

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА В ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧИ

И. М. Бернадинер, Е. Ю. Александрова,

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

Сжигание ТКО в цементных печах в виде RDF – один из наиболее экологически безопасных и экономически эффективных видов термической утилизации отходов. К сожалению, в нашей стране этот метод пока еще не получил широкого распространения, а между тем его плюсы очевидны.

Мировой опыт показывает, что цементная промышленность является уникальным и эффективным утилизатором широчайшего спектра отходов, в том числе ТКО.

В 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, обсуждается вопрос о необходимости увеличения температуры процесса термического обезвреживания. Альтернативным способом термической утилизации отходов становится утилизация промышленных и коммунальных отходов в цементных печах, использование которых дает массу преимуществ:

- обеспечивается 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 с;
- 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 улов-

ленная пыль из цементной печи возвращается в технологический процесс.

На рисунке представлена карта расположения цементных заводов на территории РФ. 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.

Практически все действующие цементные предприятия России испытывают трудности из-за постоянно растущих цен на энергоносители, затраты на которые в Российской Федерации составляют 50–57 % от себестоимости конечного продукта [1]. Одним из мероприятий, позволяющих снизить затраты на энергоносители, может стать частичная замена традиционного топлива альтернативным.

Речь идет прежде всего о замене части органического топлива на вторичное, производимое в процессе обработки ТКО. Оно получило название топлива, полученного из отходов (ТПО), или Refuse Derived Fuel (RDF) (см. фото).

Для производства RDF используются следующие фракции ТКО:

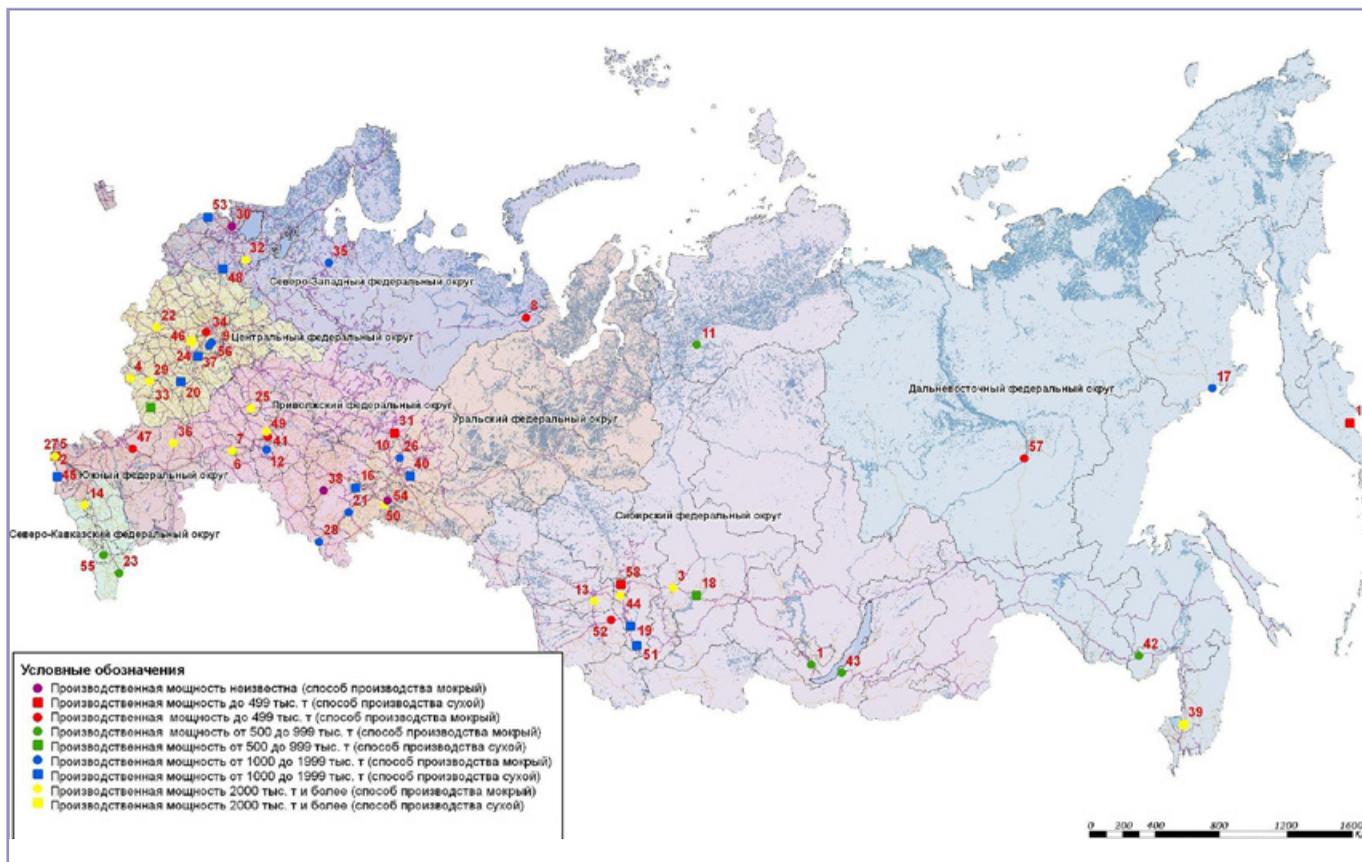
бумага, текстиль, древесина, пластмасса. Основным достоинством RDF следует считать возможность хранения в течение определенного времени.

Главную сложность создает отсутствие в РФ отдельного сбора ТКО, тогда как в развитых странах во дворах стоят контейнеры для разных типов отходов и вероятность попадания в общую массу отходов опасных элементов мала. В нашем же случае необходимо более тщательно подходить к вопросу сепарации.

Была также рассмотрена проблема утилизации отработанных автомобильных покрышек и решение этой проблемы путем использования покрышек в качестве замены части топлива во вращающейся цементной печи [3, 4]. Общемировые запасы изношенных автошин оцениваются примерно в 100 млн т при ежегодном приросте не менее 7 млн т. В табл. 1 представлен годовой объем образования отработанных шин в мире.

По химическому составу, а следовательно, и по горючим свойствам шины отличаются от основных видов топлива, используемых в цементных печах. В табл. 2 приведены данные по типичным составам шин, угля и мазута.

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



Карта расположения цементных заводов на территории РФ. Список заводов на территории РФ представлен в таблице 1.

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

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

Поскольку содержащиеся в автопокрышках компоненты так или иначе входят в состав цемента, использование автопокрышек в качестве

замены части органического топлива представляется целесообразным.

В табл. 3 представлен примерный морфологический состав ТКО по России [5].

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.

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).

В табл. 4 представлен состав RDF, полученного из ТКО среднего состава по г. Москве. Его теплота сгорания $Q_{н}^P = 12,719$ 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 увеличения калорийности RDF. В него добавляются искусственные компоненты (некоторые виды пластмассовых изделий), обладающие высокой теплотой сгорания. За счет них улучшаются характеристики RDF и расширяется сфера его применения; высокое содержание органических веществ в топливе и его искусствен-



Альтернативное топливо RDF [2]

Таблица 1
Годовой объем образования отработанных покрышек в мире

Страна	Объем образования покрышек, тыс. т
Россия	1000
США	4000
Япония	1126
Китай	750
Германия	667
Индия	506
Швейцария	487

Таблица 1. Список цементных заводов на территории РФ

Номер на карте	Название цементного завода
1	ОАО «Ангарский цементно-горный комбинат»
2	ООО «Атакайцемент»
3	ООО «Ачинский цемент»
4	ЗАО «Белгородский цемент»
5	ОАО «Верхнебаканский цементный завод»
6	ЗАО «ВолгаЦемент»
7	ОАО «Вольскцемент»
8	ООО «Воркутинский цементный завод»
9	ОАО «Воскресенский цементный завод»
10	ОАО «Горнозаводскцемент»
11	ОАО «Горно-металлургическая компания Норильский никель»
12	ЗАО «Жигулёвские стройматериалы»
13	ОАО «Искитимцемент»
14	ЗАО «Кавказцемент»
15	ОАО «Камчатцемент»
16	ЗАО «Катавский цемент»
17	ОАО «Колымацемент»
18	ООО «Красноярский цемент»
19	ООО «Кузнецкий цементный завод»
20	ЗАО «Липецкий цементный завод»
21	ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод»
22	ЗАО «Мальцовский портландцемент»
23	ОАО «Махачкалинский цементно-помольный производственный комбинат»
24	ЗАО «Михайловский цементный завод»
25	ОАО «Мордовцемент» (Староалексеевский и Алексеевский цемзаводы)
26	ЗАО «Невьянский цементник»
27	ОАО «Новоросцемент»
28	ОАО «Новотроицкий цементный завод»
29	ЗАО «Осколцемент»
30	ОАО «Опытный цементный завод»
31	ОАО «Пашийский цементно-металлургический завод»
32	ЗАО «Пикалевский цемент»
33	ЗАО «Подгоренский цементник»
34	ОАО «Подольский цементный завод»
35	ЗАО «Савинский цементный завод»
36	ОАО «Себряковцемент»
37	ООО «Серебрянский цементный завод»
38	ОАО «Сода»
39	ОАО «Спаскцемент»
40	ОАО «Сухоложскцемент»
41	ГП «Сенгилеевский цемент»
42	ОАО «Теплозерский цементный завод»
43	ООО «Тимлюйский цементный завод»
44	ООО «Топкинский цемент»
45	ООО «Туапсинский цементный завод»
46	ООО «Тулацемент»
47	ЗАО «Углегорск-цемент»
48	ООО «Угловский цементный завод»
49	ОАО «Ульяновскцемент»
50	ОАО «Уралцемент»
51	ООО «Учуленский цементный завод»
52	ОАО «Цемент»
53	ОАО «Цесла» (Сланцевский цементный завод)
54	ОАО «Челябинский цементный завод»
55	ОАО «Щуровский цемент»
56	ОАО «Якутцемент»
57	ОАО «Яшкинский завод строительных материалов»

ное обогащение приводит к повышению качества RDF и делает его способным конкурировать с природными видами топлива.

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

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

Использование альтернативного топлива RDF в качестве замены ископаемого топлива (угля, нефти, газа) позволяет снизить выбросы CO₂ в атмосферу.

Сжигание RDF в цементных печах оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, чем сжигание ТКО на МСЗ, так как оборудование цементных предприятий, в котором технологические процессы проходят при температуре около 1700 °С, минимизирует содержание вредных веществ в отходящих газах за счет высоких температур, значительно превышающих те, что имеют место, например, в топках МСЗ или в агрегатах других промышленных производств.

Нами были произведены расчеты материальных балансов горения топлива и отходов и тепловых балансов вращающейся печи для производства цемента [6].

В табл. 5 представлен тепловой баланс вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником при совместном использовании природного газа, покрышек и RDF. В данной таблице приведены результаты расчетов, где доля RDF принимается равной 40 %, доля природного газа – 30 %, доля

Таблица 2

Состав шин, угля и мазута

Материал	Содержание влаги W^p , %	Содержание золы A^p , %	Содержание углерода C^p , %	Содержание водорода H^p , %	Содержание азота N^p , %	Содержание кислорода O^p , %	Содержание серы S^p , %	$Q_{н}^p$, МДж/кг	
Покрышки, тип корда	Fiberglass		11,70	75,80	6,62	0,2	4,39	1,29	32,47
	Steel-belted		25,20 (включая сталь)	64,39	5,00	0,1	4,40	0,91	26,67
	Nylon		7,20	78,90	6,97	<0,1	5,42	1,51	34,64
	Polyester		6,50	83,50	7,08	<0,1	1,72	1,20	34,28
	Kevlar-belted		2,50	86,55	7,35	<0,1	2,11	1,49	39,20
Уголь кузнецкий марки Д	12	13,20	58,70	4,20	1,90	9,70	0,30	22,84	
Мазут малосернистый	3	0,05	84,65	11,7		0,30	0,30	40,31	

Морфологический состав ТКО по России

Тип отходов	Относительная доля в общем составе, %
Пищевые отходы	41
Бумага	35
Пластмасса	3
Стекло	8
Металл	4
Дерево, кости, резина, текстиль, прочее	9
Итого	100

Состав RDF, полученного из ТКО среднего состава по г. Москве

Состав на рабочую массу	Содержание, %
Содержание углерода C^p	33,875
Содержание кислорода O^p	26,258
Содержание водорода H^p	4,47
Содержание азота N^p	0,789
Содержание серы S^p	0,313
Содержание золы A^p	12,624
Содержание влаги W^p	21,671

доля покрышек – 30 %. Коэффициент расхода воздуха $\alpha = 1,15$.

По оценкам специалистов, без ущерба для качества клинкера на RDF может быть заменено 35–40 % традиционного топлива, эта цифра и была использована в расчете совместного теплового баланса сжигания альтернативного топлива RDF, покрышек и природного газа [7].

Замена части органического топлива альтернативным дает следующие результаты:

- экономию природного газа;
- отсутствие необходимости строить специальные мощности для утилизации отходов;
- эффективную утилизацию отходов и уменьшение количества загрязняющих окружающую среду веществ. ♻️

Таблица 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». URL: <https://science-education.ru/ru> (дата обращения: 16. 09.2017).
2. Центр экологических решений. URL: <http://ecoidea.by/ru> (дата обращения: 16. 09.2017).
3. Лисиенко В. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Кн. 2. – М.: Теплотехник, 2004. – 688 с.
4. Холин И. И. Справочник по производству цемента. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 852 с.
5. Переработка мусора (ТБО). URL: <http://ztbo.ru> (дата обращения: 16. 09.2017).
6. Кузнецов Н. В. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). – М.: Энергия, 1998. – 296 с.
7. Научно-практический журнал «Экологический вестник России». URL: <http://ecovestnik.ru> (дата обращения: 16. 09.2017).

Таблица 5

Тепловой баланс вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником при совместном использовании природного газа, покрышек и RDF (при $\alpha = 1,15$)

Приходные статьи теплового баланса			Расходные статьи теплового баланса		
Название	Значение, кВт	%	Название	Значение, кВт	%
Химическая теплота	58 400	95,62	Физическая теплота клинкера	1786	2,92
Физическая теплота	142	0,23	Физическая теплота сбрасываемого воздуха	11 042	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	37 590	61,55
			Тепло, затраченное на испарение воды	4842	7,93
			Потери тепла в окружающую среду	2732	4,47
Итого	61 075	100	Итого	61 075	100