированных глинистых грунтах // *Строительная механика и конструкции*. 2022. № 2(33). С. 158-167.





8. **Федорович П.Л.** Теоретические и практические основы минимизации содержания цемента в бетоне путем формирования оптимального зернового состава // *Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: сб. науч.-техн. ст. (мат. науч.-метод. сем.)*, 29 мая 2012 г., Минск, 2012. Ч. 2. С. 155-165.
9. **Федорович П.Л.** О технологии обогащения мелкого заполнителя для бетона // *Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр.* Минск: Изд. центр БГУ, 2016. Вып. 8. С. 290-306.
10. **Корсак Л.Л.** Экологические проблемы использования отходов добычи и переработки кварцевых песков и разработка аэродинамического способа обогащения // *Горный инф.-аналит. бюл.* 2004. № 11. С. 305-306.
11. **Терешкин И.П.** Перспективы обогащения природных песков Ускляйского месторождения Республики Мордовия для цементных бетонов и строительных растворов // *Инженерный вестник Дона.* 2019. № 9(60). С. 47.
12. **Смирнов Д.С.** Цементобетон для дорожных покрытий на местных инертных материалах Республики Татарстан // *Межд. форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2021: Сб. мат.* Казань, 21-24 сентября 2021 г. Ч. 1. Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2021. С. 158-162.
13. **Степанова М.П., Белькова Н.А., Баранов Е.В.** Оптимизация состава бетона для основания и покрытия дорог // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного фед. ун-та.* 2023. № 1(54). С. 83-89. DOI: 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89.

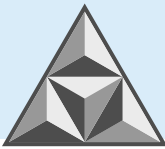
Поступила в редакцию 06.06.2025

Одобрена после рецензирования 01.07.2025

Принята к опубликованию 24.07.2025

## REFERENCES

1. **Bigirimana, J. and Pavlov, A.P.** (2020), "Features of the operating conditions of road transport in Burundi", *Bul. MADI*, vol. 1, no. 60, pp. 38-42 (in Russian).
2. **Ntunzwenimana, J.B.** (2018), *Stratégie nationale en matière de planification et de gestion du secteur du transport et son plan d'actions 2018-2027 au Burundi*. Bujumbura.
3. **Lapidus, A.A. and Ndayiragije, Y.** (2018), "Integrated Quality Index of Organizational and Technological Solutions for Implementation of Burundian Capital Master Plan", *Mat. Sci. Forum*, vol. 931, pp. 1295-1300.
4. **Meijer, F. and Visscher, H.** (2017), "Quality control of constructions: European trends and developments", *Int. J. of Law in the Built Envir.*, vol. 9, no 2, pp. 143-161.
5. **Belkova, N.A., Ndayizeye, F. and Shmitko, E.I.** (2023), "Justification of regulatory and technical requirements for the characteristics of roads in the Republic of Burundi, Chemistry", *Phys. Mech. Mat.*, vol. 3, no. 38, pp. 69-80 (in Russian).
6. **Usachev, S.M., Kukina, O.B. and Kami, K.** (2023), "Study of the properties of raw materials for concrete in the Republic of Burundi", *Sci. J. Constr. Arch.*, vol. 1, no. 69, pp. 36-46 (in Russian).
7. **Kukina, O.B., Volokitina, O. A., Volkov, V.V., Shuvaev, D. I. and Chunikhina, A.S.** (2022), "Design of structural layers of foundations of structures and pavements on modified clay soils", *Construction mechanics and structures*, vol. 2, no. 33, pp. 158-167 (in Russian).
8. **Fedorovich, P.L.** (2012), "Theoretical and practical foundations for minimizing the content of cement in concrete by forming an optimal grain composition", *Iss. of implementation of design standards and standards of the European Union in the field of construction: Sat. sci. techn. Art. (mat. sci.-method. sem.)*, May 29, Minsk, 2012, Part 2, pp. 155-165 (in Russian).
9. **Fedorovich, P.L.** (2016), "On the technology of enrichment of fine aggregate for concrete", *Problems of modern concrete and reinforced concrete: Sat. sci. Art.*, Minsk: Ed. BSU Center, no. 8, pp. 290-306 (in Russian).
10. **Korsak, L.L.** (2004), "Environmental problems of using waste from the extraction and processing of quartz sands and the development of an aerodynamic enrichment method", *Mining Inf. Analyt. Bul.*, no. 11, pp. 305-306 (in Russian).
11. **Tereshkin, I.P.** (2019), "Prospects for enrichment of natural sands of the Usklyaysky field of the Republic of Moravia for cement concrete and mortar", *Eng. Bul. of the Don*, vol. 9, no. 60, p. 47 (in Russian).



12. **Smirnov, D.S.** (2021), Cement concrete for road surfaces on local inert materials of the Republic of Tatarstan, *KAZAN DIGITAL WEEK Int. Forum - 2021: Collect. mat.*, Kazan, September 21-24, Part 1. Kazan: GBU “NCBZD”, pp. 158-162 (in Russian).
13. **Stepanova, M.P., Belkova, N.A. and Baranov, E.V.** (2023), “Optimization of concrete composition for the base and road pavement“, *Bul. of the Engin. School of the Far East. Fed. Univer.*, vol. 1, no. 54, pp. 83-89 (in Russian). DOI 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89.

*Received 06.06.2025*

*Approved 01.07.2025*

*Accepted 24.07.2025*