



## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

В данной статье приведены результаты испытаний двух способов термической переработки отходов на мусоросжигательных заводах. Дана сравнительная оценка применения различных технологий переработки твердых бытовых отходов (ТБО), их особенности и недостатки. Представлены схемы процессов сжигания ТБО на колосниковых решетках и в вихревом кипящем слое. Представлены предложения по оптимизации технологического процесса термической переработки отходов.

Твердые бытовые отходы (ТБО), мусоросжигательный завод (МСЗ), котельная установка, паросиловой энергоблок, технология сжигания ТБО на колосниковых решетках, технологии сжигания ТБО в вихревом кипящем слое, тепловые потери, внешняя циркуляция, паропроизводительность, время прогрева и сушки, воспламенения, горения и дожигания отходов.

Эколого-экономическая оценка существующих способов переработки твердых бытовых отходов (ТБО) дает основание утверждать, что оптимальными для переработки всей массы образующихся отходов (без разделения потоков жилого и нежилого сектора) являются комбинационные технические решения (комплексная переработка) [1].

На выбор рациональной технологии переработки ТБО для целей создания на ее базе эффективного энергопроизводящего комплекса влияют следующие факторы [2]:

- морфологический состав ТБО;
- требования по соблюдению экологических и санитарно-гигиенических норм;
- производительность по энергопродуктам;
- требования, предъявляемые к продуктам переработки;

- число компонентов, входящих в состав отходов, которые в данных технико-экономических условиях представляют практическую ценность и должны извлекаться в самостоятельный продукт, наличие потребителей этой продукции;

- число компонентов, которые являются опасными и должны быть удалены из отходов либо по экологическим соображениям, либо исходя из требований процессов дальнейшей обработки.

При выборе рациональной технологии термической переработки ТБО руководствуются следующим критериям [3, 4]:

- количество и токсичность отходов и газовых выбросов, возможность их обезвреживания и утилизация (экологический критерий);

- уровень развития технологии, надежность оборудования, степень автоматизации процесса, эксплуатационные характеристики, требования по безопасности, необходимость подготовки отходов и использования дополнительного топлива, других компонентов (технологический);

- уровень капитальных и эксплуатационных затрат (экономический);

- КПД энергопроизводства (энергетический).

В таблице 1 приведена оценка технологий термической переработки отходов.

Как показывает оценка технологий термической переработки отходов, наиболее эффективными способами являются слоевое сжигание на колосниковых решетках и сжигание в кипящем слое. Они имеют существенное преимущество перед другими методами термической обработки ТБО по группе общих критериев. Это, прежде все, высокий уровень длительный гарантийный срок эксплуатации (не менее 15 лет), относительно низкие затраты и др.

Испытания **технологии сжигания ТБО на колосниковых решетках** проводили на мусоросжигательном заводе № 2, расположенном в г. Наро-Фоминске Московской области.

МСЗ № 2 является теплоэлектростанцией, работающей на альтернативном виде топлива – ТБО. Завод введен в эксплуатацию после реконструкции в 2000 г.

В состав завода входят цех по приему и подготовке отходов, три энерготехнологические установки для термической утилизации ТБО с выработкой пара, оборудование тепловой схемы, включая три турбины П-1,2-13/6, оснащенные воздушно-конденсационными установками (ВКУ), цех по приему, переработке и отгрузке отходов от сжигания ТБО, цех химводоподготовки и другое оборудование.

Проектная производительность каждой энерготехнологической установки при теплоте сгорания ТБО 6285 кДж/кг составляет 8,33 т/ч.

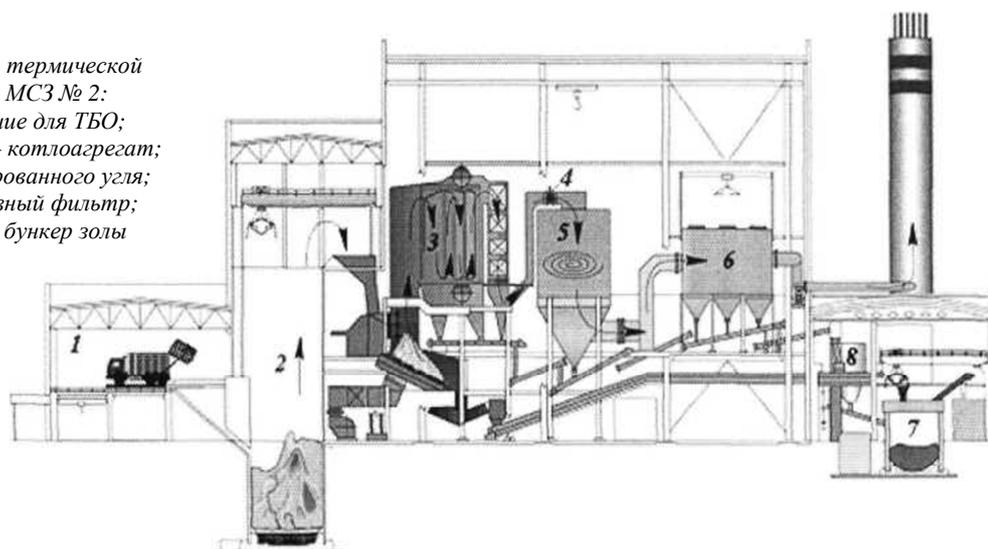
На рисунке 1 представлена схема технологического процесса утилизации ТБО, реализованная на МСЗ № 2.

Сравнительная оценка технологий термической переработки отходов

Критерии оценки	Макс. возм. сумма баллов	Термические технологии					
		Слоевое сжигания	Кипящий слой	Шлаковый расплав	Электрошлаковый расплав	Коксование + сжигание (Сименс)	Газификация (ИХФЧ)
<b>1. Общие критерии</b>	<b>265</b>	<b>235</b>	<b>150</b>	<b>-125</b>	<b>-90</b>	<b>35</b>	<b>100</b>
Уровень развития технологии	50	50	40	-50	-50	0	20
Гарантийный срок эксплуатации	30	30	30	0	0	30	30
Относительная суммарная стоимость оборудования	30	0	0	-30	-30	-30	15
Необходимость подготовки ТБО	30	30	-15	30	30	-30	-30
Необходимость дополнительного топлива	20	20	20	20	20	20	20
Необходимость дополнительных компонентов (флюс, теплоносит)	25	25	-5	-25	-25	-10	-10
Пусковой период	20	20	20	-20	-20	20	20
Ремонтопригодность	25	25	25	-25	-25	0	0
Взрыво-, пожаробезопасность	25	25	25	-25	0	25	25
Диапазон рабочих нагрузок	10	10	10	0	10	10	10
<b>2. Производство энергии</b>	<b>115</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>105</b>	<b>85</b>
Производство тепловой энергии	20	20	20	20	20	20	20
Соответствие ГОСТ «Котлы паровые стац. для сжигания ТБО»	10	10	10	10	10	10	10
Производство электрич. энергии	15	15	15	15	0	15	15
Разность между производством и потреблением энергии	30	30	30	-30	-30	30	30
Дополнительное производство энергоносителей в техн. цикле	20	0	0	0	0	10	10
Получение товарной продукции	20	0	0	20	20	20	0
<b>3. Экологические критерии</b>	<b>185</b>	<b>20</b>	<b>45</b>	<b>140</b>	<b>127,5</b>	<b>105</b>	<b>115</b>
Наличие раздельных систем сбора и удаление шлака и золы	15	-15	-15	15	15	15	15
Возможность утилизации шлака	15	15	15	15	15	15	15
Возможность обезврежив. золы	20	-20	-20	20	20	20	20
Удельный объем дымовых газов	25	0	10	25	12,5	15	20
Возможность подавления вредных примесей	90	20	35	45	45	20	25
Утечка запаха	20	20	20	20	20	20	20
<b>4. Прочие критерии</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
Дополнительные требования к персоналу	15	0	0	-15	-15	0	0
Возможность изготовления оборудования в России	20	10	10	20	20	10	20
<b>ИТОГО</b>	<b>600</b>	<b>340</b>	<b>280</b>	<b>55</b>	<b>62,5</b>	<b>255</b>	<b>320</b>

Рис. 1. Схема процесса термической утилизации ТБО на МСЗ № 2:

- 1 – приемное отделение для ТБО;  
 2 – приемный бункер; 3 – котлоагрегат;  
 4 – узел подачи активированного угля;  
 5 – абсорбер; 6 – рукавный фильтр;  
 7 – бункер шлака; 8 – бункер золы



Структура мусоросжигательного завода состоит из трех энерготехнологических установок, которые включают в себя топку, котел утилизатор (КУ) и систему газоочистки. Камера сжигания – топка выполнена в форме параллелепипеда, наклоненного под углом 30°, который соединен с вертикальной камерой дожигания с восходящим потоком газов. Камера сжигания и вертикальная камера дожигания ограждены испарительными экранами нагрева КУ, которые закрыты огнеупорной футеровкой. Топка оснащена двухсекционной обратно переталкивающей колосниковой решеткой немецкой фирмы «Martin», разделенной по ширине на две части, с приемным столом, на который подают твердые бытовые отходы. Далее отходы перемещаются от узла загрузки к шлаковой ванне при помощи подвижных колосников.

Процесс сжигания начинается и поддерживается при помощи газовой вихревой однопочечной горелки с подачей газа по центру, максимальная теплопроизводительность 2,8 МВт. Горелка расположена в нижней части топки котла на задней стене. Газовая горелка, установленная на боковой стене у газового окна камеры дожигания, предназначена для розжига и поддержания температуры газов на выходе из камеры дожигания. Горелка вихревая однопочечная с центральной подачей газа, максимальной теплопроизводительностью 4,65 МВт. Кроме разогрева топки до 850 °С перед подачей ТБО в топку и стабилизацией режима эти горелки используют для поддержания данной температуры при останове котла до полного выгорания ТБО.

Температура воздуха под колосниковой решеткой и на верхней газовой горелке достигает 160 °С. Подогрев его осуществляется в паровом воздухоподогревателе. Воздух на нижнюю горелку поддержания горения подается от индивидуального вентилятора, встроенного в горелку. Часть воздуха для обеспечения полноты процесса сжигания вдувается в поток продуктов сгорания на входе в котел-утилизатор, расположенный над топкой.

После камеры дожигания дымовые газы переходят во второй нисходящий газоход, в котором расположены поверхности пароперегревателя. В третьем восходящем газоходе размещен конвективный пучок, который совместно с верхним и нижним барабанами образуют самостоятельный циркуляционный контур. Газовый тракт котла завершается четвертым нисходящим газоходом, в котором размещен водяной экономайзер с подвесной системой.

Тепло, образующееся в котле за счет дымовых газов, используют для получения пара, который со всех трех установок поступает в общий паровой коллектор и далее в турбину. Охлаждение отработанного в турбинах пара осуществляется в ВКУ.

При помощи карбамида и реагентов в мокросухом абсорбере происходит снижение концентрации вредных веществ в дымовых газах. От твердых веществ дымовые газы очищаются в рукавном фильтре. Очищенные дымовые газы направляют дымососом в трубу.

Промышленные испытания данной технологии проводились во время режимно-наладочных работ и в последующем во время эксплуатации МСЗ № 2.

В результате установлено, что КПД котельного агрегата соответствует современным мировым показателям для таких установок и составляет 73÷75 % [5]. Анализ результатов газовых измерений показал, что выбранные в процессе наладочных испытаний режимы термической переработки ТБО позволяют обеспечить после дополнительной газоочистки экологически приемлемые выбросы вредных веществ в атмосферу [6]. Содержание остаточных горючих веществ, по которым, как правило, оценивают качество процесса сжигания, соответствует нормативным требованиям.

В процессе испытаний были измерены концентрации некоторых компонентов в неочищенном газе (после котла), образующиеся при сжигании ТБО, которые затем сравнивались с величинами, полученными на аналогичных установках [6]. В результате испытаний выяснено, что высокая температура и избыток окислителя в котле дают достаточно полное преобразование утилизируемых ТБО в устойчивые продукты окисления, концентрация регламентируемых вредных веществ в неочищенных газах на уровне зарубежных аналогов, а по HCl, HF и SO<sub>2</sub> несколько ниже (табл. 2). Полученные данные использовались в дальнейшем при проектировании системы газоочистки для отечественной ТЭС на ТБО.

Таблица 2

**Концентрация некоторых компонентов в неочищенных газообразных продуктах сгорания ТБО, мг/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях)**

Вещество	Нормативные концентрации	МСЗ № 2
Пыль	1000...5000	1200
HCl	50...1000	120
HF	10...50	7
SO <sub>2</sub>	50...400	120
NO	50...400	210
CO	<10...30	30

На основании результатов испытаний и эксплуатации мусоросжигательного завода № 2, оборудованного колосниковыми решетками обратно проталкивающего типа, сделаны следующие выводы.

На решетке обратно подталкивающего типа происходят такие процессы, как: сушка, выход летучих газов, зажигание и горение твердых бытовых отходов, догорание в шлаке несгоревшего коксового остатка.

Прогрев и сушка твердых бытовых отходов на колосниковых решетках протекает под воздействием тепла, подводимого подогретым воздухом. После сушки происходит процесс выделения и воспламенения летучих веществ, которые сгорают. Далее идет процесс воспламенения и горения в твердом слое на решетке обратно проталкивающего типа и в самом объеме пространства топки. В момент сгорания ТБО происходит выделение тепла, за счет которого продолжают выделяться и сгорать летучие вещества. Заключительной стадией является стадия дожигания, в которой происходит выгорание коксового остатка. На рисунке 2 показано распределение температуры в слое отходов и динамика изменения относительного содержания связанного углерода по длине колосниковой решетки [7].

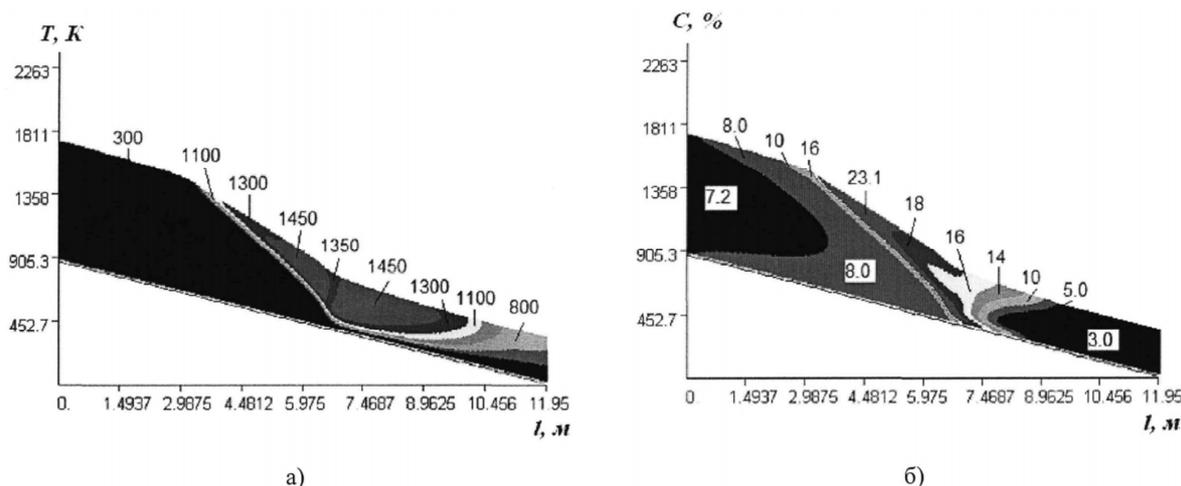


Рис. 2. Распределение температуры в слое отходов (а) и динамика изменения относительного содержания связанного углерода (б) по длине переталкивающей колосниковой решетки производительностью 23,5 т/ч при сжигании ТБО (ширина решетки – 6,25 м)

Как правило, колосниковую решетку разделяют на зоны, для создания оптимальных условий для протекания разных процессов. Это достигается путем регулирования подаваемого воздуха в каждой зоне, температурой воздуха, расположением газогорючих устройств, скоростью перемещения колосников. Так, в зоне дожига, для протекания процесса, необходимо сравнительно небольшое количество воздуха, а время и температура – достаточные для сгорания коксового остатка и охлаждения образующегося шлака.

В момент сжигания твердых бытовых отходов высота слоя уменьшается, в особенности в зоне дожига, и возможно увеличение температуры на самой решетке от излучения из топки при их оголении. В связи с этим, чтобы увеличить долговечность решетки обратно проталкивающего типа, в зоне дожига уменьшаются скорость работы подвижных колосников. Благодаря этому шлак накапливается и температура самого оборудования уменьшается.

Время прогрева и сушки, воспламенения, горения и дожига отходов на колосниковой решетке напрямую зависят от свойств отходов и производительности установки. Эти стадии, происходящие на решетке, определяют удельную нагрузку зеркала горения колосниковой решетки  $q_F^B$ , которую с достаточной степенью точности можно определить

$$q_F^B = K_L \cdot \log 5, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (1)$$

где  $B$  – количество сжигаемых отходов, кг/ч;

$K_L$  – коэффициент пропорциональности, определяемый свойствами отходов, в первую очередь, их теплотой сгорания  $Q_i^r$  (табл. 3).

Таблица 3

**Коэффициент пропорциональности удельной нагрузки зеркала горения колосниковой решетки, определяемый свойствами отходов**

Теплота сгорания, $Q_i^r$ кДж/кг	$K_L$
3350÷4190	69÷79
4190÷5030	79÷85
5030÷5870	85÷95
5870÷8380	95
8380÷9220	93÷95
9220÷10900	84÷93
10900÷12570	68÷84
12570÷14250	52÷68

Максимальное значение коэффициента пропорциональности достигается при теплоте сгорания в 5800÷8500 кДж/кг. Наибольшее количество легко разлагаемых летучих продуктов и составляющих с высоким содержанием кислорода находится в отходах с таким значением теплоты сгорания. При сжигании отходов, у которых теплота сгорания превышает 8500 кДж/кг, увеличивается содержание углеводородов, которые требуют больше энергии для разрушения межмолекулярных связей, следовательно, необходимо больше времени. При сжигании отходов, когда теплота сгорания становится ниже 5800 кДж/кг, процесс замедляется из-за большого содержания влаги, испарение которой приводит к дополнительным тратам энергии и времени.

Расчеты по геометрии решетки, эксплуатационные параметры, рациональная высота слоя сжигаемых отходов определяются на основании расчета топочных процессов.

Важным аспектом сжигания твердых бытовых отходов на колосниковой решетке является выгорание коксового остатка: этот процесс приходится на середину решетки, но допускается смещение этой зоны влево или вправо, при условии подогрева воздуха до нужной температуры или увеличении времени для сжигания влажных отходов. Процесс выгорания коксового остатка должен завершаться при  $l / l_p = 0,8 \div 0,85$ , где  $l_p$  – общая длина решетки.

Расположение зон в зависимости от длины выглядит следующим образом:

- сушка –  $0,2 \div 0,25 l_p$ ;
- выход и горение основной доли летучих газов –  $0,25 \div 0,3 l_p$ ;
- сгорание коксового остатка –  $0,5 \div 0,6 l_p$ .

В момент интенсивного горения коксового остатка после выхода летучих газов температура в топке котла достигает 1227 °С, что вполне достаточно для соблюдения установленных требований.

При увеличении производительности установки и уменьшении площади колосниковой решетки теплонапряжение  $q_v$  топочной камеры возрастает. Согласно [8],  $q_v$  значение должно находиться в пределах 290÷470 кВт/м<sup>3</sup>.

Испытания технологии сжигания ТБО в вихревом кипящем слое проводили на Московском мусоросжигательном заводе № 4 производительностью 250 тыс. тонн ТБО в год. Структура завода состоит из трех энерготехнологических установок, с топкой для сжигания отходов в вихревом кипящем слое, котлоутилизатором и современным газоочистным оборудованием. Производительность каждой из трех установок – 13,5 т/ч при теплоте сгорания рабочей массы 6500 кДж/кг. Генерируемый в КУ пар проходит в котлотурбинный цех, где кроме двух турбин малой мощности типа П-6-1,6/05 и вспомогательного оборудования к ним установлены два энергетических котла ДЕ-25-15-185ГМ, которые используются запуске завода из «холодного» состояния, а также для покрытия дефицита пара. Электроэнергии выработанной турбиной хватает покрыть собственные нужды завода, а ее избыток идет во внешние сети.

Также в состав каждой энерготехнологической установки входят расположенные за ним последовательно по ходу газов котел-утилизатор, циклон, распылительный абсорбер, узел подачи реагентов для улавливания диоксинов, ртути и фуранов, рукавный фильтр и дымосос. Благодаря автоматическому газоанализатору, расположенному на входе в дымовой трубе, регистрируется концентрация основных загрязнителей HCL и SO<sub>2</sub> в дымовых газах. На основании измерений регулируется подача известкового молока в абсорбер.

На рисунке 3 представлена схема энергетической утилизации твердых бытовых отходов на мусоросжигательном заводе МСЗ № 4.

Для процесса горения при помощи вентиляторов подается воздух, который берется из бункера для хранения отходов. После вентилятора первичного воздуха расположен паровой воздухоподогреватель, при помощи которого можно подогреть подаваемый воздух, в случае если отходы имеют низкую плотность. В над слоевое пространство подается вторичный воздух также при помощи вентилятора, после которого также стоит паровой воздухоподогреватель.

При помощи контура внешней циркуляции производится удаление шлака, состоящего из водоохлаждаемых шнеков выгрузки, вибросита, из которого шлак отводится из установки, а мелка зола удаляется при помощи горизонтального шнека и элеватора в перепускной бункер.

Во время пуска котла с помощью газовых горелок температура песка в слое достигает 650 °С, а температура в свободном пространстве – более 850 °С. Охлаждение топки котла не предусмотрено.

Способ сжигания твердых бытовых отходов вихревым кипящим слоем является новой технологией для Российской Федерации. Любые нарушения при сжигании отходов в вихревом кипящем слое могут вызвать шлакование, что приведет к остановке работы котельной установки. К таким нарушениям относятся:

- накопление крупных фракций в слое;
- расход и распределение первичного воздуха;
- выход температуры за пределы расчетного значения;

нарушения в работе контура внешней циркуляции материала слоя.

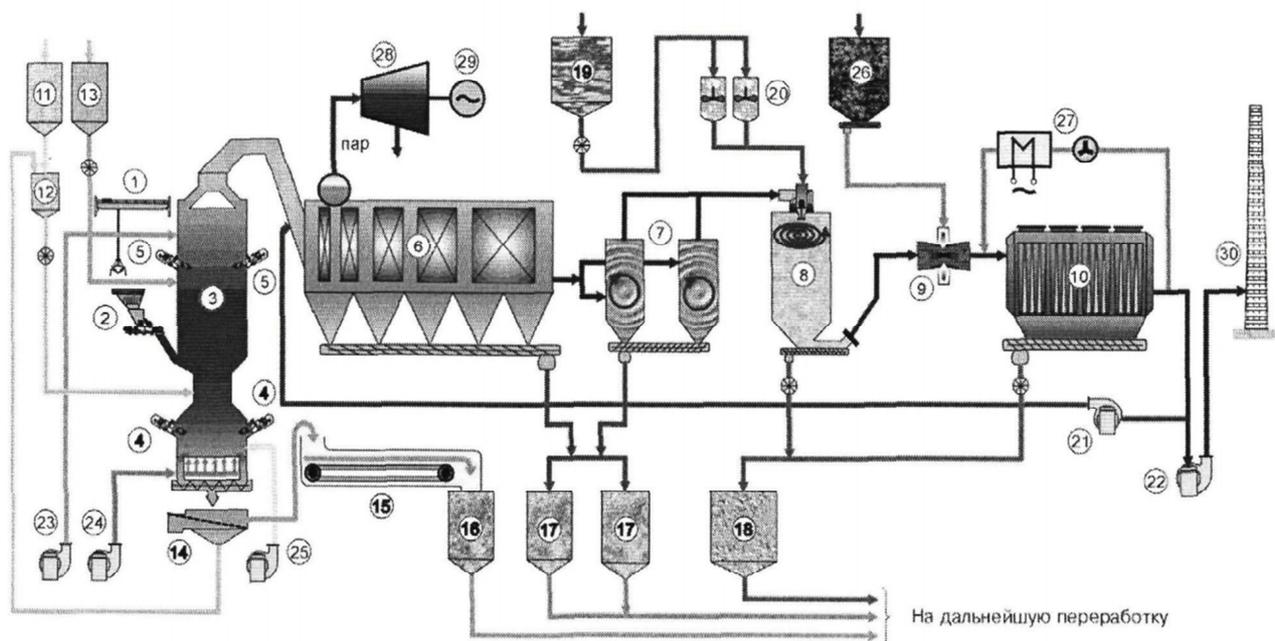


Рис. 3. Схема процесса термической утилизации ТБО на МСЗ № 4:

1 – мостовой грейферный кран; 2 – загрузочная воронка с питателем; 3 – топка с кипящим слоем; 4, 5 – газовые горелки; 6 – котел-утилизатор; 7 – циклон; 8 – распылительный абсорбер; 9 – узел подачи реагентов; 10 – рукавный фильтр; 11 – бункер песка; 12 – перепускной бункер; 13 – бункер известняка; 14 – вибросито; 15 – шлаковый транспортер; 16 – бункер шлака; 17 – бункер золы уноса; 18 – бункер продуктов газоочистки; 19 – бункер гидрата кальция; 20 – резервуар для приготовления известкового молока; 21 – дымосос рециркуляции дымовых газов; 22 – дымосос; 23 – вентилятор для удаления золы; 24 – вентилятор подачи первичного воздуха; 25 – вентилятор для удаления золы; 26 – бункер смеси активированного угля и известки; 27 – система подогрева рукавного фильтра; 28 – паровая турбина; 29 – генератор; 30 – дымовая труба

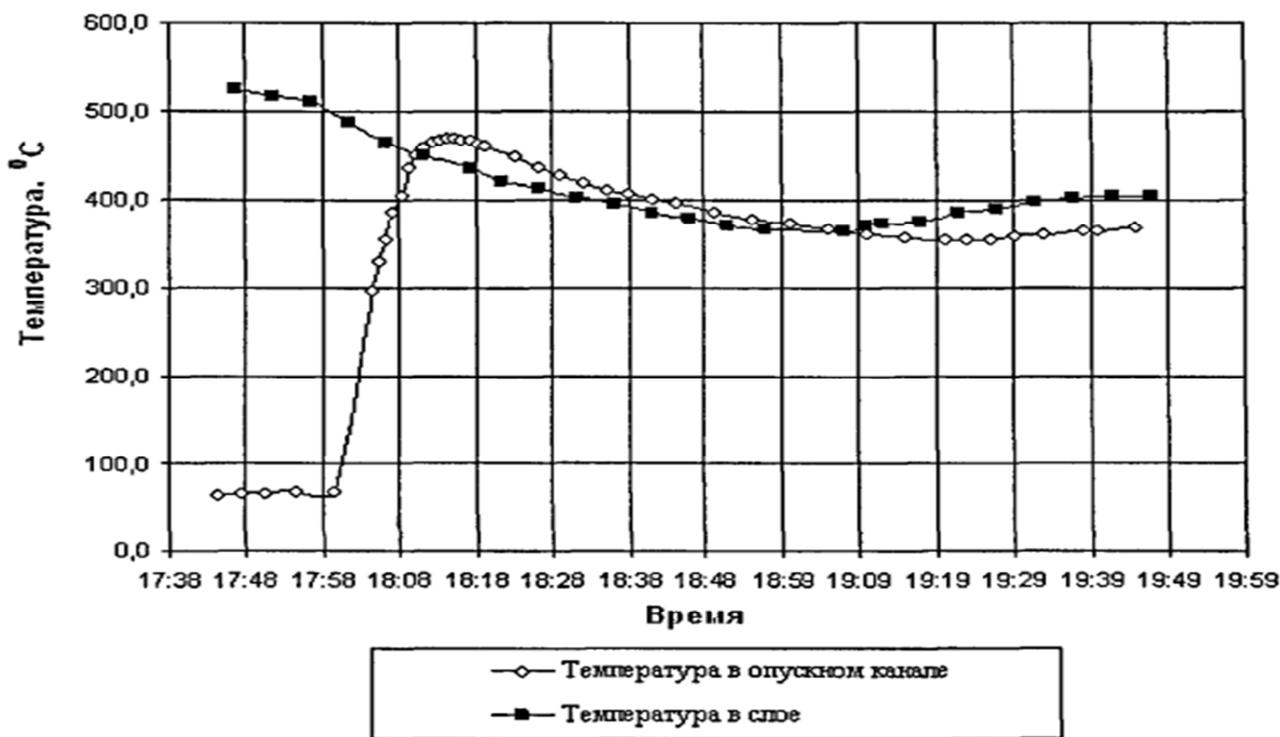


Рис. 4. Измерение температуры в слое и опускном канале топки с ВКС МСЗ № 4

Большое количество испытаний было проведено по обеспечению требуемого температурного режима в зоне кипящего слоя. Они показали, что при температуре 550 °С не происходит полного сжигания отходов и из-за этого может образоваться завал печи. При температуре свыше 700 °С происходит образование отложений на стенках топки котла, что приводит к остановке его работы.

Большую роль в сжигании отходов играет исследование температурного режима. Как правило, из-за большого шлакового остатка от сгорания отходов термопары, расположенные в самой топке, засыпает, что уже через сутки приводит к не корректным значениям. Из-за этого приходится располагать дополнительные термопары в опускном канале. Экспериментально доказано, что температура в опускном канале немного ниже температуры слоя и соответствует ей с задержкой 15÷20 минут (рис. 4).

Также опытным путем установлено, что снижение температуры возможно достичь за счет уменьшения коэффициента избытка воздуха менее единицы. Однако значение расхода воздуха нельзя уменьшать ниже парового значения, которое обеспечивает вихревой процесс. Для дальнейшего снижения температуры в слое следует использовать впрыск воды.

Повышение температуры происходит за счет двух газогорелочных устройств при сжигании дополнительного топлива.

Большое внимание уделяется изучению влияния работоспособности топки на процессы удаления из нее инертного материала слоя. При помощи работы вибратора происходит отделение крупных частиц шлака и возврата мелких частиц материала обратно в

печь. Регулирование частоты вращения шнеков позволяет управлять объемом отводимого из топки материала слоя. Если работа печи будет происходить на пониженной частоте, то это приводит к накоплению шлака и аварийной остановке всей установки в целом. При высокой частоте работы шнеков происходит увеличение тепловых потерь, уменьшение температуры слоя и резкое увеличение потерь песка по причине перегрузки вибратора материалом слоя. Экспериментально установлено соотношение между производительностью установки, частотой работы шнеков выгрузки и зольностью отходов. Так, при частоте работы шнеков в 13÷14 об/мин оптимальный объем сжигаемого мусора составляет 16 т/ч с зольностью около 30 %. При данных значениях из топки выгружается около 20 т/ч материала: примерно 3÷4 т/ч в виде шлака выводятся наружу, а остальной материал возвращается обратно в слой.

Тепловые потери в контуре внешней циркуляции материала слоя имеют большое значение при определении тепловой эффективности энерготехнологической установки с технологией сжигания ТБО в топке котла с вихревым кипящим слоем. Тепловые потери приведены в таблице 4.

На основании таблицы 4 можно сделать вывод, что наибольшие тепловые потери приходятся на элеватор и составляют около 40 % (0,13 ÷ 0,26 МВт), горизонтальный шнек – 30 % (0,1 ÷ 0,14 МВт) и вибратор – 25 % (0,08 ÷ 0,1 МВт). Суммарно тепловые потери составляют приблизительно 0,44 МВт, тепловая эффективность снижается приблизительно на 2 %, и снижают температуру материала в топке котла примерно на 150 °С.

Определение тепловых потерь в контуре внешней циркуляции материала слоя

№ замера	Тепловые потери $Q_s$ , МВт					
	Вибросито	Горизонтальный шнек	Элеватор	Течка от вибросита к перепускному бункеру	Перепускной бункер	Общие
1	0,08	0,12	0,12	0,02	0,03	0,37
2	0,08	0,13	0,16	0,02	0,03	0,43
3	0,11	0,14	0,18	0,03	0,03	0,49
4	0,09	0,14	0,26	0,02	0,03	0,56
5	0,09	0,14	0,13	0,02	0,03	0,42
6	0,09	0,11	0,15	0,02	0,02	0,39

В процессе испытаний было показано, что все три котельные установки на мусоросжигательном заводе № 4 обеспечивают требуемые параметры пара. Значение КПД находится в пределах значений 75÷78 %. Снижение КПД происходит при увеличении температуры уходящих газов с 185 до 200 °С.

В результате исследований и наладочных работ были проведены мероприятия по улучшению режима работы трех энергетических установок МСЗ № 4, которые в дальнейшем обеспечили надежность эксплуатации и необходимую паропроизводительность.

Актуальность использования этого метода обуславливается тем, что опыт зарубежных заводов, работающих по принципу вихревого кипящего слоя, показал, что в этих котлах можно успешно сжигать не только твердые бытовые отходы, но и другие городские отходы, осадок сточных вод, с большим показателем содержания воды (до 80 %) и низкой теплотой сгорания (до 1380 кДж/кг), автомобильные шины, отработанное масло и так далее.

По результатам выполненных испытаний был разработан ряд мероприятий, направленных на увеличение диапазона разновидности сжигаемых твердых бытовых отходов. Увеличением паропроизводительности до 33 т/ч и снижением температуры дымовых газов перед пароперегревателем на 12÷14 °С котельной установки при помощи технологических изменений оборудования можно добиться увеличения надежности установки и уменьшения шлакования поверхностей нагрева.

Таким образом, в ходе испытаний на мусоросжигательных заводах № 2 и № 4 можно сделать вывод, что оба способа сжигания отходов достаточно эффективны и обеспечивают все современные требования и нормативы. Остаточные горючие вещества, выделяемые при сжигании, соответствуют экологическим нормативам.

Основным различием является то, что для несортированного мусора больше подходит способ сжигания в вихревом кипящем слое, а для сортированного – на колосниковой решетке.

#### Литература

1. Утилизация твердых отходов / Под ред. Д. Вилсона. – Москва : Стройиздат, 1985. – Т. 1. – 336 с.
2. Систер, В. Г. Современные технологии обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов / В. Г. Систер, А. Н. Мирный. – Москва : Акад. коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 2003. – 304 с.
3. Медведев, В. Т. Инженерная экология : учебник / В. Т. Медведев, В. В. Скибенко, А. К. Макаров и др., под ред. В. Т. Медведева. – Москва : Гардарика, 2002.
4. Справочник. Санитарная очистка и уборка населенных мест / Под редакцией А. Н. Мирного. – Москва : Академия коммунального хозяйства имени К.Д. Памфилова, 1997.
5. Тугов, А. Н. Опыт освоения сжигания твердых бытовых отходов на отечественных ТЭС / А. Н. Тугов, В. Ф. Москвичев, А. Н. Рябов и др. // Теплоэнергетика. – 2006. – № 7. – С. 55–60.
6. Угначев, В. И. Контроль работы газоочистного оборудования на установках для сжигания твердых бытовых отходов / В. И. Угначев, А. Н. Епихин, А. Н. Тугов, // ЛГТеплоэнергетика. – 2001. – № 12. – С. 52–56.
7. Тугов, А. Н. Отечественные ТЭС на ТБО. Опыт освоения и пути развития / А. Н. Тугов, В. Ф. Москвичев, А. Н. Смирнов // Экология и промышленность России. – 2009. – № 3. – С. 4–7.
8. Сигал, И. Я., Расчет топочных процессов при сжигании твердых бытовых отходов / И. Я. Сигал, В. Б. Жуховицкий, В. Я. Меллер и др. // Экотехнология и ресурсосбережение. – 1997. – № 6. – С. 40–47.

*N.A. Bormosov, M.M. Lukinov, A.V. Sokolov*  
Vologda State University

#### INDUSTRIAL TESTS OF THERMAL WASTE PROCESSING ON OPERATING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

This article presents the results of testing of two methods of thermal processing of waste at incineration plants. A comparative assessment of the use of various technologies for the processing of municipal solid waste (MSW), their features and disadvantages is given. The schemes of MSW combustion processes on grates and in a vortex fluidized bed are presented. Proposals for optimizing the technological process of thermal waste processing are presented.

Municipal solid waste (MSW), waste incineration plant (MSW), boiler plant, steam power unit, MSW combustion technology on grates, MSW combustion technologies in a vortex fluidized bed heat losses, external circulation, steam capacity, warm-up and drying time, ignition, combustion and afterburning of waste.