

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-85-90

УДК 662.7

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ СХЕМЫ СОВМЕСТНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ И  
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

**TECHNOLOGICAL DESIGN OF THE SCHEME OF JOINT USE OF COAL  
PROCESSING PRODUCTS AND ORGANIC WASTE**

**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 рассмотрено использование продуктов переработки угля (угольный шлам, отсеив, пыль, коксовая пыль и мелочь) в технологическом процессе совместной переработки с органическими отходами (избыточный активный ил, отходы станций очистки воды) для получения газообразных энергоносителей. Определены оптимальные составы твердых формованных гранул, подвергаемых термохимической переработке с получением синтез-газа. Разработано технологическое оформление схемы совместного использования продуктов переработки угля и органических отходов.*

**Ключевые слова:** *угледобывающее производство, безотходные технологии, переработка угля, термическая переработка, синтез-газ, газификация, технологическая схема.*

**Abstract:**

*It is proposed to use coal processing products (coal sludge, screenings, dust, coke dust and fines) in the process of co-processing with organic waste (excess activated sludge, waste from water treatment plants) to produce gaseous energy carriers. The optimal compositions of solid molded granules subjected to thermochemical processing to produce synthesis gas are determined. The technological design of the scheme for the joint use of coal processing products and organic waste has been developed.*

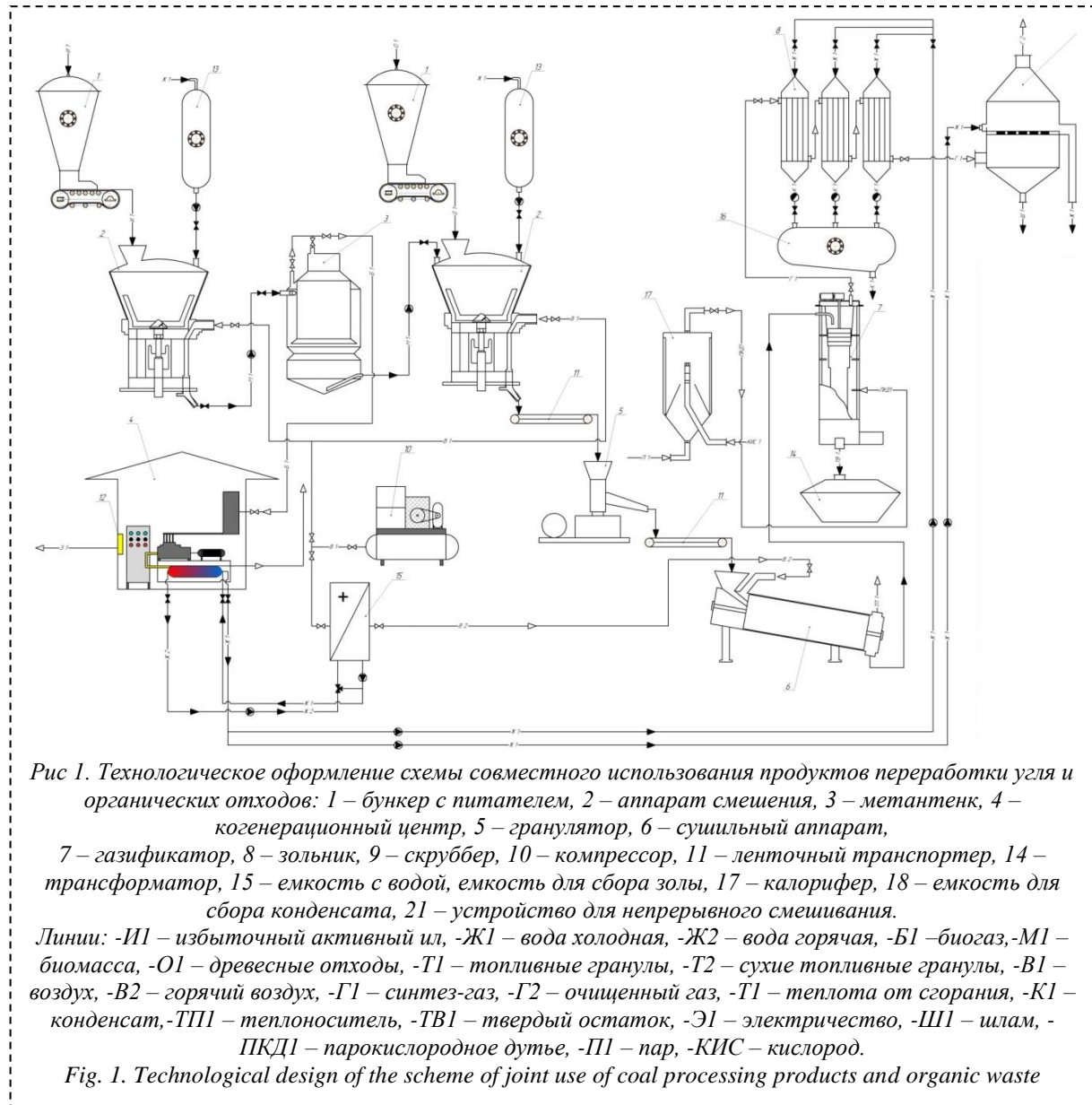
**Key words:** *coal mining, waste-free technologies, coal processing, thermal processing, synthesis gas, gasification, technological scheme.*

На сегодняшний день в сфере добычи и переработки твердых полезных ископаемых сложилась ситуация, когда объемы образования и складирования отходов приближаются к критическим цифрам, оцениваемым в сотни млн тонн [1-6].

При этом при добыче основная масса отходов образуется при транспортировке, обогащении, складировании и переработке угля. Рассматривая

объемы уже накопленных отходов такого типа (отсевы, просыпи, шламы, пыль и т. п.), становится очевидно, что в них содержится значительная органическая масса и энергетический потенциал [7-9].

Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 г. предусматривает увеличение доли угля в топливном балансе страны, что неизбежно повлечет образование новых объемов отходов.



Потому представляется актуальным разработать технологический процесс или их совокупность, объединенные в виде единой технологической схемы, где основной акцент будет сделан на переработке и энергетическом использовании мелкодисперсных фракций углеродсодержащих веществ (коксовая пыль, угольный шлам, отсев и пр.). При этом вовлечение в такую технологию органической биомассы, выступающей в качестве связующего вещества для формирования исходной смеси, позволит эффективно перерабатывать 2 типа отходов в едином технологическом процессе [10-12].

#### Разработка технологического оформления стадий совместной переработки углеродсодержащих отходов.

Исследования, проводимые в данном направлении [13-14], показали, что наиболее

эффективным является использование обезвоженного избыточного активного ила городских станций очистки воды как связующего вещества для соединения мелкодисперсных фракций продуктов добычи и переработки угля. Получаемые топливные гранулы в дальнейшем могут транспортироваться к аппаратам термохимической переработки с получением высококалорийного газообразного энергоносителя [15].

Выделим основные стадии, которые необходимо реализовать для переработки вышеперечисленных отходов, и представим их в виде технологической схемы (рис. 1).

По данной схеме механически обезвоженный избыточный активный ил со склада подается в бункер с питателем 1. С помощью питателя дозируется нужный объем избыточного активного ила (ИАИ). После ленточного питателя ИАИ

Таблица 1. Исходные данные для расчета материальных потоков стадии получения газообразного топлива (синтез-газа)

Table 1. Initial data for calculating material flows at the stage of producing gaseous fuel (synthesis gas)

Наименование показателя	Значение показателя
Производительность установки по синтез-газу, м <sup>3</sup> /ч	60
Степень превращения топлива, %	99,6
Температура синтез-газа на выходе из реактора	850
Равновесный состав синтез-газа для парокислородного дутья, % объем:	H <sub>2</sub> – 31,1 CO – 68,9

поступает в аппарат смешения 2, также из резервуара 15 подается с помощью дозатора вода. Для достижения оптимальной влажности смеси, дозирование осуществляется автоматически, полученную смешанную массу героторным насосом 12 подают в метантенк 3. В данном метантенке осуществляют процесс сбраживания при периодическом перемешивании. Эффективность анаэробной переработки определяется температурой сбраживания смеси, причем на этот параметр значительно влияет температура окружающей среды. Поэтому метантенки оборудованы негорючим, пожаробезопасным теплоизоляционным материалом. Оптимальная температура смеси в аппарате составляет 40 °С. Выбор режима обусловлен экономическими затратами на подогрев метантенка и поддержание в нем постоянной и оптимальной температуры, измеряемой термопарами; давление контролируют манометрами.

После сбраживания полученный биогаз поступает в когенерационный центр 4, для снабжения технологического оборудования и обогрева помещений.

Сброженный остаток поступает в аппарат смешения 2, также в данный аппарат подают древесные отходы из бункера с ленточным питателем 1, а из емкости 15 подается вода для создания необходимой влажности полученной смеси. Далее полученную смесь с помощью ленточного транспортера 11 отправляют в барабанный гранулятор 5.

После формирования полученные топливные гранулы поступают в сушильный аппарат, где высушиваются при температуре 105 °С в течение 1,5-2 ч. до достижения постоянной массы. Подача горячего теплоносителя для сушки в аппарат производится при помощи воздушного компрессора 10. Воздух из компрессора поступает в калорифер 17, где подогревается за счет теплообмена с водой из когенерационного центра.

Далее высушенные топливные гранулы с помощью ленточного транспортера 11 поступают в приемный бункер для гранул, из которого их направляют в газификатор 7, куда подается парокислородное дутье из ресивера 21. В данном оборудовании происходит смешение пара и

кислорода. Сжатый газ под высоким давлением поступает в ресивер через патрубок, располагаемый в нижней части корпуса. Внутри происходит охлаждение и расширение газа. За счет свободного перемещения газа еще больше понижается его температура – это способствует образованию конденсата и отложению масел на днище или в нижней части. Оставшийся конденсат удаляется через специально предназначенный штуцер, а отложенные масла – через люк в нижней части. Для получения кислорода используются адсорбционные кислородные установки.

Газификатор 7 представляет собой цилиндрическую металлическую емкость с герметично завинчивающейся крышкой, из нижней части газификатора 7 отводится твердый продукт, который хранится в емкости для сбора золы 16, а полученный синтез-газ с температурой 700-750°С поступает на последовательное охлаждение в холодильники, работающие последовательно. В нижней части холодильников смонтирован конденсатоотводчик 19, а конденсат скапливается в емкости для сбора 18.

Охлажденный синтез-газ с температурой 25-30°С поступает на окончательную очистку в скруббер 9. В нижней части скруббера смонтирован штуцер для отвода шлама. После этого очищенный и охлажденный синтез-газ поступает потребителю.

В качестве основного направления использования синтез-газа выделяют сжигание с использованием выделяющейся тепловой энергии для обогрева помещений. При этом в качестве наиболее вероятных потребителей рассматриваются как крупные котельные установки, так и автономные генерирующие установки.

#### Расчет материальных потоков технологического процесса

Для оценки экономической эффективности предлагаемых технологических решений необходимо провести расчеты материальных потоков, взаимодействующих между собой в рамках технологической схемы. Для того воспользуемся методикой расчета материального баланса, отражающего степень проработанности процессов. В качестве исходных данных (табл. 1)

Таблица 2. Результаты расчета материальных потоков стадии получения газообразного топлива (синтез-газа)

Table 2. Results of calculation of material flows at the stage of production of gaseous fuel (synthesis gas)

Вещество	Приход			Расход		
	м <sup>3</sup> /ч	кг/ч	% (об)	м <sup>3</sup> /ч	кг/ч	% (об)
C	-	21,3	-	-	2,1	-
O <sub>2</sub>	11,8	37,7		-	-	-
H <sub>2</sub> O	19,3	61,9	0,9	-	-	-
N <sub>2</sub>	0,1	0,4	70,6	0,1	-	-
H <sub>2</sub>	-	-	-	19,3	-	31,1
CO	-	-	-	42,9	-	68,9

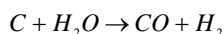
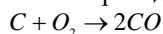
Таблица 3. Расчет материальных потоков стадии формирования топливных гранул

Table 3. The material balance of obtaining fuel pellets stage

Приход		Расход	
Вещество	кг/ч	Вещество	кг/ч
1. Угольные отходы, в т. ч.	19,0	1. Топливные гранулы	21,3
Органическая и минеральная часть	14,3		
Вода	4,7		
2. Активный избыточный ил, в т. ч.	54,5	2. Свободная вода	52,2
Углерод	7,0		
Вода	47,5		
Всего	73,5	Всего	73,5

для проведения материальных расчетов принимаем годовую производительность по целевому продукту – 60 м<sup>3</sup>/ч синтез-газа, а также состав исходных веществ, выход по основной и побочным реакциям – в соответствии с экспериментальными данными, полученными ранее.

Расчет проведем по суммарным уравнениям:



Продукты переработки угля характеризуются мелкодисперсным размером частиц, варьирующемся в широких пределах (от 0 до 5 мм), поэтому стадия укрупнения гранулометрического состава сырья, подвергаемого газификации, является необходимой.

Лабораторными исследованиями, проведенными в данном направлении [13-15], установлено, что для получения топливных гранул, подвергаемых газификации, необходимо смешение продуктов переработки угля с заданной пропорции с органическими отходами (например, избыточный

активный ил). Для проведения расчетов материальных потоков мольное соотношение по углероду компонентов в смеси примем равным 2:1. Учитывая рабочую влажность сырья, подвергаемого смешению, получим следующие данные для материальных потоков (табл. 2).

Выводы:

1. Разработано технологическое оформление схемы совместного использования продуктов переработки угля и органических отходов. Внедрение такого рода установок может быть осуществлено на территории существующих предприятий добычи и переработки угля.

2. На основании обозначенных основных технологических стадий проведены расчеты основных технологических материальных потоков.

3. Предложенные решения позволят вовлечь в технологический процесс мелкодисперсные фракции углеродсодержащих веществ (коксовая пыль, угольный шлам, отсев и пр.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харионовский А.А. Экология угольной промышленности: состояние, проблемы, пути решения/ Харионовский А.А., Калушев А.Н., Васева В.Н, Симанова Е.И. // Вестник научного центра по безопасности

работ в угольной промышленности. – 2018. – № 2. – С. 70-81.

2. 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].

3. Терентьев Б.Д. Пути решения проблемы отходов при подземной разработке углей. – Режим доступа: [http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/Terentyev\\_2012\\_1.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/Terentyev_2012_1.pdf) [21.11.2019].

4. Корчагина Т.В. Состояние окружающей среды в регионах размещения горного производства/ Корчагина Т.В., Стась Г.В., Прохоров Д.О., Коряков А.Е. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-okruzhayushey-sredy-v-regionah-razmescheniya-gornogo-proizvodstva> [18.12.2019].

5. Рыбак Л.В. Анализ использования природно-техногенного потенциала угледобывающих предприятий России. – Режим доступа: [http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/2/Rybak\\_2\\_2012.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/2/Rybak_2_2012.pdf) [16.01.2019].

6. Харионовский, А.А. Современное экологическое состояние Кузбасса // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – № 3. – С. 34-38.

7. 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.

8. Козлов, В.А. Сжигание высокозольных шламов как путь к безотходной технологии обогащения углей / В.А. Козлов, В. Гарбер // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 140-145.

9. 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].

10. 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., Темлянец М.В. – Режим доступа:

<https://www.sibsiu.ru/downloads/public/vestniksibgiu/vestnik5.pdf> [07.10.2019].

11. Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-i-problem-pererabotki-tehnogennyh-otkhodov-v-rossii> [19.01.2020].

12. Ефимов В.И. К вопросу минимизации негативного воздействия горного производства на окружающую среду/ Ефимов В.И., Минибаев Р.Р., Корчагина Т.В., Новикова Я.А. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-minimizatsii-negativnogo-vozdeystviya-gornogo-proizvodstva-na-okruzhayuschuyu-sredu> [19.01.2020].

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. 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.

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].

## REFERENCES

1. Kharionovskiy A.A., Kalushev A.N., Vaseva V.N., Simanova E.I. Ekologiya ugol'noy promyshlennosti: sostoyanie, problemy, puti resheniya [Ecology of the coal industry: state, problems, solutions] Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti [Bulletin of the scientific center for work safety in the coal industry]. 2018. No 2. P. 70-81. (rus).

2. Kharionovskiy A.A., Kharionovskiy A.A., Litvinov A.R., Danilova M.Yu., Makhmud T. Otsenka vliyaniya na okruzhayushchuyu sredu 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].

3. Terent'ev B.D. Puti resheniya problemy otkhodov pri podzemnoy razrabotke ugley [Ways to solve the problem of waste in underground mining of coal mines]. Access mode:

[http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/Terentyev\\_2012\\_1.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/Terentyev_2012_1.pdf) [21.11.2019].

5. Korchagina T.V., Stas' G.V., Prokhorov D.O., Koryakov A.E. Sostoyanie okruzhayushchey sredy v regionakh razmeshcheniya gornogo proizvodstva [Ways to solve the problem of waste in underground mining of

coal mines] Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-okruzhayuschey-sredy-v-regionah-razmescheniya-gornogo-proizvodstva> [18.12.2019].

6. Rybak L.V. Analiz ispol'zovaniya prirodno-tekhnogenogo potentsiala ugledo-byvayushchikh predpriyatii Rossii [Analysis of the use of natural and man-made potential of coal-producing enterprises in Russia]. Access mode: [http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/2/Rybak\\_2\\_2012.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2012/2/Rybak_2_2012.pdf) [16.01.2019].

7. Kharionovskiy, A.A. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie Kuzbassa [Modern ecological state of Kuzbass]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti [Bulletin of the scientific center for work safety in the coal industry]. 2018. No 3. P. 34-38. (rus).

8. Efimov V.I., Sidorov R.V., Korchagina T.V. K voprosu obrazovaniya otkhodov proizvodstva ot predpriyatii ugol'noy otrasli Kuzbassa [On the issue of production waste generation from the enterprises of the Kuzbass coal industry] / Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Gorny information and analytical Bulletin]. 2017. No 1. P. 85-96. (rus)/

9. Kozlov V.A., Garber V. Szhiganie vysokozol'nykh shlamov kak put' k bezotkhodnoy tekhnologii obogashcheniya ugley. Ugol' [Coal]. 2017. No 8. – P. 140-145. (rus).

10. Dmitrieva V.A. K voprosu ob obrazovanii otkhodov ugol'noy promyshlennosti [On the formation of waste from the coal industry]. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-obrazovanii-otkhodov-ugolnoy-promyshlennosti> [18.12.2019].

11. Bagryantsev V.I., Kazimirov S.A., Kutsenko A.I., Podol'skiy A.P., Rybushkin A.A., Temlyantsev M.V. Praktika i perspektivy ispol'zovaniya tverdykh uglerodsoder-zhashchikh otkhodov v kachestve topliva dlya teploenergeticheskikh agregatov [Practice and prospects of using solid carbon-containing waste as fuel for heat power units]. Access mode: <https://www.sibsiu.ru/downloads/public/vestniksibgiu/vestnik5.pdf> [07.10.2019].

12. Volynkina E.P. Analiz sostoyaniya i problem pererabotki tekhnogenykh otkhodov v Rossii [Analysis of the state and problems of processing technogenic waste in Russia]. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-i-problem-pererabotki-tehnogenykh-otkhodov-v-rossii> [19.01.2020].

13. Efimov V.I., Minibaev R.R., Korchagina T.V., Novikova Ya.A. K voprosu minimizatsii negativnogo vozdeystviya gornogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredyu [On the issue of minimizing the negative impact of mining production on the environment]. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-minimizatsii-negativnogo-vozdeystviya-gornogo-proizvodstva-na-okruzhayushchuyu-sredyu> [19.01.2020].

14. Ushakov A.G., Kvashevaya E.A., Ushakova E.S. Carbon-containing waste of coal enterprises in magnetic sorbents technology. Access mode: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101003> [21.01.2020].

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 predpriyatii v promyshlennno razvitykh regionakh Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pod redaktsiei 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).

16. Ushakov A.G., Ushakova E.S., Ushakov G.V. Tverdoe kompozitsionnoe toplivo na osnove otkhodov ugol'nykh predpriyatii 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].

Поступило в редакцию 19.03.2020

Received 19 March 2020