

## RDF как альтернативный источник энергии

*А.А. Валинеева, Т.А. Степанова*

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва*

**Аннотация:** В статье рассматривается получение RDF топлива на основе твердых коммунальных отходов. Обоснована целесообразность использования данного вида топлива в цементной промышленности. Проанализирован состав RDF топлива по элементам. Из-за того, что данное топливо, исходя из различных источников, имеет расхождение по теплоте сгорания в два раза и более, была экспериментально определена теплота сгорания RDF топлива для средней полосы России и его соответствие ГОСТ Р 55127-2012.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, ТКО, Refuse Derived Fuel, RDF топливо, низшая теплота сгорания, цемент, зольность, альтернативный источник энергии, колориметрическая бомба.

### Что такое Refuse - Derived Fuel (RDF)

Вопрос переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) стоит довольно остро. На данный момент, предлагается огромное количество способов обращения с ТКО, от складирования с получением биогаза, до низкотемпературного пиролиза с получением влагоустойчивых пеллет. В данной статье рассматривается и экспериментально подтверждается целесообразность использования Refuse - Derived Fuel (RDF) в качестве альтернативного источника энергии и его соответствие ГОСТ Р 55127-2012.

Технология получения RDF начинает развиваться с пятидесятих годов прошлого столетия. RDF представляет собой топливо, производимое путем сортировки, измельчения и обезвоживания ТКО и состоит из таких горючих отходов, как пластик, биоразлагаемые элементы (бумага, текстиль, древесина). Полученный нетрадиционный источник энергии обычно используют для производства электрической и тепловой энергии.

В последнее время RDF находит применение в качестве альтернативного топлива на цементных заводах в России и Европы. На цементных производствах в Германии до 90% всего топлива - это RDF [1]. Опыт стран Европейского союза свидетельствует, что RDF-топливом может

быть замещено до 70 процентов основного технологического топлива, расходуемого на обжиг клинкера цементными заводами [2]. Его сжигание в цементных печах оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, поскольку технологические процессы проходят при температуре до 1700 °С. Считается, что такой температурный уровень минимизирует содержание вредных веществ в отходящих газах [3] за счет термического разложения сложных и опасных газообразных продуктов сгорания. Эффективное разрушение диоксинов при термическом разложении (эффективность 99,9997%) возможно только при температуре выше 1100 - 1200 °С, коэффициенте расхода воздуха до 1,2 и времени пребывания газов в топочном объеме до 2х секунд [4].

Получение RDF топлива из ТКО проходит в пять этапов: предварительная сортировка, сушка, измельчение, магнитная сепарация и гранулирование [5]. Твёрдые коммунальные отходы сортируют механизированным способом на специальных мусоросортировочных линиях, отбирая полезное вторсырьё – макулатуру, металл, стекло, пластмассы, пленку, ПЭТ и др. Важную роль играет предварительный отбор опасных компонентов, сильно вредящих атмосфере при сгорании (хлорсодержащий пластик ПВХ, батарейки, электронные устройства). С помощью роторных сепараторов отделяются остатки пищи и растений, которые в идеале подлежат компостированию. Всё, что осталось после этих операций (мелкий пластик, пленка, этикетка, древесные отходы и д.р.), можно использовать для производства RDF топлива, для чего эта масса измельчается, подсушивается в специальных сушильных барабанах, уплотняется прессованием и гранулируется. Полученные гранулы, брикеты и являются RDF топливом из отходов. Чем больше в нём углеродного пластика, древесины, бумаги и т.д., тем выше теплота сгорания и ниже количество образующейся золы [1]. В последнее время встречаются не прессованные RDF, что вполне

---

экономически оправдано, при учете полного цикла от производства топлива до изготовления цементного клинкера на одном предприятии.

Примерный состав RDF топлива представлен в таблице 1 [3,6,7]

Таблица №1

Состав RDF топлива на рабочую массу

Состав на рабочую массу	Содержание, %
Содержание углерода $C^r$	33,875 -49,98
Содержание кислорода $O^r$	26,258 – 38,8
Содержание водорода $H^r$	4,47 -7,53
Содержание азота $N^r$	0,58 - 0,789
Содержание серы $S^r$	0,16 - 0,313
Содержание золы $A^r$	2,94 – 17,3
Содержание влаги $W^r$	8,54 – 25,5

Из таблицы 1 видно, что состав альтернативного топлива очень сильно колеблется. Теплота сгорания такого топлива по данным, заявленным, например, компанией ООО «ТОМРА Сортинг» на Глобальном форуме IPLA 2015, и согласно следующим источникам [5,6,8] составляет от 20 до 23,97 МДж/кг. По другим данным, например ЗАО «КОМИНВЕСТ-АКМТ» и ЗАО «ЭКОНАЦПРОЕКТ» всего от 10 [8] до 12,71 МДж/кг [3]. Понятно, что теплота сгорания RDF топлива очень сильно зависит от страны, города, погодных условий, наличия или отсутствия предварительной сортировки ТКО самим населением, от предприятия по производству RDF и его оборудования. Поэтому RDF, как и любое топливо из твердых коммунальных отходов при продаже и производстве должно подразделяться на классы и соответствовать ГОСТ Р 55127-2012 «Топливо твердое из бытовых отходов. Основные свойства для составления системы классификации».

Разделение альтернативного топлива из отходов на классы представлено в таблице 2 [9].

Таблица № 2

## Система классификации топлива твердого из бытовых отходов

Классификационный параметр	Ед. измер.	Класс				
		1	2	3	4	5
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	$25 < x \leq 45$	$20 < x \leq 25$	$15 < x \leq 20$	$10 < x \leq 15$	$3 < x \leq 10$
Содержание хлора Cl	%	$y \leq 0,01$	$0,1 < y \leq 0,5$	$0,5 < y \leq 1,0$	$1,0 < y \leq 1,5$	$1,5 < y \leq 6,0$
Содержание ртути Hg	мг/МДж	$< 0,02$	$< 0,03$	$< 0,08$	$< 0,15$	$< 0,5$

При таком расхождении в низшей теплоте сгорания без предоставления спецификации по топливу сложно проводить тепловые и технологические расчеты и разрабатывать новые модели обращения с отходами. Отношение RDF к первому или четвертому классу резко разграничивает их область применения и коммерческое использование. Поэтому на кафедре Энергетики Высокотемпературной технологии Московского Энергетического Института был проведен эксперимент по определению теплоты сгорания RDF топлива произведенного в средней полосе России (с учетом влияния климатических условий) для проведения научных исследований в рамках ВУЗа и соответствия данного вида топлива ГОСТу.

**Изготовление гранул и ход эксперимента**

Перед началом эксперимента было необходимо подготовить гранулы, которые в дальнейшем помещались в калориметрическую бомбу (ИКА® - Калориметр С 2000 basic С 2000 control). Для этого делалась представительная выборка фракций из непрессованного RDF-топлива, предоставленного одной из московских станций по переработки ТКО и

производству RDF. Масса RDF была измельчена и помещена в ручной пресс. В ходе эксперимента, было изготовлено три пробы, представленные на рис.1.



Рис.1. – Прессованные гранулы RDF

Для упрощения эксперимента, гранулы считаются абсолютно сухими. Поочередно в колориметр помещалась каждая проба, массой 0,5 грамм. В результате эксперимента была получена теплота сгорания каждой из проб соответственно – 15146, 16906, 14253 [кДж/кг]. Результат испытания одной из проб представлен на рис. 2.

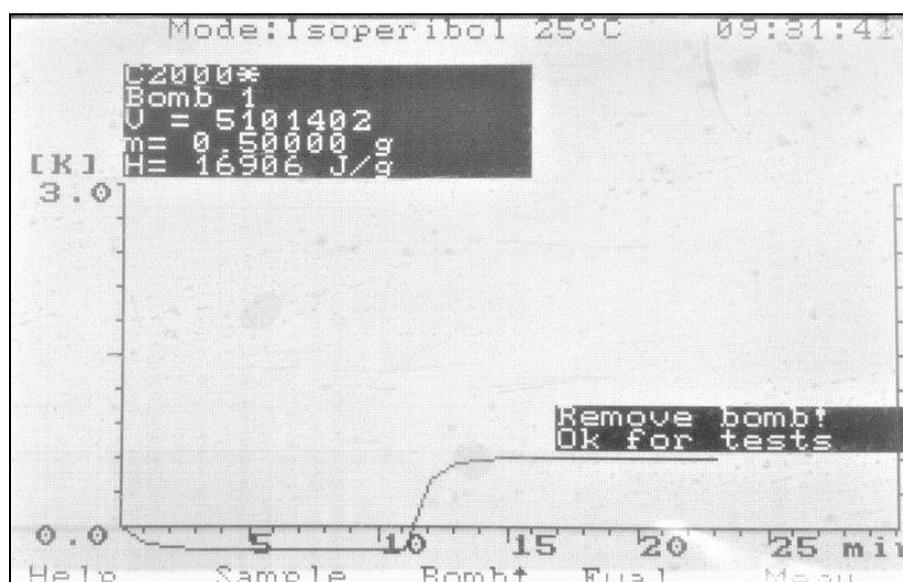


Рис.2. – Результаты эксперимента

---

Определена средняя теплота сгорания и средняя зольность.

$$Q_{\Gamma}^i \text{ ср} = \frac{Q_{i1}^{\Gamma} + Q_{i2}^{\Gamma} + Q_{i3}^{\Gamma}}{3} = 15416 + 16906 + 14253 = 15525 \text{ кДж/кг};$$

$$A_{\Gamma}^i = m_{\text{зола}} * 100\% * \sum m_{\text{пробы}} = 0.3 * 100\% * 1.5 = 20\% \quad (\text{где, } 0.3 \text{ суммарный вес зольного остатка после проведения трех испытаний}).$$

### Вывод

Полученные результаты в целом усредняют литературные данные из разных источников по теплоте сгорания RDF топлива и могут быть использованы для расчетов. Зольность практически коррелируется с данными из таблицы 1, однако, оказалась выше ожидаемой.

В целом, исходя из полученных результатов, можно сделать вывод и подтвердить, что RDF является новым альтернативным источником энергии, соответствующим ГОСТ. По теплоте сгорания альтернативное топливо сравнимо с природным топливом и может совместно сжигаться с традиционным топливом в печах цементного производства.

При грамотной сортировке ТКО, с избеганием попадания в RDF хлорсодержащих и фторсодержащих элементов, суммарное содержание ПХДД/ПХДФ в выбросах не превышает нормативов выбросов в атмосферу [10].

### Литература

1. Травин И.А., Шмелев А.Л. RDF-топливо. Зарубежный опыт и перспективы использования в России // URL: [7greenline.ru/novosti/news\\_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-rossii](http://7greenline.ru/novosti/news_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-rossii). (Дата обращения 24.02.2020).

2. Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 22.08.2016 № 664.



3. Бернадинер И. М., Александрова Е. Ю. Использование отходов, как альтернативного топлива в цементной печи // Твердые бытовые отходы. 2017. №11. С. 22-25.

4. Вишневецкий В.Ю., Вишневецкий Ю.М. К вопросу влияния загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна полихлорированными ароматическими соединениями на здоровье населения // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_201\_Vishnevecky.pdf\_289dcbc810.pdf (Дата обращения 24.02.2020).

5. Ganesh T., Vignesh P. Refuse Derived Fuel To Electricity // Mechanical Department, Kingston Engineering College, Vellore - September 2013.

6. Surroop D., Mohee R. Power generation from refuse derived fuel // 2011 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE vol.17 (2011) IACSIT Press, Singapore.

7. Первый корпоративный съезд. ЗАО «ЭКОНАЦПРОЕКТ» // URL: e-np.ru/upload/medialibrary/012/0124d8d90c00ba19ad9257dad286b265.pdf (Дата обращения 24.02.2020)..

8. Ламзина И.В., Голдов А.В., Князев Я.И., Полозова И.А., Желтобрюхов В.Ф. Эколого-экономическое обоснование использования Refused Derived Fuel, как альтернативного топлива для цементной промышленности // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2332 (Дата обращения 24.02.2020)

9. ГОСТ Р 55127-2012 (CEN/TR 15508:2006) Топливо твердое из бытовых отходов. Основные свойства для составления системы классификации.

10. Бушихин В. В., Ломтев А. Ю., Будко А. Г., Пахтинов В. М. Альтернативное топливо из твердых бытовых отходов // Твердые бытовые отходы. 2015. №4. С. 38-41

## References

1. Travin I.A., Shmelev A.L RDF-toplivo. Zarubezhnyj opyt i perspektivy ispol'zovaniya v Rossii [RDF-fuel. Foreign experience and prospects of use in Russia]. 7greenline.ru URL: [7greenline.ru/novosti/news\\_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-rossii](http://7greenline.ru/novosti/news_post/rdf-toplivo-zarubezhnyy-opyt-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-rossii).
2. Konceptiya sozdaniya moshhnostej po proizvodstvu al'ternativnogo topliva iz tverdyh kommunal'nyh othodov i ego ispol'zovaniya [The concept of creating capacities for the production of alternative fuel from solid municipal waste and its use]. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' 22.08.2016 № 664.
3. Bernadiner I. M., Aleksandrova E. Ju. Tverdye bytovye othody. 2017. №11. pp. 22-25.
4. Vishneveckij V.Ju., Vishneveckij Ju.M. Inzenernyj vestnik Dona, 2015, №4.URL:[ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_201\\_Vishneveckiy.pdf\\_289dcbc810.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_201_Vishneveckiy.pdf_289dcbc810.pdf)
5. Ganesh T., Vignesh P. Refuse Derived Fuel To Electricity. Mechanical Department, Kingston Engineering College, Vellore - September 2013.
6. Surroop D., Mohee R. Power generation from refuse derived fuel. 2011 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE vol.17 (2011) IACSIT Press, Singapore.
7. Pervyj korporativnyj sezid. ZAO «EKONACPROEKT». URL: [e-np.ru/upload/medialibrary/012/0124d8d90c00ba19ad9257dad286b265.pdf](http://e-np.ru/upload/medialibrary/012/0124d8d90c00ba19ad9257dad286b265.pdf).
8. Lamzina I.V., Goldov A.V., Knjazev Ja.I., Polozova I.A., Zheltobriuhov V.F. Inzenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2332](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2332).
9. GOST R 55127-2012 CEN/TR 15508:2006 Toplivo tverdoe iz bytovykh otkhodov. Osnovnye svoystva dlya sostavleniya sistemy klassifikatsii.[ Solid fuel from household waste. Basic properties for creating a classification system].



10. Bushihin V. V., Lomtev A. Ju., Budko A. G., Pahtinov V. M. Tverdye bytovye othody. 2015. №4. pp. 38-41.