

УДК 669.162.1

**Ефимова Ксения Александровна**

кандидат технических наук, доцент  
кафедры теплогазоводоснабжения, водоотведе-  
ния и вентиляции,  
Сибирский государственный  
индустриальный университет,  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
e-mail: [efimovaksenia@mail.ru](mailto:efimovaksenia@mail.ru)

**Спиридонова Ирина Владимировна**

кандидат технических наук, доцент,  
и.о. заведующего кафедрой инженерных  
конструкций, строительных технологий  
и материалов,  
Сибирский государственный  
индустриальный университет  
e-mail: [sp1ridonova-iv@yandex.ru](mailto:sp1ridonova-iv@yandex.ru)

**Мурко Василий Иванович**

доктор технических наук, профессор,  
директор Центра инновационных угольных  
технологий, Сибирский государственный  
индустриальный университет  
e-mail: [sib\\_eco@mail.ru](mailto:sib_eco@mail.ru)

**Карпенко Виктор Иванович**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры технических дисциплин и  
информационных технологий  
филиал КузГТУ в г. Новокузнецке,  
654005, г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 7  
e-mail: [vkarpенок@mail.ru](mailto:vkarpенок@mail.ru)

**ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
АГЛОМАТЕРИАЛОВ  
АВТОТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ***Аннотация:*

*В настоящее время актуальной является проблема обеспечения экологически безопасной и экономически обоснованной переработки промышленных отходов добычи, обогащения и использования угля в угольных регионах России. Среди указанных отходов наибольшую экологическую опасность представляют вскрышные углистые породы угольных разрезов, вмещающие породы, выдаваемые на поверхность при вскрытии и проходке шахтных выработок, а также твердые отходы углеобогащения, в том числе тонкодисперсные отходы углеобогащения (ТДОУ), содержащие до 5 – 60 % угля. Хранение указанных отходов на поверхности земли приводит к их самовозгоранию, что существенно загрязняет окружающую среду, особенно вблизи населенных пунктов.*

*Ключевые слова: отходы добычи, переработки и использования угля, вскрышные углистые отходы, декарбонизация отходов, автотермический процесс, водоугольное топливо, использование промышленных отходов.*

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.093

**Efimova Ksenia A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Department of Heat and Gas Supply,  
Water Removal and Ventilation,  
Siberian State Industrial University,  
654007 Novokuznetsk, 42 Kirova Str.  
e-mail: [efimovaksenia@mail.ru](mailto:efimovaksenia@mail.ru)

**Spiridonova Irina V.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Acting Head of the Department  
of Engineering Structures,  
Building Technologies and Materials,  
Siberian State Industrial University  
e-mail: [sp1ridonova-iv@yandex.ru](mailto:sp1ridonova-iv@yandex.ru)

**Murko Vasily I.**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Director of the Center for Innovative  
Coal Technologies,  
Siberian State Industrial University  
e-mail: [sib\\_eco@mail.ru](mailto:sib_eco@mail.ru)

**Karpenok Victor I.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Department of Technical Disciplines and  
Information Technologies, KuzSTU branch  
in Novokuznetsk, KuzSTU Novokuznetsk office,  
654005 Novokuznetsk, 7 Ordzhonikidze Str.  
e-mail: [vkarpенок@mail.ru](mailto:vkarpенок@mail.ru)

**OBTAINING BUILDING  
AGGLOMATERIALS  
BY AUTOTHERMAL METHOD***Abstract:*

*At the present time is an urgent problem of ensuring environmentally safe and economically sound processing of industrial waste coal mining, processing and use in the coal regions of Russia. Among these wastes, the greatest environmental hazard is represented by overburden carbonaceous rocks of coal mines, host rocks issued to the surface during the opening and sinking of mine workings, as well as solid wastes of coal processing, including fine coal processing waste (TDOU), containing up to 5 – 60 % of coal. Storing these wastes on the ground surface leads to their spontaneous combustion, which significantly pollutes the environment, especially near populated areas.*

*Key words: waste from coal mining, processing and use of coal, overburden coal waste, waste decarbonization, autothermal process, water-coal fuel, industrial waste use.*

### Введение

Среди промышленных отходов добычи, переработки и использования угля наибольшую экологическую опасность представляют вскрышные углистые породы угольных разрезов, вмещающие породы, выдаваемые на поверхность при вскрытии и проходке шахтных выработок, а также твердые отходы углеобогащения, содержащие от 5 до 60 % угля. Хранение указанных отходов на поверхности земли приводит к их самовозгоранию, что существенно загрязняет окружающую среду, особенно вблизи населенных пунктов. В качестве примера можно привести ситуацию, сложившуюся в Кузбассе вблизи г. Новокузнецка и Киселевска в 2018 – 2020 гг., когда вследствие локального самовозгорания складированной породы губернатором Кемеровской области – Кузбасса Сергеем Цивилевым было принято решение о введении режима «чрезвычайная ситуация».

Серьезные проблемы возникают при переработке золошлаковых отходов (ЗШО), содержащих до 10 – 18 % несгоревшего углерода (мехнедожог), образующихся на угольных ТЭЦ и ГРЭС, в котельных, по той причине, что данный материал имеет ограниченную область применения по существующим техническим условиям [1]. Кроме того, серьезную экологическую опасность представляют токсичные (содержащие вредные для окружающей среды флокулянты и коагулянты) тонкодисперсные отходы углеобогащения (ТДОУ), выход которых на современных углеобогащительных фабриках (ОФ) составляет от 7 до 12 % перерабатываемого угля. При этом ТДОУ характеризуются значительными колебаниями по крупности частиц (0 – 3 мм), влажности (30 – 40 %) и зольности (25 – 55 %). Указанные значительные колебания технических характеристик отходов (в первую очередь по содержанию углерода) являются серьезной проблемой при их экономически обоснованном использовании.

В последние годы многие научно-исследовательские организации, угольные и энергетические компании как у нас в стране, так и за рубежом занимаются поиском и разработкой технологий по экологически чистому использованию угля, переработкой отходов добычи и обогащения угля и побочных продуктов его использования [2 – 8].

Целью работы является экспериментальное обоснование возможности получения строительных материалов (аглопесок, аглощебень и др.) автотермическим способом на основе специально подготовленной шихты вскрышных углистых пород, отходов углеобогащения и золошлаковых материалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка экспериментальной установки;
- разработка методики экспериментальных исследований;
- выполнение предварительных экспериментальных исследований автотермического способа спекания инертных материалов специально подготовленной шихты.

### Методы исследований

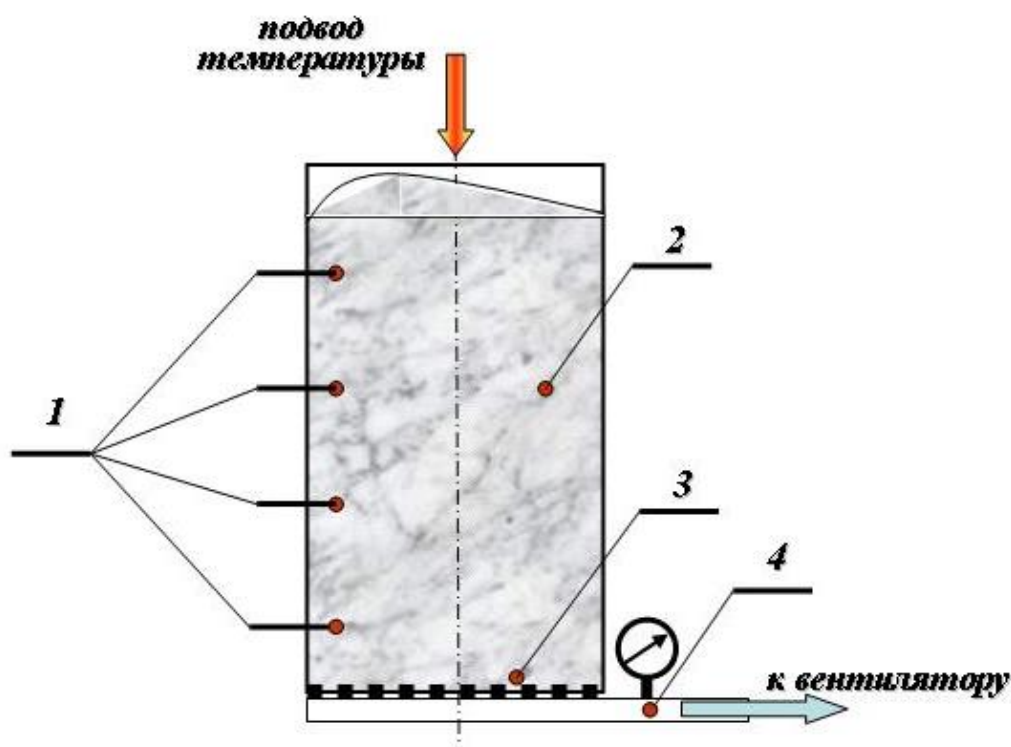
Основопологающим технологическим процессом принят процесс агломерации предварительно подготовленной шихты, широко применяемый в металлургической промышленности для получения агломерата [9, 10], загружаемого в доменные печи. Данный процесс также используется в производстве строительных материалов-аглопоритов. В процессе агломерации специально подготовленной шихты осуществляется зажигание углеродной составляющей, находящейся в верхнем слое шихты. Затем в процессе движения шихты зона горения (выгорание углерода) перемещается в нижележащие слои шихты под воздействием фильтрационного течения воздуха сквозь нагретую шихту. Течение воздуха обеспечивается специальным агрегатом – эксгаустером, который создает разрежение в слое. В результате указанного процесса осуществляется фильтрационное горение углерода, находящегося в продуктах шихты и происходит декарбонизация подготовленного материала. После зажигания верхнего слоя шихты дальнейшее горение углеродных соединений происходит в автотермическом режиме.

Отличительными особенностями предлагаемого процесса получения строительных агломатериалов на основе отходов добычи, обогащения и сжигания угля с применением автотермического способа являются

- комплексное использование отходов добычи, обогащения и сжигания угля;
- применение для зажигания агломерационной шихты высокорекреационного водоугольного топлива, приготовленного на основе углемаляного гранулята;
- использование для увлажнения шихты в процессе ее подготовки водородной суспензии, получающейся в процессе масляной грануляции тонкодисперсных отходов углеобогащения.

#### Экспериментальные исследования

С целью экспериментального обоснования возможности получения агломатериалов автотермическим способом на основе специально подготовленной шихты был разработан цилиндрический реактор шахтного типа (рис. 1).



1 – датчик температуры; 2 – шихта;  
3 – пористое дно; 4 – датчик давления (разрежения)

Рис. 1. Реактор для исследования автотермического способа получения агломатериалов

Предварительно измельченные материалы (за исключением золы-уноса и тонкодисперсных отходов углеобогащения, изначально представляющих собой тонкодисперсные материалы) смешивались с получением необходимого химического состава шихты и содержания в ней требуемого количества углерода. В зависимости от условий эксперимента количество углерода составляло от 3 до 8 % (масс) в пересчете на сухую массу. Приготовленную шихту увлажняли и гранулировали с получением гранул размером до 5 мм.

После загрузки шихты в реактор (см. рис. 1) верхний слой шихты нагревался сторонним источником тепла до  $1000 \div 1050^\circ\text{C}$ . При помощи вентилятора в слое шихты создавалось разрежение, за счет которого осуществлялось движение газовой фазы (воздух,

водяные пары и продукты сгорания) – сверху вниз, то есть в направлении распространения волны горения.

Газообразные продукты горения, фильтруясь сквозь массу шихты, переносят также тепло из зоны термической реакции. Таким образом, шихта перед волной горения оказывается прогретой до температуры, практически равной температуре в зоне горения. При попадании в зону прогрева кислорода (то есть при подходе зоны горения) температура в слое повышается и достигает в зоне реакции более 1000°C.

Расчеты показывают, что температура в слое возрастает на 180 – 200°C при реагировании одного процента углерода, содержащегося в материале. Экспериментальные исследования подтвердили, что при содержании горючих в шихте 5 – 8 % в результате прохождения волны горения материал шихты успевает расплавиться. Таким образом, регулируя содержание горючих, удельное содержание составляющих шихты и параметры процесса фильтрации газового потока, можно получить продукты агломерации в виде спеченного материала с заданными свойствами.

Предварительные эксперименты были проведены с шихтой, приготовленной из отходов углеобогащения ОФ «Шахты им. С.М. Кирова», г. Ленинск-Кузнецкий и золошлакового материала Новочеркасской ГРЭС, в которой содержание горючих веществ составляло 5 %. Температура в зоне реакции составила 1080 – 1200°C. На рис. 2 представлена фотография разлома образца агломатериала. Как видно из рис. 2, на сломе видны как отдельные спекшиеся гранулы, так и область проплавленного материала.



Рис. 2. Фото термически обработанного в реакторе материала

Выполненные предварительные эксперименты показали возможность использования отходов углеобогащения и золошлаковых отходов, образующихся при сжигании углей, для получения строительных агломатериалов с заданными свойствами. В дальнейшем для зажигания шихты намечено использовать суспензионное водоугольное топливо, полученное на основе угольных шламов, обогащенных методом масляной грануляции [11], а для смачивания измельченной шихты перед гранулированием – водородную суспензию (жидкий отход процесса обогащения угольных шламов). Для определения режимных параметров процесса автотермического спекания специально подготовленной шихты разработана программа дальнейших экспериментальных исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке СибГИУ.*

### Заключение

1. Разработана экспериментальная установка для проведения экспериментальных исследований по получению строительных агломатериалов на основе отходов добычи, обогащения и сжигания угля.
2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований.
3. На основании выполненных расчетов и проведенных предварительных экспериментальных исследований автотермического способа спекания инертных материалов специально приготовленной шихты показана возможность получения строительных агломатериалов с заданными свойствами.

### Список литературы

1. ГОСТ 25592-91 Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/cfe/4294853070.pdf?ysclid=lh8nj2jjqp957274033> (дата обращения: 3.03.2023)
2. Мурко В.И., Папченков А.И., Голубин К.А., Шаньшин А.Е., 2022. Обоснование технологических решений по переработке тонких угольных шламов на обогатительных фабриках АО "УК "Кузбассразрезуголь". *Уголь*, № 7 (1156), С. 27 – 33.
3. Мурко В.И., Таилаков О.В., Хмяляйнен В.А., Шеховцова В.О., 2016. Развитие экологически чистых технологий по использованию отходов обогащения и сжигания угля. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №10, С. 249 – 258.
4. Абрамов А.А., 2004. *Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых*. Т1. Москва: МГИИ, 472 с.
5. Черникова О.П., Стрекалова С.А., Жданова Н.Г., Гринкевич О.В., 2020. Формирование товарного топливного портфеля Кузбасса на основе отходов углеобогащения. *Серия конференций IOP: Материаловедение и инжиниринг*, 976(1), 012014. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098321577&origin=resultslist>. (дата обращения: 15.03.2023)
6. Шпирт М.Я., 1986. *Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых*. Под редакцией Б.Н. Ласкорина. Москва: Недра, 255 с.
7. Afsin-Elbastan. Yasar E., Atis C.D. Kilic A., 2004. High strength lightweight concrete made with ternary mixtures of cement-fly ash-silica fume and scoria as aggregate. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 28, pp. 95 – 100.
8. Yasar E., Atis C.D., Kilic A., 2004. High strength lightweight concrete made with ternary mixture of cement-fly ash-silica fume and scoria as aggregate. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 28, pp. 95-100.
9. Левченко Э.П., Вишневикий Д.А., Левченко О.А., Власенко Д.А., 2015. Повышение качества агломерата путем улучшения дисперсного состава сырьевых компонентов. *Современные проблемы теории машин*, № 3, С. 281-282.
10. Исаенко Г.Е., Ковалев Д.А., Нечкин Г.А., Чернавин Д.А., Кобелев В.А., 2022. Влияние основности на комплекс металлургических свойств агломерата. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*, № 2, С. 121 – 128.
11. Мурко В.И., Кравченко А.Е., Бондаренко А.Н., Заостровский А.Н., 2020. Обогащение тонких угольных шламов методом масляной грануляции. *Вестник КузГТУ*, №4(140), С. 42 – 48.

### References

1. GOST 25592-91 Smesi zoloshlakovyte teplovykh elektrostantsii dlya betonov. Tekhnicheskie usloviya [GOST 25592-91 Ash-slag mixtures of thermal power plants for concrete. Technical conditions]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/cfe/4294853070.pdf?ysclid=lh8nj2jjqp957274033> (data obrashcheniya: 3.03.2023)



2. Murko V.I., Papchenkov A.I., Golubin K.A., Shan'shin A.E., 2022. Obosnovanie tekhnologicheskikh reshenii po pererabotke tonkikh ugol'nykh shlamov na obogatitel'nykh fabrikakh AO "UK "Kuzbassrazrezugol'" [Substantiation of technological solutions for the processing of fine coal sludge at the processing plants of JSC "UK "Kuzbassrazrezugol'"]. Ugol', № 7 (1156), P. 27 – 33.

3. Murko V.I., Tailakov O.V., Khyamyalyainen V.A., Shekhovtsova V.O., 2016. Razvitiye ekologicheskii chistykh tekhnologii po ispol'zovaniyu otkhodov obogashcheniya i szhiganiya uglya [Development of environmentally friendly technologies for the use of waste of coal enrichment and combustion]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', №10, P. 249 - 258.

4. Abramov A.A., 2004. Pererabotka, obogashchenie i kompleksnoe ispol'zovanie tverdykh poleznykh iskopaemykh [Processing, enrichment and integrated use of solid minerals]. V.1. Moscow: MGGI, 472 p.

5. Chernikova O.P., Strekalova S.A., Zhdanova N.G., Grinkevich O.V., 2020. Formirovaniye tovarnogo toplivnogo portfelya Kuzbassa na osnove otkhodov ugleobogashcheniya [Formation of the Kuzbass' marketable fuel portfolio based on coal enrichment waste]. Seriya konferentsii IOP: Materialovedenie i inzhiniring, 976(1), 012014. URL: [https:// www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098321577&origin=resultslist](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098321577&origin=resultslist). (data obrabotki: 15.03.2023)

6. Shpirt M.Ya., 1986. Bezotkhodnaya tekhnologiya. Utilizatsiya otkhodov dobychi i pererabotki tverdykh goryuchikh iskopaemykh [Waste-free technology. Disposal of waste from the extraction and processing of solid combustible minerals]. Pod redaktsiei B.N. Laskorina. Moscow: Nedra, 255 p.

7. Afsin-Elbaskan. Yasar E., Atis C.D. Kilic A., 2004. High strength lightweight concrete made with ternary mixtures of cement-fly ash-silica fume and scoria as aggregate. Turkish J. Eng. Env. Sci., 28, rr. 95 – 100.

8. Yasar E., Atis C.D., Kilic A., 2004. High strength lightweight concrete made with ternary mixture of cement-fly ash-silica fume and scoria as aggregate. Turkish J. Eng. Env. Sci., 28, rr. 95-100.

9. Levchenko E.P., Vishnevskii D.A., Levchenko O.A., Vlasenko D.A., 2015. Povyshenie kachestva aglomerata putem uluchsheniya dispersnogo sostava syr'evykh komponentov [Improving the quality of agglomerate by improving the dispersed composition of raw materials]. Sovremennye problemy teorii mashin, № 3, P. 281-282.

10. Isaenko G.E., Kovalev D.A., Nechkin G.A., Chernavin D.A., Kobelev V.A., 2022. Vliyanie osnovnosti na kompleks metallurgicheskikh svoistv aglomerata. Chernaya metallurgiya [Influence of basicity on the complex of metallurgical properties of the agglomerate. Ferrous metallurgy]. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii, № 2, P. 121 – 128.

11. Murko V.I., Kravchenko A.E., Bondarenko A.N., Zaostrovskii A.N., 2020. Obogashchenie tonkikh ugol'nykh shlamov metodom maslyanoi granulyatsii [Enrichment of fine coal sludges by the method of oil granulation]. Vestnik KuzGTU, №4(140), P. 42 – 48.