

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-79-86

Коновалов В.М., Мошков И.П., Федоров А.С., Гостев Н.С., Гончаров А.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**E-mail: *konovalov52@mail.ru*

СЖИГАНИЕ RDF-ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИСЛОРОДНОГО ДУТЬЯ

Аннотация. Цементная промышленность располагает уникальными возможностями решения вопросов утилизации техногенного сырья и коммунальных отходов. Проблема использования альтернативных видов топлива в технологическом процессе производства цемента обусловлена, как правило, их низкой калорийностью. Приведенные расчеты показывают возможность использования RDF топлива в составе смешанного топлива при сжигании его в условиях повышенного содержания кислорода в воздухе. Уменьшение объема продуктов горения повышает температуру факела, что будет способствовать увеличению производительности цементной вращающейся печи. При оптимальном соотношении компонентов, смешанное топливо можно использовать как в низко - так и в высокотемпературных зонах цементных печных агрегатов. Существуют ограничения по увеличению концентрации кислорода в воздухе, обусловленные снижением действительной температуры горения топлива вследствие обратных реакций разложения продуктов горения и нарушения скоростных режимов работы суспензионных теплообменников. Кроме того, увеличение кислорода в воздухе значительно снижает тепловую эффективность клинкерного холодильника в результате увеличения объемов избыточного воздуха. Использование RDF топлива в оптимальном соотношении позволяет заменить до 42 % природного газа.

Ключевые слова: RDF топливо, кислород, температура горения, объем продуктов сгорания, расход газа.

Введение. В современном развивающемся мире уделяется значительное внимание решению задачи снижения экологической нагрузки на окружающую среду. В том числе и за счет глубокой переработки производственных отходов и вовлечения их в производственный процесс с технологиями рециклинга [1–5]. Все большую актуальность приобретает замена части основного топлива на альтернативное, производимое в процессе переработки твердых коммунальных отходов. Твердые коммунальные отходы (ТКО), это возобновляемый источник энергии, который при определенной обработке и сортировке, позволяет использовать свою химическую энергию в энергетических и иных целях, без существен-

ных ограничений. Примером такого обработанного топлива на основе ТКО является Refuse Derived Fuel или RDF – топливо [6].

Основная часть. RDF - топливо, производится за счет измельчения, сепарации и обезвоживания ТКО. В стадии сепарации отходов, отбирается горючая фракция с высоким теплосодержанием. В зависимости от требований заводов, RDF – топливо может быть получено в виде спрессованных брикетов или пеллет [7, 8].

Основным показателем качества RDF-топлива является его теплота сгорания, которая зависит от содержания горючих веществ. По имеющемуся химическому составу RDF-топлива (табл. 1), рассчитана теплотворная способность равная 18383 кДж/кг.

Таблица 1

Элементный состав топлива

Состав природного газа, %							
CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	W
96,42	1,64	0,399	0,132	0,0278	0,183	1,17	0,3
Состав RDF, %							
Cp	Hp	Sp	Np	Op	Wp	Ap	Σ
43,19	6,14	0,19	0	20,47	15	15	99,99

Низкая калорийность и достаточно грубые фракции не позволяют в значительном количестве использовать такое топливо в основной форсунке, обеспечивающей высокую температуру в

зоне спекания клинкера. Поднять эксергетические показатели такого топлива, возможно за счет интенсификации его сжигания в среде обогащенной кислородом [9].

Перспективным направлением увеличения доли кислорода в воздухе служат мембранные установки. Мембранный метод основан на том, что мембрана выборочно пропускает через себя различные газы. Разделение газов на мембране достигается таким образом, что при повышенном давлении, находясь в составе воздуха, они разделяются на «быстрые» и «медленные». На поверхности и внутри мембраны создается разница в парциальных давлениях, кислород как быстрый газ успевает пройти сквозь волокно мембраны, а азот как медленный газ, накапливается и выводится отдельно, при этом движущей силой процесса является разность химических потенциалов веществ по обе стороны мембраны. Полимерная мембрана состоит из пористого волокна, с внешней стороны покрытого специальным газоразделительным слоем, толщина которого не превышает 0.1 мкм, благодаря чему обеспечивается высокая удельная проницаемость газов через полимерную мембрану. На данный момент полимерные вещества обладают высокой селективностью, что позволяет получать продуцируемый

газ с высокой степенью очистки (до 45 %) [10–12].

В настоящей работе проведены расчеты горения газообразного и RDF топлива с увеличенным содержанием кислорода в воздухе выше 21 %, которые показывают, что температура горения возрастает, за счет снижения азота в продуктах сгорания, но одновременно ускоряются обратные процессы диссоциации: $\text{CO}_2 = \text{CO} + 1/2\text{O}_2$; $\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$, снижающие температуру горения [13, 14]. В таблице 2 приведены расчетные температуры горения с учетом диссоциации CO_2 и H_2O в зависимости от содержания кислорода в воздухе (добавка кислорода 1–10 %). Увеличение доли кислорода в воздухе более 6 % ведет к увеличению концентрации CO_2 и паров воды в продуктах горения топлива и значительному ускорению эндотермических процессов их диссоциации с большими затратами тепла. В тоже время увеличение концентрации кислорода в воздухе 1–6 %, выравнивает температуры горения альтернативного топлива и природного газа и (табл. 2).

Таблица 2

Расчетная температура горения газа в зависимости от содержания кислорода в воздухе

Калорийность топлива, $\text{O}_2=21\%$	Содержание кислорода в воздухе, %	Температура горения, теоретическая $t_{\text{теор}}, ^\circ\text{C}$		Температура горения действительная $t_{\text{расч.}}, ^\circ\text{C}$	
		Газа $\alpha=1.1$	RDF $\alpha=1.14$	Газа $\alpha=1.1$	RDF $\alpha=1.14$
Газа $Q_p^H=36140$ RDF $Q_p^H=18380$	21	1855	1745	1804	1700
	22	1925	1763	1840	1747
	24	2048	1795	1896	1779
	27	2229	1844	1956	1870
	31	2348	1881	1943	1840

Применительно к цементной вращающейся печи производительностью 3000 т клинкера в сутки, работающей по сухому способу на природном газе, изменение содержания кислорода в

составе воздуха на горение, оказывает значительное влияние на количество избыточного воздуха из клинкерного холодильника, что снижает его тепловой к.п.д. (табл. 3).

Таблица 3

Объемы воздуха, отходящих газов и к.п.д. холодильника при различном содержании кислорода в воздухе (топливо газ-100 %)

Содержание O_2 в воздухе, %	Воздух на горение, $\text{м}^3/\text{кг}$ кл.	К.П.Д. холодильника, %	Потери тепла с избыточным воздухом, $\text{кДж}/\text{кг}$ кл.	Температура вторичного воздуха, $^\circ\text{C}$
21	0,972	60	422	660
22	0,941	58	438	670
24	0,847	56	470	709
27	0,752	53	508	756
31	0,653	50	547	820

обогащение воздуха кислородом снижает объем продуктов горения и, соответственно, всех

отходящих газов. Это может повлиять на пропорциональное снижение скорости газовых потоков по газодамам запечного тракта. Рекомендуемые

скорости по газходам 18–24 м/с, а снижение их на 10 % (то есть до 16,2–18 м/с), может привести к «провалам» материала.

Расчетная температура факела возрастает на 36 и 92 °С при обогащении воздуха кислородом от 1 до 3 %, соответственно. Температура определяет скорость химического взаимодействия и синтез минералов в зоне обжига. В первом приближении можно воспользоваться формулой Арениуса:

$$K_{c3s} = K_0 \cdot e^{-E/RT},$$

где K_{c3s} – коэффициент скорости химической реакции; E – энергия активации процесса; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура.

С повышением температуры в зоне уменьшается время пребывания материала в зоне ($E/R \approx 2300$) [15]:

$$1. e^{2300/T_1} / e^{2300/T_2} = 1,02$$

где $T_1 = 2077$ К;

$$2. e^{2300/T_1} / e^{2300/T_3} = 1,048$$

$$T_2 = 2113 \text{ и } T_3 = 2169 \text{ К.}$$

Уменьшение продолжительности обжига в 1,02 и 1,048 раза, позволит увеличить производительность на 2,6 т/ч и 6,2 т/ч соответственно.

Повышение температуры открытого факела может отрицательно повлиять на длительность эксплуатации футеровки. Но, существуют приемы, позволяющие снизить это влияние – скажем изменением положения горелки.

Таблица 4

Объемы кислорода, необходимые для достижения заданных концентраций его в воздухе для горения топлива

Содержание O ₂ в воздухе, %	Дополнительный объем O ₂ , (м ³ /м ³ газа)	Дополнительный объем O ₂ , м ³ /ч (расход газа 13000 м ³ /ч)
22	0,101	1301
24	0,277	3600
27	0,497	6460
31	0,716	9308

В таблице 4 приведены результаты расчетов потребности в дополнительном количестве кислорода для указанной выше печи, работающей на природном газе.

Таблица 5

Объемы продуктов горения топлива: RDF-100% и газа-100%

Вид топлива	Объем газов при содержании O ₂ в воздухе, %									
	21		22		24		27		31	
	RDF	Газ	RDF	Газ	RDF	Газ	RDF	Газ	RDF	Газ
Кг/нм ³	9,05	14,55	8,71	13,94	8,049	12,89	7,24	11,54	6,62	10,23
нм ³ /нм ³	6,97	11,81	6,57	11,32	6,16	10,47	5,66	9,39	5,15	8,33

Если обогащенный кислородом воздух подавать в кальцинатор, где преимущественно «беспламенное» горение, то это должно интенсифицировать процесс теплообмена, и способствовать сжиганию альтернативного топлива в этом агрегате. Подача альтернативного топлива с горячего конца печи определяется его калорийностью (но не ниже 16 800 кДж/кг), и в этом случае кислородное дутье несомненно улучшит процесс его сжигания.

В случае использования альтернативного топлива, количество отходящих газов при горении топлива заметно меняется. В таблице 5 приведены суммарные объемы продуктов горения

при RDF – 100 % и газа – 100 %, при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,15$.

Приведенные расчеты показывают, что количество продуктов горения при сжигании RDF на 40 % меньше чем при сжигании газа. Однако, учитывая, что калорийность RDF = 18383 кДж/кг, то такого топлива потребуется больше на получение 1 кг клинкера, чем газа. Из материальных балансов работы вращающейся печи сухого способа производства, рассчитанных при различных концентрациях кислорода в воздухе установлено, что различие в объемах, отходящих после декарбонизатора газов не

значительно и даже при использовании RDF несколько больше, чем на газообразном топливе. Это дает основание считать, что замена части природного газа на альтернативное топливо не изменит скоростные потоки в системе запечных теплообменников, при соблюдении температурного режима их работы. Следует учитывать то, что расчетная температура горения альтернативного топлива при нормальном содержании кислорода в воздухе – 21 % составляет 1700 °С, а для газа 1745 °С. С увеличением доли кислорода в воздухе до 24 % разница температур горения практически выравнивается, а при содержании 10 % избытка кислорода (то есть 31 % в воздухе) разница температур горения рассматриваемых топлив вновь увеличивается.

Задаваясь расчетным значением расхода тепла на обжиг клинкера -3370 кДж/кг кл. на основании тепловых балансов можно рассчитать расход альтернативного топлива и его оптимальное соотношение. Следует оптимальным считать замену натурального топлива на RDF в количестве до 48 % в кг условного топлива. К тому же, использование RDF создает щадящие температурные условия для футеровки.

В таблице 6 приведены расчетные данные по объему отходящих газов, а также температура горения смешанного топлива, состоящего (по соотношению теплоты) из 42 % RDF и 58 % природного газа.

Таблица 6

**Объем продуктов горения и температура горения смеси (RDF+газ)
при их оптимальном соотношении при $\alpha=1,15$**

Продукты горения	Объем газов, м ³ /кг кл., при содержание O ₂ в воздухе, %				
	21	22	24	27	31
CO ₂	0,1169	0,1168	0,1168	0,1168	0,1168
HO ₂	0,1959	0,1948	0,1932	0,1912	0,1892
O ₂	0,0280	0,029	0,0280	0,0248	0,0217
N ₂	0,8612	0,8111	0,7253	0,6325	0,5514
SO ₂	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Σ продуктов горения	1,2021	1,1517	1,0634	0,9654	0,8792
t горения средняя	1787	1795	1834	1862	1896

Принимая во внимание заданную производительность печи (130 т/ч), размеры газоходов между ступенями и температурные параметры отходящих газов можно рассчитать скоростные потоки газов (см. таб. 7).

Из приведенных значений следует, что с увеличением доли O₂ в воздухе на 1-3-6 и 10 % при

работе на газе скорость по газоходам снижается на 3-10-16 и 23,5 % соответственно с 13–20 м/с до 9–15,3 м/с при 10 % избытке O₂, что может привести к «провалам» материала. Минимальная скорость для пневмотранспортирования сырья (размер частицы – 200 мкм и 2 мм) должна быть не ниже 7,5 и 15 м/с соответственно.

Таблица 7

**Скорость газовых потоков в запечных газоходах при использовании
смеси (RDF+газ), при $\alpha=1,15$**

Положение газохода	Диа-метр газо-хода, мм	Площадь газо-хода, м ²	Темпе-ратура газов, °С	Содержание кислорода в воздухе, %				
				21	22	24	27	31
				Скорость газовых потоков, м/с				
Выход из циклонов 5,1 и 5,2	3040	7,25	350	16,6	16,4	15,3	14,2	13,3
Газоходы: между 4 – 5	3322	8,66	355	14,1	13,9	13,0	12,6	11,3
между 3 – 4	3272	8,40	525	18,5	18,2	17,1	15,9	14,8
между 2 – 3	3462	9,41	790	22,0	21,6	20,3	18,8	17,6
между 1 – 2	3662	10,52	770	19,3	19,0	17,2	16,5	15,4
Декарбонизатор – 1 циклон	3632	10,36	865	21,4	21,0	19,8	18,3	17,0

В случае использования смеси топлива с приведенным в таблице 7 соотношением при использовании атмосферного воздуха, объем газов и скорость, повышается почти на 10 % по сравнению с газообразным топливом, что по скоростям находится в допустимых значениях. При увеличении доли кислорода на 3 %, количество газов при работе на смешанном топливе приближается к объемам газов на газообразном топливе (см. табл. 6), что будет соответствовать существующему режиму работы печи. Повышение доли кислорода более 3 % нецелесообразно и с точки зрения сохранения скорости газовых потоков.

Использование альтернативного топлива позволит заменить часть природного ископаемого топлива при сохранении основных теплотехнических показателей работы печного агрегата (таблица 8).

А повышение кислорода в воздухе несомненно интенсифицирует процесс окисления органического топлива, что повысит и температуру горения и улучшит условия теплообмена. Поскольку основным фактором, определяющим скорость химической реакции, в том числе и реакции клинкерообразования, является температура, то использование кислородного дутья должно улучшить основные показатели работающей печи, в частности производительность.

Таблица 8

Основные показатели расхода топлива при использовании RDF

Наименование	Подача RDF		Подача газа		Итого
	Главная горелка	Кальци-натор	Главная горелка	Кальци-натор	
Ввода топлива, %	40	60	38	62	
Расход газа, м ³ /ч			5 000	8 050	13050
Планируемый ввод RDF, кг/ч	4297	6446			10743
Расход топлива, (кг/ч), м ³ /ч	(10743)		13050		
Количество теплоты, ГДж/ч	184		438,1		
Без ввода RDF					
Расход условного топлива, кг.усл.т./ч	0	0	5 729	9 223	14952
С вводом RDF					
Расход топлива, тыс.(кг/ч), м ³ /ч	(4,3)	(6,5)	2,9	4,7	
Общий расход топлив, (кг/ч), м ³ /ч, [кг усл.т./ч]	(10743)		7570		[14952]
Количество теплоты, ГДж/ч	184		254,1		438,1
Расход условного топлива:					
- кг усл.т./ч	17,5	25,2	14,7	42,6	100
- %	42,7		57,3		100
Снижение объема подачи газа от существующего, %.	42				

Вывод. Сжигание RDF-топлива как альтернативного источника энергии в среде с повышенным содержанием кислорода в количестве 24 %, позволит снизить расход природного газа на 42 %, что обеспечит значительную экономию в статье расходов на топливо, при условии, разумеется, что RDF обойдется дешевле газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушихин В.В., Полозев Г.М., Кайгородов О.Н., Федосеев О.Е. Традиционные энергоносители и альтернативное топливо // Цемент. 2013. № 1. С. 80–84.
2. Айхас К., Виноградов К.А., Корнеев В.В. Предварительное технико-экономическое обоснование организации комплексного предприятия

по подготовке отходов к захоронению в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. № 1. С. 34–38.

3. Шубин В.И. Использование техногенных материалов, в том числе горючих отходов, в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. № 1. С. 3–8.

4. Классен В.К., Мирошникова О.В. Зависимость активности цементного клинкера от ввода нефтяного кокса в сырьевой шлам // Техника и технология силикатов. 2017. № 4. С. 2–6.

5. Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование различных горючих отходов в производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7 С.71-76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623

6. Пронина О.С. Общие положения. Предпосылки использования ТБО в качестве топлива

// Новости теплоснабжения. 2008. № 2 (90). [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2061 (дата обращения: 06.09.2021)

7. Зинченко М.Г., Шапоров В.П. Технология переработки твердых бытовых отходов и осадков сточных вод в органоминеральные удобрения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 149–152.

8. Актанбаева А.А. Брикетирование ТБО и их применение [Электронный ресурс]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35351> (дата обращения: 10.09.2021)

9. Гердас М., Чегно Р., Курунов И. Ф., Лингарди О., Рикеттс Д. Современный доменный процесс. Введение. М.: Металлургиздат, 2016. 280 с.

10. Дытнерский Ю. И., Брыков В.П., Каграманов Г.Г. Мембранное разделение газов. М.: Химия, 1991. 341 с.

11. Мирошниченко Ю.В., Еникеева Р.А., Кассу Е.М. Характеристика методов получения

медицинского кислорода и перспективы их использования в военном здравоохранении // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2016. № 2(54) С. 157–163.

12. Отчет о НИР № 4400/301121 «Исследование способов построения системы одновременного получения кислорода и азота из атмосферного воздуха с использованием криогенной и мембранной технологии» (шифр «Мочес»): Под ред. д.т.н. Баркова Б.В., ответственный кандидат испанских наук. Моргун М. А. М.: ВАТУ, 2001.

13. Дубовкин Н.Ф. Справочник по углеводородным топливам и продуктам их сгорания. М.-Л., Госэнергоиздат, 1962. 288 с.

14. Казанцев Э.И. Промышленные печи. М., Металлургия., 1975. 367 с.

15. Вальберг Г.С., Глозман А.А., Швыдкий М.Я. Новые методы теплового расчета и испытаний вращающихся печей. М.: Стройиздат, 1973, 111 с.

Информация об авторах

Коновалов Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: konovalov52@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мошков Иван Петрович, магистрант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: konovalov52@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Федоров Александр Сергеевич, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: konovalov52@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гостев Николай Сергеевич, бакалавр кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: konovalov52@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гончаров Александр Анатольевич, заведующий лабораторией кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: konovalov52@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2022 г.

© Коновалов В.М., Мошков И.П., Федоров А.С., Гостев Н.С., Гончаров А.А., 2022

***Konovalov V.M., Moshkov I.P., Fedorov A.S., Gostev N.S., Goncharov A.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: konovalov52@mail.ru*

COMBUSTION OF RDF FUEL USING OXYGEN BLAST

Abstract. *The cement industry has unique opportunities to address the issues of utilization of manmade raw materials and municipal waste. The problem of using alternative fuels in the technological process of cement production is usually due to their low calorie content. The above calculations show the possibility of using RDF fuel as part of a mixed fuel when it is burned under conditions of an increased oxygen content in the air. Reducing the volume of combustion products increases the temperature of the torch, which increases*

the productivity of the cement rotary kiln, mixed fuel can be used in both low – and high-temperature zones of cement kiln units with an optimal ratio of components. There are restrictions on increasing the concentration of oxygen in the air, due to a decrease in the actual combustion temperature of the fuel due to the reverse reactions of the decomposition of combustion products and violations of the high-speed modes of operation of suspension heat exchangers. In addition, an increase in oxygen in the air significantly reduces the thermal efficiency of the clinker cooler as a result of the increase in excess air volumes. The use of RDF fuel in the optimal ratio allows replacing up to 42 % of natural gas.

Keywords: RDF fuel, oxygen, combustion temperature, volume of combustion products, gas consumption.

REFERENCES

1. Bushikhin V.V., Polozev G.M., Kaigorodov O.N., Fedoseev O.E. Traditional energy carriers and alternative fuel [Tradicionnye energonositeli i al'ternativnoe toplivo]. Cement. 2013. No. 1. Pp. 80–84. (rus)
2. Aikhas K., Vinogradov K.A., Korneev V.V. Preliminary feasibility study on the organization of an integrated enterprise for the preparation of waste for disposal in the production of cement [Predvaritel'noe tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie organizatsii kompleksnogo predpriyatiya po podgotovke othodov k zahoroneniyu v proizvodstve cementa]. Cement Inform. 2014. No. 1. Pp. 34–38. (rus)
3. Shubin V.I. The use of man-made materials, including combustible waste in the production of cement [Ispol'zovanie tekhnogennykh materialov, v tom chisle goryuchih othodov, v proizvodstve cementa]. Cement Inform. 2014. No. 1. Pp. 3–8.
4. Klassen V.K., Miroshnikova O.V. Dependence of the activity of cement clinker on the input of petroleum coke into the raw sludge [Zavisimost' aktivnosti cementnogo klinkera ot vvoda neftyanogo koksa v syr'evoy shlam]. Technique and technology of silicates. 2017. No. 4. Pp. 2–6. (rus)
5. Miroshnikova O.V., Borisov I.N., The use of various combustible wastes in the production of cement [Ispol'zovanie razlichnykh goryuchih othodov v proizvodstve cementa]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No.7. Pp. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623(rus)
6. Pronina O.S. General provisions. Prerequisites for the use of MSW as a fuel, Heat Supply News 2008. No. 2 (90). URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2061 (date of treatment: 09.06.2021)
7. Zinchenko M.G., Shaporev V.P., Technology of processing solid household waste and sewage sludge into organo-mineral fertilizers [Tekhnologiya pererabotki tverdykh bytovykh othodov i osadkov stochnykh vod v organomineral'nye udobreniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 3. Pp. 149–152. (rus)
8. Aktanbayeva A.A. Briquetting of MSW and their application URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35351> (date of treatment: 10.09.2021)
9. Geerdas M., Chegno R., Kurunov I.F., Lingardi O., Ricketts D. Modern domain process. Introduction [Sovremennyj domennyj process]. M.: Metallurgizdat, 2016. 280 p. (rus)
10. Dytnerky Yu.I., Brykov V.P., Kagramanov G.G. Membrane separation of gases [Membrannoe razdelenie gazov]. M.: Chemistry, 1991. 341p.
11. Miroshnichenko Yu.V., Enikeeva R.A., Kassu E.M. Characteristics of methods for obtaining medical oxygen and the prospects for their use in military healthcare [Harakteristika metodov polucheniya medicinskogo kisloroda i perspektivy ih ispol'zovaniya v voennom zdrazvoohranenii]. Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2016. No. 2(54). Pp. 157–163. (rus)
12. Research report No. 4400/301121 «Investigation of ways to build a system for the simultaneous production of oxygen and nitrogen from atmospheric air using cryogenic and membrane technology» [Otchet o NIR № 4400/301121 «Issledovanie sposobov postroeniya sistemy odnovremennogo polucheniya kisloroda i azota iz atmosfernogo vozduha s ispol'zovaniem kriogennoj i membrannoj tekhnologii»]. (Code “Moches”): Ed. d.t.s. Barkova B. V., responsible Spanish Ph.D. Morgun M. A. M.: VATU, 2001. (rus)
13. Dubovkin N.F. Handbook of hydrocarbon fuels and their combustion products [Spravochnik po uglevodorodnym toplivam i produktam ih sgoraniya]. M.-L., Gosenergoizdat, 1962. 288 p. (rus)
14. Kazantsev E.I. Industrial furnaces [Promyshlennye pechi]. M.: Metallurgy., 1975. 367 p. (rus)
15. Valberg G.S., Glozman A.A., Shvydkiy M.Ya. New methods of thermal calculation and testing of rotary kilns [Novye metody teplovogo rascheta i ispytaniy vrashchayushchih pechej]. M.: Stroyizdat, 1973, 111p. (rus)

Information about the authors

Konovalov, Vladimir M. Candidate of Technical Sciences, Associate. E-mail: konovalov52@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Moshkov, Ivan P. Undergraduate. E-mail: konovalov52@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Fedorov, Aleksand S. Post-graduate student. E-mail: konovalov52@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Gostev, Nikolai S. Bachelor of the Department of Technology of Cement and Composite Materials. E-mail: konovalov52@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Goncharov, Alexander A. Head of the Laboratory. E-mail: konovalov52@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 01.06.2022

Для цитирования:

Коновалов В.М., Мошков И.П., Федоров А.С., Гостев Н.С., Гончаров А.А. Сжигание RDF-топлива с использованием кислородного дутья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 79–86. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-79-86

For citation:

Konovalov V.M., Moshkov I.P., Fedorov A.S., Gostev N.S., Goncharov A.A. Combustion of rdf fuel using oxygen blast. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 10. Pp. 79–86. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-79-86