

Принципы экологической оценки и переработки ТБО

Краснюк В. А.

Научно-исследовательский институт экономики жилищно-коммунального хозяйства
г. Киева

Изложены проблемы экологической оценки отходов промышленности Украины, в том числе и пути утилизации твердых бытовых отходов (ТБО). Подтверждено, что ТБО могут являться дополнительным источником получения сырьевых материалов. Приведены основные технологические параметры мусоросжигательных заводов и линий по переработке ТБО.

Современная концепция интенсивного социально-экономического развития страны на базе ускорения темпов научно-технического прогресса предусматривает широкое внедрение в практику производства технологий новых ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологических процессов.

В состав отходов различных производств входят твердые, жидкие, газообразные побочные продукты переработки сырья, добычи и обогащения полезных ископаемых, продукты выбросов, улавливаемые при очистке выбросов и др. Образование большой массы отходов и ограниченная ассимилирующая возможность природной среды в отношении большого числа компонентов явилось составной частью причин возникновения так называемых кризисных экологических ситуаций. Поэтому, в большинстве промышленно развитых стран сложилась концепция, согласно с которой принципиальная возможность решения экологических проблем может быть реализована только через дальнейшее изменение характера производства путем рационального, комплексного и циклического использования материальных ресурсов (безотходное производство) и создания в перспективе техногенного круговорота веществ.

Серьезную эколого-гигиеническую проблему представляют твердые бытовые отходы (ТБО), количество которых в городах страны непрерывно растет, а технические решения по их эффективному обезвреживанию, как правило, отстают от темпов накопления этих отходов.

Паспортизація місць обезвреживання промислових і побутових відходів в країні, проведена органами державного санітарного нагляду показала, що понад 50% площадок не відповідає діючим нормативним документам. З загального кількості побутових і промислових свалок, що займають площу понад 50 тис. га, 43% є потенційно небезпечними з точки зору можливості забруднення ними: атмосферного повітря, 34% ґрунту, 28% ґрунтових вод і 23% поверхневих водойм.

Метод термічного сжигання ТБО має ряд переваг перед їх складуванням на полігонах, хоча б в тому часті, що процес сжигання дозволяє на 85% зменшити первинний об'єм мусору і для захоронення золи і шлаків потребує в 30 раз меншу площу землі, ніж для обезвреживання натуральних відходів (0,1 проти 3,0 м² на 1 т субстрату відповідно).

В той же час мінералізація органічної частини ТБО в топкових пристроях мусоросжигательних установок (МСЗ) передбачає більш високу рухливість різних токсичних інгредієнтів (хлорсодержащих і інших шкідливих неорганічних сполук, важких металів і др.) як при надходженні їх в газові викиди, так і при захороненні на полігонах побутових відходів або на спеціальних полігонах для обезвреживання всього комплексу промислових відходів. Однак такі спеціальні полігони в Україні практично відсутні. Це викликає необхідність гігієнічного обґрунтування можливості і умов вторинної утилізації продуктів термічного процесу сжигання ТБО (золи і шлаку), а також розглянути питання про ступінь небезпечності для навколишнього середовища і здоров'я населення, пов'язану з захороненням цих відходів на полігонах.

Метою цієї роботи була санітарно-гігієнічна оцінка шлаків і золи на прикладі Київського мусоросжигательного заводу «Енергія» (КМЗ) з точки зору можливості і умов їх використання при виробництві будівельних конструкцій і будівельних матеріалів.

Слід зазначити, що в країні немає уніфікованих методик по гігієнічній оцінці технологічних відходів, що використовуються при виробництві будівельних матеріалів. Діючі «Временний класифікатор токсичних промислових відходів» і «Методичні рекомендації по визначенню класу токсичності промислових відходів» дозволяють тільки провести ранжировку відходів по можливим способам їх утилізації і обезвреживання. Але цей документ не відповідає на питання про критерії придатності цих або інших відходів для вторинного використання, зоклад. і в часті можливих домішок при виробництві будівельних матеріалів.

Ряд провідних спеціалістів України при розв'язанні завдань, що випливають з поставленої мети, використовували свій особистий гігієнічний досвід оцінки промислових відходів. В плані постановки теоретичних і практичних завдань і відповіді на основне питання про доцільність застосування шлаків і золи МСЗ при

производстве стройматериалов использован опыт ряда стран (Венгрии, Чехии, Голландии, Германии и др. стран), активно разрабатывающих и решающих данную проблему (эколого-гигиеническую оценку методам вторичной утилизации промотходов).

Работы подобного плана должны включать, как минимум следующие исследования:

1. Определение класса опасности исследуемых отходов не расчетным методом, что допускается вышеуказанным документом, а на основании их биологической оценки на лабораторных животных; только уверенность в объективности полученной информации по классу опасности отходов не вызывает сомнения в правомерности выбранного способа их утилизации.
2. Оценка кожно-резорбтивного действия отхода в целом или его отдельных компонентов, поскольку при включении его в новый технологический цикл значительно превышает вероятность прямого контакта с человеком, в т.ч. через кожные покровы и слизистые.
3. Изучение содержания в отходах канцерогенных веществ, т. к. установлено, что в процессе горения органических материалов они могут образовываться в повышенных количествах.
4. Оценка физико-химического состава отходов с точки зрения возможного непосредственного их воздействия на рабочих в процессе изготовления вторичных материалов, неблагоприятного влияния последних на условия жизни и здоровье населения и вредного воздействия на окружающую среду в процессе транспортировки и производственного применения отходов.
5. Оценка их радиоактивности, поскольку она является фактором повышенного риска для населения, особенно в том случае, если источник радиации будет находиться в стройматериалах, составляющих конструктивные элементы производственных, жилых или иных сооружений.

Приведенный перечень может претендовать на тот минимум, который позволяет объективно оценить возможность и условия использования золы и шлака, как Киевского завода «Энергия» (КМСЗ), так и других МСЗ Украины при производстве стройматериалов и изделий.

Центр «Модуль» Института гигиены и медицинской экологии АМН Украины им.О.М. Марзеева совместно с нами периодически проводили гамма-спектрометрические исследования золы и шлака Киевского мусоросжигающего завода «Энергия».

Известно, что доза облучения населения, формирующаяся от радиоактивности строительных материалов, используемых в строительстве, пропорциональна эффективной удельной активности этих материалов. Основными дозообразующи-

ми радионуклидами в этом случае являются природные радионуклиды $Ra-226$, $Th-232$, $K-40$, $Cs-137$, $Cl-144$, $Ru-106$, которые вносят незначительный вклад в эффективную удельную активность и дозу облучения.

В зависимости от объема массы и предполагаемой активности поступающих проб проводились измерения в емкостях с различной геометрией (геометрия «Маринелли»). Геометрия «Маринелли» использовалась для измерения проб, объем которых превышал 1 л.; в молочных пакетах измерялись пробы строительных образцов.

Просушенные, измельченные и расфасованные пробы поступали на исследование для измерения заданных параметров токсичности на гамма-спектрометрической установке АДСАМ-100 фирмы ORTEC, США.

Для автоматизированной обработки средствами базы данных на основе программного пакета ВА ЕИИ, IV результаты накапливались специально в файле с соответствующим форматом.

Результаты измерений проб шлака и золы приведены с ошибкой, не превышающей 10%. Эффективная удельная активность рассчитывалась по формуле, предложенной Э.М.Крисюк [1]:

$$C_{эфф} = 1,31 C(Th) + C(Ra) + 0,085 C(K),$$

где $C(Th)$ — удельная активность $Th-232$ (Бк/кг),

$C(Ra)$ — удельная активность $Ra-226$ (Бк/кг),

$C(K)$ — удельная активность $K-40$ (Бк/кг).

Данные измерения образцов золы, шлака завода «Энергия» представлены в таблице 1. Анализ результатов показывает, что эффективная удельная активность всех исследуемых образцов не превышает нормы, установленной для материалов, применяемых во всех видах строительства — 370 Бк/кг [2].

Средняя эффективная удельная активность образцов в 1,4 раза превышает активность шлаков.

Для сравнения следует сказать, что средняя эффективная удельная активность естественных радионуклидов в образцах строительных материалов в России колеблется в более значительных пределах. В Эстонии, например, она составляет 68 Бк/кг, в Армении — 159 Бк/кг. Украина занимает промежуточное положение — 106 Бк/кг.

Таблица 1. Результаты гамма-спектрометрических измерений радиоактивности проб золы и шлака завода «Энергия»

Вид исследуемого материала	Средняя активность, Бк/кг.							
	Th-232	Ra-226	K-40	Cs-137	Cs-134	Ce-144	Ru-106	Cэфф
Шлак								
1	15,9	11,4	212,8	50,4	8,4	72,2	33,6	53
2	14,6	10,9	215,2	34,2	6,3	24,5	29,5	48,3
3	16,8	10,9	195,6	27,9	78,5	79,3		49,6
4		15,9	239,9	40,6		43,0	34,2	35,5
7	45,2	14,4	375,9	48,9		30,0	31,2	97,1
8	34,6	36,2	1704	1183	200,7	1459	1657	226,3
9		35,6	1733	1001	1753	255,9	1642	182,9
11	15,7	19,9	991,9	618	107,3	223,3	90,2	124,8
12	12,1	25,4	680	345	56	120	37	99,1
19	13,4	46,9	257	52,1	6,4	55,2		86,4
20	23,7	35,5	2336	1803	326,9	329,9	158,8	265,2
21	16,7	15	216,1	36,3	4,8	43,0	45,1	55,3
22		9,5	290,4	30,0	3,7	17,9		34,1
Средн	20,9	22,1	718,4	405,4	88,6	110,8	79,0	104,2
Зола								
5	34,9	28,3	1488	883	158	175,1	156,7	200,4
6	43,5	66,7	960	650	108,3	71	49	
13		15,6	172	49,9	9,7	61,0	28,7	30,2
14	21,9	26,0	1254	782,5	133,9	185,5	181,9	161,4
15	34,7	22,9	1806	1138	195,8	205,5	207,4	221,9
16	12,2	11,5	185,4	48,4	74,3	39,1		43,2
17	27,6		1437	1092	199,2	248		
18	7,6	7,7	137,2	27,2		33,7	10,1	29,3
23		28,5	1716	1006	172,9	229,5		174,4
24	33,7	27,0	2291	1149	198,9	204	124,7	265,9
25		33,5	1145	879	156,2	119,2	116,9	130,8
27	27,1	27,9	1002	1037	182	239	196	199,6
Средн	27,0	26,9	1182,8	728,5	144,5	150,9	119,0	145,7

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что ведущее значение в обеспечении установленных величин эффективной удельной активности испытуемых образцов шлака и золы занимают естественные радионуклиды, в частности, K-40. Следовательно, такие отходы возможно использовать в области изготовления стройматериалов и изделий, как частичная замена традиционных исходных сырьевых материалов (взамен части песка, щебня, гранотсева). Однако, такие изделия будут рекомендоваться для использования в строительстве, только не для жилого фонда.

Таблиця 2. Средние значения радиоактивности промотходов Киевского мусоросжигательного завода «Энергия»

Вид материала	Нулиды, Бк/кг							
	Th-232	Ra-226	K-40	Cs-137	Cs-134	Ce-144	Ru-106	Cэфф
Шлак	20,9	22,1	718,4	405,4	88,6	110,8	79	104,2
Зола	27	26,7	1182,8	728,5	144,5	150,9	119	145,7

Практический опыт работы на комбинате «Броварыстройиндустрия» показал, что шлак завода «Энергия» может быть эффективным сырьевым материалом для изготовления фундаментных блоков, стен подвалов, лотков и др. изделий. Основными компонентами для изготовления этой продукции являются: цемент, песок, зола и шлак. При этом возможно получать изделия с прочностью на сжатие (при естественном твердении) 7,5-15 МПа. Поэтому вполне возможно рекомендовать к полному использованию отходов мусоросжигающих заводов Украины (зол и шлаков) для изготовления, преимущественно, фундаментных блоков, шлакоблоков, лотков, а также в основания дорог взамен части щебня и песка.

Исследованиями установлено, что естественная радиоактивность золы и шлака Киевского завода «Энергия» находятся на уровнях, не превышающих допустимые нормативы для стройматериалов и по этому критерию нет противопоказаний к использованию отходов в технологии их производства.

Ниже приведем основные технологические принципы работы более современных мусоросжигающих заводов Чехии, как наиболее экологически чистых. Преимуществом таких станций является тот факт, что на них возможно сжигать самые разнообразные отходы с высоким содержанием вредных химических веществ.

Так, к примеру, мусоросжигательная станция РСР 1000 производителя «СМС» о.о.о., г.Рокышаны Чехии локального назначения (небольшой мощности), представляет собой комплекс оборудования, предназначенного для непрерывного прямого окислительного процесса сжигания твердых бытовых отходов, жидких отходов, а также отходов в виде пасты в количестве примерно 200 кг/час. Процесс сжигания состоит из двух фаз. При этом теплотворная способность при сжигании ТБО достигает 18 МДж/кг. Малогабаритные ТБО поступают с помощью конвейеров через червячную мешалку и дозирующее устройство в ротационную печь, в которой и происходит основной этап процесса сжигания этих отходов. Более крупные отходы попадают в ротационную печь с помощью пневматического дозатора. Жидкие отходы перекачиваются через защитное мелкое сито из сливного накопительного бака в рабочий силос-бункер. Затем с помощью дозирующего распылителя через фильтр подаются насосом (при рабочем давлении около 1,0 МПа) в ротационную печь. Распыление этих жидких отходов в ротационной камере происходит с помощью сжатого воздуха.

Первая фаза сгорания отходов происходит в ротационной цилиндрической камере при температуре 800-900⁰С. Сжигаемые отходы, воздух и образующиеся продукты сгорания при этом поступают по одному направлению. Отходы поджигаются с помощью стабилизационной горелки типа АРН 04 Pz, которая обеспечивает подъем и стабилизацию температуры сжигания до необходимой, сжигая при этом и стабилизационное топливо (природный газ). Время, необходимое для полного сгорания отходов, можно регулировать двумя способами: углом наклона ротационной камеры, а также скоростью ее вращения. Ротационная камера смонтирована на раме с электроприводом. Задняя ее часть ведет в камеру, в которой образующая зола выпадает в первый сборный колодец. С помощью затвора колодца (при его открывании) зола выпадает в контейнер, расположенный в подвале под печью.

Вторая фаза сгорания происходит в трехтяговой вертикальной камере при температуре сжигания 1200-1350⁰С. При этом концентрация кислорода в камере достигает минимальной допустимой величины – 6%, а гарантированный срок задержки продуктов сгорания при вышеуказанных условиях не превышает 2 секунд. Затем продукты сгорания после поступления в камеру подаются вверх, в зону горелки типа АРН 10 Pz, которая расположена в камере сгорания. В этой камере продукты сгорания приходят в спиральное движение и одновременно подвергаются окислительному процессу при температуре 1200-1350⁰С. В дальнейшем они поступают в разъемную вертикальную камеру, в которой меняется направление их движения. Не доходя до дна камеры продукты сгорания, снова меняют направление движения и, поступая вверх, к входу в дымовой трубопровод, попадают в жароциклон. В результате изменения скорости и направления движения продуктов сгорания в камере улавливается крупная фракция жестких (твердых) загрязняющих веществ, которые осаждаются во втором сборном колодце камеры и затем через затвор выпадают в контейнер. В жароциклоне в результате влияния ротационного движения продуктов сгорания и последующего острого изменения направление их движения улавливается мелкая фракция жестких загрязняющих веществ. Уловленные жесткие загрязняющие вещества выпадают в нижней части жароциклона через затвор в контейнер. Температура продуктов сгорания в теплообменнике для охлаждения продуктов сгорания понижается, достигая примерно 200⁰С. В процессе сгорания отходов одновременно происходит и их очистка от вредных химических соединений.

Технология очистки продуктов сгорания согласно проекту фирмы «ЭВЕКО» о.о.о. Прага состоит из нескольких последовательных фаз мокрой химической очистки, которой предшествует предварительная механическая очистка. Предварительная механическая очистка обеспечивается матерчатым фильтром с автоматической регенерацией «ON-LINE» с помощью сжатого воздуха.

В каждой отдельной фазе мокрой химической очистки продуктов сгорания применяются изолированные технологические схемы специальных химических промывных растворов. Следует отметить, что при первой фазе сжигания отходов, в поточном сепараторе типа Вентури, температура продуктов сгорания достигает 50-60°C. При этом показатель концентрации водородных ионов промывного раствора держится в диапазоне $\text{pH} = 3,5-4,0$. При второй абсорбционной фазе очистки промывной раствор (гидроокиси натрия) имеет $\text{pH} = 7,5$. В последующей третьей фазе происходит улавливание жидкого уноса мокрым путем.

Продукты сгорания перед поступлением в дымовую трубу и последующим выбросом в атмосферу нагреваются с помощью электрически отапливаемых тел до температуры точки росы.

Концентрация веществ, которые образуются в процессе сгорания отходов и подлежат выбросу в атмосферу, загрязняя окружающую среду, исследовалась фирмой «ИНПЕК» (Прага). Исследованию подвергались продукты сжигания смеси масляных шламов совместно с деревянными опилками. В одном случае сжигаемые масляные шламы содержали 15,9 мг РСВ/1 кг, в других случаях эти показатели были выше. Данные были получены в процессе исследований при нормальных условиях процесса сжигания ($p = 101,32$ кПа, $T = 273,16$ К). Полученные результаты исследований представляют собой средние величины из шести измерений. При определении концентраций оксидов углерода, серы и азота, а также органических веществ применялись методы непрерывного измерения. При определении остальных веществ, загрязняющих окружающую среду, пробы отбирались выборочным методом. Ниже приведены усредненные (в скобках минимальные и максимальные) данные величин загрязняющих атмосферу веществ, полученные экспериментальным путем.

Жесткие загрязняющие вещества - 13,3 мг/м³ (8,7–17,4), оксид углерода – 2,25 мг/м³ (1,2-3,9), оксид серы – 5,22 мг/м³ (3,1-5,9), оксиды азота (NO₂) – 83,55 мг/м³ (77,9-92,8), общая концентрация органических веществ (С) – 4,35 мг/м³ (1,9-5,9), летучие неорганические соединения хлора (HCl) – 5,59 мг/м³ (4,03-7,46), летучие неорганические соединения фтора (HF) – 1,00 (0,42-1,88), Hg – 0,0066 (0,0022-0,0152), Cd – 0,0102 (0,0053-0,0124), Tl – нет, As – 0,1542 мг/м³ (0,0880-0,2080), Ni – 0,0020 мг/м³ (макс. 0,0048), Cr – 0,0202 мг/м³ (0,0129-0,0262), Co – 0,0104 мг/м³ (макс. 0,0625), Cu – 0,3863 мг/м³ (0,0249-2,1797), Mn – 0,0025 (0,0007-0,0067), Pb – 1,2068 мг/м³ (0,5429-1,6013)[3].

Средняя концентрация кислорода, используемого в течение всего периода одного цикла реакции, протекающей при сжигании отходов, составляет 10,76% (10,10-11,00).

Мусоросжигательная станция РСР 1000 фирмы «ЭВЕКО» о.о.о. Прага оснащена также и оборудованием по очистке дымовых газов. Она полностью удовлетво-

ряет конструкторским и технологическим требованиям на этот тип оборудования предназначенного для сжигания коммунальных, специальных и особо опасных отходов (согласно постановлению Федерального комитета окружающей среды от 23.06.1994 г., в котором меняется и дополняется постановление Федерального комитета окружающей среды Чехии от 01.10.1991 г. к Закону № 309/1991 Свода законов, приложения №3 (пункт «а» и первая часть пункта «б» части А – 5.1.1.1. и 5.1.2.1.).

Следует отметить, что величины концентраций веществ, загрязняющих окружающую среду, т.е. нормы допустимых доз, удовлетворяют требованиям предельных эмиссий, установленным для сжигания коммунальных отходов (в соответствии с частью 5.1.2.1. вышеуказанного постановления Федерального комитета окружающей среды) и специальных отходов (в соответствии с частью 5.1.2.2. вышеуказанного постановления Федерального комитета окружающей среды Чехии).

Также, проводились исследования и определялись количества (концентрации) таких вредных веществ как полихлорированные дифенолы, полихлорированные дибензолураны и полихлорированные дибензодиоксины. Установлено, что концентрация полихлорированных дифенолов, образующихся в процессе сжигания ТБО, составляет 15,9 мг/кг, а иногда и выше.

Важным является установление того факта, что в течении эксплуатации такой мусоросжигающей станции не доказано, что температура сжигания ТБО во второй фазе (на втором этапе сжигания) при каких-либо возникающих отрицательных обстоятельствах (например, при изменении морфологического состава ТБО, и который периодически меняется в зависимости от сезона года) не будет понижаться ниже температуры 1200⁰С. Эти два важных фактора и влияют на использование таких мусоросжигающих станций для сжигания ТБО в больших количествах. Также важным моментом остается вопрос комплектации этих станций необходимым дополнительным оборудованием, и в первую очередь специальным оборудованием для очистки вредных летучих веществ, загрязняющих атмосферу.

Однако следует, по-видимому, считать, что наиболее перспективно и экономически наиболее эффективно использовать для утилизации ТБО не мусоросжигающие заводы, а линии (комплексы) по сортировке и переработке этих отходов.

Ниже приведены основные технологические параметры таких линий и, которые рекомендуются к использованию.

Комплексная линия по сортировке и переработке ТБО Европейского производства состоит из сортировочной линии на 4 и более оператора-сортировщика, оснащена электромагнитом для отделения металлических отходов, установки измельчения перебранных отходов, пресс-компактора для измельченных отходов. Производительность линии до 150 тыс.т/год.

Так сортировочная линия SR 2*2 Предназначена для сортировки среднесуточных объемов мусора и отходов. Таких как макулатура, картон и упаковочная бумага, пластмасса, фольга, стеклотара, пластиковые бутылки, алюминиевые и консервные банки и т.п.

Отходы и мусор из общего контейнера или загрузочного бункера подаются на сортировочный конвейер, где в начале конвейера установлен электромагнитный улавливатель для извлечения металлических частей (металла).

Отсортированные отходы поступают в установку (специальный шредер-измельчитель) для измельчения.

Установка для измельчения типа Intercastor 6-11 предназначена для измельчения отсортированных отходов и мусора: макулатуры, картона и упаковочной бумаги, пластмассы, фольги, стеклотары и пластиковых бутылок, алюминиевых и консервных банок; а также изделий из древесины, например поддонов, автомобильных крышек диаметром до 1200 мм, пластиковых упаковок и других крупногабаритных отходов.

Установка оснащена двухступенчатыми спиральными резаками.

Ступени приводятся в действие двумя моторами по 11,0 кВт каждый, через механический редуктор. Отсортированный по типам мусор загружается из контейнера в сопло измельчителя с помощью передвижного подъемника.

Технические данные:

Моторы	электروهидравлические
Питание	380 Вт 50 Гц
Мощность	2*11,0 кВт
Питание панели управления	24 В
Предохранитель	63 А
Размеры загрузочного сопла	720*1200 мм

Пресс-компактор PR-60-ТА

Пресс-компактор измельченных отходов и остаточного мусора PR-60-ТА предназначен для компактирования и формирования в пачке всех типов мусора поступающего после переработки в измельчителе *Intercastor 6-11*.

Измельченный мусор подается в камеру пресс-компактора по конвейеру, что позволяет добиться высокой производительности этой установки. Установка комплектуется устройством для перфорирования пластиковых бутылок мощностью 10-20 м³ бутылок в час.

Технические данные:

Давление пресса	600 kN (60 тонн)
-----------------------	------------------

Мотор	электрогидравлический
Питание	380 В 50 Гц
Мощность	10,0 + 1,5кВт+ 1,5кВт
Питание панели управления	24 В
Предохранитель	40 А
Цикл компактирования	23 сек.
Вес установки	3400 кг
Размер установки с конвейером	2000*8000*3800 мм
Размеры камеры пресса	800*1200*1800 мм
Размеры пачки	800*1200*1200 мм
Вес бумажной пачки	400-600 кг
Вес пачки пластиковых бутылок	300-400 кг

Перелік посилань

1. **Крисюк Э. М. Радиационный фон помещений.** — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 12 с.
2. **Карпов В. И.** Оценка уровней радиации в зданиях при использовании «высокоактивных» строительных материалов / Гигиена и санитария, 1986, 5. — С. 74-75.
3. **Решение Дирекции Чешской инспекции окружающей среды,** отдела охраны воздуха, принятое в отношении одобрения применения новой технологии и оборудования. № 90 / ЖП / 00 / 0399 / БО / 94, № 1216 от 16.08.1994 г.

Получено 30.03.04