ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(6–1):279–289
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.8.055.2 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_279

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОКУСКОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ ЭКСТРУЗИОННЫМ МЕТОДОМ

**В. Б. Кусков[1], Е. С. Ильин[1]**

[1] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, 199106, Россия

***Аннотация:*** Аннотация: Окускование материалов в промышленных масштабах используется при переработке различных самых различных видов сырья, представленного мелкими частицами. Например, окускование используют в металлургической промышленности, при переработке углей, торфов, сельхозпродукции и много другого. Существует три основных способа окускования – брикетирование, агломерация, окомкование. Одним из самых распространенных аппаратов для брикетирования являются вальцовые пресса. Основными преимуществами вальцовых прессов являются их универсальность, относительная простота конструкции, сравнительно высокая производительность, небольшие динамические нагрузки, компактность, достаточная надежность при существенных механических и термических воздействиях. Но эти пресса имеют и ряд недостатков. Другим устройством, которое можно использовать для брикетирования являются различные виды экструдеров, которые имеют ряд преимуществ перед вальцовыми прессами. В работе предложен простой в изготовлении и дешевый экструдер, пригодный для исследования материалов на «брикетируемость» экструзионном методом. Экструдер относится к плунжерному типу. В нем материал выдавливается из формующей насадки не под давлением шнека, а под давлением поршня, который приводится в движение за счет винтовой пары. Приведены примеры применения плунжерного экструдера для изготовления экструдатов из для металлургических целей из железорудного сырья, стальных опилок, а также топливных брикетов из углеродсодержащего сырья. Полученные экструдаты предназначены для изучения их физико-механических и других свойств.

***Ключевые слова:*** окускование, брикетирование, экструзия, плунжерный экструдер, конструкция экструдера, брикет экструзионный (экструдат), металлургический брикет, топливный брикет, связующие вещества.

***Для цитирования:*** *Кусков В. Б., Ильин Е. С.* Изучение процесса окускования различных видов сырья экструзионным методом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–1. – С. 279–289. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_279.

## Study of the agglomeration process of various types of raw materials by extrusion method

**V. B. Kuskov[1], E. S. Iliin[1]**

[1] Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, 199106, Russia

***Abstract:*** The oxidation of materials on an industrial scale is used in the processing of various very different types of raw materials, represented by small particles. For example, agglomeration

© В. Б. Кусков, Е. С. Ильин. 2022

is used in the metallurgical industry, in the processing of coal, peat, agricultural products and much more. There are three main methods of agglomeration- briquetting, sintering, pelletizing. One of the most common devices for briquetting is roller presses. The main advantages of roller presses are their versatility, relative simplicity of design, relatively high productivity, small dynamic loads, compactness, sufficient reliability under significant mechanical and thermal influences. Another device that can be used for briquetting are various types of extruders, which have a number of advantages over roller presses. The paper proposes an easy-to-manufacture and cheap extruder suitable for the study of materials on "briquetability" by the extrusion method. The extruder belongs to the plunger type. In it, the material is squeezed out of the forming nozzle not under the pressure of the screw, but under the pressure of the piston, which is driven by a screw pair. Examples of the use of a plunger extruder for the manufacture of extrudates for metallurgical purposes from iron ore raw materials, steel filings, fuel briquettes from carbon-containing raw materials are given. The resulting extrudates are designed to study their physico-mechanical and other properties.

***Key words:*** agglomeration, sintering, briquetting, extrusion, plunger extruder, extruder design, extrusion briquette (extrudate), metallurgical briquette, fuel briquette, binders.

***For citation:*** Kuskov V. B., Iliin E. S. Study of the agglomeration process of various types of raw materials by extrusion method. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–1):279–289. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_279.

**Введение**

Горнопромышленный комплекс является основой устойчивого развития экономик многих стран мира, в том числе и нашей страны [1 – 2]. Неотъемлемой частью этого комплекса является обогащение полезных ископаемых. При обогащении полезных ископаемых очень часто приходиться предварительно их измельчать для достаточно полного извлечения полезных компонентов [3, 4]. Это приводит к тому, что получаемые концентраты часто непригодны для дальнейшей, например, металлургической переработки. Поэтому такие концентраты обычно окусковывают. Окускование материалов и схожие процессы широко применяется в промышленных масштабах при переработке самых различных видов сырья, при производстве шахтных и строительных работ и др. Например, кроме металлургической промышленности, окускование применяют при переработке углей, торфов, всевозможного вторичного сырья, сельхозпродукции и много другого. Причем доля окусковываемого сырья постоянно растет, в частности, из-за вовлечения в процесс обогащения все более тонковкрапленных руд, требующих тонкого измельчения [5 – 13].

Известны три основных метода окускования материалов: брикетирование, агломерация, грануляция (окомкование)

Агломерация и окомкование применяется в основном для железных руд и концентратов. А брикетирование для углей, торфов, опилок, вторичных железосодержащих материалов и много другого [14–23].

Одним из основных достоинств брикетирования является высокая универсальность процесса. Брикетировать можно практически любые виды сырья [5–13].

Одним из самых распространенных аппаратов для брикетирования являются вальцовые (валковые) прессы. Они достаточно просты конструктивно, надежны, имеют относительно высокую производительность, применимы для большинства видов сырья [5–7, 24, 25].

Но этот вид прессового оборудования имеет и ряд недостатков. Например, даже незначительная ассиметричнось при движении прессующих валов ведет к заметному снижению прочности брикетов, а часто, при этом брикеты вообще разрывает. Материал бандажей должен иметь низкую адгезивную способность по отношению к формуемой шихте. Иначе, материал прилипает к поверхности бандажей, что может вести к разрушению брикетов или заметному снижению их прочности. Также, у валковых прессов наблюдается неравномерный износ бандажей, недостаточно полное заполнение ячеек материалом, что также ведет к снижению прочности брикетов [5–7, 26].

Кроме валковых прессов, для брикетирования также можно использовать экструдеры различных видов. В настоящее время экструдеры достаточно широко применяются в различных отраслях промышленности, например, при производстве пластмассовых изделий, приготовлении кормов, в кирпичном производстве и т. д. Экструзия — это процесс выдавливания материала через формующее отверстие. Экструзионное формование изделий имеет ряд преимуществ:

– экструдаты как правило имею достаточно высокую прочность уже непосредственно после входа из экструдера;

– стоимость процесса несколько ниже, чем с использование валковых прессов;

– в отдельных случаях снижается расход связующего вещества;

– можно получать экструдаты самых различных форм и размеров;

– можно перерабатывать весьма влажные материалы (до 20 %) [26–31].

При этом сохраняется одно из основных достоинств процесса брикетирования, а именно, универсальность.

**Методы**

Как и при исследовании руд на обогатимость, при разработке технологий брикетирования, необходимо производить исследования на «брикетируемость». При изучении брикетируемости материалов методом «классического» прессования никаких вопросов не возникает. Используется обычный гидравлический пресс и набор матриц. Далее можно проводить практически весь комплекс исследований, как показано, например, в работах [32–34]. При исследовании брикетируемости материалов экструзионным методом, очевидно нужен экструдер.

При обзоре предлагаемых на рынке лабораторных экструдеров у отечественного производителя не было найдено ни одного экструдера, предназначенного для рудных материалов. Предлагаются многочисленные экструдеры, преимущественно предназначенные для сельхозпродукции. Среди зарубежных моделей найдено их очень небольшое количество, причем эти образцы имеют весьма высокую цену, что делает их труднодоступными, особенно в настоящий момент.

**Результаты**

Нами разработан простой экструдер, стоящий существенно меньше, чем предлагаемые на рынке аппараты. Этот экструдер не является шнековым, а относится к плунжерному типу. В аппарате материал выдавливается из формующей насадки не под давлением шнека, а под давлением поршня, который приводится в движение за счет винтовой пары (рис. 1).

Формующая насадка (рис. 2) сменная, соответственно можно изменять форму и размеры экструдатов, а степенью сужения канала менять давление.

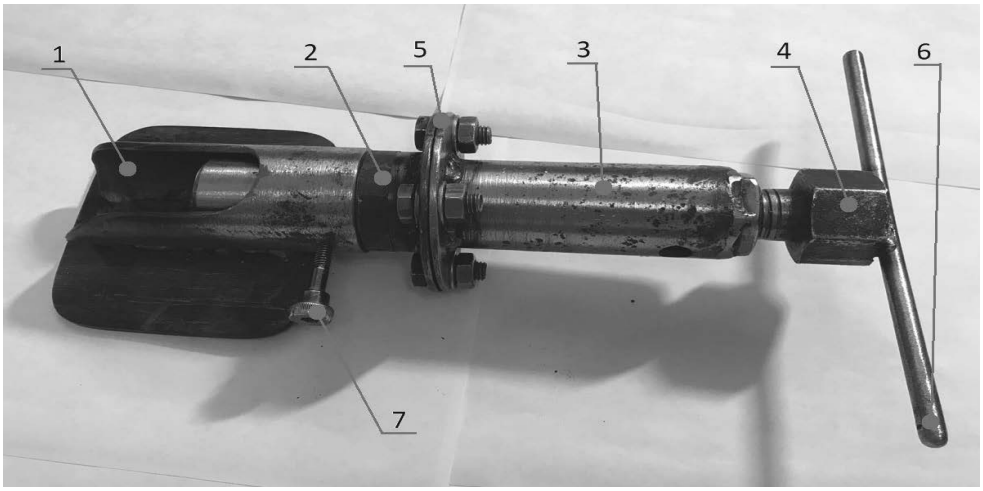


*Рис. 1. Плунжерный экструдер: 1* — Основание установки для крепления к столу; *2* — часть корпуса с формующей насадкой; *3* — емкость для исходной шихты; *4* — шнек, соосно закрепленный с корпусом; *5* — фланец, соединяющий две части; *6* — рукоять. *7* — фиксирующий болт.
*Fig. 1. Plunger extruder: 1* — The base of the installation for mounting to the table; *2* — a part of the body with a forming nozzle; *3* — a container for the initial charge; *4* — a screw coaxially fixed with the body; *5* — a flange connecting two parts; *6* — a handle. *7* — fixing bolt

*Рис. 2.Формующая насадка*
*Fig. 2. Forming nozzle*

Плунжерные экструдеры, кроме чисто лабораторных исследований могут также использоваться и при получении материалов, для которых важным является ориентация структурных элементов в пространстве, например, графитовых и других электродов, изготавливаемых на основе углерода.

**Примеры использования**

Ниже приведено несколько примеров использования экструдера для исследования брикетируемости различных видов сырья.

Один из объектов — железные руды Яковлевского месторождения (Белгородская область) [35]. Руды имеют весьма высокое содержание железа (выше 60 %) и поэтому не нуждаются в обогащении. Но эти руды относятся к категории «рыхлых», т. е. содержат много мелких частиц. Поэтому, перед дальнейшей металлургической переработкой их необходимо окусковывать.

Испытания проводились на отсевах руды. В этих отсевах преобладают мелкие классы. В качестве связующих использовались такие «хорошо зарекомендовавшие» себя в ходе предшествующих исследованиях [14, 34] вещества,

такие как патока, КМЦ, связующее на основе ПВА и др.

В ходе испытаний было изучено влияние на прочностные свойства и «металлургические» свойства брикетов вида связующего, расход связующего, влажность шихты и некоторые другие параметры. Полученные результаты позволили показали возможность использования полученных экструдатов в качестве сырья для металлургической переработки.

Технология формования экструдатов весьма проста и практически ничем не отличается от технологии формования брикетов с использованием «обычных» (валковых) прессов. Используются такие операции как смешивание в течение 5—10 мин. со связующим веществом, загрузку шихты в экструдер, собственно экструдирование, при необходимости сушку сформированных экструдатов.

Внешний вид железорудных экструдатов, полученных при различной влажности шихты, показан на рис. 3, 4.

Кроме рудного сырья, железосодержащие экструдаты были получены из иных видов железосодержащего сырья, таких как, стальная стружка, стальные опилки, окалины и т. д.

На рис. 5 показаны образцы экструдатов, полученные из стальных опилок.

Такие экструдаты пригодны для металлургической переработки, как компонент шихты.

Другой пример, получение экструдатов из различных видов углеродсодержащего сырья. Так, были получены топливные экструдаты, использую технологические решения, предложенные в работе [14].

Например, была изготовлена партия топливных экструдатов на основе угольных шламов и бумажных отходов (рис. 6).

Содержание угольных шламов в экструдате варьировалось от 30 до 60 %. Бумажные отходы являются одновременно и горючим углеродсодержащим компонентом шихты, и связующим компонентом. Техно-

*Рис. 3. Железорудные экструдаты. Влажность шихты 11,5%*
*Fig. 3. Iron ore extrudates. The moisture content of the charge is 11.5%*

*Рис. 4. Железорудные экструдаты. Влажность шихты 20%*
*Fig. 4. Iron ore extrudates. The moisture content of the charge is 20%*

*Рис. 5. Экструдаты из стальных опилок*
*Fig. 5. Extrudates made of steel filings*

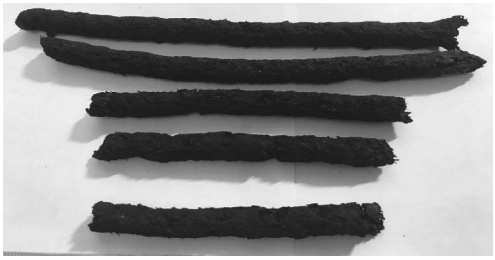

*Рис. 6. Топливные экструдаты*
*Fig. 6. Fuel extrudates*

логия изготовления весьма проста, как в и вышеприведенном примере с железорудным сырьем: смешивание шламов и бумажных отходов, загрузку шихты в экструдер, собственно экструдирование, сушка сформированных экструдатов. Изготовление таких брикетов позволят получить дополнительное количество топлива, одновременно вовлекая в переработку не используемые в настоящее время (и загрязняющие окружающую среду) угольные шламы и часто не используемые бумажные отходы. Такие брикеты могут использоваться как достаточно дешевое и «эффективное» бытовое топливо, например, как альтернатива дровам, пеллетам и т. п.

Топливные брикеты также могут изготавливаться из самых различных видов углеродсодержащего сырья. При этом также решается важная проблема — утилизация всевозможных горючих отходов.

**Заключение**

Окускование широко применяется во многих отраслях промышленности. В черной и цветной металлургии окускование применяется для подготовки мелких руд и тонкоизмельченных концентратов к металлургической переработке. Одним из трех основных способов окускования является брикетирование. Одно из основных преимуществ брикетирования — универсальность процесса. Брикетирование может производится как без применения связующих веществ, так и с их применением. Для брикетирования со связующими обычно используют вальцовые (валковые) пресса. Также для этой цели может использоваться экструзионное формование, являющееся перспективным направлением развития технологий окускования железорудного, многих видов углеродсодержащего сырья, различных видов отходов и др.

В работе предложен экспериментальный плунжерный экструдер, который можно использовать для исследования «брикетируемости» различных видов материалов экстузионным методом. Данный экструдер прост в изготовлении существенно дешевле, чем предлагаемые на рынке лабораторные экструдеры.

Изготовлены пробные партии экструдатов из различных материалов. Проведенные исследования показали, что экструдер вполне можно использовать для изучения брикетируемости различных материалов экструзионным методом.

**Вклад авторов**

*Кусков Вадим Борисович* — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, написание статьи.

*Ильин Егор Сергеевич* — изготовление экспериментальной модели экструдера, экспериментальные исследования по изготовлению экструдатов.

Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов авторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Недосекин А. О.*, *Рейшахрит Е. И.*, *Козловский А. Н.* Стратегический подход к оценке экономической устойчивости объектов минерально-сырьевого комплекса России // Записки Горного института. — 2019. — Т. 237. — С. 354—360. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.354.
2. *Юрак В. В.*, *Душин А. В.*, *Мочалова Л. А.* Против устойчивого развития: сценарии будущего // Записки Горного института. — 2020. — Т. 242. — С. 242—247. DOI: 10.31897//PMI.2020.2.242.
3. *Читалов Л. С.*, *Львов В. В.* Сравнительная оценка методов определения рабочего индекса шарового измельчения бонда // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 130–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0—130—145.
4. *Kuskov V. B.*, Lvov, V. V., *Yushina T. I.* Increasing the recovery ratio of iron ores in the course of preparation and processing. CIS Iron and Steel Review. 2021, vol. 1, pp. 4—8. DOI: 10.17580/cisisr.2021.01.01.
5. *Равич Б. М.* Брикетирование руд. — М.: Недра, 1982. — 183 с.
6. *Лурье Л. А.* Брикетирование в металлургии. — М.: Металлургия, 1963. — 324 с.
7. *Медведев В. В.*, *Овсейчук В. А.* Повышение технологических свойств твердеющей закладочной смеси // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3—2. — С. 71—80. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_71.
8. Daniel Fernández-González, Íñigo Ruiz-Bustinza, Javie Mochón, Carmen González-Gasca, Luis Felipe Verdeja. Iron ore sintering: Process. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2017, vol. 38, no. 4. pp. 215—227.
9. *Соловьев Т. М.*, *Буренина О. Н.*, *Заровняев Б. Н.*, *Николаева Л. А.* Влияние температуры на адгезионную способность компонентов древесины и бурого угля при брикетировании // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11. — С. 109—122. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_109.
10. *Ким С. В.*, *Богоявленская О. А.*, *Кударинов С. Х.*, *Орлов А. С.*, *Орлова В. В.* Перспективы получения брикетированного бездымного топлива из углей открытой добычи месторождений Казахстана // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 9. — С. 147–158. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0—147—158.
11. *Халифа А. А.*, *Бажин В. Ю.*, *Устинова Я. В.*, *Шалаби М. Э. Х.* Исследование восстановления оксида железа из окатышей красного шлама коксом // Обогащение руд. — 2021. — №. 4. — С. 46–51. DOI:10.17580/or.2021.04.08
12. *Лебедев А. Б.*, *Утков В. А.*, *Халифа А. А.* Использование спеченного сорбента для удаления сероводорода из отходящего промышленного газа при грануляции металлургических шлаков // Записки Горного института. — 2019. — Т. 237. — С. 292—297. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.292.
13. *Голик В. И.*, *Дмитрак Ю. В.*, *Комащенко В. И.*, *Качурин Н. М.* Управление свойствами твердеющих смесей при закладке выработанного пространства рудных месторождений // Записки Горного института. — 2020. — Т. 243. — С. 285—292. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.285.
14. *Кусков В. Б.*, *Бажин В. Ю.*, *Кускова Я. В.* Проблемы использования угольных и других невостребованных угольных и углеродсодержащих материалов в качестве энергетических брикетов // Уголь. — 2019. — № 4. — С. 50—54. DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-4-50—54.
15. *Хрусталев Б. М.*, *Пехота А. Н.*, Нгуен Нга Тху, Ву Фап Минь Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов // Наука и техника. — 2021. — Т. 20. — №. 1. — С. 58—65. DOI: 10.21122/2227-1031-2021-20—1-58—65.
16. *Пехота А. Н.* Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов // Наука и техника. — 2022. — Т. 21. — №. 2. — С. 164—174.

17. *Куницкая О. А.*, *Григорьев И. В.*, *Мануковский А. Ю.* Технико-экономическое сравнение производства топливных брикетов и пеллет из древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2020. — №. 57. — С. 40—43.

18. *Приходько И. А.*, *Бандурин М. А.*, *Вербицкий А. Ю.* Влияние выбранных материалов и технологических параметров биомассы на брикетированную смесь. International agricultural journal. — 2021. — Т. 64. — №. 4. — С. 58—69. DOI:10.24411/2588-0209-2021-10343.

19. *Ким С. В.*, *Богоявленская О. А.*, *Кударинов С. Х.*, *Орлов А. С.*, *Орлова В. В.* Получение брикетированного бездымного топлива из термообработанной мелочи энергетических углей // Уголь. — 2020. — №. 6 (1131). — С. 41—45. DOI:10.18796/0041-5790-2020-6-41—45.

20. *Siddiqi H.*, *Chandaliya V. K.*, *Suresh A.*, *Dush P. S.*, *Meikap B. S.* A scale-up approach to produce highly reactive iron ore catalyzed coke for blast furnace operation. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2020, vol. 41, no. 6, pp. 370—380. DOI:10.1080/08827508.2019.1666124.

21. *Урбанович Н. И.*, *Корнеев С. В.*, *Волосатиков В. И.*, *Комаров Д. О.* Анализ состава и технологий переработки дисперсных железосодержащих отходов // Литьё и металлургия. — 2021. — №. 4. — С. 66—69.

22. *Павловец В. М.* Повышение реакционной способности железосодержащего окускованного сырья // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. — 2018. — №. 41. — С. 62—72.

23. *Зильберглейт М. А.* Производители валковых прессов для гранулирования (брикетирования). Обзор по Западной Европе // Горная механика и машиностроение. — 2020. — № 2. — С. 57—63.

24. *Севостьянов М. В.* Теория и практика брикетирования полидисперсных материалов и отходов производства в пресс-валковых агрегатах // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2020. — №. 9. — С. 89—96.

25. *Kim K. M.*, *Bae J. H.*, *Han J. W.* Effect of Aspect Ratio on Iron-Ore Briquettes During Twin-Roll Briquetting. Archives of Metallurgy and Materials. 2020, vol. 65, no. 4, pp. 1335—1339.

26. *Курунов И. Ф.*, *Бижанов А. М.* Брэксы — новый этап в окускования сырья для доменных печей // Металлург. — 2014. — №. 3. — С. 49—53.

27. *Курунов И. Ф.*, *Чижикова В. М.*, *Бижанов А. М.* Наилучшие доступные технологии в производстве окускованного сырья для доменных печей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2018. — Т. 1. — №. 4. — С. 62—66.

28. *Бижанов А. М.*, *Подгородецкий Г. С.* О движении брикетируемой массы в экструдере. Точные решения. Сообщение 1 // Известия высших учебных заведений // Черная металлургия. — 2020. — Т. 63. — №. 1. — С. 7—12.

29. *Бижанов А. М.* Синергия агломерации и брикетирования в доменном процессе // Металлург. — 2021. — № 7. — С. 20—28.

30. *Бижанов А. М.*, *Загайнов С. А.* Испытания брикетов на механическую прочность // Металлург. — 2021. — № 3. — С. 11—18.

31. *Михайлов А. В.*, *Федоров А. С.* Анализ параметров мундштука шнекового пресса для 3d-экструзии торфяных кусков трубчатого типа // Записки горного института. — 2021. — Т. 249. — С. 351—365. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.4.

32. *Александрова Т. Н.*, *Рассказова А. В.* Исследование зависимости качества угольных топливных брикетов от технологических параметров их производства // Записки горного института. — 2016. — Т. 220. — С. 573—577.

33. *Kuskov V.*, *Kuskova Y.* Research of physical and mechanical properties of briquettes, concentrated from loose high-grade iron ores // 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 2017, vol. 17, no 11, pp. 1011 — 1016. DOI: 10.5593/sgem2017/11/S04.129.

34. *Lubwama M.*, *Yiga V. A.*, *Muhairwe F.*, *Kihedu J.* Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable domestic energy sources. Renewable energy. 2020, vol. 148, pp. 1002 — 1016.

35. *Сергеев С. В.*, *Лябах А. И.*, *Зайцев Д. А.* Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. — 2011. — № 3 (98), — вып. 14. — С. 200 — 208. ГИАБ

## REFERENCES

1. Nedosekin A. O., Rejshahrit E. I., Kozlovskij A. N. Strategic approach to assessing economic sustainability objects of mineral resources sector of Russia. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 237, pp. 354 — 360. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.354.

2. Yurak V. V., Dushin A. V. , Mochalova L. A. Petrographic structures and Hardy Weinberg equilibrium. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 242, pp. 242 — 247. [In Russ]. DOI: 10.31897//PMI.2020.2.242.

3. Chitalov L. S., L'vov V. V. Comparative evaluation of methods for determining the working index of Bond ball milling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 130 — 145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0 — 130 — 145.

4. Kuskov V. B., Lvov, V. V., Yushina T. I. Increasing the recovery ratio of iron ores in the course of preparation and processing. *CIS Iron and Steel Review*. 2021, vol. 21, pp. 4 — 8.

5. Ravich B. M. Briquetting of ores. Moscow, *Nedra*, 1982. 183 p. [In Russ].

6. Lur'e L. A. Briquetting in metallurgy Moscow, *Metallurgiya*, 1963. 324 p. [In Russ].

7. Medvedev V. V., Ovsejchuk V. A. Improving the technological properties of the hardening stowing mix. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3 — 2, pp. 71 — 80. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_71.

8. Daniel Fernández-González, Íñigo Ruiz-Bustinza, Javie Mochón, Carmen González-Gasca, Luis Felipe Verdeja. Iron ore sintering: Process. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2017, vol. 38, no. 4, pp. 215 — 227.

9. Soloviev T. M., Burenina O. N., Zarovnyaev B. N., Nikolaeva L. A. Influence of temperature on the adhesion capacity of lignite and charcoal components during briquetting. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11, pp. 109 — 122. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_109.

10. Kim S. V., Bogoyavlenskaya O. A., Kudarinov S. H., Orlov A. S., Orlo-va V. V. Prospects for producing briquetted smokeless fuel from open-pit coals in Kazakhstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 9, pp. 147 — 158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0 — 147 — 158.

11. Halifa A. A., Bazhin V. U., Ustinova Y. V., Shalabi M. E. H. Investigation of the recovery of iron oxide from red mud pellets by coke. *Obogashchenie rud*. 2021, no. 4, pp. 46 — 51. [In Russ]. DOI:10.17580/or.2021.04.08.

12. Lebedev A. B., Utkov V. A., Halifa A. A. The use of sintered sorbent to remove hydrogen sulphide from industrial off-gas during metallurgical slag granulation. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 237, pp. 292 — 297. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.292.

13. Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Komashchenko V. I., Kachurin N. M. Managing the properties of solid mixtures for backfilling of mined-out spaces in ore deposits. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 243, pp. 285 — 292. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.285.

14. Kuskov V. B., Bazhin V. Y., Kuskova Y. V. Problems of using unclaimed coal and other carbon-containing materials as energy briquettes. *Ugol*. 2019, no. 4, pp. 50 — 54. [In Russ]. DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-4-50 — 54.

15. Hrustalev B. M., Pekhota A. N., Nguen Nga Thu, Vu Fap Min. Solid fuels based on wastes of little-used fossil fuels. *Science and technique*. 2021, vol. 20, no. 1, pp. 58—65. [In Russ]. DOI: Doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20—1-58—65.

16. Pekhota A. N. Investigation of the energy performance of multi-component solid fuels using substandard combustible municipal and industrial waste. *Science and technique*. 2022, vol. 21, no. 2, pp. 164—174. [In Russ].

17. Kunitskaya O. A. A., Grigoryev I. V., Manukovsky A. Y. Technical and economic comparison of fuel briquettes and pellets production from wood. Aktualnye *problemy lesnogo kompleksa*. 2020, no. 57, pp. 40—43. [In Russ].

18. Prihodko I. A., Bandurin M. A., Verbickij A. Y. Influence of selected materials and process parameters of the biomass on the briquette mix. *International agricultural journal*. 2021, vol. 64, no. 4, pp. 58—69. [In Russ]. DOI:10.24411/2588-0209-2021-10343.

19. Kim S. V., Bogoyavlenskaya O. A., Kudarinov S. H., Orlov A. S., Orlova V. V. Production of briquetted smokeless fuel from heat-treated fines of steam coals. *Ugol*. 2020, no. 6 (1131), pp. 41—45. [In Russ]. DOI:10.18796/0041-5790-2020-6-41—45.

20. Siddiqi H., Chandaliya V. K., Suresh A., Dush P. S., Meikap B. S. A scale-up approach to produce highly reactive iron ore catalyzed coke for blast furnace opera-tion. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2020, Vol. 41, no. 6, pp. 370—380. DOI:10. 1080/08827508.2019.1666124.

21. Urbanovich N. I., Korneev S. V., Volosatikov V. I., Komarov D. O. Analysis of composition and processing technologies for dispersed iron-containing waste. *Foundry production and metallurgy*. 2021, no. 4, pp. 66—69. [In Russ].

22. Pavlovec V. M. Enhancing the reactivity of iron-containing pelletised raw materials. *Vestnik gorno-metallurgicheskoj sekcii Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Otdelenie metallurgii*. 2018, no. 41, pp. 62—72. [In Russ].

23. Zilberglejt M. A. Manufacturers of roll presses for pelletising (briquetting). Overview of Western Europe. *Mining mechanical engineering and machine-building*. 2020, no. 2, pp. 57—63. [In Russ].

24. Sevostyanov M. V. Theory and practice of briquetting polydisperse materials and production waste in press roll units. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2020, no. 9, pp. 89—96. [In Russ].

25. Kim K. M., Bae J. H., Han J. W. Effect of Aspect Ratio on Iron-Ore Bri-quettes During Twin-Roll Briquetting. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2020, Vol. 65, iss. 4, pp. 1335—1339.

26. Kurunov I. F., Bizhanov A. M. Breksy A new stage in the pelletising of raw materials for blast furnaces. *Metallurg*. 2014, no. 3, pp. 49—53. [In Russ].

27. Kurunov I. F., Chizhikova V. M., Bizhanov A. M. Best available technologies for the production of pelletised blast furnace feedstock. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tekhnicheskoj i ekonomicheskoj informacii*. 2018, vol. 1, no. 4, pp. 62—66. [In Russ].

28. Bizhanov A. M., Podgorodeckij G. S. On the movement of the briquette mass in the extruder. Precise solutions. Message 1 *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tekhnicheskoj i ekonomicheskoj informacii*. 2020, vol. 63, no. 1, pp. 7—12. [In Russ].

29. Bizhanov A. M. Synergy of agglomeration and briquetting in blast furnace process. *Metallurg*. 2021, no. 7, pp. 20—28. [In Russ].

30. Bizhanov A. M., Zagajnov S. A. Testing of briquettes on mechanical strength. *Metallurg*. 2021, no. 3, pp. 11—18. [In Russ].

31. Mihajlov A. V., Fedorov A. S. Analysis of screw press mouthpiece parameters for 3D-extrusion of tubular-type peat lumps. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 249, pp. 351—365. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.4.

32. Aleksandrova T. N., Rasskazova A. V. Investigation of the dependence of the quality of coal fuel briquettes on the technological parameters of their production. *Journal of Mining Institute*. 2016, vol. 220, pp. 573—577. [In Russ].

33. Kuskov V., Kuskova Y. Research of physical and mechanical properties of briquettes, concentrated from loose high-grade iron ores.*17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference*, 2017, vol. 17, no. 11, pp. 1011 – 1016. DOI: 10.5593/sgem2017/11/S04.129.

34. Lubwama M., Yiga V. A., Muhairwe F., Kihedu J. Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable do-mestic energy sources. *Renewable energy*. 2020, vol. 148, pp. 1002 – 1016.

35. Sergeev S. V., Lyabah A. I., Zajcev D. A. Experience of developing rich iron ores at the Yakovlevskoe deposit of the KMA. Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Estestvennye nauki. 2011, no. 3 (98), vol. 14, pp. 200 – 208. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Кусков Вадим Борисович* – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. обогащения полезных ископаемых ORCID iD 0000-0002-2303-7186, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, Россия, e-mail: Kuskov_VB@pers.spmi.ru;

*Ильин Егор Сергеевич* – студент, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, Россия, e-mail: s171643@stud.spmi.ru.

**Для контактов:** *Кусков Вадим Борисович*, e-mail: Kuskov_VB@pers.spmi.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kuskov V. B.,* Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mineral Processing, ORCID iD 0000-0002-2303-7186, 21 Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Vasilievsky Island, 21 line 2, e-mail: Kuskov_VB@pers.spmi.ru;

*Iliin E. S.,* Saint Petersburg Mining University, Student of the Department of Mineral processing, 199106, St. Petersburg, Vasilievsky Island, 21 line 2, Russia. e-mail: s171643@stud.spmi.ru.

**For contacts:** *Kuskov V. B.*, e-mail: Kuskov_VB@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 14.01.2022; получена после рецензии 30.05.2022; принята к печати 10.05.2022.
Received by the editors 14.01.2022; received after the review 30.05.2022; accepted for printing 10.05.2022.