DOI 10.15593/2409-5125/2018.02.04

УДК 666.94 + 504.05

И.М. Бернадинер, Е.Ю. АлександроваНациональный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RDF И ОТРАБОТАВШИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК В ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧИ

Проблема загрязнения окружающей среды разнообразными веществами в настоящее время приобретает глобальный характер. На сегодняшний день одной из основных задач, актуальных во всем мире, является переработка и утилизация коммунальных и промышленных отходов. Накопление и несвоевременный вывоз отходов создают экологическую опасность для населения из-за содержания в них большого количества органических веществ, которые при разложении образуют вредные химические соединения.

Мировой опыт показывает, что цементная промышленность является уникальным и эффективным утилизатором широчайшего спектра техногенных отходов: металлургических шлаков, золы ТЭЦ, осадков очистных сооружений, отходов переработки сельхозпродукции, нефти, газа, отходов деревообработки, целлюлозно-бумажной промышленности и бытового мусора. Практически все действующие сегодня цементные предприятия России испытывают трудности из-за постоянно растущих цен на энергоносители. Одним из мероприятий, позволяющих снизить затраты на энергоносители, может стать частичная замена традиционного топлива альтернативным.

Исследована проблема утилизации отработавших автомобильных покрышек и способ решения этой проблемы путем использования автопокрышек в составе топлива для цементных печей. Рассмотрено использование RDF (Refuse Derived Fuel) в качестве части органического топлива. Проведен расчет материальных балансов горения топлива и тепловых балансов вращающейся печи для производства цемента.

Ключевые слова: утилизация покрышек, цементная печь, топливо RDF, высокотемпературное обезвреживание, альтернативное топливо.

В эксплуатируемых в настоящее время мусоросжигательных печах температура сжигания отходов составляет не более 850–950 °С. После сжигания отходов остаются зола и шлак, требующие специального дополнительного обезвреживания. В связи с ужесточением нормативных показателей, связанных с выбросами, в настоящее время обсуждается вопрос о необходимости увеличения температуры процесса термического обез-

Бернадинер И.М., Александрова Е.Ю. Использование RDF и отработавших автомобильных покрышек в цементной печи // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2. – С. 47–57. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.04

Bernadiner I.M., Aleksandrova E.Y. Use of and waste automobile tires in a cement kiln. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 2. Pp. 47-57. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.04

вреживания. В связи с этим альтернативным способом термической утилизации отходов становится обезвреживание промышленных и коммунальных отходов в цементных печах, использование которых дает массу преимуществ [1]:

- высокая температура материала (до 1450 °С) и газовой среды (до 2000 °С);
- время пребывания газов в горячей зоне при температуре выше 1200 °С составляет не менее 7 секунд;
- присутствующие в отходах тяжелые металлы нейтрализуются, так как в процессе получения клинкера участвует большое количество извести;
- процесс производства клинкера в печи в большинстве случаев является безотходным, так как вся уловленная пыль из цементной печи возвращается в технологический процесс.

Следует отметить, что сегодня в европейских странах существуют предприятия, на которых использование альтернативных видов топлива достигает 100 % от общего потребления топлива. При этом природный газ используется только как резервное топливо или как вспомогательное – для поддержания горения трудно сгораемого топлива, углеродсодержащих отходов и розжига [2].

Расположение цементных заводов на территории РФ представлено на рис. 1. Общее количество заводов – более 50.

Большинство заводов находится в европейской части России и Западной Сибири. Это объясняется тем, что с целью уменьшения расходов на подвоз компонентов цементные заводы обычно строят возле месторождений основных сырьевых материалов, а также вблизи районов жилищного и промышленного строительства.

Затраты на энергоносители на цементных предприятиях в Российской Федерации составляют 50–57 % от себестоимости конечного продукта [3]. Их можно снизить путем частичной замены традиционного топлива альтернативным. Речь идет о замене части органического топлива на вторичное топливо, производимое в процессе переработки и обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО). Такое топливо получило название «топливо, полученное из отходов» или Refuse Derived Fuel (RDF) [4]. Для производства RDF используются следующие фракции ТКО: бумага, текстиль, древесина, пластмасса. Основным достоинством RDF следует считать возможность хранения в течение определенного времени.

На рис. 2 представлена технологическая схема производства топлива RDF.

Рис. 1. Карта расположения цементных заводов на территории РФ

Рис. 2. Технологическая схема производства альтернативного твердого топлива RDF: 1 – сбор, транспортировка к месту переработки и хранение ТКО; 2 – предварительное измельчение материала до размера 100–150 мм; 3 – сепарация (1-й этап). Отделение от массы ТКО непригодных (недопустимых) для сжигания включений (металлы, стекло, песок, камень, хлорсодержащие вещества, керамика). Применение магнитных, баллистических и пневматических сепараторов; 4 – измельчение материала до размера 20–50 мм; 5 – сепарация (2-й этап). Процесс сепарации высокой степени с применением оптических сепараторов; 6 – сушка топлива под высокой температурой (250–500 °C); 7 – добавление искусственных компонентов, повышающих калорийность или связность элементов топлива (если это необходимо); 8 – изготовление брикетов с высокой энергетической теплоотдачей. Применение механического пресса

Главную сложность составляет отсутствие в РФ отдельного сбора ТКО, в то время как во многих развитых странах во дворах стоят контейнеры для разных типов отходов и вероятность попадания в общую массу отходов опасных элементов мала. В нашем случае это влечет за собой необходимость более тщательного подхода к вопросу сепарации.

Внедрение отдельного сбора мусора – сложная проблема из-за отсутствия понимания населением важности и необходимости данного процесса, хотя использование отходов в качестве вторсырья способствует сохранению природных ресурсов и укреплению экологической безопасности окружающей среды. Главное внимание должно уделяться работе с населением, ведь основой для применения отдельного сбора отходов является высокая экологическая культура населения [5].

Нами также была рассмотрена проблема утилизации отработанных автомобильных покрышек и способ ее решения путем использования покрышек в качестве замены части топлива во вращающейся цементной печи [6, 7].

Общемировые запасы изношенных автошин оцениваются примерно в 100 млн т при ежегодном приросте не менее 7 млн т. Годовой объем образования отработанных покрышек в мире, тыс. т: Россия – 1000; США – 4000; Япония – 1126; Китай – 750; Германия – 667; Индия – 506; Швейцария – 487. Из этого количества в мире только 23 % покрышек находит применение (экспорт в другие страны, сжигание с целью получения энергии, механическое размельчение для покрытия дорог и др.). Остальные автопокрышки никак не утилизируются из-за отсутствия рентабельного способа утилизации. Громадное количество не нашедших применения изношенных автомобильных и авиационных покрышек закапывается в землю, скапливается на открытых площадках, занимая огромное пространство, представляет собой опасность для возгорания.

Химический состав, а следовательно, горючие свойства шин отличаются от основных видов топлив, используемых в цементных печах. В табл. 1 приведены данные по типичным составам шин, угля и мазута (состав приведен на рабочую массу отходов (топлива)). Также в табл. 1 представлена низшая теплота сгорания отходов (топлива) на рабочую массу).

Химический состав шин при использовании их в качестве топлива будет влиять:

- на эффективность выгорания покрышек;
- содержание тяжелых металлов в клинкере;
- эмиссию газов и макрочастиц.

Таблица 1

Состав шин, угля и мазута

Тип корда	Влага W^p , %	Зола A^p , %	Углерод C^p , %	Водород H^p , %	Азот N^p , %	Кислород O^p , %	Сера S_{Σ}^p , %	$Q_{н}^p$, МДж/кг
Fibreglass	0,00	11,70	75,80	6,62	0,2	4,39	1,29	32,47
Steel-belted	0,00	25,20 (в т.ч. сталь)	64,39	5,00	0,1	4,40	0,91	26,67
Nylon	0,00	7,20	78,90	6,97	<0,1	5,42	1,51	34,64
Polyester	0,00	6,50	83,50	7,08	<0,1	1,72	1,20	34,28
Kevlar-belted	0,00	2,50	86,55	7,35	<0,1	2,11	1,49	39,20
Уголь Кузнецкий марки Д	12,00	13,20	58,70	4,20	1,90	9,70	0,30	22,84
Мазут малосернистый	3,00	0,05	84,65	11,7	0,30		0,30	40,31

Кроме того, комбинированные цинкосодержащие соединения в шинах могут влиять на качество цемента, в частности, высокое содержание цинка влияет на время затвердевания цемента.

Химический состав шин, используемый в расчете, %: влага W^p – 1,01; зола A^p – 13,73; сера S^p – 1,33; углерод C^p – 69,88; водород H^p – 8,55; кислород O^p – 5,21; азот N^p – 0,29.

Теплота сгорания покрышек $Q_n^p = 32,056$ МДж/кг.

Поскольку содержащиеся в автопокрышках компоненты так или иначе входят в состав цемента, то использование автопокрышек в качестве замены части органического топлива представляется целесообразным.

В настоящее время каждый житель в Российской Федерации выбрасывает ежегодно в среднем 285–290 кг твердых коммунальных отходов [8]. Примерный морфологический состав ТКО по России [9] следующий:

пищевые отходы	41,00 %
бумага	35,00 %
пластмасса	3,00 %
стекло	8,00 %
металл	4,00 %
дерево, кости, резина, текстиль, прочее	9,00 %
итого	100,00 %

В ТКО содержатся компоненты с относительно высокой теплотой сгорания (бумага, картон, дерево, пластики). Их извлечение и последующее использование в качестве топлива позволило бы реализовать энергетический потенциал отходов.

Сжигание RDF с экологической точки зрения приемлемо, так как высокие температуры технологического процесса позволяют минимизировать количество вредных веществ в отходящих газах и обеспечивает химическое связывание в клинкерных минералах токсичных материалов, выделяющихся из отходов в процессе их переработки [10].

Использование сортировки при получении вторичного топлива (RDF) обязательно, поскольку кроме высококалорийных фракций в ТКО содержатся компоненты, применение которых в технологии RDF снижает теплоту сгорания или просто опасно для окружающей среды (стекло, металлы, хлорсодержащие полимеры, органика, компоненты с высоким содержанием влаги) [11].

Химический состав RDF, полученного из ТКО среднего состава по г. Москва (на рабочую массу), %: углерод C^p – 33,875; кислород O^p –

26,258; водород H^p – 4,47; азот N^p – 0,789; сера S^p – 0,313; зола A^p – 12,624; влага W^p – 21,671.

Теплота сгорания RDF $Q_n^p = 12,719$ МДж/кг.

Теплота сгорания (калорийность топлива) в большей степени зависит от содержания в отходах горючих фракций. Средние значения теплоты сгорания топлива RDF лежат в пределах от 12 до 18 МДж/кг.

Существуют методы для увеличения калорийности RDF. В него добавляются искусственные компоненты (некоторые виды пластмассовых изделий), обладающие высокой теплотой сгорания. За счет них характеристики и область применения RDF возрастает. Высокое содержание органических веществ в топливе и его искусственное обогащение приводит к повышению качества RDF и делает его конкурентноспособным с действующими природными видами топлива.

Процесс производства RDF состоит из сепарации, измельчения и обезвоживания мусора. Зачастую применяется прессовка с целью получения пеллетов. В результате этих операций получается горючая фракция размером 20–60 мм (в зависимости от требований предприятий, где будет применяться данный вид топлива).

Большое внимание при производстве и применении топлива RDF стоит уделять экологическому фактору. Должен проводиться серьезный анализ компонентов, входящих в состав топлива и продуктов их горения. В процессе сепарации должны исключаться варианты попадания вредных веществ в топливо. Обязательно осуществление периодического контроля количества вредных выбросов в атмосферу, оно должно соответствовать экологическим нормам, принятым законодательством.

Использование альтернативного топлива RDF в качестве замены ископаемого топлива (угля, нефти, природного газа) позволяет снизить выбросы CO_2 в атмосферу.

Сжигание RDF оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, чем сжигание ТКО, так как оборудование цементных предприятий, в котором технологические процессы проходят при температуре около 1700 °С, обеспечивает снижение до минимума содержания вредных веществ в отходящих газах за счет более высоких температур, чем, например, в топках мусороперерабатывающих заводов или в агрегатах других промышленных производств.

Примером успешного внедрения альтернативного топлива в производство стала цементная компания Cemex, основанная в 1906 г. в Мексике. Использование альтернативных видов топлива данной компанией является самым высоким в мире.

В качестве альтернативного топлива заводы компании Cemex используют шины, бытовые отходы и биомассу, осадки сточных вод и отходы сельского хозяйства. Cemex использовал 25 % альтернативного топлива в производстве цемента в 2011 г., данное достижение позволило компании избежать использования около 2 млн т угля и сократить выбросы углекислого газа на 1,8 млн т [12].

В табл. 2 представлено сравнение выбросов от производства цемента с использованием традиционных видов топлива и выбросов при использовании топлива, содержащего 30 % горючих фракций бытовых отходов [13].

Таблица 2

Сравнение выбросов загрязняющих веществ при традиционном обжиге клинкера с выбросами при использовании альтернативного топлива, изготовленного из бытовых отходов

Загрязняющее вещество	Выбросы, мг/м ³	
	Традиционное топливо	Смесь с 30 % альтернативного топлива (обработанные бытовые отходы)
Пыль	9–10	9–10
NO _x	160	162
SO ₂	76,0	56,36
Cl	1,045	0,762
F	0,057	0,0519
Pb	0,006	0,006
Cd	0,005	0,001
Hg	0,011	0,005
Cr	< 0,001	< 0,001
Zn	< 0,001	< 0,001

Использование предварительно обработанных отходов в качестве альтернативного топлива выгодно как для цементных заводов, которым приносит экономию традиционного энергоресурса, так и для окружающей среды, поскольку ограничивает количество отходов, идущих на захоронение.

Нами были произведены расчеты материальных балансов горения топлива и отходов и тепловых балансов вращающейся печи для производства цемента [14].

По оценкам специалистов, без ущерба для качества клинкера на RDF может быть заменено 35–40 % традиционного топлива, что и было принято в расчете совместного теплового баланса сжигания альтернативного топлива RDF, покрышек и природного газа [15]. На рис. 3 приведена схема вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником при совместном использовании природного газа, покрышек и RDF.

Рис. 3. Схема вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником

В табл. 3 представлен тепловой баланс вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником при совместном использовании природного газа, покрышек и RDF. В таблице приведены результаты расчетов, где доля RDF принимается 40 %, доля природного газа – 30 %, доля покрышек – 30 %. Коэффициент расхода воздуха $\alpha = 1,15$.

Таблица 3

Тепловой баланс вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником при совместном использовании природного газа, покрышек и RDF

Приходные статьи ТБ			Расходные статьи ТБ		
Название статьи	Значение, кВт	%	Название статьи	Значение, кВт	%
Химическая теплота	58400	95,62	Физическая теплота клинкера	1786	2,92
Физическая теплота	142	0,23	Физическая теплота сбрасываемого воздуха	11042	18,08
Физическая теплота сырьевой смеси	1928	3,16	Физическая теплота дымовых газов	3083	5,05
Физическая теплота воздуха	605	0,99	Тепло, затраченное на разложение карбонатов	37590	61,55
			Тепло, затраченное на испарение воды	4842	7,93
			Потери тепла в окружающую среду	2732	4,47
Итого	61075	100	Итого	61075	100

Замена части органического топлива альтернативным дает следующие результаты:

- экономия природного газа;
- нет необходимости строить специальную установку для утилизации отходов;
- утилизация отходов и уменьшение количества загрязняющих окружающую среду веществ.

На рис. 4 представлена круговая диаграмма расходных статей теплового баланса вращающейся цементной печи при совместном использовании природного газа, покрышек и RDF.

Рис. 4. Круговая диаграмма расходных статей ТБ вращающейся цементной печи при использовании природного газа

Использование твердых бытовых отходов в качестве альтернативного топлива позволяет не только сократить экономические затраты производства за счет сокращения потребления органического топлива, но и снизить нагрузку на окружающую среду из-за уменьшения эмиссии парниковых газов и уменьшения количества отходов, идущих на захоронение. Практика использования альтернативного топлива широко распространена за рубежом, что свидетельствует об успешности данных технологий.

Библиографический список

1. Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание): справ. / В.Г. Систер, А.Н. Мирный, Л.Ф. Скворцов, Н.Ф. Абрамов, Х.Н. Никогосов. – М., 2001. – 319 с.

2. Альтернативные топлива от твердых отходов. Применение и легализация [Электронный ресурс] / В.В. Бушихин, О.Н. Кайгородов, Г.М. Полозов, О.Е. Федосеев // Экологический вестник России. – 2013. – № 5. – URL: <http://www.ecovestnik.ru/index.php/obrashchenie-s-otkhodami/1737-alternativnye-topliva-iz-tverdykh-otkhodov-primenenie-i-legalizatsiya> (дата обращения: 23.12.2017).
3. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Полянский В.Г. Анализ срока службы современных цементных бетонов // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». – URL: <https://science-education.ru/ru> (дата обращения: 04.12.2017).
4. Астапович О.Ю. RDF – три буквы, которые очень беспокоят экологов [Электронный ресурс] // Центр экологических решений. – URL: <http://ecoidea.by/ru> (дата обращения: 04.12.2017).
5. Огородникова С.Ю. Отходы производства и потребления: учеб.-метод. пособие. – Киров: Старая Вятка, 2012. – 96 с.
6. Лисиенко В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: в 2 кн. – Кн. 2. – М.: Теплотехник, 2004. – 688 с.
7. Холин И.И. Справочник по производству цемента. – М.: Госстройиздат, 1963. – 852 с.
8. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. – М.: Академкнига, 2002. – 468 с.
9. Пурим В.Р. Бытовые отходы. Теория горения. Обезвреживание. Топливо для энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 112 с.
10. Получение и использование альтернативного топлива из твердых бытовых отходов для цементной промышленности / И.В. Ламзина, А.В. Голдов, Я.И. Князев, И.А. Полозова, В.Ф. Желтобрюхов // Инженерный вестник Дона: электрон. науч. журн. – 2014. – № 2. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2331> (дата обращения: 22.12.2017).
11. Ламзина И.В., Желтобрюхов В.Ф., Шайхиев И.Г. Анализ методов сортировки твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/analiz-metodov-sortirovki-tverdyh-bytovykh-otkhodov> (дата обращения: 23.12.2017).
12. Ламзина И.В., Желтобрюхов В.Ф., Шайхиев И.Г. Зарубежная практика использования альтернативного топлива из отходов для цементной промышленности [Электронный ресурс] // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 17. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnaya-praktika-ispolzovaniya-alternativnogo-topliva-iz-otkhodov-dlya-tsementnoy-promyshlennosti> (дата обращения: 22.12.2017).
13. Примеры использования отходов в качестве альтернативного топлива для цементных печей. Опыт Чешской Республики [Электронный ресурс]. – URL: http://air-q-gov.baes.by/userfiles/file/air_q_RU/info/alternativa_format-140114.pdf (дата обращения: 23.12.2017).
14. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Н.В. Кузнецов, В.В. Митор, И.Е. Дубовский, Э.С. Карасина. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
15. Экологический вестник России [Электронный ресурс]: науч.-практ. журн. – URL: <http://ecovestnik.ru> (дата обращения: 04.12.2017).

References

1. Sister V.G., Mirnyi A.N., Skvortsov L.F., Abramov N.F., Nikogosov Kh.N. Tverdye bytovye otkhody (sbor, transport i obezvezhivanie) [Solid domestic waste (collection, transport and disposal)]. Moscow, 2001, 203 p.
2. Bushikhin V.V., Kaigorodov O.N., Polozov G.M., Fedoseev O.E. Alternativnye topliva ot tverdykh otkhodov. Primenenie i legalizatsiya [Alternative fuels from solid waste. Application and legalization]. *Ecological Herald of Russia*, 2013, no 5. Available at: <http://www.ecovestnik.ru/index.php/obrashchenie-s-otkhodami/1737-alternativnye-topliva-iz-tverdykh-otkhodov-primenenie-i-legalizatsiya> (accessed 23 December 2017).
3. Rapoport P.B., Rapoport N.V., Polyanskij V.G. Analiz sroka sluzhby sovremennykh tsementnykh betonov [Analysis of the service life of modern cement concrete], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, available at: <https://science-education.ru/ru> (accessed 04 December 2017).
4. Astapovich O. Iu. RDF – tri bukvy, kotorye ochen bespokoyat ehkologov [RDF-three letters that are very disturbing environmentalists], Available at: <http://ecoidea.by/ru> (accessed 04 December 2017).

5. Ogorodnikova S.Iu. Otkhody proizvodstva i potrebleniia [Production and consumption wastes]. Kirov: Staraia Viatka, 2012, 96 p.
6. Lisienko V.G. Vrashchaiushchiesia pechi: teplotekhnika, upravlenie i ekologiya [Rotary furnaces: heat engineering, management and ecology]. Moscow, Teplotekhnika, 2004, 688 p.
7. Kholin I.I. Spravochnik po proizvodstvu tsementa [Guide to the production of cement]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatelstvo literatury po stroitelstvu, arkhitekture i stroitel'nykh materialam, 1963, 852 p.
8. Iusfin Iu.S., Leontev L.I., Chernousov P.I. Promyshlennost' i okruzhaiushchaya sreda [Industry and the environment]. Moscow, Akademkniga, 2002. 469 p.
9. Purim V.R. Bytovye otkhody. Teoriia goreniia. Obezvrezhivanie. Toplivo dlia energetiki [Household waste. Theory of combustion. Neutralization. Fuel for power engineering]. Moscow, Energoatomizdat, 2002, 112 p.
10. Lamzina I.V., Goldov A.V., Kniazev Ia.I., Polozova I.A., Zheltobriukhov V.F. Poluchenie i ispolzovanie alternativnogo topliva iz tverdykh bytovykh otkhodov dlia tsementnoi promyshlennosti [Obtaining and using alternative fuels from solid household waste for the cement industry]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2014, no 2. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2331> (accessed 22 December 2017).
11. Lamzina I.V., Zheltobriukhov V.F., Shaikhiev I.G. Stat'ia Analiz metodov sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [Analysis of methods for sorting solid household waste]. *Bulletin of the Technological University*, 2015, vol. 18, no. 5, 244 p. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/analiz-metodov-sortirovki-tverdykh-bytovykh-otkhodov> (accessed 23 December 2017).
12. Lamzina I.V., Zheltobriukhov V.F., Shaikhiev I.G. Stat'ia Zarubezhnaia praktika ispolzovaniia alternativnogo topliva iz otkhodov dlia tsementnoi promyshlennosti [Foreign practice of using alternative fuel from waste for the cement industry]. *Bulletin of the Technological University*, 2015, vol. 18, no. 17, 85 p. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnaya-praktika-ispolzovaniya-alternativnogo-topliva-iz-otkhodov-dlya-tsementnoi-promyshlennosti> (accessed 22 December 2017).
13. Lamzina I.V. Primery ispolzovaniia otkhodov v kachestve alternativnogo topliva dlia tsementnykh pechei. Opyt Cheshskoi respubliki [Examples of the use of waste as an alternative fuel for cement kilns. Experience of the Czech Republic], 2013. 26 p. Available at: http://air-q-gov.baes.by/userfiles/file/air_q_RU/info/alternativa_format-140114.pdf (accessed 23 December 2017).
14. Kuznetsov N.V., Mitor V.V., Dubovskii I.E., Karasina E.S. Teplovoi raschet kotelnykh agregatov (Normativnyi metod) [Thermal calculation of boiler units (Normative method)]. Moscow, Energoatomizdat, 2007, 296 p.
15. Bushikhin V.V., Kajgorodov O.N., Polozov G.M., Fedoseev O.E. Alternativnye topliva iz tverdykh otkhodov. Primenenie i legalizatsiya [Alternative fuel from solid waste. The use and legalization]. *Ecological Herald of Russia*, Available at: <http://ecovestnik.ru> (accessed 04 December 2017).

Получено 25.12.2017

I. Bernadiner, E. Aleksandrova

USE OF RDF AND WASTE AUTOMOBILE TIRES IN A CEMENT KILN

The problem of environmental pollution with various substances is now becoming global. Today one of the main tasks is recycling and utilization of municipal and industrial wastes.

World experience shows that the cement industry is a unique and effective mean to recycle the widest spectrum of technogenic waste.

The problem of used tires recycling and the way to solve this problem by using tires as a component of cement kiln fuel have been researched. The use of RDF as a component of organic fuel has been considered as well. The calculations of material balances of fuel combustion and thermal balances of rotary kiln for cement production have been carried out.

Keywords: recycling of tires, cement kiln, RDF, high temperature neutralization, alternative fuel.

Бернадинер Игорь Михайлович (Москва, Россия) – доцент кафедры «Энергетика высокотемпературной технологии», Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт (111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: bernadinerim@gmail.com).

Александрова Елена Юрьевна (Москва, Россия) – студент кафедры «Энергетика высокотемпературной технологии», Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт (111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: LenaA-1616@yandex.ru).

Bernadiner Igor (Moscow, Russian Federation) – Associate Professor of Department of energy high-temperature technology, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14, e-mail: bernadinerim@gmail.com).

Aleksandrova Elena (Moscow, Russian Federation) – Student of Department of energy high-temperature technology, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14, e-mail: LenaA-1616@yandex.ru).