

## Экономические аспекты технологий мусоросжигания нового поколения

© 2011 г. Р.И. Камкин, О.О. Скрябин, О.И. Мануков\*

В настоящее время в развитых странах к твердым бытовым отходам (ТБО) сложилось отношение как к ценному сырьевому ресурсу, рациональное использование которого способно приносить немалую выгоду. Захоронение отходов на полигонах, несмотря на дешевизну и высокую рентабельность такого бизнеса, сегодня уже не рассматривается в качестве способа утилизации ТБО из-за большого экологического вреда, наносимого полигонами, и недостаточного использования потенциала ТБО как сырьевого ресурса.

В состав ТБО в значительных количествах входят компоненты, пригодные для рециклинга (бумага, картон, полимеры), а также пищевые отходы, которые являются сырьем для производства компоста или биогаза. Рециклинг безусловно является наиболее предпочтительным способом утилизации ТБО. Однако даже в странах, реализующих наиболее эффективные стратегии обращения с отходами (например, Германия), доля подвергаемых рециклингу отходов не превышает 60 % [1]. Таким образом, даже после отбора из ТБО вторсырья и пищевых отходов остаток составляет как минимум 30 % от исходного количества. Данный остаток, по большей части состоящий из тех же компонентов, что и основная часть ТБО, обычно подвергается сжиганию с полезной утилизацией тепла.

В нашей стране в настоящее время полезно перерабатывается менее 3 % отходов, учитывая мусоросжигание. Оставшаяся часть – а это более 35 млн т/год – вывозится на полигоны, а зачастую просто на необорудованные должным образом свалки (лишь 8 % объектов отвечают установленным требованиям к полигонам ТБО), уже занимающие огромные площади. Ежегодно под захоронение ТБО дополнительно отчуждается свыше 1 тыс. га земель [2]. Для создания эффективной индустрии рециклинга в существующих текущих условиях требуется не только обеспечить выделение вторсырья из общей массы ТБО (масштабное строительство мусоросортировочных комплексов, а в идеале – раз-

дельный сбор отходов), но также создать условия для его дальнейшей переработки.

Безусловно, другого выхода кроме перехода к постепенному построению такой системы у нашей страны нет, однако в текущей ситуации, когда вопросы обращения с отходами не решены, а экологический ущерб от захоронения ТБО очевиден, оправданным является активное внедрение мусоросжигания. Только таким способом можно в короткие сроки остановить складирование ТБО на полигонах и перейти к уничтожению существующих свалок, предотвратив тем самым экологические последствия, ощутить которые предстоит не одному последующему поколению.

Типичные ТБО, собираемые в контейнеры под открытым небом, даже при влажности до 45 % содержат более 20 % углерода [3, 4], что позволяет отнести их к разряду топлива. Благодаря тому, что при сжигании на 90 % сокращается объем, и на 70 % – масса отходов, а также имеется возможность полезной утилизации тепла, мусоросжигание сегодня получает все большее распространение даже в странах с весьма жестким экологическим законодательством, таких, как страны Скандинавии.

К примеру, в Швеции в настоящее время повторно используется около 50 % бытовых отходов, а почти вся оставшаяся часть ТБО сжигается. На захоронение же направляется менее 4 % отходов, что помимо всего прочего привело к значительному снижению выбросов парниковых газов с территории страны. С 2000 года в стране также начата постепенная ликвидация ранее образованных полигонов путем направления лежалых ТБО на сжигание [5].

Количество электричества, произведенного за счет сжигания ТБО в Швеции, в 2007 году составило 1500 ГВт·ч, что эквивалентно потребностям 250 тыс. средних домов. Произведенная из отходов тепловая энергия (12 200 ГВт·ч) покрыла 25 % потребностей шведской отопительной системы, что эквивалентно удовлетворению потребности 810 тыс. домов.

Во время как отечественные мегаполисы задыхаются от отходов, у наших северных соседей за них идет борьба как за ценный ресурс. К примеру, в июле 2010 года в Норвегии вступил в силу закон, запрещающий захоронение на полигонах ТБО, содержащих более 10 % углерода. Учитывая, что в основном смешанные бытовые отходы содержат более 20 % углерода, весь образующийся объем ТБО должен

\* Камкин Р.И. – инженер межкафедральной лаборатории металлургии цветных металлов НИТУ «МИСиС».

Скрябин О.О. – доцент кафедры промышленного менеджмента НИТУ «МИСиС».

Мануков О.И. – аспирант кафедры металлургии цветных, редких и благородных металлов НИТУ «МИСиС».

быть переработан тем или иным способом. Однако мощности имеющихся в Норвегии мусоросжигательных заводов не хватает для утилизации всего объема ТБО. К тому же цена за сжигание 1 т отходов, при которой процесс окупается, весьма высока и составляет около 1000 норвежских крон.

В соседней Швеции благодаря низким ставкам экологических сборов за сжигание ТБО и более высокой плате за производимую энергию стоимость утилизации 1 т мусора не превышает 500 крон. Таким образом, сложилась ситуация, когда некоторым норвежским областям выгоднее экспортировать свой бытовой мусор в Швецию, где его охотно покупают, так как построенные там накануне кризиса (когда уровень образования ТБО на душу населения был особенно высок) мусоросжигательные заводы загружены не в полной мере.

Подобная ситуация привела к тому, что собственные мусоросжигательные предприятия Норвегии уже сейчас оказываются не обеспеченными отходами в полной мере и вынуждены конкурировать между собой в борьбе за ТБО как за сырье. Экспорт ТБО в соседнюю страну является предметом беспокойства и критики со стороны политической оппозиции и владельцев мусоросжигательных заводов, призывающих власти немедленно ограничить этот процесс. В связи с этим для исправления сложившейся ситуации норвежские власти планируют в ближайшее время активно работать над развитием собственной индустрии мусоросжигания с улучшением экономических показателей этой отрасли [6, 7].

Таким образом, сегодня нет принципиальных факторов, ограничивающих широкое распространение мусоросжигания в тех случаях, когда это оправдано по технологическим или экономическим причинам. Выбросы токсичных веществ на современных мусоросжигательных заводах удовлетворяют постоянно ужесточающимся европейским нормам, однако эти показатели даются заводам весьма высокой ценой. Так, затраты на систему газоочистки, способную снизить содержание диоксинов в отходящих газах до приемлемого уровня, достигают 50 % от стоимости всего завода [8]. К тому же после сжигания ТБО образуется до 30 % несгоревшего остатка – золы [5]. Данный материал относится к III классу опасности и отличается химической нестабильностью, что обуславливает повышенные требования (и затраты) к его дальнейшей утилизации и не позволяет полезно использовать с большой эффективностью.

Причина данных проблем кроется в несовершенстве базового технологического процесса – сжигания ТБО. Дело в том, что на большинстве мусоросжигательных заводов применяется технология слоевого сжигания отходов в печах с колосниковыми решетками при температурах, не превышающих 900 °С. При этом процесс горения ТБО чувствителен к составу отходов и сложен в управлении вследствие неоднородности слоя ТБО на колосниковых решетках [9]. Такая организация процесса приводит к образованию в процессе сжигания диоксинов, а также не

позволяет на 100 % окислить органическую часть ТБО, что обуславливает большой выход токсичной золы.

Подобная технология мусоросжигания применяется давно и хорошо отработана, однако сама по себе не совершенна, вынуждая тратить большие средства на ликвидацию последствий этого несовершенства. Эффективным решением вышеперечисленных проблем мог бы стать переход на технологию высокотемпературного сжигания ТБО в шлаковом расплаве, реализуемую с помощью высокопроизводительных барботажных агрегатов – печей Ванюкова.

Процесс Ванюкова удовлетворяет общепринятым требованиям, выполнение которых обеспечивает экологическую безопасность мусоросжигания, а именно [10, 11]:

- высокие температуры (более 1300 °С);
- избыток окислителя – кислорода;
- достаточное для полного распада высокотоксичных органических соединений время пребывания газов в горячей зоне;
- максимально быстрый нагрев отходов от температуры окружающей среды до рабочей температуры.

Таким образом, при высокотемпературном сжигании бытовых отходов разрушение токсичных соединений происходит непосредственно в самом печном агрегате, за счет чего отпадает необходимость в дорогостоящей и сложной системе очистки газов от диоксинов. Система газоочистки при этом будет включать надежные и проверенные многолетней практикой аппараты пылеулавливания и нейтрализации кислых газов. Отходы могут загружаться в печь без предварительной сушки и сортировки, что позволяет снизить затраты на подготовку ТБО к утилизации. Кроме того, высокотемпературное сжигание ТБО позволяет по-новому использовать отходы как сырьевой ресурс: имеется возможность производить товарную продукцию из шлаков и отходящих газов.

Шлаки, свободные от органики, по своему составу и свойствам пригодны для производства строительных материалов. Ассортимент изделий, производство которых возможно из шлака, очень широк – это брусчатка и плиты для настила полов, различные трубы и желоба, футеровочные плиты, ролики ленточных конвейеров, строительные блоки, облицовочная плитка, волокнистые теплоизоляционные материалы, абразивный инструмент и т.д. Исходным материалом-основой для производства строительных материалов может являться жидкий либо гранулированный шлак, получаемый в процессе термической утилизации ТБО. Производимые с использованием данных шлаков строительные материалы характеризуются высокой механической прочностью, стойкостью по отношению к агрессивным средам и жестким климатическим условиям и экологической безопасностью [12–14].

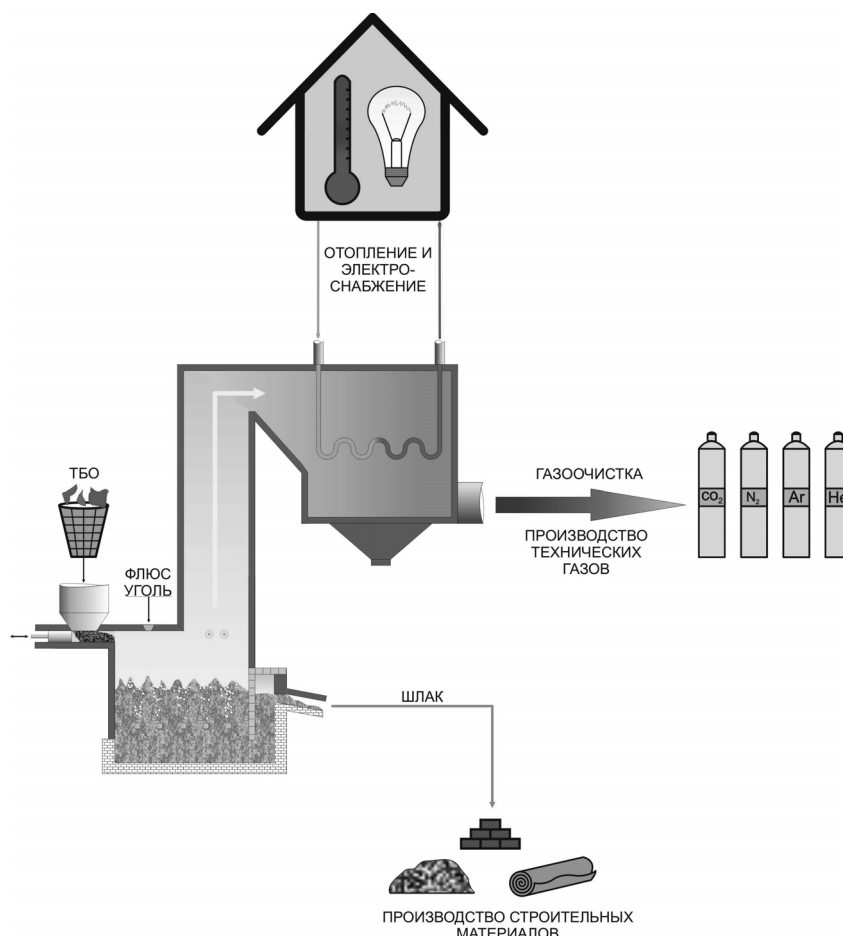
Отходящие газы за счет использования обогащенного кислородом дутья концентрированы

по диоксиду углерода (CO<sub>2</sub>), что позволяет использовать их для производства жидкой и твердой (сухой лед) углекислоты после очистки. Основными потребителями углекислоты являются предприятия пищевой отрасли и торговли, машиностроительные заводы и транспортные компании. Углекислота также используется для зарядки огнетушителей. Кроме того, работа печей Ванюкова с использованием обогащенного кислородом дутья подразумевает применение установок разделения воздуха (кислородные станции), в связи с чем имеется потенциальная возможность производить попутно технические газы – азот, аргон и гелий (**рисунок**).

Основой экономической эффективности данной технологии является комплексный подход к переработке ТБО как сырьевого ресурса. При этом плата поставщиков отходов за их утилизацию может и не являться основным источником получения прибыли мусоросжигательным заводом. В текущей ситуации с обращением с ТБО в России (отсутствие эффективных законодательных инструментов, ограничивающих складирование отходов на свалках, и неразвитость отрасли переработки ТБО в целом) тариф на мусоросжигание не может превышать расходы на их захоронение на полигонах. Сегодня московские мусоросжигательные заводы принимают мусор по тарифу около 2000 руб/т, что сопоставимо со стоимостью его захоронения на полигонах с учетом доставки и уплаты экологического сбора [15, 16]. Однако в регионах плата за размещение отходов на полигонах заметно ниже, чем в Подмосковье, в связи с чем при сохранении московских тарифов на мусоросжигание ситуация будет развиваться по норвежскому сценарию – заводы не будут обеспечены сырьем.

Выходом из данной ситуации может быть создание предприятий, утилизирующих ТБО с попутным производством товарной продукции, пользующейся спросом на рынке. Процесс Ванюкова предоставляет для этого самые широкие возможности.

К примеру, по результатам предварительной технико-экономической оценки, для полного удовлетворения потребностей г. Мурманска в утилизации ТБО необходим завод производительностью 92,4 тыс. т/год ТБО. Данное количество мусора утилизируется в компактном агрегате – печи Ванюкова с габаритами рабочей зоны 3,6 × 2 м. В качестве товарной продукции при этом могут выступать жидкая углекислота (в настоящее время завозимая в



Материальные потоки процесса утилизации ТБО

Мурманскую область из Ленинградской) и волокнистые теплоизоляционные материалы – минераловатные плиты. Кроме того, источником дохода предприятия будут являться поставка потребителям тепловой энергии и непосредственное оказание услуг по утилизации ТБО.

Численность сотрудников на таком предприятии составит 67 человек, включая основных и вспомогательных рабочих, а также администрацию. В **табл. 1** приведены исходные данные и результаты расчета при условии финансирования проекта за счет заемных средств.

Относительно длительный срок окупаемости при высокой рентабельности производства (более 70 %) обусловлен принятой стратегией финансирования и высокой процентной ставкой по кредиту. В первые два года, когда предприятие строится и не приносит прибыли, проценты за кредит капитализируются и прибавляются к текущему долгу по кредиту. Таким образом, в первые два года с момента запуска завода более 90 % прибыли уходит на выплату процентов по кредиту и сокращение основной суммы долга (базы для начисления процентов) идет довольно медленно. Снижение процентной ставки до 15 % (что при действующей сегодня ставке рефинансирования в 7,5 % вполне оправдано)

Таблица 1

**Исходные данные и результаты расчета для условий г. Мурманска**

Наименование показателей	Значение показателей
<b>Исходные данные</b>	
Производительность по ТБО, т/год	92 400
Тариф на утилизацию 1 т ТБО на новом предприятии, руб.	250
Производство углекислоты, т на 1 т ТБО	0,34
Производство минераловатных плит, м <sup>3</sup> на 1 т ТБО	0,94
Производство тепловой энергии, Гкал на 1 т ТБО	1,0
Тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч)	1,45
Цена реализации углекислоты, руб/т	19 500
Цена реализации минераловатных плит, руб/м <sup>3</sup>	1700
Цена реализации тепловой энергии, руб/Гкал	800
Годовая ставка по кредиту, %	25
Коэффициент дисконтирования, %	25
<b>Показатели проекта и основные результаты</b>	
Суммарные капитальные вложения в создание предприятия, млн руб.	1330
Срок строительства и запуска, лет	2
Дисконтированный срок окупаемости с момента начала строительства, лет	11,6
Годовые издержки производства, млн руб.	329,4
Годовая чистая прибыль, млн руб.	414
Чистый дисконтированный доход (NPV) к 15 году реализации проекта, млн руб.	81,88
Внутренняя норма доходности (IRR) к 15 году реализации проекта, %	44

Таблица 2

**Динамика изменения дисконтированного срока окупаемости проекта при увеличении доли собственных вложенных средств**

Доля собственных средств в общих капитальных вложениях, %	Ставка дисконтирования, %	Дисконтированный срок окупаемости, лет	Срок окупаемости без дисконтирования, лет
15	22,5	11,0	9,3
30	19,9	10,4	7,8
45	17,4	9,7	6,8
60	14,8	9,2	6,1
75	12,3	8,7	5,6
90	9,7	8,2	5,2

[17] приводит к сокращению срока окупаемости проекта до 7 лет.

При условии финансирования проекта на 30 % из собственных средств, при прочих равных условиях, дисконтированный срок окупаемости возрастает до 12,7 года за счет вложения в первые два года около 400 млн руб. собственных средств. При этом срок окупаемости без дисконтирования составляет 7,8 года. Большое расхождение в сроках окупаемости, в свою очередь, связано с высокой ставкой дисконтирования (25 %), принятой в расчетах; тем самым были учтены риски, связанные с реализацией проекта в условиях нестабильной экономической ситуации в целом, а также настороженного отношения населения и различных общественных организаций к мусоросжиганию.

Изменение дисконтированного срока окупаемости проекта при повышении доли вложенных собственных средств и одновременном снижении

ставки дисконтирования, рассчитываемой как средневзвешенное от ставок по депозитам (8 %) [18] и банковским кредитам с учетом доли собственных и заемных средств, представлено в **табл. 2**.

Зачастую в качестве аргумента против высокотемпературного сжигания ТБО приводится высокая себестоимость такого производства. Действительно, общие издержки производства в расчете на одну тонну утилизируемых ТБО составляют порядка 3570 руб., однако себестоимость утилизации ТБО в данной сумме составляет лишь 95 руб. Остальная часть относится к себестоимости производства продукции, цена на которую гораздо выше стоимости услуг по утилизации ТБО.

Так, учитывая принятый в нашей стране курс на сокращение потребления энергии на отопление зданий, в ближайшем будущем следует ожидать только роста спроса на производимые в ходе утилизации ТБО волокнистые теплоизоляционные материалы, применение которых позволяет в несколько раз снизить потери тепла через ограждающие конструкции [19].

Таким образом, результаты предварительных экономических расчетов говорят о самоокупаемости и финансовой устойчивости проектов на базе предлагаемой технологии утилизации ТБО в шлаковом расплаве. Технология успешно опробована в ходе опытно-промышленных испытаний в России и за рубежом [20, 21]. Отсутствие требований к предварительной подготовке отходов (сушка, рассев) и высокая удельная производительность процесса Ванюкова позволяют в короткие сроки решить проблемы накопления и утилизации бытовых отходов в мегаполисах, получая при этом существенную материальную выгоду. С развитием индустрии рециклинга в нашей стране на сжигание в печах Ванюкова могут направляться лишь отсеб (мелкая фракция ТБО) и компоненты, не пригодные для вторичной переработки по технологическим или экономическим причинам, а также медицинские и опасные промышленные отходы.

**Библиографический список**

1. Jaron A., Rothkirch U.G., Schulz J. Waste management in Germany. A driving force for jobs and innovation // Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2006. Public Relations Division. Berlin.
2. Концепция обращения с твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации (№ МДС 13-8.2000). Утверждена Постановлением коллегии Госстроя России от 22 декабря 1999 г. № 17.
3. Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Шехурев Д.В. Технологии отходов (технологические процессы в сервисе). – М.: ГОУ ВПО «МГУС», 2006. – 410 с.

4. Meraz L., Oropeza M., Dominguez A. Prediction of the combustion enthalpy of municipal solid waste // Chemical Educator. 2002. V. 7. P. 66–70.
5. Материалы отчета Swedish Waste Management. Avfall Sverige. – 2008. – Malmö, Sweden.
6. Норвежский технический еженедельник Teknisk Ukeblad. Критика экспорта норвежского мусора (Kritisereer norsk søppeleksport). URL: <http://www.tu.no/energi/article235921.ece> (дата обращения – 04.02.2010).
7. Норвежский технический еженедельник Teknisk Ukeblad. Экспорт мусора угрожает отопительной системе (Søppeleksport truer fjernvarme). URL: <http://www.tu.no/energi/article211626.ece> (дата обращения – 13.05.2010).
8. Bernadiner M.N. Heat-Treatment of organic industrial wastes // Chemical and Petroleum Engineering. 2001. V. 37. P. 11–12.
9. Ole Hedegaard Madsen. New technologies for waste-to-energy plants // 4<sup>th</sup> International Symposium on Waste Treatment Technologies. Sheffield, UK. 2003.
10. Kawabata H., Yabunaka B., Tanabe M., et al. Simple removal of dioxins by injecting combustion gas into water // Journal of material cycles and waste management. 2007. N 9. P. 80–89.
11. Гречко А. В., Денисов В. Ф., Кубасов В. Л. Обеспечение диоксиновой безопасности и ее обоснование при пирометаллургическом методе переработки бытовых и промышленных отходов // Цветные металлы. 2001. № 3.
12. Yamamoto T., Sato H., Matsukura Y., et al. Gasi-fication and smelting system using oxygen blowing for plastic waste including polyvinyl chloride // Journal of material cycles waste management. 2004. V. 6. P. 6–12.
13. Лакерник М.М., Мазурчук Э.Н., Петкер С.Я. и др. Переработка шлаков цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1977.
14. Шестеркин М. Битое стекло вместо бетона // Изобретатель и рационализатор. 2002. № 4.
15. Шубов Л.Я. Аргументы и факты политики управления отходами // Твердые бытовые отходы. 2009. № 5.
16. Бабанин И.В. Мусорная революция // Твердые бытовые отходы. 2009. № 3.
17. Центральный Банк РФ. Размер ставок рефинансирования. URL: [http://www.cbr.ru/print.asp?file=/statistics/credit\\_statistics/refinancing\\_rates.htm](http://www.cbr.ru/print.asp?file=/statistics/credit_statistics/refinancing_rates.htm) (дата обращения: 21.06.2010).
18. Информационный портал banki.ru. База данных по депозитным ставкам для юридических лиц. URL: <http://www.banki.ru/> (дата обращения: 08.09.2010).
19. Теплоизоляция: Российская специфика // Изоляционные материалы. Приложение к журналу Еврострой. 2008. № 51.
20. Мечев В.В., Гречко А.В., Денисов В.Ф. и др. Экологически чистая технология переработки бытовых отходов в печи Ванюкова // Цветные металлы. 1992. № 12.
21. Роменец В.А., Валавин В.С., Усачев А.Б. Процесс Ромелт / Под ред. В. А. Роменца. – М.: МИСиС, Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 400 с.