Утилизация и биодеградация отходов

УДК 504.064.47+621.454.3 DOI: 10.25514/CHS.2018.2.14121

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ СЖИГАНИИ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. Ю. Мелешко[1]*, Ю. Л. Краснобаев[2,3], В. С. Кочелаевская[3], А. М. Червякова[3]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Москва, Россия,
*e-mail: vladmelva@rambler.ru
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия
[3]Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, Балашиха, Московская обл., Россия

Поступила в редакцию 21.10.2018 г.

Аннотация – Предложен новый подход к уточнению класса опасности отходов, образующихся в результате утилизации (ликвидации) энергонасыщенных материалов (ЭМ) путем сжигания (взрыва). Подход имеет два направления – в первом уточнение класса опасности ведется с учетом известного исходного состава утилизируемого (ликвидируемого) ЭМ, во втором – выполняется прогнозирование компонентного состава отхода на основе данных об элементном составе. В последнем случае на основе полученных аналитических данных проводится «проектирование» химических реакций с последующим рассмотрением продуктов полного окисления в качестве компонентов отхода. Предложен алгоритм определения состава отхода, в соответствии с которым определение компонентного состава происходит по упрощенному механизму, приведены примеры расчетов класса опасности отходов ЭМ. Использование предложенного подхода позволит повысить точность оценки опасности отходов и тем самым существенно снизить затраты на утилизацию (ликвидацию) ЭМ, а также уменьшить затраты на размещение данных видов отходов на полигоне.

Ключевые слова: сжигание, энергонасыщенные материалы, опасные отходы, класс опасности, утилизация.

APPROACH TO DETERMINING CLASS OF HAZARD FOR WASTES GENERATED FROM INCINERATION OF ENERGETIC MATERIALS

V. Yu. Meleshko[1]*, Yu. L. Krasnobaev[2,3], V. S. Kochelaevskaya[3], and A. M. Chervyakova[3]

[1]Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
*****e-mail: vladmelva@rambler.ru

[2]Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI), Moscow, Russia
[3]Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Balashikha, Moscow region, Russia

Received October 21, 2018

Abstract – A new approach has been proposed to redefine the hazard class of wastes generated from utilization (disposal) of energetic materials (EM) by incineration (explosion). The approach provides two routine procedures: the first one involves revision of hazard class basing on the known elemental

composition of the utilized (eliminated) EM, while the second procedure performs prediction of waste composition basing on data on its elemental composition. In the latter case, analytical data on waste composition are summarized and a “designing procedure” of chemical reactions is carried out with the subsequent analysis of complete oxidation products of waste ingredients. An algorithm for determining waste composition is proposed, which provides a simplified mechanism for determination of waste composition with representative, examples of calculations of hazard classes of EM wastes. The proposed approach will improve the accuracy of hazard assessment for EM wastes along with significant reducing the cost of utilization (disposal) of EM, as well as reducing the cost of storing these wastes at waste landfills.

Keywords: combustion, high power materials, hazardous waste, class of hazard, utilization.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время больше внимания уделяется вопросам обеспечения экологической безопасности. В Российской Федерации экологическая безопасность признана составной частью национальной безопасности. В соответствии со Стратегией экологической безопасности РФ на период до 2025 года, состояние окружающей среды на территории РФ, где сосредоточена большая часть населения, оценивается как неблагополучное по экологическим параметрам [1]. В перечень внутренних вызовов экологической безопасности входит увеличение объема образования отходов производства и потребления при низком уровне их утилизации. Важно отметить, что в приоритетные направления реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности включено повышение уровня утилизации отходов производства и потребления.

В этой связи перед промышленными предприятиями стоит задача активизировать деятельность в области обращения с опасными отходами, в том числе это касается промышленных объектов, занимающихся утилизацией (ликвидацией) энергонасыщенных материалов (ЭМ), к которым относят взрывчатые вещества и твердые топлива.

Для достижения целей, поставленных Стратегией экологической безопасности России, необходимо выполнение комплексных организационных, технических и технологических мероприятий, сопряженных с большими затратами ресурсов. Между тем, существует возможность добиться целей, поставленных государством, за счет совершенствования методического аппарата оценки негативного воздействия на объекты окружающей среды.

Оценку состояния экологической безопасности обычно осуществляют путем определения объема образованных отходов и их градации по классам опасности на единицу валового внутреннего продукта. При этом возможно назначение меньшего класса опасности отходов, получаемых в результате утилизации (ликвидации) ЭМ путем сжигания или взрыва. Такой подход может привести к снижению затрат на размещение отходов на специализированных полигонах.

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К УТОЧНЕНИЮ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ

В результате утилизации (ликвидации) энергонасыщенных материалов методом сжигания (взрыва) образуются как газообразные, так и конденсированные вещества, которые впоследствии превращаются в отходы. В

частности, при сжигании 1 тонны алюминизированных ЭМ образуется до 370 кг твердого остатка.

Данные отходы можно после предварительной очистки вернуть в производство для повторного применения, однако из-за относительно малого суммарного количества образующихся веществ, интерес в промышленности к ним незначителен.

Перед размещением отходов на полигонах определение степени их опасности выполняют либо расчетным, либо экспериментальным (аналитическим) методом [2]. С учетом того, что качественный и количественный состав образующихся при ликвидации энергетических веществ отходов непостоянен, класс опасности отходов назначается по результатам анализа состава в специализированной (аккредитованной) лаборатории. Применяемые методы физико-химического анализа направлены на обнаружение в отходах химических элементов.

При этом для определения класса опасности необходимо знание компонентного состава. При сжигании (взрыве), как правило, образуются отходы, состоящие, в основном, из продуктов полного окисления исходных веществ, характеризующихся более низкими показателями опасности, чем показатели опасности определенных в анализах исходных элементов, условно считаемых простыми веществами [3].

В таблице 1 представлены данные гигиенических нормативов для некоторых веществ, образующихся при сжигании ЭМ (т.е. отходов). Для сравнения представлены данные по опасности исходных элементов, первоначально входящих в состав данных ЭМ, определенных аналитическими методами [4, 5].

Таблица 1. Гигиенические нормативы исходных компонентов ЭМ и продуктов сжигания ЭМ, входящих в состав отходов [4, 5]

Вещество	$ПДК_{РЗ}$, мг/м^3	$ПДК_{В}$, мг/л	Класс опасности по воздуху	Класс опасности по воде
Элементы, первоначально входящие в состав ЭМ, определенные аналитически				
Алюминий	2	0,2	3	3
Хлор	1	-	2	3
Вещества, образующиеся при сжигании ЭМ после нейтрализации газообразных опасных веществ				
диАлюминий триоксид (Al_2O_3)	6	-	4	не установлен
Кальций дихлорид ($CaCl_2$)	2	350	3	4

Примечания: $ПДК_{РЗ}$ – ПДК в воздухе рабочей зоны, $ПДК_{В}$ – ПДК в воде

Представленные данные показывают, что класс опасности отходов по некоторым веществам (продуктам сжигания ЭМ) может быть ниже

назначенного по результатам экспериментального анализа (определенного по исходным компонентам ЭМ). Так, для оксида алюминия в воздухе рабочей зоны снижение класса опасности составит 1 пункт, по воде такое снижение может быть и больше, так как опасность Al_2O_3 не установлена (он практически не растворим в воде). Для хлорида кальция, получаемого в результате нейтрализации выделяющегося при сжигании хлороводорода, понижение составляет 1 пункт, как по воздуху, так и по воде.

Назначение более высокого класса опасности отхода может привести к значительному увеличению величины экологического ущерба, который должно компенсировать юридическое лицо, проводящее утилизацию, путем внесения экологических платежей в различные уровни бюджета, а также к увеличению затрат на захоронение отходов [6].

В таблице 2 представлены данные по возможным величинам платежей за возмещение экологического ущерба, определенным на основании использования системы платы за негативное воздействие на окружающую среду в зависимости от назначения класса опасности.

Таблица 2. Экологический ущерб при сжигании 1 тонны ЭМ, руб.

Варианты определения	Предполагаемый класс опасности отхода			
	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс
минимальный уровень	11 550	4 950	3 300	1 650
максимальный уровень	57 750	24 750	16 500	8 250
максимальный уровень с 2019 г.	1 155 000	495 000	330 000	165 000

При назначении 3 или 4 класса опасности отхода (наиболее распространенных классов) разница в размере ущерба составляет 100% (т.е. увеличение платежей в 2 раза при повышении класса опасности). Экономическая сторона вопроса существенно актуализируется с 2019 года, когда вступят в силу поправки в законодательство о 100-кратном повышении экологических платежей при неиспользовании наилучших доступных технологий, механизм определения которых еще несовершенен.

ПОДХОД К УТОЧНЕНИЮ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ И ПРИМЕРЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Можно выделить два направления подхода к уточнению класса опасности отхода: с учетом известного исходного состава утилизируемого (ликвидируемого) ЭМ и прогнозирование компонентного состава отхода на основе данных о его элементном составе.

а) с учетом известного исходного состава утилизируемого (ликвидируемого) ЭМ

Данный подход применим в случае, когда известен исходный состав вещества, подлежащего утилизации или ликвидации.

Полная номенклатура продуктов сгорания (ПС) ЭМ насчитывает более 200 наименований газообразных и конденсированных веществ, ионов, радикалов и т.п. Необходимо выделить вещества, образующие твердую фазу, либо косвенно участвующие в образовании твердой фазы. При этом учитываются вещества, содержание которых в продуктах сгорания по результатам термодинамического расчета превышает 10^{-6} моль/кг ЭМ.

Содержание некоторых ПС в критическом сечении и на срезе сопла камеры сгорания, рассчитанное при различных значениях давления в камере сгорания, определяется путем проведения термодинамических расчетов по программе «Терра» [7]. Однако этот расчет больше подходит при использовании технологий «открытого сжигания», которые из-за постоянно ужесточающихся экологических требований к технологиям утилизации (ликвидации) ЭМ малоприменимы.

На практике, как правило, используются технологии «закрытого сжигания» с применением различных стадий нейтрализации опасных веществ. С учетом широкого спектра утилизируемых (ликвидируемых) ЭМ, а также применяемых нейтрализующих агентов и разнообразия технических и технологических решений технологий способа «закрытого сжигания» применяется подход с определением механизма основных химических реакций.

Например, для алюминизированного ЭМ в случае применения стадии нейтрализации образующегося при сжигании хлористого водорода определение ПС удобнее всего проводить с учетом составления усредненной брутто-формулы продукта. Например, для ЭМ с брутто-формулой $C_{7,30}H_{36,02}Al_{7,41}O_{23,83}N_{5,96}Cl_{5,96}$, к ПС относят оксид алюминия (Al_2O_3), хлористый водород (HCl). Хлористый водород участвует в образовании твердого остатка хлоридов на стадии нейтрализации.

При отсутствии данных термодинамических расчетов необходимо определить механизм основных химических реакций. В данном случае, прежде всего, это – реакция, приводящая к образованию основного вещества твердой фазы - оксида алюминия:

$$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$$

Кроме того, возможно образование твердых остатков реакций алюминия с другими элементами ЭМ. Однако образование твердого остатка Al_2Cl_3 в данных условиях маловероятно и, если возможно, то краткосрочно. Незначительные количества образующегося хлорида алюминия подвержены гидролизу на стадии нейтрализации опасных газов водными щелочными растворами, в результате чего выделяется HCl.

При высоких температурах Al взаимодействует с азотом и углеродом с образованием нитридов и карбидов алюминия [8]. Однако данные соединения окисляются всеми веществами, способными отдать кислород, и обычно восстанавливаются до оксида.

Кроме того, образование твердого остатка может произойти на стадии нейтрализации хлористых соединений. В этом случае исследуется механизм реакций данных веществ. Анализ продуктов реакций перхлората аммония,

входящего в состав ЭМ, указывает на наличие сложного ряда процессов, но приближенно его можно записать следующим образом [9]:

$$10NH_4ClO_4 = 6O_2 + 4N_2O + 2NOCl + 2Cl_2 + HClO_4 + 3HCl + 18H_2O.$$

Также в области пламени идет разложение окислителя с образованием следующих продуктов [10]:

$$NH_4ClO_4 = NH_3 + HClO_4.$$

Если рассмотреть более подробно реакции, в которых участвуют продукты разложения окислителя, то выяснится, что все они нестабильны.

Так, хлорная кислота $HClO_4$ неустойчива и разлагается:

$$4HClO_4 = 4ClO_2 + 3O_2 + 2H_2O.$$
$$2ClO_2 = Cl_2 + 2O_2.$$

Остатки окислителя также могут разлагаться на стадии нейтрализации при температурах ниже 300°С, хотя вероятность этого мала:

$$4NH_4ClO_4 = 3O_2 + 2N_2O + 2Cl_2 + 8H_2O.$$

Выше 350°С идет процесс разложения:

$$2NH_4ClO_4 = O_2 + 2NO + Cl_2 + 4H_2O.$$

Равновесие реакции $Cl^- + Cl^- = Cl_2$ при температурах выше 1400°С смещено влево [11]. Следовательно, количество молекул хлора будет незначительно.

В свою очередь, в ходе нейтрализации продуктов сгорания, например, кальциевыми соединениями будут идти реакции:

$$Ca(OH)_2 + 2\,HCl \leftrightarrow CaCl_{2\,(тв)} + 2H_2O$$
$$CaCO_3 + 2\,HCl \leftrightarrow CaCl_{2\,(тв)} + 2H_2O + CO_2$$
$$CaO + 2\,HCl \leftrightarrow CaCl_{2\,(тв)} + H_2O$$
$$Ca + 2ClO_2 = Cl_2O_3 + CaO\ (900–950°C)$$
$$Ca(OH)_2 + 2\,Cl_2O_3 \leftrightarrow Ca(ClO_2)_{2\,(тв)} + 2H_2O.$$

При высоких температурах (более 500°С) возможны реакции:

$$CaCO_3 \leftrightarrow CaO_{\,(тв)} + 2H_2O + CO_2$$
$$Ca(OH)_2 \leftrightarrow CaO_{\,(тв)} + H_2O.$$

Аналогичные реакции будут происходить при нейтрализации ПС натриевыми соединениями.

Таким образом, обобщив все эти данные и используя стехиометрические соотношения, определяем приблизительные количества образующихся твердых остатков (таблица 3).

Таблица 3. Количество твердых остатков, образующихся в результате утилизации (ликвидации) одного заряда ЭМ (кг)

Характеристики	Ступени		
	1	2	3
Всего после сжигания, в том числе:	9 938	3 996	1 601
Оксид алюминия	9 255	3 622	1 436
Другие твердые вещества	683	374	165
При нейтрализации хлористых соединений, в зависимости от типа нейтрализующего реагента			
$CaCl_2$	5244	2051	814
NaCl	5518	2158	856

В таблице 3 представлены также данные по другим твердым остаткам, полученные в результате анализа элементного состава твердой фазы. Оценить компонентный состав данного остатка можно с помощью второго подхода.

б) прогнозирование компонентного состава отхода на основе данных по его элементному составу

В соответствии с нормативными документами в области обращения с опасными отходами, смешение различных (неоднотипных) отходов, полученных на различных стадиях технологического процесса, не предусматривается. Однако на практике такие ситуации возможны. В этом случае определение компонентного состава возможно по упрощенному механизму, учитывающему активность химических элементов.

На рисунке 1 представлена последовательность предлагаемой процедуры определения уточненного класса опасности отхода.

Рис. 1. Последовательность определения уточненного класса опасности отхода.

В настоящее время существует ряд аттестованных методик по аналитическому определению состава отхода. Однако все они основаны на

обнаружении в отходах отдельных элементов или частиц, чаще всего катионов, с помощью методов физико-химического анализа. По результатам аналитического контроля в специализированных лабораториях с аккредитацией могут определяться как катионы, так и анионы, например, катионы Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Pb, Sr, Ti, Cr, Zn [12].

Учитывая, что продукты, получаемые после сжигания ЭМ и нейтрализации образующихся выбросов, это в основном продукты полного окисления, предлагается применение следующего алгоритма определения состава отхода (рис. 2).

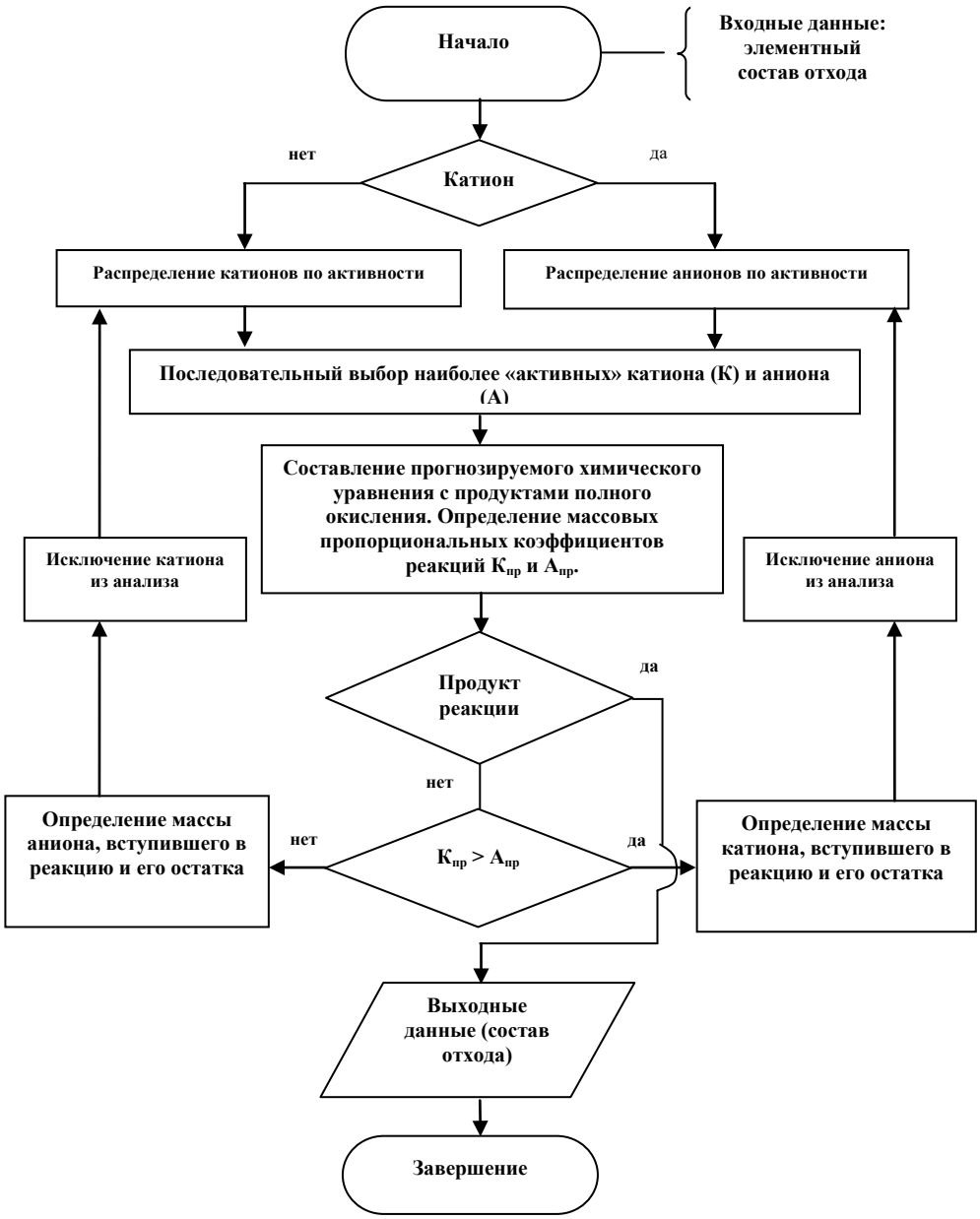

Рис. 2. Алгоритм определения состава отхода. Пояснения в тексте.

В качестве примера в таблице 4 приведены результаты элементного анализа по 15 пробам отхода, полученного при сжигании ЭМ и дополнительно загрязненного в результате внешнего воздействия окружающей среды [13].

Таблица 4. Результаты энергодисперсионного элементного микроанализа отхода

Область анализа	Содержание элемента, вес. %											
	Al	O	Fe	Si	C	Ni	Ca	K	Cu	Ti	Mn	Mg
Среднее значение	30,94	43,09	13,68	1,57	8,25	1,96	0,03	0,31	0,03	0,02	0,05	0,07

После разделения элементов на катионы и анионы осуществляется их ранжирование с учетом активности (электрохимической активности).

Для последовательности металлов, указанных выше, это может быть: Li, Ba, Sr, Be, Al, Ti, Mn, V, Cr, Zn, Fe, Cd, Co, Ni, Mo, Pb, Cu (в порядке уменьшения активности).

Далее осуществляется проектирование химических реакций с получением продуктов полного окисления (в процессе горения при высоких температурах). Используя стехиометрию, вводят и определяют массовые пропорциональные коэффициенты $К_{пр}$ и $А_{пр}$, например, для реакции:

$$\underset{4M_1 = 108\ г}{\overset{X}{4Al}} + \underset{3M_2 = 96\ г}{\overset{Y}{3O_2}} = 2Al_2O_3$$

Массовые пропорциональные коэффициенты рассчитывают по формулам:

$$К_{пр} = X/(n_1 \cdot M_1) \quad и \quad А_{пр} = Y/(n_2 \cdot M_2),$$

где X и Y – содержание элемента в отходе, г /100 г отхода; M_1 и M_2 – молекулярные массы веществ; n_1 и n_2 - количество молей веществ.

Если $А_{пр} > К_{пр}$, то Y" = Y - Y' где Y' количество окислителя, полностью прореагировавшего в реакции, Y" – остаток окислителя, учитываемый в следующих реакциях.

Расчеты осуществляются по всему циклу реакций до полного израсходования анионов или катионов. Остаток неизрасходованных веществ при проектировании не учитывается и не влияет на возможность повышения класса опасности отхода (рис. 3).

Так, расчетные данные для отхода, образованного при сжигании ЭМ, показали, что степень опасности отхода для окружающей среды, которая является критерием отнесения отходов к I-V классам опасности, определяется по формуле [15]:

$$K = K_1 + K_2 + ... + K_i,$$

где K – показатель степени опасности отхода для окружающей среды; K_1, K_2, ... K_i – показатели степени опасности для окружающей среды отдельных компонентов отхода. Показатель степени опасности для окружающей среды K_i рассчитывается по формуле:

$$K_i = C_i / W_i,$$

где C_i – концентрация i-го компонента в опасном отходе (мг/кг отхода); W_i – коэффициент степени опасности i-го компонента опасного отхода для окружающей среды (мг/кг).

Рис. 3. Влияние результатов расчета на назначение класса опасности (пунктирная линия – класс опасности, рассчитанный на основе элементного анализа, заштрихованная область - область назначения класса опасности с учетом прогнозирования компонентного состава и упрощений в расчетах).

В таблице 5 представлены данные по расчету степени опасности отхода, образующегося при сжигании ЭМ.

Таблица 5. Определение степени опасности компонентов отхода

Параметры	Наименование веществ и элементов										
	Оксид Al	Оксид Fe	Оксид Si	C	Ni	Ca	K	Cu	Ti	Mn	Mg
Среднее содержание в отходе (масс., %)	58,44	19,56	3,36	8,25	2,49	0,06	0,62	0,06	0,04	0,10	0,14
Количество установленных показателей	9	9	5	5	12	5	9	9	3	12	9
Сумма баллов	27	25	15	14	28	17	30	18	8	38	30
Относительный параметр опасности компонента отхода X	3	2,78	3	2,8	2,33	3,4	3,33	2	2,67	3,17	3,33
Вспомогательный коэффициент *Z*	3,67	3,38	3,67	3,40	2,78	4,20	4,11	2,34	3,23	3,90	4,11
W	4677	2399	4677	2512	602	16596	13183	219	1698	7943	13183
K	124,95	81,53	7,18	32,84	41,36	0,04	0,47	2,74	0,24	0,13	0,11

Степень опасности отхода для окружающей среды в рассмотренном выше составляет K = 291,59 [14]. В соответствии с таблицей 6 [15], диапазон

значений К в случае 3 класса опасности составляет от 100 до 1000, что дает большую возможность упрощения проектирования химических реакций и введения различных допущений.

Таблица 6. Отнесение отхода к классу опасности по степени опасности

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода для окружающей среды, К
I	$10^6 \geq K > 10^4$
II	$10^4 \geq K > 10^3$
III	$10^3 \geq K > 10^2$
IV	$10^2 \geq K > 10$
V	$K \leq 10$

Данные, показывающие возможность значительного упрощения проектирования реакций, представлены в таблице 7. Здесь определение класса опасности отхода осуществлялось по анализу значительно меньшего количества компонентов отхода. Содержание неопределенных веществ составляет почти 20%. При условии, что у неизвестного компонента с содержанием до 80% от общей массы класс опасности будет 2 (высокоопасный), а остальная масса имеет 3 класс опасности, суммарное значение К для всего отхода не превысит 1000, то есть общий класс опасности отхода не изменится.

Таблица 7. Расчетные данные по определению класса опасности

Вещество	Содержание компонента в отходе	Относительный параметр опасности компонента	Показатель степени опасности компонента отхода
Оксид Al	51,0	3,4	30,7
Оксид Fe	19,6	3	39,1
Оксид Ni	2,5	2	19,9
Соединения С	8,3	3	16,7
Другое	19,6	-	
Итого	100	-	106,4

Определение стабильности отхода

С учетом того, что количества образующихся при сжигании ЭМ отходов незначительны, экономически целесообразно проводить их накопление. В настоящее время сроки накопления ограничены законодательством и составляют до 11 месяцев. Возникает необходимость определения стабильности веществ, входящих в состав отхода.

Возможность повышения класса опасности со временем из-за продолжающегося химического взаимодействия между веществами в отходе, минимальна, так как продукты реакции стабильны.

Хотя продукты полного окисления, в основном, оксиды металлов, могут вступать во взаимодействие с окружающей средой и с другими оксидами, они обычно устойчивы к воздействию различных сред [8].

Так, оксид алюминия инертен по отношению ко многим компонентам, в том числе к HCl, при температурах до 1700°C.

Стабильность оксидного компонента характеризуется коэффициентом Пиллинга-Бэдворса β, который вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{M \cdot \rho_M}{n \cdot A \cdot \rho_{ок}}$$

где M – молекулярный вес оксида; $\rho_{ок}$ – плотность оксида; ρ_M – плотность металла; A – атомный вес металла; n – число атомов металла в молекуле оксида.

В таблице 8 приведены значения коэффициента β для некоторых металлов, встречающихся в отходах, полученных при сжигании ЭМ.

Наибольшей стабильностью обладают вещества, у которых величина β ненамного превышает единицу [16].

Таблица 8. Значения коэффициента Пиллинга-Бэдворса β для оксидов металлов

Оксид	β
Al_2O_3	1,28
Fe_2O_3	2,14
SiO_2	2,04
NiO	1,65
CaO	0,63
MgO	0,79

С учетом того, что образующееся при сжигании алюминизированных ЭМ отход, в основном, состоит из Al_2O_3, можно сделать вывод о стабильном состоянии отходов, что позволяет осуществлять их накопление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение двух вариантов предлагаемого нового подхода к уточнению компонентного состава отходов, образующихся в результате сжигания (взрыва) энергонасыщенных материалов, дает возможность повысить точность оценки опасности отходов. Уточнение состава отходов ЭМ, приведет к понижению класса опасности, назначаемого по принятой в настоящее время процедуре, и, тем самым, к существенному снижению затрат на утилизацию (ликвидацию) ЭМ.

Список литературы:

1. Указ Президента РФ от 19.04.2017 №176 «О Стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 года».
2. СП 2.1.7.1386-03 «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления».
3. *Мелешко В.Ю., Краснобаев Ю.Л., Кочелаевская В.С.* Совершенствование системы определения класса опасности опасных отходов, образующихся при сжигании энергетических конденсированных систем. Труды 14 ВНТК «Артиллерийское вооружение России-2017». СПб.: БГТУ «Военмех», 2017.

4. ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
5. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».
6. *Мелешко В.Ю., Краснобаев Ю.Л., Федосеев С.А., Куликова Т.Л.* Оценка экологической опасности технологии закрытого сжигания. Труды 4 Всероссийской НТК «Фундаментальные основы баллистического проектирования». СПб.: БГТУ «Военмех», 2014.
7. *Трусов Б.Г.* Моделирование фазовых и химических равновесий. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
8. *Похил П.Ф., Беляев А.Ф., Фролов Ю.Ф., Логачев В.С., Коротков А.И.* Горение порошкообразных металлов в активных средах. М.: Наука, 1972.
9. Жидкие и твердые ракетные топлива. Под ред. Шаулова Ю.Х. М.: Изд. иностранной литературы, 1959.
10. *Бахман Н.Н., Беляев А.Ф.* Горение гетерогенных конденсированных систем. М.: Наука, 1967.
11. Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду. Под ред. Адушкина В.В. М.: Изд. «Геос», 2006.
12. Методика МС «Люмэкс». Отходы производства и потребления. ФР.1.31.2016.25161 ПНД Ф 16.3.85-17.
13. *Мелешко В.Ю., Краснобаев Ю.Л., Закариев Г.З., Федосеев С.А., Павловец Г.Я., Златкина В.Л.* Исследование оксида алюминия, получаемого при сжигании твердотопливных зарядов. Труды 4 Всероссийской НТК «Фундаментальные основы баллистического проектирования». СПб.: БГТУ «Военмех», 2014.
14. *Мелешко В.Ю., Краснобаев Ю.Л., Чукавин А.И., Качуро В.А.* Направления использования оксида алюминия, образующегося при сжигании энергетических материалов. Научно-технический сборник № 256. М.: ВА РВСН, 2014.
15. Приказ МПР от 04.12.2014 г. № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду».
16. *Самсонов Г.В., Портной К.И.* Сплавы на основе тугоплавких соединений. М.: Оборонгиз, 1961.

References:

1. On the Strategy of Ecological Safety of the Russian Federation for the period up to 2025. Decree of the President of the Russian Federation of April 19, 2017, No. 176. Moscow, 2017 [in Russian].
2. Sanitary regulations 2.1.7.1386-03 “Sanitary rules for determining hazard class for toxic wastes of manufacturing and consumption” [in Russian].
3. *Meleshko V.Yu., Krasnobaev Yu.L., Kochelaevskaya V.S.* Improving system for determining hazard class of hazardous wastes generated from combustion of energetic condensed systems. Proceedings of 14 VNTK “Artillery Armament of Russia 2017”. St.Pb.: BGTU Voenmekh, 2017 [in Russian].
4. Maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances in the working zone air. GN 2.2.5.1313-03 [in Russian].
5. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in water of water bodies of drinking and Cultural Community Water Use. GN 2.1.5.1315-03 [in Russian].
6. *Meleshko V.Yu., Krasnobaev Yu.L., Fedoseev S.A., Kulikova T.L.* Assessment of environmental hazard of closed combustion technology. Proceedings of 4th All-Russian Conf. “Fundamental bases of ballistic design”. St.Pb.: BGTU Voenmekh, 2014 [in Russian].
7. *Trusov B.G.* Simulation of phase and chemical equilibria. M.: MGTU Baumana 2006 [in Russian].

8. *Pohil P.F., Belyaev A.F., Frolov Yu.F. et al.* Combustion of powdered metals in active media. M.: Nauka, 1972 [in Russian].
9. Liquid and solid rocket fuels. Ed. by Yu.Kh. Shaulov. M.: Izd. inostr. liter. 1959 [in Russian].
10. *Bakhman N.N., Belyaev A.F.* Burning of heterogeneous condensed systems. M.: Nauka, 1967 [in Russian].
11. Impact of rocket and space technique on the environment. Ed. by V.V. Adushkin. M.: Izd. Geos, 2006 [in Russian].
12. Procedure MC Lumex. Production and consumption wastes. FR.1.31.2016.25161 PNDF 16.3.85-17 [in Russian].
13. *Meleshko V.Yu., Krasnobaev Yu.L., Zakariev G.Z. et al.* Study of aluminum oxide generated from combustion of solid fuel charges. Proceedings of 4th All-Russian Conf. “Fundamental bases of ballistic design”. St.Pb.: BGTU Voenmekh, 2014 [in Russian].
14. *Meleshko V.Yu., Krasnobaev Yu.L., Chukavin AI, Kachuro V.A.* Directions for use of aluminum oxide generated from combustion of energetic materials. Collection of scientific papers No. 256. M.: VA RVSN, 2014 [in Russian].
15. On approval of Criteria for classifying waste into I-V hazard classes according to their negative impact on the environment”. Order No. 536 of Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 04.12.2014 [in Russian].
16. *Samsonov G.V., Portnoy K.I.* Alloys based on refractory compounds. M.: Oborongiz, 1961 [in Russian].