

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ БУРЫХ УГЛЕЙ

К.К. Размахнин¹, А.Н. Хатькова¹, Л.В. Шумилова¹, Т.С. Номоконова¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия,
e-mail: constantin-const@mail.ru

Аннотация: Исследованы вопросы брикетирования бурых углей Татауровского месторождения с применением связующего вещества и без него. Изучена возможность брикетирования тонкозернистых углей без добавления связующего вещества, определены параметры брикетирования: ситовой состав, влажность, крупность, температура угольной массы и необходимое давление для эффективного прессования. Исследован ситовой состав углей. Определены качественные показатели брикетов, полученных из бурых углей с использованием в качестве связующего битума марки БН-30. Установлены параметры усадки угольной массы и расширения брикетов при брикетировании со связующим веществом. Выявлено, что полученные буроугольные брикеты характеризуются высокой влагоустойчивостью, которая обусловлена низким влагопоглощением, а также значительной остаточной прочностью брикетов при длительном контакте с водой. Определена степень поглощения воды брикетами в течение 12 ч. Рассчитан коэффициент полезного действия сжигания полученных буроугольных брикетов, который составил 83%. Разработана принципиальная схема брикетирования бурого тонкозернистого угля Татауровского месторождения, позволяющая получать высококачественные угольные брикеты. По результатам проведенных исследований сделан вывод о том, что полученные буроугольные брикеты представляют собой высококачественный вид твердого топлива. Получаемая в результате брикетирования продукция позволит существенно повысить темпы добычи бурых углей на Татауровском месторождении с целью промышленного потребления, в том числе для энергетики Забайкальского края.

Ключевые слова: тонкозернистые угли, бурые угли, брикетирование, связующее вещество, битум, технологическая схема, брикеты, высококачественная продукция.

Благодарность: Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 22-17-00040 «Научное обоснование и разработка экологически чистых безотходных технологий переработки природного и техногенного минерального сырья» (2022–2023 гг.)

Для цитирования: Размахнин К. К., Хатькова А. Н., Шумилова Л. В., Номоконова Т. С. Разработка технологии брикетирования отходов добычи бурых углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 288–298. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_288.

Development of technology for briquetting waste of brown coal mining

K.K. Razmakhnin¹, A.N. Khatkova¹, L.V. Shumilova¹, T.S. Nomokonova¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: constantin-const@mail.ru

Abstract: The issues of briquetting of brown coals of the Tataurovskoye deposit with and without a binder have been studied. The possibility of briquetting fine-grained coals without the addition of a binder has been studied, the parameters of briquetting have been determined: sieve composition, humidity, fineness, temperature of the coal mass and the necessary pressure for effective pressing. The sieve composition of coals has been studied. The quality indicators of briquettes obtained from brown coal using BN-30 grade bitumen as a binder were determined. The parameters of shrinkage of the coal mass and the expansion of briquettes during briquetting with a binder have been established. It was revealed that the obtained lignite briquettes are characterized by high moisture resistance, which is due to low moisture absorption, as well as significant residual strength of the briquettes during prolonged contact with water. The degree of water absorption by briquettes within 12 hours was determined. The efficiency of combustion of the resulting brown coal briquettes was calculated, which amounted to 83%. A schematic diagram of briquetting brown fine-grained coal from the Tataurovskoye deposit has been developed, which makes it possible to obtain high-quality coal briquettes. Based on the results of the studies, it was concluded that the obtained brown coal briquettes from the coals of the Tataurovskoye deposit are a high-quality type of solid fuel. The products obtained as a result of briquetting will significantly increase the rate of extraction of brown coal from the Tataurovskoye deposit for the purpose of industrial consumption, including for the energy sector of the Trans-Baikal region.

Key words: fine-grained coals, brown coals, briquetting, binder, bitumen, technological scheme, briquettes, high-quality products.

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Science Foundation project 22-17-00040 «Scientific substantiation and development of environmentally friendly waste-free technologies for processing natural and technogenic mineral raw materials» (2022–2023).

For citation: Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Shumilova L. V., Nomokonova T. S. Development of technology for briquetting waste of brown coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(9-1):288-298. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_288.

Введение

В процессе добычи бурых углей образуется значительное количество мелкодисперсных угольных частиц [1, 2]. При этом данный вид продукции принято относить к разряду отходов, за счет которых увеличиваются потери угля при хранении, перевозке и сжигании [3]. Вместе с тем тонкозернистые и пылевидные угли могут представлять пожарную опасность и зачастую приводят к возгоранию угольной массы при ее хранении [4].

В этой связи разработка технологий вовлечения тонкодисперсного угля в пе-

реработку и получения из него товарной продукции является весьма актуальной.

Одним из наиболее эффективных способов утилизации тонкозернистых углей с получением из них качественной продукции является брикетирование [5]. Производство угольных брикетов позволяет не только предотвратить самовозгорание углей, сократить потери бурого угля при транспортировке и хранении, но и использовать низкокачественные виды топлива [6].

Проведенный анализ мирового опыта по брикетированию тонкозернистых бурых углей позволил сделать вывод о

том, что они представляют собой ценное сырье, переработка которого позволит получить ценную продукцию энергетического назначения [7–9]. Установлено, что наибольшее развитие брикетирование бурых углей получило в Германии, Канаде, США, Франции, Японии и Австралии [10, 11]. Производство угольных брикетов при этом осуществляется без использования связующих веществ либо с применением связующих веществ, имеющих органическое или неорганическое происхождение [12].

Интенсивное развитие угольной отрасли России обуславливает необходимость совершенствования брикетного производства, в том числе за счет разработки эффективных методов повышения доли и качества конечной товарной продукции — угольных брикетов.

Брикетирование угольной мелочи с применением связующих веществ или без таковых имеет значительный потенциал для развития в направлении создания новых технологий получения брикетов. При этом большое значение имеет разработка составов доступных, дешевых и нетоксичных связующих веществ, повышающих физико-механические и термические свойства продукции.

Необходимо отметить, что наиболее важной характеристикой бурых углей является их способность к пластическим деформациям [13]. При этом существенное влияние на взаимосвязь с угольным веществом оказывает вода, что обуславливает свойство угля к брикетированию [14].

Методы

Объектом исследований являлись гумусовые угли Татауровского буроугольного месторождения (Забайкальский край), характеризующиеся низким содержанием смолистых и воскообразных веществ (4,65%). Зольность угля составляет 13–15%, при этом содержание гу-

миновых кислот находится на уровне 9–9,2%, что имеет большое значение для брикетирования [15].

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. На первом этапе исследований получение брикетов производилось без применения связующих веществ при давлении пресса 1200 кг/см². Вторым этапом включал изучение возможности брикетирования тонкозернистого угля с добавлением связующего при давлении пресса 220 кг/см². С целью получения прочных брикетов устанавливались крупность угля и его влажность, а также температура угольной массы перед процессом прессования. В процессе брикетирования без использования связующих веществ влажность бурого угля Татауровского месторождения составляла 8–20%, крупность — 0–6, 0–3 и 0–2 мм, температура массы перед прессованием находилась в интервале 20–75 °С. При этом получаемый буроугольный брикет имел цилиндрическую форму и вес 50 г, связующим веществом являлся тонкоизмельченный битум марки БН-30.

Эффективность брикетированности угля исследовалась на прессе штемпельного типа (без применения связующего вещества) и на прессе вальцового типа (с применением связующего вещества). При этом крупность угольной массы для брикетирования в прессе штемпельного типа составляла 0–3 мм при влажности 10–12%. Брикетирование тонкодисперсного угля на прессе вальцового типа проводилось при крупности угольной массы 0–6 и 0–3 мм с предварительной сушкой (в сушильном шкафу) и без таковой. Смешение угля со связующим веществом проводилось при подаче пара, в том числе с целью увлажнения угольной массы и получаемых брикетов. Давление пара перед подачей в смеситель составило 3–4 атм., время подачи пара — 2 мин, продолжительность переме-

шивания — 12 мин. Исследование качества брикетов осуществлялось путем определения влагопоглощения, прочно-сти на истирание и КПД сжигания.

Результаты и их обсуждение

В результате проведения экспериментальных исследований по изучению возможности брикетирования тонкозернистых углей без добавления связующего вещества определены следующие параметры: ситовой состав, влажность, крупность, температура угольной массы и необходимое давление для эффективного прессования.

Ситовой состав бурых углей Татауровского месторождения при средней влажности 11% представлен в табл. 1.

Следует отметить, что прессование угольной массы крупностью 0–6 и 0–3 мм на прессе штемпельного типа без добавления связующего вещества, без подогрева и с таковым до температуры 65–75 °С, с варьированием влажности в интервале от 8 до 20% и давлением в прессовальной установке 1200 кг/см² не позволило получить брикеты требуемого качества. Полученные в данных условиях брикеты характеризуются ломкостью и низкими, близкими к нулю показателями на истирание и прочности на изгиб. Показатель прочности на сжатие составил 32 кг/см², что говорит о неэффективности данного метода.

Дальнейшие исследования получения буроугольных брикетов без использования связующего вещества проводились при давлении в прессе штемпельного типа, равном 2000 кг/см², крупности угольной массы 0–2 мм и влажности 11%. Брикетирование в данных условиях позволило получить брикеты с прочностью на сжатие до 190 кг/см², прочностью на изгиб до 7,6 кг/см² и на истирание 0,2%. Характеристики полученных брикетов позволяют сделать вывод лишь о частичной эффективности данных условий

Таблица 1

Ситовой состав бурых углей Татауровского месторождения
Sieve composition of brown coals of the Tataurovskoye deposit

Классы крупности, мм	0–6 мм	0–3 мм
	выход, %	выход, %
3–6	23	–
1–3	39	64
0,5–1	11	15
0–0,5	27	21
Итого	100	100

брикетирования, что связано с неустойчивостью брикетов при взаимодействии с водой (происходит их интенсивное набухание и последующее быстрое разрушение).

Изучение возможности формирования угольных брикетов с применением связующего вещества проводилось с определением таких параметров, как крупность угля, его влажность, необходимое количество связующего компонента (битума марки БН-30).

Результаты экспериментальных исследований по брикетированию тонкозернистых углей Татауровского месторождения представлены в табл. 2. При этом расход связующего вещества принят по отношению к условной влажности угля (11%), крупность угля составила 0–3 мм.

Из представленных в табл. 2 данных следует, что при использовании в качестве связующего вещества битума марки БН-30 в количестве 16% получают достаточно прочные брикеты, в количестве 12 — удовлетворительно устойчивые на истирание.

Необходимо отметить, что при исследовании возможности брикетирования бурых углей большое значение имеют зависимости между расходом связующего вещества и прочностью получаемого

Таблица 2

Качественные показатели брикетов, полученных из бурых углей Татауровского месторождения с использованием в качестве связующего битума марки БН-30
Quality indicators of briquettes obtained from brown coal of the Tataurovskoye deposit using BN-30 grade bitumen as a binder

№ п/п	Количество связующего вещества, %	Температура угольной массы перед брикетированием, °С	Прочность брикетов		
			на изгиб, кг/см ²	на сжатие, кг/см ²	на истирание, кг/см ²
1	16	65	13	131	99
2	16	50	12,8	120	74
3	16	80	13,7	139	104
4	14	65	3,8	113	85
5	14	50	3,1	69	92
6	14	80	3,2	78	97
7	12	65	3,4	106	82
8	12	50	2,9	72	77
9	12	80	4,9	86	85

брикета. Данные зависимости обусловлены адгезионными свойствами применяемого в качестве связующего компонента, т.е. силой (прочностью) его прилипания к поверхности зерен бурого угля, прочность которых также играет важную роль [16]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что прочность угля непосредственно влияет на прочность брикета. Вместе с тем, существенное влияние на расход связующего вещества оказывает пористость угля, в частности, при перемешивании и подогреве угольной массы происходит заполнение пор, микропор и микротрещин связующим компонентом [17]. Соответственно, данная зависимость позволяет сделать вывод о том, что чем выше пористость угля, тем значительнее расход связующего вещества. В этой связи для более эффективного брикетирования углей Татауровского месторождения необходимо обеспечить снижение их пористости, повышение прочности угольных зерен, а также снижение упругих деформаций угля.

Известно [18], что при прессовании часть энергии расходуется на формирова-

ние пластических деформаций, которые зависят от физико-химических свойств угля, и образование сил молекулярного сцепления между частицами угля. После снятия давления в прессе в угольном брикете возникают упругие деформации, при этом происходит отдача части энергии, что в итоге приводит к нарушению сил сцепления в брикете [19]. Визуально это фиксируется некоторым увеличением угольного брикета. Вместе с тем для углей Татауровского месторождения характерны значительные упругие деформации, что, в частности, подтверждается низкой прочностью на изгиб (3,1 кг/см²) и на истирание брикета, полученного из тонкозернистого угля крупностью 0–2 мм с влажностью 11% при давлении пресса 2000 кг/см².

Брикетирование бурых углей с применением связующего вещества в значительной степени не влияет на упругие свойства получаемых брикетов [20], что также подтверждается данными, представленными в табл. 3, характеризующими усадку угольной массы во время брикетирования (прессования) и увели-

Таблица 3

Усадка угольной массы и расширение брикетов при брикетировании с битумом марки БН-30

Shrinkage of coal mass and expansion of briquettes during briquetting with BN-30 bitumen

№ п/п	Количество связующего, %	Коэффициент усадки угольной массы при брикетировании в прессе	Расширение брикета после снятия давления в прессе, %
1	16	1,65	12,5
2	14	1,28	12,7
3	12	1,28	17,5

чение в объеме брикетов после снятия давления (осевого) в прессе. При этом крупность угля составляла 0–3 мм, температура угольной массы перед брикетированием 75 °С, давление в прессе 220 кг/см².

Из данных, представленных в табл. 3 видно, что усадка шихты повышается при существенном увеличении расхода связующего вещества. При этом коэффициент расширения в значительной степени возрастает с сокращением расхода битума марки БН-30. Таким образом, можно сделать вывод о том, что с повышением расхода связующего вещества происходит уплотнение угольной массы в брикете, обусловленное пропиткой угольных зерен битумом и их склеиванием между собой.

Проведенные далее исследования в полупромышленных условиях по изучению возможности брикетирования тонкозернистых углей Татауровского месторождения на прессе вальцового типа показали, что получение брикетов с высокой механической прочностью достигается с применением связующего вещества (битума марки БН-30) в количестве 12%, при крупности угольной массы 0–3 мм и влажности 18%. Данный эффект может быть обусловлен влиянием конденсации пара на поверхности угольных частиц и заполнением капилляров влагой, что, в некоторой степени, снижает сорбционную способность угля. Вместе с тем зерна угля снижают свою

упругость, за счет чего возникают более высокие давления при свободном наполнении ячеек вальцового пресса. После снятия давления брикеты характеризуются значительно меньшей упругостью, при этом образование трещин в них не происходит.

Полученные буроугольные брикеты характеризуются высокой влагоустойчивостью (табл. 4), обусловленной низким влагопоглощением, а также значительной остаточной прочностью брикетов после 12 ч их пребывания в воде. В частности, поглощение воды образцов № 8 составило 6,9%, а прочность буроугольных брикетов на истирание имела зна-

Таблица 4

Поглощение воды и остаточная прочность брикетов (через 12 ч)
Water absorption and residual strength of briquettes (after 12 hours)

№ образца	Поглощение воды, %	Остаточная прочность на истирание, %
1	7,1	94
2	9,0	91
3	9,0	92
4	6,4	90
5	7,6	79
6	5,2	92
7	6,9	93
8	5,9	89
9	4,1	66



Принципиальная схема брикетирования бурого тонкозернистого угля Татауровского месторождения
Schematic diagram of briquetting brown fine-grained coal of the Tataurovskoye deposit

чение 93%, что свидетельствует о сохранении ими своей прочности.

Результаты исследований, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что остаточная прочность полученных угольных брикетов после 12-часового контакта с водой является устойчиво высокой. В этой связи брикеты, изготовленные на основе связывающего вещества (битум марки БН-30), устойчивы к атмосферным осадкам и сохраняют свою форму и внешний вид, что является важной характеристикой при их транспортировке и хранении.

В процессе проведения исследований эффективности сжигания полученных угольных брикетов установлено, что они хорошо загораются, горят в течение 35–45 мин длинным пламенем. КПД сжигания полученных буроугольных брикетов составил 83%.

На основе проведенных исследований разработана принципиальная схема

брикетирования бурого тонкозернистого угля Татауровского месторождения (рисунок), позволяющая получать высококачественные угольные брикеты.

Технологическая схема брикетирования подразумевает следующие параметры реализации:

- дробление угля до крупности $-6+0$ мм (влажность высушенного угля 18–20%, температура высушенного угля 50–70 °С);
- подогрев угольной массы до 90 °С;
- охлаждение угольной массы до 60 °С;
- охлаждение полученных брикетов до 30–35 °С.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования показали, что полученные буроугольные брикеты из углей Татауровского месторождения представляют собой высококачественный вид твердо-

го топлива, который отличается от сортового угля размером и формой кусков, составом органической массы, а также КПД сжигания и теплотой сгорания. Получаемая в результате брикетирования продукция позволит существенно повысить темпы добычи бурых углей Татауровского месторождения с целью их бытового и промышленного потребления, в том числе для энергетики Забайкальского края.

Брикетирование бурых углей является перспективным направлением, которое в значительной степени определяет высокий потенциал топливно-энергетического комплекса региона. Предлагаемые технологические решения позволят существенным образом снизить экологическую нагрузку на район расположения Татауровского угольного разреза, а также в значительной степени повысить его экономическую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батугина Н. С., Гаврилов В. Л., Ткач С. М. Принципы ресурсосберегающего управления качеством при поставках угля в труднодоступные районы Северо-Востока России // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. — 2019. — Т. 24. — № 2. — С. 64—73. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-2-6.

2. Zhang G., Sun Y., Xu Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018, vol. 82, pp. 477—487. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.072.

3. Гаврилов В. Л., Иванов В. Г., Кугаевский А. А., Рахлеев П. Д. Состояние и перспективы добычи и потребления угля в центральных районах Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 524. — С. 422—430. DOI: 10.25018/0236-14932017-11-24-422-430.

4. Kostenko N., Kostenko A., Mikholap E. Main parameters and placement of the «warehouse on wheels» terminals of seaports for transshipment coal / TransSiberia 2019: VIII International Scientific Siberian Transport Forum. 2020, vol. 1116, pp. 1120—1132. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_110.

5. Calderón Márquez A. J., Cassettari Filho P. C., Rutkowski E. W., de Lima I. R. Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development // Journal of Cleaner Production. 2019, vol. 226, pp. 1102—1115. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.057.

6. Krechetov P., Chernitsova O., Sharapova A., Terskaya E. Technogenic geochemical evolution of chernozems in the sulfur coal mining areas // Journal of Soils and Sediments. 2019, vol. 19, pp. 3139—3154. DOI: 10.1007/s11368-018-2010-7.

7. Verzhinina K. Y., Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Differences in the ignition characteristics of coal-water slurries and composite liquid fuel // Solid Fuel Chemistry. 2016, vol. 50, pp. 88—101. DOI: 10.3103/S0361521916020117.

8. Sözer H., Sözen H. Waste capacity and its environmental impact of a residential district during its life cycle // Energy Reports. 2020, vol. 6, pp. 286—296. DOI: 10.1016/j.egyr.2020.01.008.

9. Nyashina G. S., Kurgankina M. A., Strizhak P. A. Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy // Energy Conversion and Management. 2018, vol. 174, pp. 175—187. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.08.048.

10. Liu Q., Zhong W., Tang R., Yu H., Gu J., Zhou G., Yu A. Experimental tests on co-firing coal and biomass waste fuels in a fluidised bed under oxy-fuel combustion // Fuel. 2021, vol. 286, article 119312. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.119312.

11. Тутынин А. В., Бутакова И. Н. Влияние утилизации отходов в составе композитных топлив на экологию и окружающую среду // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2020. – № 1-2. – С. 294–297.

12. Mustafin E. S., Omarov Kh. B., Shaimerdenova K. M., Omerkulov A. T. Production of coal briquets using the original binder // Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика». – 2019. – № 4(96). – С. 85–88. DOI: 10.31489/2019Ph4/85-88.

13. Елишевич А. Т. Брикетирование полезных ископаемых. – М.: Недра, 1989. – 300 с.

14. Tulepov M. I., Sassykova L. R., Kerimkulova A. R., Tureshova G. O., Tolep D. M., Zhapekova A. O. Preparation of coal briquettes and determination of their physical and chemical properties // Oriental Journal of Chemistry. 2019, vol. 35, no. 1, pp. 180–185. DOI: 10.13005/ojс/350120.

15. Исайнов Б. К., Сарпеков А. Т., Степанова О. А., Ермоленко М. В. Исследование возможности брикетирования угольной мелочи месторождения Каражыра Восточно-Казахстанской области с использованием различных связующих и компонентов / Экологические чтения – 2018: Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию образования Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина. – Омск: Литера, 2018. – С. 113–115.

16. Самуратов Е. К., Акуов А. М., Шотанов А. Е. Способ получения топливных брикетов из угольной мелочи / Современные проблемы электрометаллургии стали: Материалы XVI Международной конференции. Ч. 2. – Магнитогорск, 2015. – С. 251–255.

17. Ушаков А. Г., Ушакова Е. С., Боголюбова И. В. Техногенное сырье предприятий добычи и переработки твердых горючих ископаемых как перспективный источник энергоресурсов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 1(137). – С. 91–97. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-91-97.

18. Гарагаш И. А., Дубиня Н. В., Русина О. А., Тихоцкий С. А., Фокин И. В. Определение прочностных свойств горных пород по данным трехосных испытаний // Геофизические исследования. – 2018. – Т. 19. – № 3. – С. 57–72. DOI: 10.21455/gr2018.3-4.

19. Свергузова С. В., Севостьянов В. С., Шайхиев И. Г. Влияние технологических факторов на процесс формирования нефтесодержащих брикетов // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 17. – С. 276–279.

20. Негматов С. С., Киямова Д. Ш., Холмурадова Д. К. Исследование влияния связующего на эксплуатационные характеристики брикетов // Universum. Технические науки. – 2022. – № 1(94). – С. 15–17. 

REFERENCES

1. Batugina N. S., Gavrilov V. L., Tkach S. M. Principles of resource-saving quality management in the supply of coal to hard-to-reach areas of the North-East of Russia. *Arctic and Subarctic natural resources*. 2019, vol. 24, no. 2, pp. 64–73. [In Russ]. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-2-6.

2. Zhang G., Sun Y., Xu Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018, vol. 82, pp. 477–487. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.072.

3. Gavrilov V. L., Ivanov V. G., Kugaevsky A. A., Rakhleev P. D. Status and prospects of coal production and consumption in the central regions of Yakutia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. S24, pp. 422–430. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-14932017-11-24-422-430.

4. Kostenko N., Kostenko A., Mikhola E. Main parameters and placement of the «warehouse on wheels» terminals of seaports for transshipment coal. *TransSiberia 2019: VIII International Scientific Siberian Transport Forum*. 2020, vol. 1116, pp. 1120–1132. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_110.

5. Calderón Márquez A. J., Cassettari Filho P. C., Rutkowski E. W., de Lima I. R. Landfill mining as a strategic tool towards global sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 2019, vol. 226, pp. 1102 – 1115. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.057.

6. Krechetov P., Chernitsova O., Sharapova A., Terskaya E. Technogenic geochemical evolution of chernozems in the sulfur coal mining areas. *Journal of Soils and Sediments*. 2019, vol. 19, pp. 3139 – 3154. DOI: 10.1007/s11368-018-2010-7.

7. Vershinina K. Y., Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Differences in the ignition characteristics of coal-water slurries and composite liquid fuel. *Solid Fuel Chemistry*. 2016, vol. 50, pp. 88 – 101. DOI: 10.3103/S0361521916020117.

8. Sözer H., Sözen H. Waste capacity and its environmental impact of a residential district during its life cycle. *Energy Reports*. 2020, vol. 6, pp. 286 – 296. DOI: 10.1016/j.egy.2020.01.008.

9. Nyashina G. S., Kurgankina M. A., Strizhak P. A. Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy. *Energy Conversion and Management*. 2018, vol. 174, pp. 175 – 187. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.08.048.

10. Liu Q., Zhong W., Tang R., Yu H., Gu J., Zhou G., Yu A. Experimental tests on co-firing coal and biomass waste fuels in a fluidized bed under oxy-fuel combustion. *Fuel*. 2021, vol. 286, article 119312. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.119312.

11. Tutynin A. V., Butakova I. N. The impact of waste disposal in the composition of composite fuels on ecology and the environment. *Sbornik izbrannykh statey nauchnoy sessii TUSUR*. 2020, no. 1-2, pp. 294 – 297. [In Russ].

12. Mustafin E. S., Omarov Kh. B., Shaimerdenova K. M., Omerkulov A. T. Production of coal briquets using the original binder. *Bulletin of the Karaganda University. Physics Series*. 2019, no. 4 (96), pp. 85 – 88. DOI: 10.31489/2019Ph4/85-88.

13. Elishevich A. T. *Briketirovanie poleznykh iskopaemykh* [Coal briquetting with binders], Moscow, Nedra, 1989, 300 p.

14. Tulepov M. I., Sassykova L. R., Kerimkulova A. R., Tureshova G. O., Tolep D. M., Zhapekova A. O. Preparation of coal briquettes and determination of their physical and chemical properties. *Oriental Journal of Chemistry*. 2019, vol. 35, no. 1, pp. 180 – 185. DOI: 10.13005/ojc/350120.

15. Isainov B. K., Sarpekov A. T., Stepanova O. A., Ermolenko M. V. Study of the possibility of briquetting coal fines from the Karazhyra deposit of the East Kazakhstan region, using various binders and components. *Ekologicheskies chteniya – 2018: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu obrazovaniya Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. P.A. Stolypina* [Ecological Readings – 2018: International Scientific and the practical conference is dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin], Omsk, Litera, 2018, pp. 113 – 115. [In Russ].

16. Samuratov E. K., Akuov A. M., Shotanov A. E. Method for obtaining fuel briquettes from coal fines. *Sovremennye problemy elektrometallurgii stali: Materialy XVI Mezhdunarodnoy konferentsii*. Ch. 2 [Modern problems of steel electrometallurgy: Proceedings of the XVI International Conference, Part 2], Magnitogorsk, 2015, pp. 251 – 255. [In Russ].

17. Ushakov A. G., Ushakova E. S., Bogolyubova I. V. Technogenic raw materials of enterprises for the extraction and processing of solid fossil fuels as a promising source of energy resources. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020, no. 1(137), pp. 91 – 97. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-91-97.

18. Garagash I. A., Dubinya N. V., Rusina O. A., Tikhotsky S. A., Fokin I. V. Determination of the strength properties of rocks from the data of triaxial tests. *Geofizicheskie issledovaniya*. 2018, vol. 19, no. 3, pp. 57 – 72. [In Russ]. DOI: 10.21455/gr2018.3-4.

19. Svergzuzova S. V., Sevostyanov V. S., Shaikhiev I. G. Influence of technological factors on the formation of oil-containing briquettes. *Herald of technological university*. 2015, vol. 18, no. 17, pp. 276–279. [In Russ].

20. Negmatov S. S., Kiyamova D. Sh., Kholmuradova D. K. Investigation of binder influence on briquette performance. *Universum. Technical sciences*. 2022, no. 1(94), pp. 15–17. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Размахнин Константин Константинович*¹ — д-р техн. наук,

доцент, e-mail: constantin-const@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0003-2944-7642,

*Хатькова Алиса Николаевна*¹ — д-р техн. наук,

профессор, e-mail: alisa1965.65@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-6527-0026,

*Шумилова Лидия Владимировна*¹ — д-р техн. наук,

профессор, e-mail: shumilovalv@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5991-9204,

*Номоконова Татьяна Сергеевна*¹ — аспирант,

e-mail: krutikova_1995@mail.ru,

ORCID ID: 0009-0002-9096-864X,

¹ Забайкальский государственный университет.

Для контактов: Размахнин К.К., e-mail: constantin-const@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*K.K. Razmakhnin*¹, Dr. Sci. (Eng.),

Assistant Professor,

e-mail: constantin-const@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0003-2944-7642,

*A.N. Khatkova*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor

e-mail: alisa1965.65@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-6527-0026,

*L.V. Shumilova*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor

e-mail: shumilovalv@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5991-9204,

*T.S. Nomokonova*¹, Graduate Student,

e-mail: krutikova_1995@mail.ru,

ORCID ID: 0009-0002-9096-864X,

¹ Transbaikal State University,

672039, Chita, Russia.

Corresponding author: K.K. Razmakhnin, e-mail: constantin-const@mail.ru.

Получена редакцией 03.05.2023; получена после рецензии 07.08.2023; принята к печати 10.08.2023.

Received by the editors 03.05.2023; received after the review 07.08.2023; accepted for printing 10.08.2023.

