

К ВОПРОСУ О СТРОИТЕЛЬСТВЕ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ ЗАВОДОВ ПО СЖИГАНИЮ ТКО



А. Н. Тугов, д. т. н., О. А. Смирнова, ОАО «ВТИ»

Для энергетической утилизации ТКО, образующихся в Московском регионе, распоряжением № 355-р Правительства РФ принято решение о строительстве четырех объектов возобновляемых источников энергии на основе ТКО, каждый производительностью не менее 700 тыс. т ТКО в год и электрической мощностью 70 МВт. Выбраны предполагаемые районы их размещения: Наро-Фоминский, Солнечногорский, Ногинский, Воскресенский.

Основные недостатки проектных решений по строительству мусоросжигательных заводов в Московской области изложены ранее [1]. Проекты не отвечают целям долгосрочного и устойчивого развития рынка энергетической утилизации отходов и не подразумевают масштабируемости в условиях России. Кроме того, существуют большие сомнения в том, что проектируемые заводы будут успеш-

но функционировать. Принципиальные замечания по ОВОС одного из них приводятся в [2]. В данной статье основное внимание уделено еще одному эколого-экономическому аспекту, который должен быть учтен при реализации указанных проектов.

О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ ПО ДПМ

Строительство заводов в Московской области будет вестись по механизму ДПМ – договоров покупки мощности. По этому механизму инвестированию были введены в эксплуатацию большинство генерирующих мощностей России в энергетической отрасли в последние годы. Суть этого механизма сводится к следующему. Инвестор за счет собственных или заемных средств строит объект, гарантируя выдачу электроэнергии в соответствии с заявленной мощностью, а государство в оговоренный период эксплуатации возвращает истраченные средства, например, путем платы за установленную мощность. Однако в случае

недостижения этой мощности или незапланированных простоев собственник энергообъекта будет нести огромные убытки в виде штрафов. Применительно к нашему случаю, если заводы не смогут нести электрическую нагрузку 70 МВт, последуют штрафные санкции. Для того чтобы их избежать, следует оценить, какова должна быть теплота сгорания топлива (в данном случае ТКО), чтобы электрическая мощность составляла не менее 70 МВт.

Итак, проектная производительность завода $V_{\text{ТКО}} = 700 \times 10^6$ кг ТКО в год, завод должен работать не менее 8000 ч в год. Электрическая мощность – 70 МВт, расчетная теплота сгорания отходов, принятая в проекте, – 9,1 МДж.

Это возможно, если электрический КПД завода составит $\eta = 32\%$. Но для данного набора оборудования это недостижимый результат. Так, КПД на уровне 30% был достигнут на заводе Afval Energie Bedrijf (АЕВ) в г. Амстердаме. На котлах этого предприятия для изготовле-

Таблица 1

Теплота сгорания органической части отдельных компонентов ТКО на сухую беззолую массу

Компонент	Теплота сгорания, МДж/кг
Бумага	16,9
Древесина	20,3
Текстиль	22,6
Кожа, резина	31,1
Пластмасса	27,4
Композиционные материалы (упаковка тетрапак, памперсы и т. д.)	26,4
Пищевые отходы	18,2
Мелкие отходы (менее 50 мм)	20,1

Таблица 2

Морфологический состав ТКО г. Москвы, %

Компоненты, %	По данным [6]	По данным [7]	По методике АКХ ¹ [8]	По методике [4]	Расчетный состав
Бумажные отходы	20	17,42	19,7/18,67	16–20	18
Дерево	1	Нет данных	0,88/0,75		1
Текстиль	2	2,14	4,26/4,26 ²	2,5–5,5	4
Кожа, резина	1	Нет данных	0,81/0,74		1
Металл	3	2,38	1,83/1,32	1,8–4	16
Стекло	17	15,44	16,82/14,29	7–15 (в основном стекло)	
Камни	1	Нет данных	0,98/0,93		
Пластмасса	14	13,39	14,21/12,68	15–26	15 ³
Пищевые отходы	18	38,36	18/7,84	5–11	11
Отсев (мелкая фракция)	11 ⁴		10,41 ⁴ /0	32–38 ⁵	34
Прочее	13		12,1/6,69		

¹В числителе – общее содержание, в знаменателе – отходы более 50 мм.

²Включая памперсы.

³В том числе пластмасса – 13 %, композиционные материалы – 3 %.

⁴Отсев < 15 мм.

⁵Отсев < 50 мм.

ния труб пароперегревателя применили хромоникелевый сплав. Это позволило повысить температуру перегрева пара. Кроме того, в результате повышения давления в котле с 4,0 до 12,5 МПа и использования специального теплообменника, греющей средой в котором является насыщенный пар из барабана, удалось организовать промежуточный перегрев пара. В результате повышения параметров пара, организации промежуточного его перегрева, а также благодаря уменьшению температуры уходящих газов, снижению давления пара в конденсаторе и организа-

ции сжигания с меньшим избытком воздуха – 1,5–1,6 (обычно 1,9–2,0) – удалось достичь электрического КПД на уровне 30 % [3]. Обычно же для заводов, подобных реализуемому в Московской области, электрический КПД составляет примерно 22 %. Но тогда для обеспечения требуемой мощности завода средняя теплота сгорания ТКО должна быть $Q_i \geq (70 \times 3600 \times 8000)/(700 \times 10^6 \times 0,22) = 13,1$ МДж/кг.

Какова же реальная средняя теплота сгорания ТКО для Москвы (для Московской области она, скорее всего, будет ниже)?

ОЦЕНКА ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТКО Г. МОСКВЫ

Известно, что ТКО представляют собой многокомпонентную гетерогенную смесь разных видов топлива с различным элементным составом, теплотой сгорания и минеральной частью, а также фракционным составом. Основные горючие компоненты этой смеси известны, это пищевые и бумажные отходы, пластик, текстиль, кожа, древесина. Однако, даже зная удельные весовые показатели этих компонентов в общей массе смеси, адекватно определить интегральные теплотехнические характеристики ТКО, используя имеющиеся для этих компонентов справочные данные, практически невозможно. Трудность заключается в том, что фракционный состав и содержание влаги в каждом из перечисленных компонентов зависит от сезона, природных условий, места и метода сбора, культуры населения и прочего и меняется в достаточно широком диапазоне. Кроме того, смесь горючих отходов забалластирована камнями, металлом, стеклом и другими негорючими материалами.

Для проектирования современного предприятия для термической утилизации ТКО, а также при составлении режимной карты или технологического алгоритма сжигания отходов для действующего оборудования необходимо знать, по крайней мере, такие основные теплотехнические характеристики, как теплота сгорания, влажность и зольность поступающих на сжигание отходов.

Таблица 3

Влажность и зольность основных компонентов ТКО, %

Наименование компонента	Влажность				Зольность			
	Февраль 2015	Июнь 2015	Декабрь 2015	W'_{ncr} , %	Февраль 2015	Июнь 2015	Декабрь 2015	A'_{ncr} , %
Пищевые отходы	73,8	70,9	69,4	71,4	7,2	15,0	7,7	10,0
Бумага/картон	28,7	31,8	38,1	32,8	7,2	11,3	13,7	10,7
Древесина	14,9	12,3	32,8	20,0	3,2	3,1	3,2	3,2
Текстиль	40,9	22,8	33,9	32,5	1,4	8,3	6,5	5,4
Кожа/резина	5,1	4,2	19,6	9,7	16,0	18,8	11,3	15,4
Пластмасса (в том числе пленка и бутылки)	8,1	6,6	23,2	12,7	1,4	3,5	6,9	3,9
Композиционные материалы (упаковка тетрапак, памперсы и т. д.)	20,4	16,4	–	18,4	10,3	14,2	–	12,3
Отсев	51,9	50,2	47,9	50,0	53,7	20,5	40,3	38,1
Металл, стекло, строительный мусор и т. д.	0,0	0,0	0,0	0,0	99,5	99,5	99,5	99,5

Теплотехнические характеристики ТКО

Компонент, характеристика	Значение в зависимости от вида ТКО		
	Средний состав	Хвосты после сортировки	После раздельного сбора
Пищевые отходы, %	11	13	14–16
Бумага/картон, %	18	11	12–14
Древесина	1	1	1
Текстиль, %	4	5	5–6
Кожа/резина, %	1	1	1
Пластмасса, %	12	7	9–11
Композиционные материалы, %	3	3	4
Отсев, %	34	40	39–44
Металл, стекло, строительный мусор и т. д., %	16	19	9–10
Влажность на рабочую массу W_t^r , %	34,4	36,3	38–40
Зольность на сухую массу A^d , %	38,2	44,8	31–34
Зольность на рабочую массу A^r , %	25,0	28,6	19–21
Теплота сгорания на рабочую массу Q_i^r , МДж/кг	7,9	6,6	7,6–8,1

Для этих целей в ВТИ был специально разработан и прошел промышленную апробацию стандарт «Методика отбора проб, определения морфологического состава, влажности, зольности и низшей теплоты сгорания твердых бытовых отходов. Нормы и требования» [4], наиболее приспособленный для прикладного использования на энергоустановках, сжигающих ТКО.

Суть методики [4] состоит в том, что отобранная представительная проба отходов предварительно путем просеивания через грохот (решетку) с размером ячеек 50×50 мм разделяется на мелкую (подрешеточную) и крупную (надрешеточную) фракции. Отбор представительной пробы осуществляется в соответствии с [4]. Далее надрешеточная фракция сортируется по компонентным группам на бумажные, металлические, кожаные-текстильные, пластиковые и пищевые отходы, а также неорганические материалы. Определяется массовая доля каждой из этих компонентных групп, включая долю мелкой фракции K_n^r . Далее в лабораторных условиях измеряется влажность W_m^r и зольность на сухую массу A_n^d этих компонентных групп, а затем рассчитываются интегральные значения теплоты сгорания Q_i^r , влажности W_t^r и зольности A^r в целом для ТКО по формулам:

$$Q_i^r = \sum [K_n^r (1 - W_m^r / 100) (1 - A_n^d / 100) \cdot Q_{in}^{daf}] - 0,02442 \cdot \sum (K_n^r \cdot W_m^r);$$

$$W_t^r = \sum (K_n^r \cdot W_m^r);$$

$$A^r = \frac{\sum [K_n^r A_n^d (100 - W_m^r)]}{\sum [K_n^r (100 - W_m^r)]} \cdot \left[1 - \frac{\sum (K_n^r W_m^r)}{100} \right],$$

где Q_{in}^{daf} – низшая удельная теплота сгорания на сухую беззольную массу отдельной компонентной группы.

Еще раз подчеркнем, что большинство выделенных компонентных групп ТКО – макулатура, текстиль, пластмасса (отдельные изделия и полиэтиленовые пакеты), пищевые отходы и мелкие отходы (< 50 мм) – в зависимости от времени года имеют различную влажность и зольность, которые должны определяться в лаборатории. Теплота сгорания органической части отдельных компонентов ТКО на сухую беззольную массу в МДж/кг приведена в табл. 1.

Все эти значения получены при подготовке стандарта [4] путем определения в лаборатории ВТИ теплоты сгорания для каждого вида отходов, входящего в состав компонентной группы, стандартным методом [5] с последующим усреднением полученных величин для группы в целом. Для металла и неорганических материалов теплота сгорания принимается равной нулю.

В табл. 2 показаны усредненные результаты определения морфологического состава ТКО г. Москвы.

Анализ табл. 2 показывает, что общее количество отходов с размером фракций менее 50 мм, определенных в [8], составляет 31,83 %, что хорошо согласуется с результатами, полученными в [4].

Расчет влажности, зольности и теплоты сгорания ТКО для Москвы выполнялся на основании расчетного морфологического состава, приведенного в табл. 1. Для расчета теплотехнических характеристик ТКО использовались средневзвешенное значение зольности и влажности отдельных компонентов, определенных в лаборатории ВТИ в 2015 г. (табл. 3). Результаты расчета теплотехнических характеристик ТКО среднего состава и хвостов после сортировки (удаления примерно 50 % бумажных и пластиковых отходов) помещены в табл. 4.

В ближайшие 15–20 лет морфологический состав ТКО вряд ли существенно поменяется. Однако весьма вероятно, что будет частично организован раздельный сбор отходов и на повторную переработку может быть отправлено 30–50 % бумажных отходов, 50–70 % пластика, 30–70 % стекла, примерно 50 % металла. Ожидается, что примерно на 20 % уменьшится и количество отсева (в основном из-за сокращения стеклянного

Таблица 5

Расход природного газа для работы завода с $N_{эл} = 70$ МВт, м³/ч

$\eta, \%$	22	25	30	32
Q_i^d ТКО, МДж/кг				
6,6	15 951	12 090	7371	5896
7,9	12 755	8894	4175	2700
8,1	12 263	8402	3683	2208
9,1	9805	5944	1225	0

боя). Результаты расчета теплотехнических характеристик ТКО, оставшихся после раздельного сбора, также показаны в табл. 4.

Таким образом, теплота сгорания на рабочую массу ТКО для Московского региона находится в пределах 6,6–8,1 МДж/кг и в среднем составляет 7,9 МДж/кг.

ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РАБОТЫ ЗАВОДА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ 70 МВт

Для обеспечения требуемой мощности завода ($N_{эл} = 70$ МВт) кроме ТКО в котлах потребуется постоянно сжигать природный газ. Его количество можно определить из теплового баланса:

$$N_{эл} = \left(\frac{B_{ТКО}}{8000 \cdot 3600} \cdot Q_{i,ТКО}^d + \frac{B_{газ}}{3600} \cdot Q_{i,газ}^d \right) \cdot \eta,$$

где $B_{газ}$ – расход природного газа, м³/ч;
 $Q_i^d = 35,6$ МДж/м³ – теплота сгорания природного газа.

Расход газа, требуемый для того, чтобы завод работал с $N_{эл} = 70$ МВт

в зависимости от КПД и теплоты сгорания отходов, приведен в табл. 5.

Таким образом, при реальной теплоте сгорания ТКО 7,9 МДж/кг и электрическом КПД 22 % общий расход сжигаемого газа составит 12 765 м³/ч. Без подсветки газом проектная электрическая мощность обеспечена не будет (составляет примерно 42 МВт), что приведет к большим штрафным санкциям. Альтернатива – сжигание дополнительного топлива. Но в этом случае возникают экономические затраты, связанные с перерасходом газа. Оценим величину этого перерасхода. Электрический КПД современных энергетических установок, например ПГУ, составляет более 55 %. Для покрытия дефицита мощности $\Delta N = 70 - 42 = 28$ МВт (если эти 28 МВт не будут вырабатываться на заводе) расход природного газа на ПГУ составит

$$B_{газ}^d = \frac{\Delta N \cdot 3600}{\eta \cdot Q_i^d} = \frac{28 \cdot 3600}{0,55 \cdot 35,6} = 5148 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Это почти в 2,5 раза меньше, чем если бы эта мощность обеспечивалась проектируемыми заводами, на которых электрический КПД составляет всего 22 %. Таким образом, перерасход природного газа будет составлять примерно 7600 м³/ч.

Помимо финансовых затрат на покупку лишнего газа за счет его сжигания на заводе увеличатся валовые выбросы оксидов азота. В соответствии с нормативными требованиями, предъявляемыми к установкам, сжигающим ТКО, кон-

центрация NO_x в уходящих газах не должна превышать 200 мг/м³ при содержании O₂ = 11 %. При сжигании 1 м³ природного газа образуется примерно 21 м³ газообразных продуктов сгорания. Тогда выбросы оксидов азота из-за ненужного сжигания газа составят 32 кг/ч.

Таким образом, оценочные расчеты показывают, что эксплуатация проектируемых в Московской области заводов по сжиганию ТКО с электрической мощностью 70 МВт может приводить к пережогу природного газа в количестве примерно 7600 м³/ч и дополнительным ежегодным выбросам оксидов азота в количестве 255 т. Этот эколого-экономический аспект следует учитывать в процессе реализации проектов. ♻️

ЛИТЕРАТУРА

1. Тугов А. Н., Родионов В. И. Энергетическая утилизация ТКО в России // ТБО. – 2017. – № 8. – С. 6–10.
2. <https://regnum.ru/news/2422097.html>.
3. Тугов А. Н. ТЭС на ТКО – ключевое решение для России // ТБО. – 2015. – № 8. – С. 26–32.
4. СТО ВТИ 44.001-2011. Методика отбора проб, определения морфологического состава, влажности, зольности и низшей теплоты сгорания твердых бытовых отходов. Нормы и требования. – М.: ОАО «ВТИ», 2011. – 11с.
5. ГОСТ 147-95 (ИСО 1928-76). Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. – Взамен ГОСТ 147-74; Введ. 01.01.97. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 49 с.
6. Ильиных Г. В., Слюсарь Н. Н., Кортаев В. Н. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения // ТБО. – 2011. – № 8. – С. 38–41.
7. Перельштейн Г. Б., Светличный Д. А., Мальцева С. С. Актуальные проблемы регионов в сфере обращения с отходами // ТБО. – 2015. – № 3. – С. 22–24.
8. Абрамов Н. Ф., Архипов С. В., Карелин М. В., Жилинская Я. А. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав // ТБО. – 2009. – № 9. – С. 42–45.

