

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-91-97

УДК 9.908.

**ТЕХНОГЕННОЕ СЫРЬЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ
ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ
ИСТОЧНИК ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

**TECHNOGENIC RAW MATERIALS OF COAL MINING AND PROCESSING
COMPANIES AS A PERSPECTIVE SOURCE OF ENERGY RESOURCES**

Ушаков Андрей Геннадьевич,

доцент, e-mail: uag.httt@kuzstu.ru

Andrey G. Ushakov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Ушакова Елена Сергеевна,

доцент, e-mail: ushakovaes@kuzstu.ru

Elena S. Ushakova, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Боголюбова Ирина

Владимировна,

аспирант, e-mail: irina15151@mail.ru

Irina V. Bogolubova, postgraduate student

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennya, Kemerovo, 650000, Russian
Federation

Аннотация:

В работе проведен анализ сложившейся ситуации в энергетической отрасли в сфере использования твердых горючих ископаемых для получения энергии. Показано, что существующие традиционные технологии сжигания угля, применяемые на большинстве ТЭС и котельных, не могут в полной мере подойти для использования существующего техногенного сырья предприятий добычи и переработки угля в качестве энергоресурсов. Предложен способ укрупнения гранулометрического состава гранулированием, а также повышения прочности при истирании исходного сырья для дальнейшей транспортировки к месту переработки и загрузки в аппараты. Изучена возможность повышения прочности гранул введением модифицирующих добавок. Указано, что наиболее эффективна трехстадийная газификационная переработка сырья, а также разработана компоновка технологической линии газификации угольного техногенного сырья.

Ключевые слова: энергетическая промышленность, безотходные технологии, угледобывающее производство, переработка угля, техногенное сырье, газификация, угольная мелочь.

Abstract:

The paper provides a brief analysis of the current situation in the energy industry in the use of solid fuels for energy production. It is shown that the existing traditional coal combustion technologies used at most thermal power plants and boiler houses can't be fully suitable for using the existing man-made raw materials of coal mining and processing enterprises as energy resources. The granulometric compositions enlarging method is proposed. It shows the possibility the strength increasing of pellets by assertive introduction. It is indicated efficiency three-stage gasifications process. The article also shows that the layout of the technological line for gasification of coal-based technogenic raw materials was developed.

Key words: energy industry, clean technologies, coal mining, coal processing, pellets, gasification, coal fines.

Мировая энергетическая ситуация в последние несколько лет претерпевает серьезные изменения. Условия, созданные внешнеполитической конкуренцией, последствия

глобального кризиса приводят к значительным колебаниям цен на энергоносители [1-3].

При этом ежегодный рост производства электроэнергии, находящийся в прямой



Рис. 1. Внешний вид гранулированной смеси. Диаметр гранул 5-8 см
Fig. 1. Pellets appearance. Average size was 5-8 cm.

зависимости от скорости развития цивилизации, является ключевой тенденцией развития мировой энергетики [4-5].

Многие исследователи сходятся во мнении, что энергетическая отрасль на сегодняшний день стоит на пороге больших преобразований. Традиционный формат существующей экономики аналитики склонны относить к индустриальной, когда основной акцент делается на сжигании ископаемого топлива, транспортируемого на большие расстояния, и на потреблении больших объемов энергии при сравнительно слабом управлении энергетическими потоками. В перспективе же мы будем наблюдать, и для этого созданы значительные предпосылки, создание постиндустриальной экономики, основанной на более грамотном использовании добываемых ресурсов, применении новых технологий их преобразования в энергию [6-10].

Ключевым фактором становится планомерное и постоянное повышение энергоэффективности применяемых технологических решений. Это способствует изменению организации энергетических рынков, формированию рынка энергетических услуг и энергетических технологий.

Вышеперечисленные факторы делают актуальными разработку технологий по использованию существующего техногенного сырья в качестве источника энергоресурсов. В данном направлении перспективным является использование отходов предприятий добычи и переработки угля, представленных в виде мелкодисперсных фракций, образующихся на различных стадиях технологической цепочки.

В практике получения энергии из твердых горючих ископаемых наиболее применим и повсеместно распространен традиционный метод сжигания (ТЭЦ, котельные и т.п.) и по прогнозам до середины XXI в. именно этого метод и сохранит

за собой ведущую роль в преобразовании твердых горючих ископаемых в энергию. Однако в силу специфики вышеуказанного техногенного сырья использование метода сжигания представляет трудности и не всегда является обоснованным [11-12].

Важно отметить, что многие из зарубежных стран непрерывно двигаются в направлении постоянных улучшений в сфере энергетики путем повышения КПД генерирующих установок, модернизации технологий сжигания угля, внедрении решений по совместному сжиганию угля и биомассы, а также перехода от угольного топлива на газообразное.

Одной из важных проблем на пути внедрения таких технологических решений является нестабильный гранулометрический состав отходов предприятий добычи и переработки твердых горючих ископаемых с преимущественным преобладанием мелкодисперсной фракции. Укрупнение исходного сырья и придание необходимых прочностных свойств для транспортировки до технологических аппаратов позволит повысить транспортную доступность технологии и расширить спектр перерабатываемых отходов.

Кроме того, реализация процесса газификации мелкодисперсного сырья в виде угольной и коксовой пыли, шламов и пр. трудноосуществима в их исходном состоянии без дополнительных энерго- и материальных затрат (например, создание взвешенного слоя и организация подвода дополнительного дутья), потому здесь также важен контроль крупности и фракционного состава вводимого сырья [13-14].

Таким образом, целью работы является разработка процесса укрупнения исходной смеси для транспортирования в отделение высокотемпературной переработки.

Задачи, которые необходимо для этого

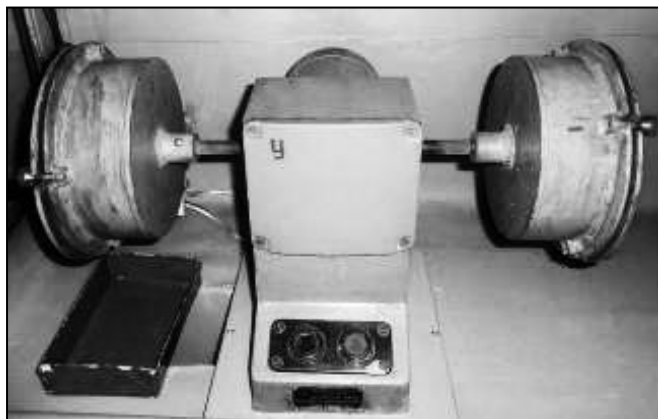


Рис. 2. Установка для определения прочности топливных гранул при истирании: 1 – левый барабан; 2 – правый барабан; 3 – крышки люка
Fig. 2. The pellets abrasion strength installation.

решить:

1. Разработка состава смеси наполнителя (исходные угольные отходы)/связующее (биомасса) для дальнейшего укрупнения окатыванием.

2. Повышение прочности при истирании получаемых гранул для дальнейшей транспортировки их к месту переработки и загрузки в аппараты.

3. Оформление компоновки технологической схемы переработки угольных отходов с учетом стадии окатывания исходного сырья.

Проведенные исследования установили, что укрупнение сырья, поступающего на термическую переработку, возможно методом окомкования, в частности, окатывания без использования прессовального оборудования и избыточного давления. Для этого был выбран гранулятор барабанного типа.

Формуемая смесь (№ 1), содержащая соотношение компонентов наполнитель/связующее в пределах 60...65 / 35...40, позволила получить топливные гранулы сферической формы, близкой к шарообразной (рис. 1). Отмечена возможность управления гранулометрическим составом продукта путем изменения скорости вращения барабана гранулятора.

Выбор для дальнейшего контроля параметра – прочность при истирании – обоснован необходимостью транспортирования полученных гранул после окатывания и создания достаточного загрузочного слоя в высокотемпературной печи. Гранулы должны не истираться при трении друг о друга и не разрушаться от давления верхних слоев загрузки.

Определение механической прочности получаемых гранул при истирании на барабане осуществляли на установке (рис. 2), разработанной по методике на основе ГОСТ 21289-75.

Основные параметры установки:

1. Загрузочный барабан – листовая сталь,

толщиной 2 мм, $d_{\text{внут}} = 200$ мм, $h = 70$ мм.

2. Внутри барабана на стенках закреплены две симметрично расположенные стальные полосы длиной 70 мм и шириной 30 мм.

3. Скорость вращения барабана позволяет регулирование в пределах 10-100 об./мин. Для проведения эксперимента среднюю скорость варьировали в пределах 50 ± 2 об./мин.

На валу установлены два барабана для параллельного проведения экспериментальных испытаний.

Гранулы, выгружаемые из барабанного гранулятора, подвергали сушке до постоянной массы (в сушильном шкафу или на воздухе в зависимости от условий эксперимента), после чего проводили определение прочности при истирании.

Для этого в правый и левый барабаны помещали 350 ± 50 г целых, предварительно взвешенных гранул, закрывали крышку барабана. При включении электропривода барабаны начинали вращаться, процесс осуществляли в течение 5 мин.

По истечении этого времени останавливали вращение барабана, а его содержимое выгружали и помещали в ящик, и после проводили рассеивание на сите с диаметром отверстий 10 мм. Оставшийся на сите надрешетный продукт собирали и взвешивали, определяя его процентное соотношение к общей массе исходного загруженного сырья для анализа.

Эксперименты повторяли не менее 5 раз для повышения точности и воспроизводимости полученных данных.

Экспериментальные данные представлены в табл. 1. Исходная смесь продемонстрировала недостаточные прочностные характеристики, поэтому было принято решение о повышении прочности гранул введением в состав смеси модифицирующих добавок (измельченная органическая волокнистая масса бумажных производств) в количестве нескольких процентов

Таблица 1. Характеристики гранулированной смеси с различным содержанием модифицирующих добавок

Table 1. Pellets with different content of modifiers characteristics

Компонент	Смесь 1	Смесь 2	Смесь 3	Смесь 4
Модифицирующая добавка, % масс.	3	2	1	-
Истираемость, %	86,3	75,8	67,7	53,8
Количество загруженных гранул	20	20	20	20
Количество оставшихся целых гранул	17	15	12	0

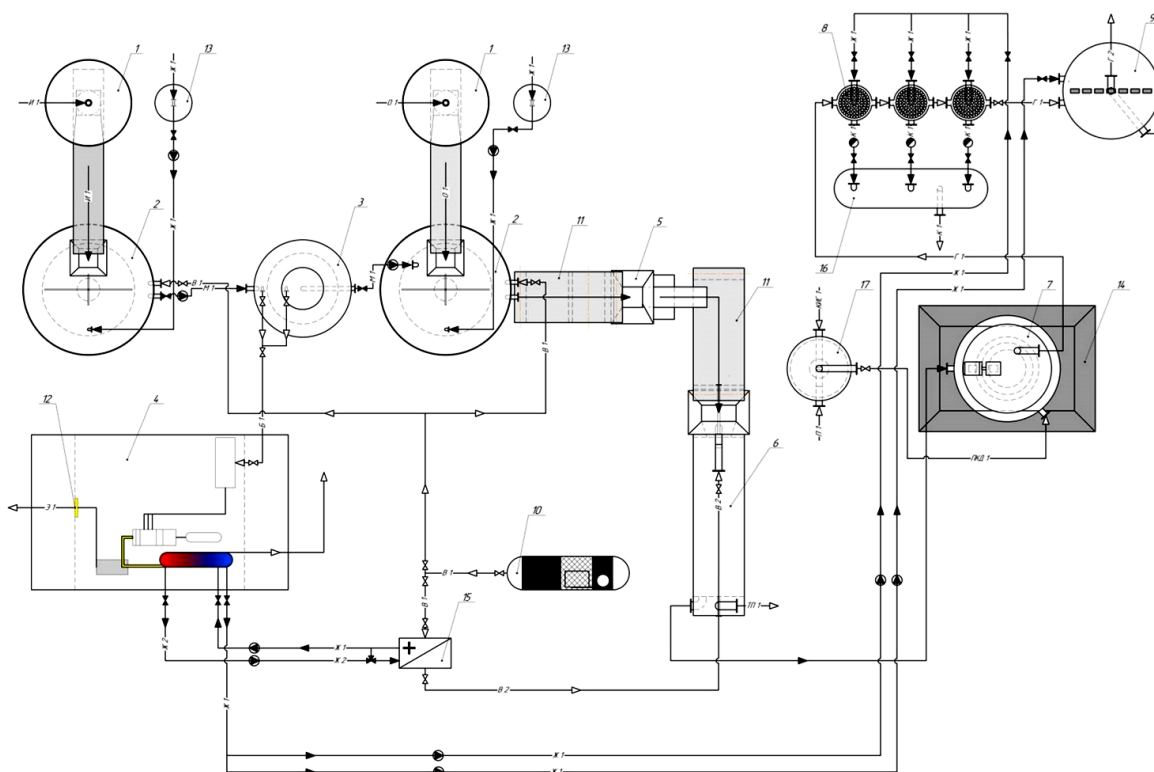


Рис. 3. Аппаратурная компоновка технологической линии газификации угольного техногенного сырья. Вид сверху: 1 – бункер с питателем, 2 – аппарат смешения, 3 – метантенк, 4 – когенерационный центр, 5 – гранулятор, 6 – сушильный аппарат, 7 – газификатор, 8 – зольник, 9 – скруббер, 10 – компрессор, 11 – ленточный транспортер, 14 – трансформатор, 15 – емкость с водой, 16 – емкость для сбора золы, 17 – калорифер, 18 – емкость для сбора конденсата, 21 – устройство для непрерывного смешивания.

Fig. 3. The technological line for gasification of coal-based technogenic raw materials.

от общей массы смеси.

Размер получаемых топливных гранул должен не позволить им просыпаться в распределительные решетки печи, где планируются их переработки, и не затруднять прохождение выделяющихся газообразных продуктов. Поэтому средний диаметр исследуемых гранул составил 4-6 см.

Из изучаемых составов были отобраны с показателем истираемости более 50% и изучены их характеристики. Если истираемость составляла менее 50%, то такие смеси далее не анализировали.

Полученные данные позволили установить, что повышение прочности достигается введением модифицирующей добавки (смесь 1-3). При этом важно отметить, что добавление возможно осуществлять на стадии формования смеси в грануляторе периодическим опудриванием.

При анализе технологического процесса отмечено, что важнейшим фактором, влияющим на его эффективность, является аппаратное оформление стадии газификации. Именно тип конструкции основного аппарата и его принцип действия определяет степень конверсии исходного

сырья в конечный синтез-газ, а также образование и выход побочных продуктов.

Наиболее перспективным можно выделить направление газификации, состоящее из нескольких последовательных зон нагрева сырья до различных температур. Это позволяет достичь максимальной степени конверсии углеродсодержащего сырья в газ и минимизировать содержание углерода в минерально-зольном остатке. Таким образом, можно выделить:

1. Зону низкотемпературной газификации (300-500°C).

Преобладает замедленное перемещением сырья. На данном этапе идет начало разложения большей части сырья, что позволяет увеличить общий выход высококалорийного газа.

2. Зоны среднетемпературной газификации (600-800°C) и высокотемпературной газификации (свыше 900°C).

Происходит завершение процесса дожига сырья, тем самым обеспечивается полное разложение горячего остатка, поступающего со стадии низкотемпературной обработки. Важно отметить, что такое планирование процесса газификации требует меньших энергозатрат в сравнении с традиционными методами, когда на стадию высокотемпературной обработки сразу

поступает исходное сырье.

Если рассматривать аппаратную компоновку технологической линии газификации угольного техногенного сырья (рис. 3), то расчетная площадь под нее будет варьироваться в пределах 120...150 м².

Газообразный энергоноситель, получаемый по данной схеме, может найти свое применение для получения тепловой и электроэнергии для собственных нужд угледобывающих и перерабатывающих предприятий. Также в качестве потребителей могут выступить расположенные рядом котельные установки.

Выводы:

1. Разработана аппаратная компоновка технологической линии переработки угольного техногенного сырья, включающая стадии формирования исходной смеси в виде топливных гранул.

2. Эксперименты показали, что применение обезвоженного избыточного активного или очистных сооружений в качестве связующего вещества позволяет получить топливные гранулы достаточной прочности и истираемости при введении модифицирующих добавок для транспортировки на дальнейшую переработку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.С., Матвеев И.Е. Международная торговля энергоресурсами на рубеже 2018 года / Иванов А.С., Матвеев И.Е. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodnaya-torgovlya-energoresursami-na-rubezhe-2018-goda> [26.09.2019].
2. Мировой энергетический конгресс в Стамбуле – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/53062> [14.11.2019].
3. Макаров А.А. Мир в начале тысячелетия перспективы мировой энергетики до 2040 г. – Режим доступа: <https://www.eriras.ru/files/perspektivy-mirovoj-energetiki-do-2040.pdf> [02.10.2019].
4. Мировой энергетический сектор: вызовы и возможности. Информационно-аналитическая система Росконгресс. – Режим доступа: <https://roscongress.org/sessions/spief-2019-mirovoy-energeticheskiy-sektor-vyzovy-i-vozmozhnosti/discussion> [12.11.2019].
5. Макаров А.А. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MATVEEV/education/SPT/Tab1/prognoz-2040.pdf> [03.12.2019].
6. Ефимов В.И. К вопросу образования отходов производства от предприятий угольной отрасли Кузбасса / Ефимов В.И., Сидоров Р.В., Корчагина Т.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №1. – С. 85-96.
7. Багрянцев В.И. Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов / Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольский А.П., Рыбушкин А.А., Темлянцев М.В. – Режим доступа:
8. <https://www.sibsiu.ru/downloads/public/vestniksibgiu/vestnik5.pdf> [07.10.2019].
9. Savon D. Yu., Zhaglovskaya A. V., Safronov A. E., Sala D. Eurasian Mining. 1. pp. 8-10. Access mode: DOI: 10.17580/em.2018.01.02 (2018)
10. Alaa M. Musalam, Abdel Fattah A. Qaraman. International Journal of Energy and Environmental Research, 4, pp. 27-36, (2016)

11. Козлов, В.А. Сжигание высокозольных шламов как путь к безотходной технологии обогащения углей / В.А. Козлов, В. Гарбер // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 140-145.
12. Дмитриева В.А. К вопросу об образовании отходов угольной промышленности. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-obrazovanii-otkhodov-ugolnoy-promyshlennosti> [18.12.2019].
13. Харионовский А.А. Оценка влияния на окружающую среду открытого и подземного способов добычи угля / Харионовский А.А., Литвинов А.Р., Данилова М.Ю., Махмуд Т. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28092693> [24.11.2019].
14. Ushakov A.G. Carbon-containing waste of coal enterprises in magnetic sorbents technology / Ushakov A., Kvashevaya E., Ushakova E. // Access mode: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101003> [21.01.2020].
15. Ушаков А.Г. Твердое композиционное топливо на основе отходов угольных предприятий и избыточного активного ила / Ушаков А.Г., Ушакова Е.С., Ушаков Г.В. – Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/4866.pdf/download> [18.02.2020].
16. Ушаков А.Г. Изучение распределения фракционного состава при гранулировании смеси угольных и органических отходов / Ушаков А.Г., Боголюбова И.В. // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах Материалы XIII Международной научно-практической конференции. Под редакцией С.Г. Костюк. – 2019. – С. 303-1 – 303-4.

REFERENCES

1. Ivanov A.S., Matveev I.E. Mezhdunarodnaya trgovlya energoresursami na rubezhe 2018 goda / Ivanov A.S., Matveev I.E. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodnaya-torgovlya-energoresursami-na-rubezhe-2018-goda> [26.09.2019].
2. Mirovoy energeticheskij kongress v Stambule – Access mode: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/53062> [14.11.2019].
3. Makarov A.A. Mir v nachale tysyacheletiya perspektivy mirovoy energetiki do 2040 g. – Access mode: <https://www.eriras.ru/files/perspektivy-mirovoj-energetiki-do-2040.pdf> [02.10.2019].
4. Mirovoy energeticheskij sektor: vyzovy i vozmozhnosti. Informatsionno-analiticheskaya sistema Roskongress. – Access mode: <https://roscongress.org/sessions/spief-2019-mirovoy-energeticheskij-sektor-vyzovy-i-vozmozhnosti/discussion> [12.11.2019].
5. Makarov A.A. Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii do 2040 goda. – Access mode: <http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MATVEEV/education/SPT/Tab1/prognoz-2040.pdf> [03.12.2019].
6. Efimov V.I. K voprosu obrazovaniya otkhodov proizvodstva ot predpriyatij ugol'noy otrasli Kuzbassa / Efimov V.I., Sidorov R.V., Korzhagina T.V. // Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'. – 2017. – №1. – С. 85-96.
7. Bagryantsev V.I. Praktika i perspektivy ispol'zovaniya tverdykh uglerodsoder-zhashchikh otkhodov v kachestve topliva dlya teploenergeticheskikh agregatov / Bagryan-tsev V.I., Kazimirov S.A., Kutsenko A.I., Podol'skiy A.P., Rybushkin A.A., Temlyantsev M.V. – Access mode: <https://www.sibsiu.ru/downloads/public/vestniksibgiu/vestnik5.pdf> [07.10.2019].
8. Savon D. Yu., Zhaglovskaya A.V., Safronov A.E., Sala D. Eurasian Mining. 1. pp. 8-10. Access mode: DOI: 10.17580/em.2018.01.02 (2018)
9. Alaa M. Musalam, Abdel Fattah A. Qaraman. International Journal of Energy and Environmental Research, 4, pp. 27-36, (2016)
10. Kozlov, V.A. Szhiganie vysokozol'nykh shlamov kak put' k bezotkhodnoy tekhnologii obogashcheniya ugley / V.A. Kozlov, V. Garber // Ugol'. – 2017. – № 8. – С. 140-145.
11. Дмитриева В.А. К вопросу об образовании отходов угольной промышленности. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-obrazovanii-otkhodov-ugolnoy-promyshlennosti> [18.12.2019].
12. Kharionovskiy A.A., Kharionovskiy A.A., Litvinov A.R., Danilova M.Yu., Makhmud T. Otsenka vliyaniya na okruzhayushchuyu sredyu otkrytogo i pod-zemnogo sposobov dobychi uglya [Assessment of the impact on the environment of open and underground coal mining methods]. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28092693> [24.11.2019].
13. Ushakov A.G. Carbon-containing waste of coal enterprises in magnetic sorbents technology / Ushakov A., Kvashevaya E., Ushakova E. // Access mode: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101003> [21.01.2020].
14. Ushakov A.G., Ushakova E.S., Ushakov G.V. Tverdoe kompozitsionnoe toplivo na osnove otkhodov ugol'nykh predpriyatij i izbytochnogo aktivnogo ila [Solid composite fuel based on waste from coal enterprises and excess activated sludge] / Access mode: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/4866.pdf/download> [18.02.2020].
15. Ushakov A.G., Bogolyubova I.V. Izuchenie raspredeleniya fraktsionnogo sostava pri granulirovani-smesi ugol'nykh i organicheskikh otkhodov [Study of the distribution of fractional composition when granulating a mixture

of coal and organic waste]. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatiy v promyshlennno razvitykh regionakh Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pod redaktsiyey S.G. Kostyuk [Safety of life of enterprises in industrially developed regions Materials of the XIII International scientific and practical conference. Edited by S. G. Kostyuk]. 2019. P. 303-1 – 303-4. (rus).

Поступило в редакцию 26.03.2020

Received 26 March 2020