

Radiochemical Estimation of Ash-and-Slag Waste Products as Raw for Building Materials Manufacture

Ukhaneva M.I.

Kharkov National Automobile and Highway University

The elemental, mineralogical and radionuclide composition of fuel ash-and-slag wastes of thermal power stations is investigated. The characteristic of surface morphology of ash and slag particles are explored. It is determined that conglomerates of melted aggregates are the predominating space form. The high content of such components as glass-phase is determined. Calcium aluminates and silicates presence which possess hydraulic activity is displayed. The effective specific radioactivity of ash-and-slag is determined. It is exhibited that the ash-and-slag are concerned to the first class of radiation danger.

Key words: ash, slag, radioactive nuclide, mineral, hydraulic activity.

Received May 5, 2009

УДК 662.613

Термическая переработка твердых бытовых отходов : Технологические схемы и тенденции развития

Жук Г.В., Бондаренко Б.И., Ивачкин Я.А.

Институт газа НАН Украины, Киев

Проведен анализ существующих методов обращения с твердыми бытовыми отходами, в том числе термической переработки с производством энергии. Указаны достоинства и недостатки прямого сжигания отходов, их пиролиза и газификации. Предложен способ газификации твердых бытовых отходов в шахтной печи. Проведен оценочный расчет параметров образующегося синтез-газа.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, альтернативное топливо, термическая переработка, печь, газификация, пиролиз, термодинамика.

Проведено аналіз існуючих методів поводження з твердими побутовими відходами, у тому числі термічної переробки з виробництвом енергії. Вказано переваги та недоліки прямого спалювання відходів, їхнього піролізу та газифікації. Запропоновано спосіб газифікації твердих побутових відходів у шахтній печі. Проведено оціночний розрахунок параметрів синтез-газу, що утворюється.

Ключові слова: тверді побутові відходи, альтернативне паливо, термічна переробка, піч, газифікація, піроліз, термодинаміка.

Проблема управления потоком твердых бытовых отходов (ТБО) сегодня актуальна для Украины как никогда. На полигонах ТБО и стихийных свалках уже накоплено 200 млн т отходов и ежегодно образуется еще 12 млн т. Существует несколько путей обращения с ТБО. Общеизвестной является следующая их градация по степени предпочтительности с точки зрения экологии: безотходное производство → вторичное использование отходов → биологическая переработка → термическая переработка (или «отходы — в энергию» (ОВЭ)) → захоро-

нение на полигонах [1]. Такое разделение является условным, но отражает тенденцию перехода от наименее приемлемого (захоронение) к наиболее приемлемому (безотходное производство, так называемый вариант ZERO).

Термин «безотходное производство» означает, что в процессе производства и потребления товара не образуется отходов, либо отходы вовлекаются в производственный цикл без предварительной подготовки, либо товар используется циклически. Вариант безотходного производства является идеальным, его реализа-

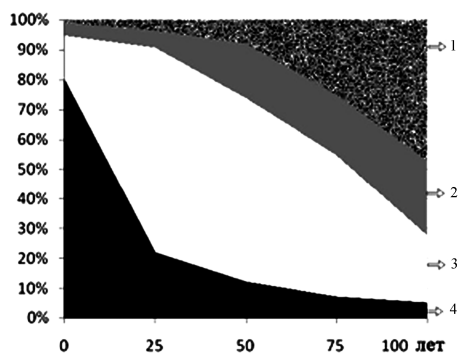


Рис.1. Тенденция изменения пропорции способов обращения с ТБО (прогноз): 1 – ZERO; 2 – биотехнологии; 3 – ОВЭ; 4 – полигон.

ция полностью решает проблему ТБО. К сожалению, он требует глобальной перестройки всей системы мирового производства товаров и в ближайшей перспективе вряд ли осуществим.

При вторичном использовании отходов они на 100 % используются вновь в производственном процессе после сортировки и предварительной переработки на специализированных предприятиях. Способ экологически чистый, не требует значительных материальных затрат, но применим к узкому сектору отходов, например, бумага, текстиль.

В последнее время активно развиваются биотехнологии переработки ТБО, которые включают в себя помещение отходов в емкости со специальными микроорганизмами, где они превращаются в биотопливо (обычно метан или этанол). Этот способ применим только к органической части отходов, процессы переработки замедлены, образуется значительная часть непереработанного остатка, который следует утилизировать.

Вышеперечисленные способы обращения с ТБО в настоящее время занимают достаточно узкий сектор в общем потоке отходов (рис.1). По нашему мнению, через 30–50 лет они займут существенную нишу, но в ближайшем будущем не смогут составить конкуренцию двум основным современным способам обращения с отходами: захоронению и термической переработке (энергетической утилизации).

Захоронение является самым массовым методом обращения с ТБО: в мире на полигонах складируют более 80 % отходов. Этот способ характеризуется простотой и малыми капитальными вложениями: достаточно выделить участок под полигон и провести его гидроизоляцию, а в дальнейшем потребуются только расходы на транспортировку мусора и окончательную рекультивацию (засыпку верхнего слоя почвой). К отрицательным последствиям захоронения можно отнести практически безвозвратную потерю значительных территорий, вы-

деление вредных веществ в результате просачивания фильтрата, деятельности микроорганизмов и повышения температуры (горения) в теле свалки. При горении образуются особо токсичные вещества (ОТВ): диоксины и фураны. С поверхности полигонов также выделяется метан, который вносит значительный вклад в усиление так называемого парникового эффекта [2].

Термическая переработка ТБО в современных условиях является единственной реальной альтернативой их захоронению. Она позволяет не только избавиться от значительной массы отходов (70–95 %), но и вырабатывать электро- и тепловую энергию для муниципальных нужд [3]. Для Украины использование ТБО в качестве альтернативного топлива приобретает особое значение в связи с удорожанием и дефицитом энергоносителей. Этому также способствует изменение за последнее время структуры состава ТБО: увеличение доли бумажной и пластиковой упаковки. Это привело к увеличению за последние 10 лет теплотворной способности ТБО. Например, для Киева она выросла от 5 до 7 МДж/кг. Эта тенденция сохранится, поскольку в развитых странах Европы теплотворная способность ТБО составляет около 10 МДж/кг. Следующий вопрос термической переработки ТБО: по какой схеме ее производить?

Хотя данные публикаций [4–7] противоречивы (табл.1), очевидно, что в состав ТБО входят твердые компоненты, присущие другим твердым топливам: влага, углеродная составляющая, летучие вещества и смолы, негорючая часть. Таким образом, термическая переработка ТБО может сопровождаться следующими процессами: испарение влаги, пиролиз, газификация, горение. Действительно, все эти процессы используются в различных схемах переработки ТБО. Остановимся на некоторых из них.

В мире среди технологий термической переработки ТБО львиную долю занимает метод прямого сжигания на подвижной решетке. Метод состоит в подаче ТБО на подвижную решетку, продувание решетки снизу воздухом,

Таблица 1. Состав различных отходов (кг/т)

Вид отходов	H ₂ O	C	H	O	Ca	N	Si	Летучие C _x H _y O _z
ТБО [4]	252	270	30	322	26	46	55	
Опилки (сосна) [5]	153	433	51	364	–	–	–	
Бумага [6]	70	100	–	–	–	–	–	790
Пища [6]	780	40	–	–	–	–	–	170
Текстиль [6]	70	150	–	–	–	–	–	760
ТБО [7]	495	225	34	179	–	5	–	

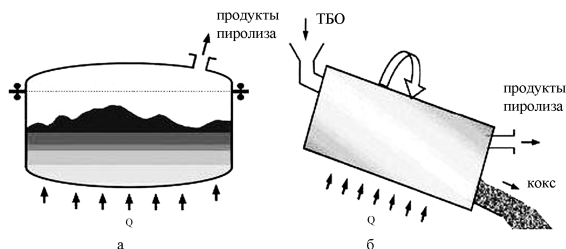


Рис.2. Схемы пиролиза ТБО: а – порционный (batch); б – во вращающейся горизонтальной печи (rotary kiln).

сжигания отходов в потоке воздуха и нагревание отходящим газом воды в кольцевых трубах с образованием пара, теплота которого используется для производства электроэнергии и тепла. Метод сжигания на подвижной решетке является достаточно энергоэффективным за счет окисления почти всей горючей части ТБО. Конструкция агрегата для сжигания ТБО на подвижной решетке проста и надежна. Основными недостатками процесса являются: высокий риск образования ОТВ (что ведет за собой большие капитальные затраты на фильтрующее оборудование) за счет медленного и неравномерного охлаждения газообразных продуктов сгорания и низкий КПД (< 30 %) использования энергии пара благодаря его низкой температуре (как правило, < 200 °С).

Альтернативой прямому сжиганию отходов в котлах является промежуточное выделение горючего газа с последующим его сжиганием. Выделение газа осуществляют в процессе пиролиза (термическое разложение отходов без доступа кислорода) или газификации (перевод части углеродной составляющей ТБО в газообразное состояние в результате химических реакций).

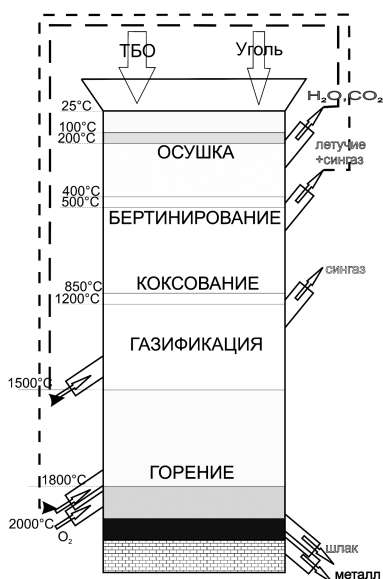


Рис.3. Схема газификации в шахтной печи.

Для уменьшения количество вредных выбросов в атмосферу в 1960-х гг. стали применять технологию полупиролиза, при которой происходит дожигание выходящих газов [8]. В котле фирмы Consutech использована дополнительная камера с повышенной температурой, где окисляются вещества, не сгоревшие в основной камере.

Технологии пиролиза используют внешний подвод тепла, что упрощает конструкцию аппарата (рис.2) [9], но накладывает ограничения на геометрические размеры слоя отходов в связи с ухудшением теплопроводности и, следовательно, на производительность процесса. Применение вращения (рис.2,б) позволяет несколько снизить влияние масштабного фактора. В результате недостатка кислорода в процессе пиролиза полностью не используется энергетический потенциал углеродной составляющей, и на выходе из печи образуется коксовый остаток.

Процесс газификации предполагает обработку углеродной составляющей отходов кислородом, водяным паром, диоксидом углерода или их смесью. Эффективным является метод газификации в кипящем слое [3], обеспечивающий высокую скорость конверсии углеводородного сырья. Недостатком способа является ограничение в масштабах переработки и необходимость существенного измельчения отходов.

Авторы предлагают способ газификации углеродной составляющей ТБО в шахтной печи в противотоке паро-воздушной (кислородной) смеси (рис.3). В процессе термической переработки отходы проходят стадии испарения влаги, коксования (удаления летучих составляющих и смол), газификации части углеродной составляющей (с использованием выделенного водяного пара) и сгорания оставшейся части кокса в окислителе. Для оценочного расчета состава синтез-газа, образующегося в процессе газификации, примем априори, что отходы содержат лишь углеродную часть, влагу и балласт в виде соединений кальция и кремния.

Таблица 2. Равновесный состав на разных стадиях переработки ТБО

Стадия	T, K	H ₂ O	CO ₂	H ₂	CO	O ₂	C
Исходный	293	252	0	0	0	0	270
Газификация:	1473						
вход		302	594	9	176	3	270
выход		187	386	21	621	0	135
синтез-газ		137	283	16	455	0	0
Горение:	2073						
вход		-	-	-	-	370	135
выход		0	488	0	8	3	0

Исходя из данных [4], определим начальный состав ТБО, кг: H_2O – 252; C – 270; $CaSiO_3$ – 75; SiO_2 – 79. Предположим, что углеродная составляющая отходов утилизируется полностью, причем 50 % : 50 % на стадиях газификации и горения, а для горения подают 370 кг O_2 . Тогда, согласно расчетам термодинамического равновесия, выполненным по методике [9], в процессе газификации указанных выше 892 кг реагентов выделяется синтез-газ в таком количестве, кг: H_2O – 137; CO_2 – 283; H_2 – 16; CO – 455 (табл.2).

Состав синтез-газа следующий, % (об.): H_2O – 20; CO_2 – 15; H_2 – 22; CO – 43. Высшая теплота сгорания полученного синтез-газа, согласно [10], составляет 8,25 МДж/нм³ (1970 ккал/нм³), что приближается к аналогичному показателю для водяного газа из углей.

Выводы

Термическая переработка позволяет использовать ТБО как альтернативное топливо для производства тепла и электроэнергии, являясь в современных условиях единственной реальной альтернативой захоронению ТБО на полигонах.

Переработка с использованием пиролиза и газификации горючей составляющей отходов наиболее экологически безопасна при том, что повышается КПД использования тепловой энергии.

Газификация ТБО в шахтной печи является перспективным способом получения синтез-газа с теплотой сгорания на уровне традиционной газификации угля.

Список литературы

1. Paul T. Williams Waste Treatment and Disposal / JWS Ltd., 2005, p.390.
2. Shwaiger H., Doloszeski M. Greenhouse Gas Mitigation Potential of Increased Fuelwood Use in Europe in 2020 // 10th Europ. Conf. and Technol. Exhibition «Biomass for Energy and Industry», Wursburg, Germany, 8–11 June, 1998. – Wursburg, 1998. – P.1110–1113.
3. Биомасса как источник энергии / Под ред. С.Соуфера, О.Заборски, Пер. с англ. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
4. Hau J.L., Ray R., Thorpe R.B., Azapagic A. A Thermodynamic Model of the Outputs of Gasification of Solid Waste // Intern. J. of Chem. Reactor Eng. – 2008. – Vol. 6. – Article A35-2008.
5. Antero Moilanen Thermogravimetric characterisations of biomass and waste for gasification processes / VTT Publications 607, ESPOO, 2006, p.196
6. Thermal methods of municipal waste treatment: Biffaward Programme On Sustainable Resource Use / C-Tech Innovation Ltd, 2003, p.48
7. Takaiku Yamamoto, Katsuya Isaka, Hirotaka Sato et al. Gasification and Smelting System Using Oxygen Blowing for Municipal Waste / SIJ International, Vol. 40 (2000), No. 3, pp. 260-265
8. Andrew Knox, An Overview of Incineration and EFW Technology as Applied to the Management of Municipal Solid Waste (MSW) / University of Western Ontario, 2005 p.74
9. Heerman, C., Schwager, F.J., Whiting, K.J., Pyrolysis and Gasification of Waste: A Worldwide Technology and Business Review. Juniper Consultancy Services, Ltd., Uley, Gloucestershire, England, 2001, p.622
10. Бондаренко Б.И., Безуглий В.К. Потенціали компонентів фізико-хімічних систем. – Київ : Академперіодика, 2002. – 125 с.
11. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования. – М. : Наука, 1971. – 358 с.

Поступила в редакцию 11.11.09

Thermal Processing of Municipal Solid Wastes: Technological Schemes and Development Trends

Zhuk H.V., Bondarenko B.I., Ivachkin Ja.A.

The Gas Institute of NASU, Kiev

The analysis of existing municipal solid wastes (MSW) management including thermal processing with energy production methods is conducted. The advantages and disadvantages of wastes direct combustion, pyrolysis and gasification methods are indicated. The method of MSW gasification in shaft furnace is proposed. Generated gas synthesis parameters are estimated.

Key words: municipal solid waste, alternative fuel, thermal processing, furnace, gasification, pyrolysis, thermodynamics.

Received November 11, 2009