

**УДК 504.4.3.054+628.477****Т.Ф. ЖУКОВСКИЙ**, к.т.н., заместитель директора,**Г.В. ГУТКОВ**, заведующий лабораторией

Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем (УкрНИИЭП), г. Харьков

А.В. ГРИЦЕНКО, д.геогр.н., профессор

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ)

С.В. ЩЕБЛЫКИН, директор

ГП «Харьковский опытно-цементный завод», г. Харьков

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ

В статье приведены результаты опытно-промышленных исследований по термическому обезвреживанию твердых бытовых отходов во вращающейся печи обжига при производстве клинкера. Определены выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Дана оценка уровня экологической безопасности.

твердые бытовые отходы, установка сжигания отходов

Мировой опыт и отечественные технологические решения по комплексной переработке твердых бытовых отходов (ТБО) свидетельствуют, что максимальную экологическую и экономическую эффективность при утилизации можно достигнуть при сочетании сортировки и термического обезвреживания ТБО [1].

В Украине и европейских странах основным методом термического обезвреживания ТБО является прямое сжигание на движущейся колосниковой решетке в печах различной конструкции [2–4]. Для сжигания бытовых муниципальных отходов используются 3 основных типа технологического оборудования [2]:

- установка для массового сжигания отходов [3];
- установка для сжигания топлива, полученного из отходов;
- модульные установки для сжигания отходов [4].

В отечественной практике наибольшее распространение получило сжигание ТБО на мусороперерабатывающих заводах в г. Киеве и г. Днепропетровске. Специализированный завод по термическому обезвреживанию ТБО (г. Харьков) в 2001 г. был остановлен в связи с нарушением технологического режима сжигания отходов и выбросами, значительно превышающими нормы и требования, действующие в Украине, по содержанию загрязняющих веществ (диоксинов, бенз(а)пирена, оксидов азота и сажи) в отходящих газах.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработал предложения по созданию комплексного предприятия по переработ-

ке различных типов отходов, которое должно обеспечить соблюдение экологических нормативов посредством многоступенчатой очистки отходящих дымовых газов и максимальное использование энергетических ценностей ТБО для производства тепловой и электрической энергии при их сжигании [1].

Разработаны и внедрены два типа мусоросжигательных экологически безопасных установок [4] для твердых бытовых отходов:

- передвижная – производительностью 150–200 кг ТБО/час – на одной платформе;
- стационарная – производительностью до 1 т/час.

Процессы пиролиза отходов и сжигание их в вихревом кипящем слое имеют более узкое применение при переработке по сравнению со сжиганием в печах.

С экологической точки зрения сжигание отходов необходимо рассматривать как процесс, который не представляет угрозы окружающей природной среде и дает возможность экономить энергоресурсы. При сжигании ТБО могут возникнуть условия для образования особо опасных экотоксикантов – диоксинов в присутствии хлора, органики и кислорода при умеренных температурах свыше 200 °С [5]. При температурах 800–850 °С диоксины нестабильны и значительного снижения их содержания можно достичь при температурах выше 900 °С. Кроме того, следует также учитывать особое свойство диоксинов – способность повторно образовываться в дымовых газах на частицах летучей золы при температурах 250–450 °С.

Поэтому технологический процесс сжигания ТБО должен гарантировать минимальный экологически безопасный выброс с дымовыми газами токсичных соединений в атмосферу и обеспечить современные требования и нормативы, установленные Министерством охраны окружающей природной среды Украины.

В настоящее время проводятся исследования по отработке и определению технологических решений и экологических аспектов при использовании муниципальных отходов в качестве альтернативного дополнительного источника топлива, получаемого при сортировке ТБО, отходов сельскохозяйственной деятельности и других отходов в производстве цемента.

Альтернативное топливо, получаемое при сортировке муниципальных отходов, является перспективным источником дополнительных энергетических ресурсов.

Для определения возможности использования теплосодержания ТБО и экономии природного газа при производстве цемента по заказу ООО «Эко-Союз» и ЗАО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия» на оборудовании ГП «Харьковский опытный цементный завод» (далее ГП «ХОЦЗ») были проведены опытно-промышленные испытания с целью установить возможность производства цемента с использованием в качестве добавок к природному газу сортированных муниципальных отходов. Альтернативное топливо, предоставленное ООО «Эко-Союз», получено на основе отходов производства и потребления. Состав отходов: бумага – 65 %; пластик – 10 %; текстиль – 25 %. Данное топливо соответствует техническим нормам Европейской Комиссии. Средние параметры топлива:

- теплотворная способность – 21790 кДж/кг;
- влажность – 6,2 %;
- зольность – 14 %.

Топливо, предоставленное ЗАО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия», представляет собой измельченные отходы пластмасс на основе полиэтилена. Характеристика ТБО представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика ТБО по данным ЗАО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия»

Параметры	Ед. изм.	К-во проб	Мин.	Ср. стат.	Макс.
Влажность	%	31	4,6	7,67	9,12
Зольность	%	31	10,5	13,23	14,4
Теплотворная способность	кДж/кг	62	16500	20910	21900

Для экологической оценки состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при использовании альтернативного топлива были проведены исследования

уходящих дымовых газов при получении клинкера во вращающейся обжиговой печи. Схема установки представлена на рис. 1.

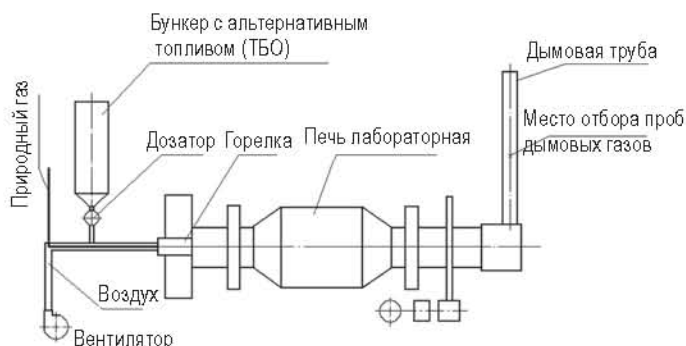


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки сжигания муниципальных отходов в лабораторной вращающейся печи при производстве цемента

Исследование концентрации основных ингредиентов (NO_x , CO, SO_2 и хлористого водорода) в отходящих дымовых газах проводили в дымовой трубе после вращающейся печи обжига, оборудованной двухпроводной диффузионной горелкой с дутьевым вентилятором для сжигания газа.

Отбор проб дымовых газов на содержание пыли проводили с применением воздухозаборных трубок, фильтра АФА-ВП-10 и электроасpirатора «Тайфун».

Отбор проб на содержание парообразных и газообразных соединений хлора в пересчете на водород хлористый проводили с применением воздухозаборных трубок, электроасpirатора «Тайфун», поглотителей, заполненных соответствующими поглотительными растворами.

Концентрации оксида углерода, оксидов азота, соединений серы (сернистого ангидрида) измеряли газоанализатором «Testo-350».

При проведении измерений температура отходящих дымовых газов находилась в интервале: 630–660 °С, при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,3–1,5$.

Печь обжига состоит из цилиндрического корпуса с бандажами и венцовой шестерней, привода вращения, роликовых опор, теплообменников, холодной и горячей головок с уплотнительными устройствами, питателя, дросселя и дымовой трубы. Печь смонтирована с уклоном к горизонту 5°; для удержания ее в определенном положении на роликовых опорах монтируется система упоров. Печь приводится во вращение электродвигателем через редуктор, подвенцовую и венцовую шестерни. Размеры печи: длина – 7 м, диаметр – 0,4 м.

Корпус печи защищен футеровкой из огнеупорного бетона. В местах соединения корпуса с пылевой камерой и горячей головкой стоят уплотняющие устройства.



Движение материала и газов в этой печи противоточное. Сырьевая смесь перемещается к нижнему концу печи за счет ее уклона и вращения. Навстречу движется тепловой (газовый) поток, который лучеиспусканием и конвекцией воспринимают открытые поверхности футеровки печи и материала. Скорость движения материала в печи соответствует необходимой длительности пребывания исходного сырья в зоне оптимальной температуры обжига. Скорость движения газового потока регулируется при помощи дроссельной заслонки.

Для подачи в зону горения печи альтернативное топливо было предварительно измельчено до крупности частиц не более 400 мкм. Порошкообразное топливо засыпало в специальный бункер, имеющий в нижней части шнековый дозатор с электроприводом. Из дозатора по патрубку топливо попадало в воздушный тракт, по которому образовавшаяся газопылевая смесь вдувалась в зону горения печи. Одновременно по газовому тракту производили подачу природного газа, используемого в качестве основного топлива. В инжекционной газовой горелке природный газ смешивался с первичным воздухом и вместе с ним подавался в зону горения печи. В эту же зону направлялась газопылевая смесь альтернативного топлива. Температура в зоне горения составляла 1400–1550 °С.

Таким образом, в зоне горения происходило сжигание альтернативного топлива и природного газа одновременно. В процессе работы оператор имел возможность изменять соотношение альтернативного топлива, природного газа и воздуха, подающегося в печь, обеспечивая оптимальный режим горения.

Для отработки технологии сжигания альтернативного топлива, предоставленного ООО «Эко-Союз», исследования проводили в 3-х режимах работы вращающейся печи.

В первом режиме вращающаяся печь обжига работала только на природном газе (без добавления альтернативного топлива). Сырьевая смесь для производства клинкера – стандартная (без добавления примесей). В процессе проведения исследования газовая горелка печи была отрегулирована в соответствии с режим-

ной картой. Измеренные концентрации загрязняющих веществ при работе печи на первом режиме были приняты за основу для сравнительного анализа.

Во втором режиме печь работала на пылегазовой смеси, состоящей на 70 % из природного газа и на 30 % – из измельченных муниципальных отходов. Сырьевая смесь для производства клинкера – стандартная (без добавления примесей). Ввиду отсутствия режимной карты при работе печи на пылегазовой смеси регулировка горелки была произведена вручную.

В третьем режиме вращающаяся печь обжига работала только на природном газе (без добавления альтернативного топлива). Сырьевая смесь для производства клинкера – нестандартная (до проведения обжига в нее была добавлена зола предварительно сожженного альтернативного топлива).

Результаты инструментальных замеров выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании только природного газа и природного газа с альтернативным топливом во вращающейся обжиговой печи при производстве клинкера на ГП «ХОЦЗ» представлены в табл. 2.

Анализ результатов инструментальных измерений фактических концентраций загрязняющих веществ в отходящих газах после вращающейся печи обжига ГП «ХОЦЗ» (табл. 2) при ее работе на топливе, состоящем, в основном, из природного газа, и добавкой 30 % измельченного альтернативного топлива, показал, что:

- концентрации оксида углерода изменились незначительно, наибольшее значение составляет 79 мг/м³ и не превышает нормативного показателя;
- концентрации оксидов азота (в пересчете на NO₂) увеличились с 99 мг/м³ до 210 мг/м³, но не превышают нормативного значения, составляющего 500 мг/м³;
- концентрации паробразных и газообразных соединений хлора в пересчете на хлористый водород увеличились с 0,73 мг/м³ до 3,18 мг/м³, но не превышают нормативного значения, составляющего 30 мг/м³;
- соединений серы (сернистого ангидрида) в отходящих дымовых газах во время проведения измерений не обнаружено во всех случаях.

Таблица 2 – Результаты измерений концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в дымовых газах при сжигании только природного газа (первый и третий режимы) и природного газа с отходами ООО «Эко - Союз» (второй режим)

Режимы	Температура, °С	Средняя концентрация ЗВ в дымовых газах, мг/м ³			
		Углерода оксид (СО)	Оксиды азота (в пересчете NO ₂)	Соединения серы (SO ₂)	Соединения хлора (в пересчете на HCl)
1-й режим	649,7	79	99	0	0,73
2-й режим	664,6	76	210	0	3,18
3-й режим	650,0	53	105	0	0,95

Исследования технологии сжигания альтернативного топлива, предоставленного ЗАО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия», проводили в четырех режимах работы печи (табл. 3).

В первом режиме вращающаяся печь обжига работала только на природном газе (без добавления альтернативного топлива). Сырьевая смесь для производства клинкера – стандартная (без добавления примесей). В процессе проведения исследования газовая горелка печи была отрегулирована в соответствии с режимной картой. Измеренные концентрации загрязняющих веществ при работе печи в первом режиме были приняты за основу для сравнительного анализа.

Во втором, третьем и четвертом режимах печь работала на пылегазовой смеси, состоящей из природного газа и измельченного в порошок альтернативного топлива. Сырьевая смесь для производства клинкера – стандартная (без добавления примесей). Ввиду отсутствия режимной карты при работе печи на пылегазовой смеси регулировка горелки была произведена вручную.

Соотношение «природный газ – альтернативное топливо» составляло 90 % и 10 % для второго режима, 80 % и 20 % – для третьего режима, 70 % и 30 % – для четвертого режима.

Анализ результатов (табл. 3) измерений фактических концентраций загрязняющих веществ в дымовых газах вращающейся печи обжига ГП «ХОЦЗ» при переводе работы печи с природного газа на смешанное топливо, состоящее из природного газа и измельченного топлива на основе полиэтилена, показал, что:

- измеренные фактические концентрации углерода оксида увеличились с 163 мг/м³ до 244 мг/м³ (при нормативном значении – 250 мг/м³);
- измеренные фактические концентрации оксидов азота (в пересчете на NO_x) увеличились с 114 мг/м³ до 184 мг/м³, но не превышают нормативного показателя;
- измеренные фактические концентрации паровых и газообразных соединений хлора (в пересчете на водород хлористый) увеличились с 1,1 мг/м³ до

1,3–1,4 мг/м³, но не превышают нормативного значения, составляющего 30 мг/м³;

- измеренные фактические концентрации пыли увеличились с 17 мг/м³ до 40 мг/м³, но не превышают нормативного значения, составляющего 50 мг/м³;
- соединений серы (сернистого ангидрида) в отходящих дымовых газах во время проведения измерений не обнаружено во всех случаях.

Концентрации выбросов загрязняющих веществ дымовых газов (мг/м³) в процессе проведения экспериментальных исследований приведены к нормальным условиям.

При проведении экспериментов не были выполнены измерения концентраций углеводородов в отходящих газах. В температурных условиях дыма цементных печей возможна их рекомбинация с хлором в хлорорганические соединения. Поэтому в промышленных условиях требуется проведение дополнительных исследований (проверки возможности повторного образования углеводородов и хлорорганических соединений) с целью обеспечения экологической безопасности по выбросам в атмосферу указанных ингредиентов.

В период проведения на ГП «ХОЦЗ» экспериментальных исследований по обезвреживанию альтернативного топлива, полученного из муниципальных отходов, были обеспечены такие технические и эксплуатационные условия сгорания (коэффициент избытка воздуха – не более 1,5; $t_{\text{сгор}} = 1400\text{--}1550\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ух.газов}} = 600\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$), при которых предотвращается образование диоксинов. При производстве цемента в промышленных вращающихся печах обжига может быть предусмотрено использование теплосодержания отходящих дымовых газов для нагрева вторичного воздуха горения (или для других целей) и охлаждения газов до $t = 150\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как отмечалось выше, при температуре менее 400 °C диоксины повторно могут адсорбироваться на поверхности золы, поэтому в случае изменения условий и параметров сжигания ТБО по сравнению с теми, которые были при проведении описанных экспериментов, и внедрении разработанного способа в промышленных условиях, необходимо

Таблица 3 – Результаты измерений концентраций загрязняющих веществ в дымовых газах печи обжига при сжигании только природного газа (первый режим) и природного газа с отходами ЗАО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия» (второй – третий режимы).

Режимы	Температура, °C	Средняя концентрация ЗВ в дымовых газах, мг/м ³			
		Углерода оксид (CO)	Оксиды азота (в пересчете на NO _x)	Сажа	Соединения хлора (в пересчете на HCl)
1-й режим	635–660	163	114	17	1,1
2-й режим	635–660	205	168	18	1,35
3-й режим	635–660	232	177	32	1,3
4-й режим	635–660	244	184	40	1,4



проведение дополнительных промышленных испытаний на одном из предприятий цементной промышленности Украины. Естественно, в таких испытаниях потребуется дополнительно провести измерения концентрации загрязняющих веществ в отходящих газах с целью обеспечения экологической безопасности предлагаемой технологии.

ВЫВОДЫ

Термическое обезвреживание сортированных муниципальных отходов во вращающейся печи обжига при производстве клинкера, как показали результаты исследований, является эффективным и целесообразным методом их утилизации.

Экологическая оценка данных экспериментальных исследований показала, что содержание загрязняющих веществ в отходящих дымовых газах при производстве клинкера в печи обжига ГП «ХОЦЗ», работающей на смешанном топливе, состоящем из природного газа и двух видов измельченного альтернативного топлива (до 30 %), не превышает утвержденных приказом Министерства охраны окружающей природной среды Украины № 309 от 27.06.2006 г. нормативов предельнодопустимых выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников. Таким образом, предлагаемый метод утилизации альтернативного топлива, получаемого при сортировке отходов, высоко рентабелен (для его реализации в промышленности требуются незначительные затраты), позволяет экономить природный газ и удовлетворяет действующим требованиям и нормативам природоохранных и санитарных органов Украины.

У статті наведено результати дослідно-промислових випробувань щодо термічного знешараження твердих побутових відходів у обертовій печі випалу під час виробництва клинкеру. Визначено викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Надано оцінку рівня екологічної безпеки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические и технологические решения УкрГНТЦ «Энергосталь» по комплексной переработке ТБО, сжиганию бытовых отходов и уничтожению химических средств защиты растений / Д.В. Сталинский, В.А. Ботштейн, А.З. Рыжавский [и др.] // Экология и промышленность. – 2006. – № 4. – С. 4–7.
2. Руководство по инвентаризации атмосферных выбросов «CORINAIR»: ЕМЕП, 1997.
3. Сандквист Я.-О. Сжигание отходов – угроза окружающей среде или возможность возобновления ресурсов / Я.-О. Сандквист, Р. Ванкевич // 4-й Междунар. конгресс по управлению отходами ВэйстТэк-2005, 31 мая–3 июня 2005 г. : сб. докладов. – М. : ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2005. – С. 296–297.
4. Экологически безопасные мусоросжигательные установки / В.А. Ботштейн, Т.П. Братова, А.З. Рыжавский [и др.] // Там же. – С. 300.
5. Образование диоксинов при термической утилизации твердых бытовых отходов / Г.Г. Гелетуца, М.В. Спенкин, Н.М. Жовмир [и др.] // Там же. – С. 288–289.
6. Экологические аспекты сжигания альтернативного топлива при производстве клинкера / Т.Ф. Жуковский, Г.В. Гутков, Е.А. Мироненко [и др.] // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : XV Междунар. науч.-практ. конф., 4–8 июня 2007 г., г. Щелкино, АР Крым / УкрГНТЦ «Энергосталь» : сб. науч. статей. В 2-х т. – Харьков: Издательство Сара. – 2007. – Т. 1. – С. 405–407.

Поступила в редакцию 21.07.2008

The paper presents the results of pilot investigation on thermal neutralization of solid household wastes in a rotary calciner at clinker production. Emissions released into atmospheric air were determined. Assessment of environmental safety level is given.