Оригинальная статья

Original Paper

УДК 691.322 © Е.А. Шабанов, Т.Г. Черкасова✉, А.А. Бушуев, А.В. Санарова, 2024

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

UDC 691.322 © E.A. Shabanov, T.G. Cherkasova✉, A.A. Bushuev, A.V. Sanarova, 2024

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Исследование свойств отходов потребления и обогащения угля Кузбасса для использования в качестве сырья для изготовления строительных материалов*

Studying properties of the Kuzbass coal consumption and preparation wastes to be used as feedstock for construction materials manufacturing

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-6-50-55

ШАБАНОВ Е.А.
Канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой СПиЭН Строительного института ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: shabanovea@kuzstu.ru

ЧЕРКАСОВА Т.Г.
Доктор химических наук, профессор, научный руководитель Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

** Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).*

В статье приведены результаты экспериментального исследования возможности использования золошлаковых отходов предприятий углеобогащения в технологии изготовления бетона. Выполнен ряд лабораторных испытаний по изготовлению и определению прочностных характеристик образцов бетона с различным процентным соотношением замещения мелкого заполнителя или цементного вяжущего на отходы с последующем определением ряда физических характеристик. Сделан анализ полученных результатов и дана оценка возможности применения данных отходов с учетом полученных свойств в качестве добавки для изготовления бетонных смесей. Проведен технико-экономический расчет для выявления экономической целесообразности использования отхода в строительной индустрии.

Ключевые слова: *золошлаковые отходы, состав бетонной смеси, строительные бетонные смеси, экспериментальные исследования, бетонные смеси, прочностные характеристики, экологичное строительство, экономическая целесообразность.*

Для цитирования: Исследование свойств отходов потребления и обогащения угля Кузбасса для использования в качестве сырья для изготовления строительных материалов / Е.А. Шабанов, Т.Г. Черкасова, А.А. Бушуев и др. // Уголь. 2024;(6):50-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-50-55.

Abstract

The article presents the results of an experimental study of the possibility of using ash and slag waste from coal enrichment enterprises in concrete manufacturing technology. A number of laboratory tests were performed on the manufacture and determination of the strength characteristics of concrete samples with different percentages of substitution of fine filler or cement binder for waste, followed by the

determination of a number of physical characteristics. The analysis of the obtained results is made and the assessment of the possibility of using these wastes, taking into account the obtained properties, as an additive for the manufacture of concrete mixtures is given. A technical and economic calculation was carried out to identify the economic feasibility of using waste in the construction industry.

Keywords
Ash and slag waste, composition of concrete mix, construction concrete mixes, experimental studies, concrete mixes, strength characteristics, environmentally friendly construction, economic feasibility

For citation
Shabanov E.A., Cherkasova T.G., Bushuev A.A., Sanarova A.V. Studying properties of the Kuzbass coal consumption and preparation wastes to be used as feedstock for construction materials manufacturing. *Ugol'*. 2024;(6):50-55. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-50-55.

Acknowledgements
The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1194).

БУШУЕВ А.А.
Младший научный сотрудник кафедры СПиЭН Строительного института ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: lilbawwik@gmail.com

САНАРОВА А.В.
Магистрант Строительного института ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: sanarova-a@inbox.ru

ВВЕДЕНИЕ

Кемеровская область – Кузбасс занимает лидирующее место по добыче угля в России. Кузбасский угольный бассейн является одним из крупнейших в России и в мире. Здесь добывается 58,3% всего российского угля [1]. За 2019 г. в Кемеровской области добыто 250,1 млн т угля [2].

В результате работы углеобогатительных предприятий и тепловых электростанций на отвалы Кузбасса доставляется огромное количество золошлаковых отходов с длительностью хранения более 20 лет, без дальнейшей утилизации или повторного применения в иной отрасли. Ежегодно отвалы расширяются, нанося экологический вред окружающей среде.

На основе литературного обзора [3, 4, 5, 6] можно сделать вывод о возможности использования золошлаковых отходов в технологии бетонов, что приведет к экономическим и экологическим улучшениям в Кузбассе [7, 8, 9].

Целью данной работы является оценка влияния замещения компонентов бетонной смеси золошлаковым отходом на прочностные характеристики готового бетона.

Методика экспериментальных исследований заключается в следующем:

1. Исследование и оптимизация состава отходов углеобогатительного предприятия, сушка отобранного материала в естественных условиях при температуре +20±2°С до постоянной массы.
2. Отбор материалов для получения предполагаемого класса бетона В30, подвижность бетонной смеси П2: цемент М500; речной песок фракцией 0-5,0 мм (мелкий заполнитель); щебень фракцией 5,0-20,0 мм (крупный заполнитель); золошлаковый отход фракцией 0-5,0 мм.
3. Подбор состава бетонной смеси согласно ГОСТ 27006-86.
4. Подбор режима твердения образцов бетона согласно НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР. Руководство по тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий.
5. Изготовление образцов с определением осадки конуса и прочностных характеристик согласно ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. 2013.
6. Анализ полученных результатов, подсчет технико-экономических показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения экспериментальной части исследования были изготовлены образцы в серии из трех форм, набор прочности двух форм производился тепловлажностной обработкой в пропарочной камере, одна форма сохранялась для определения марочной прочности в течение 28 сут. при температуре воздуха +20±2°С и влажности воздуха около 100%.

НОЦ КУЗБАСС
Научно-образовательный центр «Кузбасс»

Замещение мелкого заполнителя или цементного вяжущего в образцах золошлаковым отходом производилось в процентном соотношении 2%, 5% ,10%, 15%, 20% от массы замещаемого компонента. Была также изготовлена серия контрольных образцов без изменения первоначального состава.

При изготовлении бетонной смеси с заменой мелкого заполнителя на золошлак осадка конуса осталась неизменной и варьировалась от 3 до 7 см, при замене цементного вяжущего наблюдалось увеличение осадки конуса на 1 см.

Первым этапом экспериментальных исследований после изготовления стандартных образцов-кубиков 10×10×10 см был произведен визуальный осмотр образцов на наличие дефектов (раковин трещин, сколов). Образцы подверглись маркировке, взвешиванию, измерению их геометрических параметров, фиксированию пористости поверхности.

Определение прочностных характеристик образцов-кубиков проводилось в испытательной машине «Пресс ИП-1А-1000» (*рис. 1*). Предполагаемый набор прочности образцов-кубиков после тепловлажностной обработки составляет 70% от проектной прочности. Результаты испытания образцов-кубиков в испытательной машине приведены в *табл. 1*.

Характерные графики зависимости прочности образцов от процента замещения компонентов от массы на золошлаковый отход представлены на *рис. 2, 3*.

Установлено незначительное снижение прочности бетонных образцов при замещении мелкого заполнителя от прочности бетона контрольных образцов. При замещении цементного вяжущего наблюдается прямопропорциональная зависимость снижения прочности бетона образцов с увеличением процентного замещения, снижения являются значительными.

Рис. 1. Установка образца-кубика бетона в испытательную машину «Пресс ИП-1А-1000»

Fig. 1. Placing a concrete cube specimen into the Press IP-1A-1000" test machine

Для увеличения точности проводимых экспериментальных исследований изготовлены образцы серии из шести кубиков с заменой мелкого заполнителя на 20% от массы отходом и серия контрольных образцов с 0% добавлением отхода (*табл. 2*). Изготовление образцов с замещением цементного вяжущего по результатам испытания являлось нецелесообразным в связи со значительным ухудшением прочностных характеристик.

Таблица 1

Класс испытуемых бетонных образцов-кубиков по прочности

The strength class of the tested concrete cube specimens

Содержание отхода, %		№ образца	Нагрузка, кН	Среднее значение прочности после пропаривания, МПа	Предполагаемый класс бетона
От песка	От цемента				
0	–	1	353,6	35,36	B30
0	–	2	315,9	31,59	B30
2%	–	3	340,4	34,04	B30
2%	–	4	297,4	29,74	B27,5
5%	–	5	289,7	28,97	B27,5
5%	–	6	286,9	28,69	B27,5
10%	–	7	276,2	27,62	B25
10%	–	8	291,4	29,14	B27,5
15%	–	9	318,3	31,83	B30
15%	–	10	234,1	23,41	B22,5
20%	–	11	310,3	31,03	B27,5
20%	–	12	232,0	23,20	B20
–	2%	13	209,4	20,94	B20
–	2%	14	217,1	21,71	B20
–	5%	15	228,4	22,84	B20
–	5%	16	216,4	21,64	B20
–	10%	17	214,0	21,40	B20
–	10%	18	206,6	20,66	B15
–	15%	19	187,3	18,73	B15
–	15%	20	195,9	19,59	B15
–	20%	21	153,7	15,37	B12,5
–	20%	22	183,3	18,33	B15

По достижении 28-ми суток ранее изготовленные образцы подверглись испытанию на прессе с полным сбором необходимой информации (*табл. 3*).

Характерные графики зависимости прочности марочных образцов от процента замещения компонентов от массы на золошлаковый отход представлены на *рис. 4, 5*.

Образцы с заменой мелкого заполнителя, за исключением 5%-ного замещения на отход, по достижению 100%-ной прочности показали класс бетона, соответствующий контрольным образцам – снижение класса бетона отсутствует.

Марочные образцы с замещением по массе цементного вяжущего на отход углеобогатительного предприятия показали снижение класса бетона прямопропорциональное увеличению процента замещения.

Для расчета стоимости 1 м^3 бетона с применением отходов углеобогатительных предприятий в сравнении с бетоном без добавления добавок составлена сравнительная таблица цен *(табл. 4)* на материалы на период 2023 г.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований замещения компонентов бетонной смеси на золошлаковые отходы позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Замена по массе мелкого заполнителя (песка) на отходы углеобогатительной фабрики привела к незначительному снижению прочностных характеристик бетона, что показывает линейная зависимость графиков (*см. рис. 2, 4*), это свидетельствует о возможности замещения при проведении дополнительных результатов и оптимизации состава. При испытании марочных образцов, достигших 100%-ной предполага-

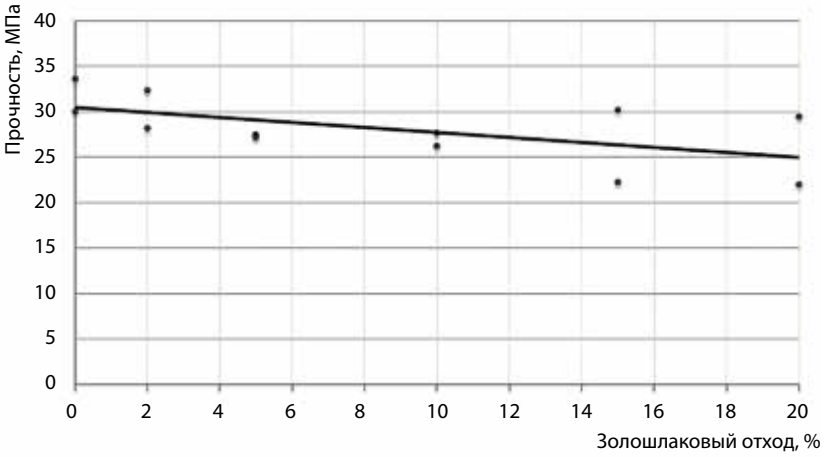

Рис. 2. График зависимости прочности бетона на осевое сжатие от процентного замещения по массе мелкого заполнителя на золошлаковый отход

Fig. 2. A dependence diagram of the axial compressive strength of concrete and the percentage substitution of the fine aggregate with and slag waste by weight

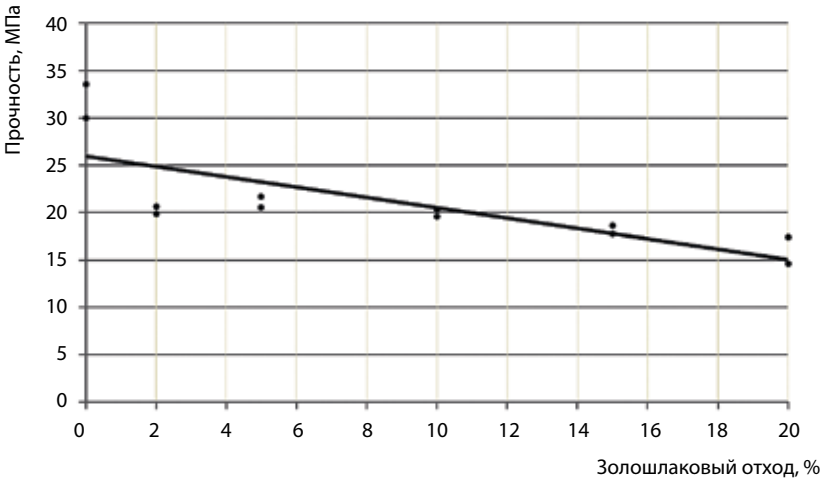

Рис. 3. График зависимости прочности бетона на осевое сжатие от процентного замещения по массе цементного вяжущего на золошлаковый отход

Fig. 3. A dependence diagram of the axial compressive strength of concrete and the percentage substitution of the cement bonding material with and slag waste by weight

Таблица 2

Класс испытуемых поверочных бетонных образцов-кубиков по прочности

The strength class of the tested concrete cube test specimens

Содержание отхода, %		№ образца	Нагрузка, кН	Среднее значение прочности после пропаривания, МПа	Предполагаемый класс бетона
От песка	От цемента				
0	0	1	320,2	32,02	B30
0	0	2	324,8	32,48	B30
0	0	3	314,1	31,41	B30
0	0	4	376,0	37,60	B35
0	0	5	319,1	31,91	B30
0	0	6	334,4	33,44	B30
20%	–	7	336,2	33,62	B30
20%	–	8	239,9	23,99	B22,5
20%	–	9	278,6	27,86	B25
20%	–	10	261,2	26,12	B25
20%	–	11	242,8	24,28	B22,5
20%	–	12	239,6	23,96	B22,5

Таблица 3

Класс испытуемых марочных бетонных образцов-кубиков по прочности

The strength class of tested concrete cube specimens of tested grade

% отхода	№ образца	Нагрузка, кН	Прочность, МПа	Класс бетона (100%)
0	1	418,7	41,87	B30
2% от П	2	471,0	47,10	B30
5% от П	3	373,3	37,33	B27,5
10% от П	4	401,5	40,15	B30
15% от П	5	468,4	46,84	B30
20% от П	6	445,2	44,52	B30
2% от Ц	7	365,7	36,57	B25
5% от Ц	8	392,8	39,28	B27,5
10% от Ц	9	345,0	34,50	B25
15% от Ц	10	366,8	36,68	B25
20% от Ц	11	258,0	25,80	B15

Таблица 4

Сравнение стоимости 1 м³ бетона с экспериментальным бетоном

Cost comparison of 1 m³ of regular an experimental concrete

% добавления отхода	Стоимость песка, руб.	Стоимость цемента, руб.	Стоимость воды, руб.	Стоимость щебня, руб.	Стоимость отхода, руб.	Итоговая сумма, руб.
0%	646,20	4073,03	17,77	1913,00	–	6650,00
15% вместо песка	549,27	4073,03	17,77	1913,00	0	6553,07
10% вместо цемента	646,20	3665,73	17,77	1913,00	0	6242,70
Экономическая выгода при замене 15% песка				-96,93 руб. от стоимости 1м³ бетона без добавок		
Экономическая выгода при замене 10% цемента				-407,3 руб. от стоимости 1м³ бетона без добавок		

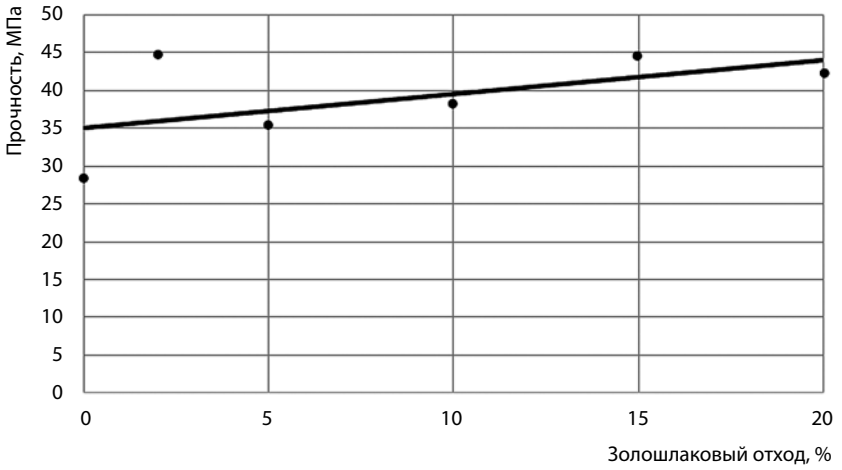

Рис. 4. График зависимости прочности бетона марочных образцов на осевое сжатие от процентного замещения по массе мелкого заполнителя на золошлаковый отход

Fig. 4. A dependence diagram of the axial compressive strength of concrete grade samples and the percentage substitution of the fine aggregate with and slag waste by weight

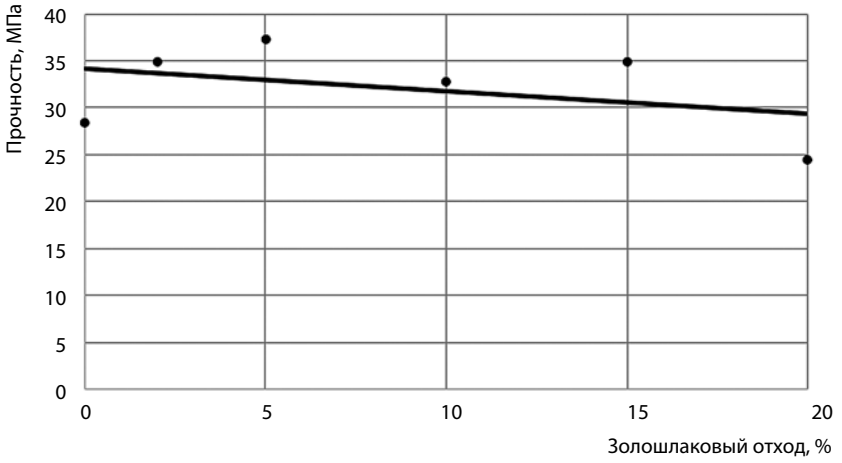

Рис. 5. График зависимости прочности бетона марочных образцов на осевое сжатие от процентного замещения по массе цементного вяжущего на золошлаковый отход

Fig. 5. A dependence diagram of the axial compressive strength of concrete grade samples and the percentage substitution of the cement bonding material with and slag waste by weight

емой прочности, образцы показали класс бетона В30 (за исключением 5%-ного замещения по массе песка на отход), что соответствует прочности контрольных образцов с 0% отхода. При визуальном осмотре на пористость образцов с заменой мелкого заполнителя (песка) выявлено отсутствие повышения пористости. Удобоукладываемость смеси не изменилась и варьировалась от 3 до 7 см.

2. Замена цементного вяжущего по массе на отходы углеобогатительной фабрики привела к снижению прочностных характеристик бетона при минимальном проценте замещения, что показывает линейная зависимость графика (*см. рис.3, 5*). На данном этапе исследования замещение цемента в бетоне на отходы без потери прочностных характеристик невозможно. При визуальном осмотре на пористость образцов с заменой вяжущего выявлено незначительное повышение пористости образцов. Удобоукладываемость образцов увеличилась на 1 см в сравнении с контрольными образцами.

3. Из технико-экономических показателей можно сделать вывод о снижение стоимости 1 м^3 бетона при замене 15% мелкого заполнителя (песка) на 96,93 руб. на 1 м^3, а при замене вяжущего (цемента) – на 407,3 руб. на 1 м^3. С учетом экспериментальных данных можно сделать вывод, что использование золошлаковых отходов без применения дополнительных добавок незначительно уменьшает стоимость, так как снижение прочности образцов зафиксировано и для ее повышения увеличится расход цемента на данном этапе.

Список литературы • References

1. Дыргин М.В. Оценка перспектив добычи угля в Кузбассе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 2. С. 87-96.
   Dyrgin M.V. Assessment of coal mining prospects in Kuzbass. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2020;(2):87-96. (In Russ.).
2. Трушина Г.С. Влияние угольной промышленности Кузбасса на экологическую и продовольственную безопасность региона // Уголь. 2018. № 10. С. 98-101. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-98-101.
   Trushina G.S. The influence of the Kuzbass coal industry on the ecological and food security of the region. *Ugol'.* 2018;(10):98-101. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-98-101.
3. Шишакина О.А. Паламарчук А.А. Обзор направлений утилизации техногенных отходов в производстве строительных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 4. С. 198-203.
   Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. Overview of the directions of utilization of technogenic waste in the production of building materials. *International Journal of Applied and Fundamental Research.* 2019;(4):198-203. (In Russ.).
4. Отходы углепотребления – перспективное сырье для комплексной переработки с извлечением ценных минеральных компонентов / Т.Г. Черкасова, С.П. Субботин, А.В. Тихомирова и др. // Кокс и химия. 2022. № 6. С. 26-30.
   Cherkasova T.G., Subbotin S.P., Tikhomirova A.V., Cherkasova E.V., Shabanov E.A. Waste of coal consumption – promising raw materials for complex processing with extraction of valuable mineral components. *Coke and chemistry.* 2022;(6):26-30. (In Russ.).
5. Сиротюк В.В., Троян Т.П. Влияние углистых остатков на качество золошлаков, применяемых для строительных технологий // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ. 2017. № 6. С.119-125.
   Sirotyuk V.V., Troyan T.P. Influence of carbonaceous residues on the quality of ash and slag used for construction technologies. *Scientific peer-reviewed journal "Vestnik SibADI.* 2017;6(58):119-125. (In Russ.).
6. Самусеева М.Н., Шишелова Т.И. Золошлаковые матеиралы – альтернатива природным материалам // Фундаментальные исследования. 2009. № 2. С.75-76.
   Samuseeva M.N., Shishelova T.I. Ash and slag materials – an alternative to natural materials. *Fundamental research.* 2009;(2):75-76. (In Russ.).
7. Никонова Е.Д., Кобзева Н.А. К вопросу экологической безопасности угольного производства (на примере Кемеровской области) // В мире научных открытий. 2015. № 2-1 (62). С. 669-675.
   Nikonova E.D., Kobzeva N.A. On the issue of environmental safety of coal production (in the Kemerovo region). *In the world of scientific discoveries.* 2015;2-1(62):669-675. (In Russ.).
8. Ефимов В.И., Корчагина Т.В., Перников В.В. Прогнозные показатели техногенного воздействия угледобывающих предприятий ООО «Объединение Прокопьевскуголь» и Кемеровской области на окружающую среду // Уголь. 2011. № 3. С. 70-71. URL: http://www.ugolinfo.ru/Free/042013pdf (дата обращения: 15.05.2024). (In Russ.).
   Efimov V.I., Korchagina T.V., Pernikov V.V. Forecast indicators of the technogenic impact of coal mining enterprises of LLC "Prokopievskugol Association" and the Kemerovo region on the environment. *Ugol'.* 2011;(3):70-71. Available at: http://www.ugolinfo.ru/Free/042013pdf (accessed 15.05.2024). (In Russ.).
9. Шутько Л.Г. Процесс управления нарушенными землями в угледобыче как фактор снижения эколого-социальных ограничений развития региона // Уголь. 2023. № 6. С. 30-35. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-30-35.
   Shutko L.G. Management of disturbed lands in coal mining as a factor to reduce the environmental and social constraints in the region's development. *Ugol'.* 2023;(6):30-35. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-30-35.

Authors Information

Shabanov E.A. – PhD (Engineering), Associate Professor of the Head of Department of Construction Production a nd Real Estate Expertise, Civil Construction Institute, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: shabanovea@kuzstu.ru

Cherkasova T.G. – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Science Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies of the T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Bushuev A.A. – Junior researcher of the Head of Department of Construction Production and Real Estate Expertise, Civil Construction Institute, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: lilbawwik@gmail.com

Sanarova A.V. – Master student of the Civil Construction Institute, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: sanarova-a@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 6.05.2024
Поступила после рецензирования: 16.05.2024
Принята к публикации: 26.05.2024

Paper info

Received May 6, 2024
Reviewed May 16, 2024
Accepted May 26, 2024