

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Дубна

P10-2000-313

В.Н.Самойлов, С.А.Коренев, А.М.Самошкин

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗЛОЖЕНИЯ
ТОКСИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

2000

1. Введение

В настоящее время одной из актуальных задач экологии является поиск способов утилизации токсичных соединений, которыми являются как боевые отравляющие вещества (БОВ), так и различные химические соединения в виде газов и капельных фракций. К вредным для окружающей среды веществам относятся окислы серы, азота и углерода, которые появляются при работе тепловых электростанций, при добыче газа и нефти, в химическом производстве, в металлургии, особенно при переплавке вторичного сырья, и др.

В связи с ухудшением экологической ситуации решение проблем утилизации токсичных соединений и уничтожения боевых отравляющих веществ приобретает все большее значение. В начале 1995 года президентом был подписан указ № 314 «О подготовке РФ к выполнению международных обязательств в области химического разоружения» [1, 2]. Проблема ликвидации химического оружия является исключительно сложной и оценивается в десятки раз дороже, чем затраты на его производство. Уничтожение арсенала БОВ потребует 10 – 15 млрд долларов [3], по другим оценкам 5 – 8 млрд долларов [2]. Объемы БОВ, накопленные и хранящиеся на складах, таковы, что составляют по 10 г на каждого жителя Земли. Если эти вещества выпустить в атмосферу, то до высоты 10 км в каждом кубометре воздуха будет в среднем $4 \cdot 10^{-5}$ мг токсичных соединений, что в 40 раз превышает предельную допустимую для жизни концентрацию. Хотя затраты на уничтожение БОВ неизмеримо меньше будущих потерь от этого опасного наследия, экономические оценки обязывают искать пути снижения затрат и выбора оптимальных технологических решений [4]. Технология уничтожения БОВ будет перспективной в том случае, если она окажется непосредственно пригодной для решения хозяйственных задач, таких, как ликвидация токсичных отходов различных производств и последствий локальных аварий, а также дальнейшее использование продуктов разложения токсичных соединений в народном хозяйстве.

В настоящей работе представлено информационное обеспечение поддержки электронно-пучковой технологии разложения токсичных соединений на основе проведенного системного анализа методов разложе-

ния химических соединений. Дано обоснование выбранного электронно-пучкового метода разложения токсичных соединений. Построена структурно-функциональная модель комплексных исследований технологии разложения токсичных соединений. Разработана структурно-функциональная модель базы знаний и показано ее информационное наполнение. Представлена запатентованная технология разложения токсичных соединений.

Структура работы следующая. В разделе 2 приведен системный анализ методов разложения токсичных соединений. В разделе 3 дано физическое обоснование электронно-пучкового метода разложения токсичных соединений. В разделе 4 построена структурно-функциональная модель исследований разложения токсичных соединений. В разделе 5 рассмотрена технологическая схема эксперимента разложения токсичных соединений.

2. Системный анализ методов разложения токсичных химических соединений

Рассмотрим известные универсальные пути разложения химических соединений: воздействие высокой температуры, глубокое окисление и совместное воздействие температуры и окислителя. Однако при сжигании токсичных соединений могут возникнуть экологические осложнения: появляются не менее опасные для человека и животных ксенобиотики типа диоксинов или дибензофурана. В атмосферу могут попасть продукты сгорания токсичных соединений – окислы фосфора, серы, хлористый и фтористый водород и т.д. Как известно, все эти вещества при взаимодействии с водой образуют кислоты. Высокая температура и наличие окислителя – ситуация, типичная для энергетических установок, миллионы которых успешно работают во всех странах мира. Однако энергетические установки без их существенной модификации нельзя использовать для уничтожения БОВ.

В настоящее время существуют методы, в значительной мере проработанные в лабораториях (ИТЭФ, МГУ и др.), в которых оба фактора (окисление и высокая температура) совмещаются и к тому же включают третий фактор, инициирующий горение. Таким фактором является гене-

рирование свободных радикалов, что происходит при окислении органических веществ в водных растворах. Эти способы условно назовем электроразрядным, ультразвуковым и электроискровым [5-7]. Химические реакции, протекающие в водных растворах БОВ при воздействии на них электрических разрядов, весьма похожи на реакции, возникающие под воздействием ультразвука, вследствие того, что первичные химически активные частицы – е, Н, ОН – одинаково возникают в том и другом случаях и температура в «горячих пятнах» составляет несколько тысяч градусов. Растворенное в воде органическое вещество подвергается воздействию высокой температуры и окислительных радикалов. Таким образом, в растворе возникают «горячие зоны», подобные тем, что образуются при облучении жидкости сильноионизирующими частицами. Это ведет к тому, что состав продуктов разложения токсичных соединений при облучении их водного раствора или воздействии электрических разрядов подобен составу, который получается при радиолизе данного раствора под действием, скажем, α -частиц. Например, при прохождении водного раствора фенола через зону микроискровых разрядов наблюдается практически полное разложение органических веществ. Важно подчеркнуть, что все инициируемые ультразвуком и электроразрядами химические реакции разложения токсичных соединений протекают именно в «горячих» микрорегионах с температурой в несколько тысяч градусов. В то же время температура раствора в целом может оставаться близкой к температуре окружающей среды. Для технологии переработки последнее обстоятельство приобретает особое значение: *весь процесс протекает в «мягких» условиях и поэтому отсутствует одна из возможных предпосылок экологической аварии.*

Таким образом, все новые технологии разложения токсичных соединений можно разделить на два направления:

- «высокотемпературное» радиационно-химическое окисление;
- «низкотемпературное» радиационно-химическое окисление.

По первому направлению в Объединенном институте ядерных исследований имеется большой опыт создания мощных пучков ускоренных заряженных частиц (электронов, протонов), гамма-квантов, нейтронов и т.д. Большой опыт исследования воздействия таких пучков на материалы по-

казывает, что все материалы при таком воздействии могут разрушаться. В присутствии воздуха или кислорода продуктами реакций разложения токсичных соединений будут нетоксичные и малотоксичные оксиды элементов, входящих в их состав ($H_2O, CO_2, SO_2, P_2O_5, Cl_2O_7$), т.е. кислые газы. Технология утилизации таких оксидов известна, поскольку они образуются в отходных газах ТЭЦ, работающих на угле.

Интересен метод уничтожения токсичных соединений, основанный на их способности разлагаться при высоких температурах. Суть метода состоит в пропускании токсичных соединений через высокотемпературную зону, создаваемую достаточно мощным пучком ускоренных электронов, несколькими дугами специальной конструкции или через высокотемпературную зону электроядерной установки. При этом среди продуктов сгорания могут возникать следы токсичных соединений, таких, как оксиды фосфора, серы, азота, хлористый и фтористый водород и т.д. Они же легко удаляются при пропускании продуктов сгорания через воду, после чего не представляют экологической опасности. Эффективность процесса сжигания токсичных соединений можно повысить посредством введения в установку кислорода (воздуха) на определенных стадиях процесса.

Второе направление в основном сводится к трем родственным методам:

- электрический микрозаряд в жидкости на так называемых вентильных электродах (Al, Ti, Pb, Ta и др.);
- разряды между взвешенными в жидкости «дробинками» из проводящих материалов (Al и др.);
- ультразвук.

Условия, которые возникают в веществе под действием электрического разряда и ультразвука, выглядят более «мягкими» (обычные температура и давление), однако локально развиваются весьма высокие температуры и давление. Как видно из предварительных опытов, состав продуктов разложения растворенных в воде органических веществ при действии на смесь микрозаряда или ультразвука очень похож на состав продуктов, получающихся при высокотемпературном радиолизе.

Проведенный структурно-функциональный и системный анализ комплекса устойчивых взаимосвязей процедур разложения токсичных соединений (люизита), а также исследования структурно-функциональных типажей потенциальной и кинетической информации и социально-экономических отношений выявили обширный класс проблем и задач [8, 9].

При переработке токсичных соединений неизбежно возникнут промежуточные вещества с неизвестной степенью токсичности. Естественно, ни стандартов, ни норм по их допустимым концентрациям нет, а их установление – это отдельная работа на несколько лет. Для длительного хранения этих веществ необходима разработка надежной технологии герметизации контейнеров. С целью сокращения общих затрат на герметизацию контейнеров желательно применить ту же технологию, что и для разложения токсичных соединений. После уничтожения всего арсенала токсичных соединений технология их разложения должна быть использована и для утилизации других веществ.

Целесообразно провести анализ на соответствие:

- технологий разложения токсичных соединений и утилизации ядерных и химических отходов производства;
- технологии разложения токсичных соединений как индивидуального химического соединения и утилизации продуктов разложения этого соединения.

Стабильности и эффективности разложения токсичных соединений можно достичь лишь при температурах выше 3000 °С. При температуре 800 – 1200 °С еще относительно стабильны диоксины, а степень разложения токсичных соединений в этих условиях недостаточна, и даже за длительное время не удастся достичь допустимых концентраций токсичных соединений в продуктах их распада и окисления.

Стабильный анализ плазмохимических методов выявил следующие проблемы:

- оптимизации процесса разложения токсичных соединений;
- разложения по единой технологии как газообразных, так и жидких токсичных соединений;

- получения достаточной эффективности разложения токсичных соединений;
- связанные с необходимостью предварительной разгерметизации контейнеров.

При вторичном использовании продуктов разложения токсичных соединений необходимо разработать комплекс мер по снятию возможных негативных социальных реакций от знания генеалогии целевого продукта.

Для инициирования необходимых химических реакций также используется плазма. Для формирования плазмы могут применяться различные типы разрядов:

- электрический разряд в жидкости,
- электрический разряд в газе.

Использование плазмы более предпочтительно по сравнению с ультразвуком потому, что наиболее отработана техника формирования различных типов разрядов. Для инициирования химических реакций используется плазма, которая формируется различными методами. Для этих целей пригодны СВЧ- и ВЧ-разряды, а также другие электрические разряды.

Для примера рассмотрим электрофильтрацию аэрозоля с помощью коронного и тлеющего разрядов в плазменном реакторе с продувом аэрозоля. В коронном разряде частицы аэрозоля притягиваются к электроду за счет электрического поля, создаваемого при подаче напряжения на электродную систему [9]. Коэффициент разложения зависит от скорости продува аэрозоля. Система разложения токсичных соединений на основе коронного разряда сложна из-за системы электропитания. Основной проблемой является стабильность работы такого фильтра даже при униполярном питании [10]. При тлеющем разряде накопление заряда частиц и пылинок аэрозолей осуществляется для двух знаков, условия зажигания тлеющего разряда таковы, что необходимо применение смесей при низких давлениях [11].

Анализ использования этих разрядов показывает, что для осуществления химических реакций необходимы катализаторы. Использование катализаторов в этих процессах – малоизученная область. Прямой подход к использованию разрядов для плазмохимии в настоящий момент не по-

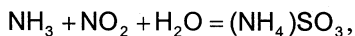
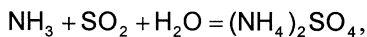
звоняет сразу ответить на ряд вопросов по созданию промышленной установки. Очевидно, что для реального использования разрядов, кроме решения технических задач по выпуску токсичных соединений из контейнера в реактор или введения инициаторов разрядов в контейнер, необходимо иметь дополнительный источник энергии, который бы инициировал окислительно-восстановительные реакции при наличии катализаторов.

СВЧ- и ВЧ-разряды имеют простую схему зажигания, но требуют, чтобы токсичные соединения поступали непосредственно в реактор из предварительно разгерметизированного контейнера. В этом случае необходима специальная технология разгерметизации контейнера и загрузки его содержимого в реактор.

Использование поверхностно-барьерных разрядов [5] также вызывает необходимость решения задачи стыковки контейнера и реактора. Из этого следует, что разрядные схемы разложения токсичных соединений при всей их простоте требуют решения сопутствующих технических задач. Основная задача состоит в создании плазмы с определенной концентрацией и температурой электронной компоненты. И в этом случае видно, что наиболее подходящим методом получения такой плазмы может быть пучковый метод, который включает в себя как электронный, так и ионный пучок, а также гамма-кванты. В основу пучкового метода разложения токсичных соединений положены окислительные реакции, инициируемые электронным пучком, в результате которых либо образуется твердая фракция, пригодная для удаления, либо происходит разложение газовых и жидкостных соединений до простых соединений, которые нетоксичны и пригодны для повторного использования в химическом производстве.

В настоящее время для устранения окислов серы и азота, которые содержатся в отходных газах тепловых электростанций, металлургических комбинатов и др., обоснованы электрофизические методы (облучение газов электронными пучками), которые получили развитие в Японии, США, России, Германии [6, 7]. Однако реального внедрения в индустрию эти технологии не получили из-за сложности электрофизического оборудования и его дороговизны. Тем не менее коэффициент очистки малых концентраций окислов азота и серы был получен самый высокий, и степень очистки достигала 100% [12].

Основная идея этого метода состоит в том, что при облучении отходов газов электронным пучком протекают окислительные химические реакции:



в которых окислы азота и серы превращаются в твердые фракции в виде соединений, пригодных для использования в химических производствах.

Опыт показывает, что электронный пучок действительно может осуществлять химические реакции разложения, а электронные ускорители могут реально использоваться для систем разложения токсичных соединений. В зависимости от химического состава этих соединений и параметров реакций разложения можно реально регулировать параметры электронного пучка в процессе протекания реакций, что может быть основанием для рассмотрения электронно-пучкового метода разложения токсичных соединений. Ранее внедрение этого метода в промышленность было невозможно по следующим причинам:

- разработка плазмохимических моделей и создание физических ускорителей электронных и ионных пучков проводились независимо, что обуславливалось отсутствием специального плазменного реактора и ускорителя, отвечающих требованиям совместного промышленного использования;
- используемые научные плазменные реакторы и ускорители при промышленной эксплуатации имели высокую стоимость, низкую надежность и малый ресурс работы;
- отсутствовали системы контроля химических реакций в плазменном растворе и системы регулировки и управления химическими реакциями;
- отсутствовал выбор используемых катализаторов химических реакций, и, как следствие, были ограничены возможности применения продуктов переработки в качестве сырья в химической промышленности.

Реальные установки создавались из специальных устройств, применяемых в экспериментальной физике, что приводило к большим затратам на строительные-монтажные работы. В целом, можно констатировать сле-

дующее: несмотря на перспективность использования рассмотренных физических методов в промышленных технологиях, требуются дополнительные исследования и разработки по созданию реального комплекса переработки токсичных химических соединений [13, 14].

3. Физическое обоснование электронно-пучкового метода разложения токсичных соединений

Анализ процессов разложения токсичных соединений в контейнере показывает, что самая простая схема состоит в следующем. Контейнер с токсичными соединениями облучается импульсным электронным пучком с кинетической энергией, достаточной для прохождения через стенку контейнера. Прошедший пучок электронов вместе с гамма-излучением, которое возникло при торможении пучка электронов в стенке контейнера на заднем фронте импульса напряжения, инициируют химические реакции. Использование импульсного пучка электронов объясняется надежностью импульсных электронных ускорителей по сравнению с непрерывными электронными ускорителями [15, 16], а также отсутствием необходимости продува компонент, подлежащих разложению.

Непосредственно с механизмом разложения токсичных соединений можно осуществить экспериментальные исследования по разложению отходных газов при переработке древесины [17], которые могут рассматриваться как имитаторы токсичных соединений. В этом случае образуются высокотоксичные диоксины, которые возникают и при разложении люизита. В пусковой плазме происходит быстрое накопление радикалов, которые участвуют в последовательных химических реакциях превращения токсичных соединений в более простые и менее токсичные. Примером может служить реакция преобразования диметилсульфида в электронной пучковой плазме (рис. 1).

Положительной особенностью использования электронных пучков для зажигания разряда является их свойство зажигать управляемый разряд в жидкости, что крайне важно для разложения жидких токсичных соединений. Главным преимуществом использования электронного пучка является простота схемы управления разложением токсичных соединений во время процесса. Управление осуществляется путем обратной связи по

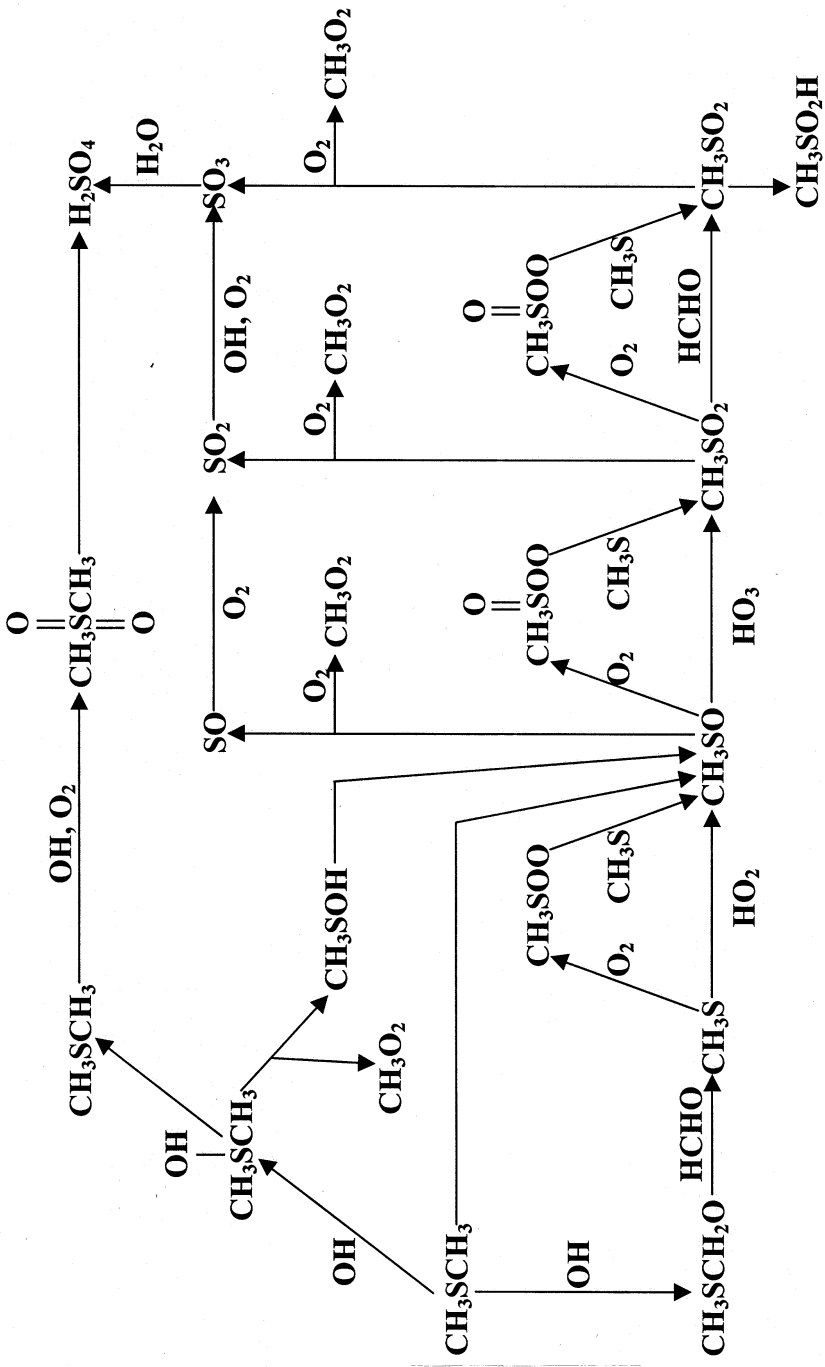


Рис. 1. Схема преобразования диметилсульфида в электронной пучковой плазме

коэффициенту разложения. Контроль химического состава среды разложения проводится при использовании диагностической аппаратуры. Управление в цепи обратной связи позволяет влиять на ход химических реакций, задавать изменения в параметрах реакции разложения токсичных соединений путем применения электронного пучка.

Электронный пучок, формируемый источником электронов, обладает высокой проникающей способностью. Система разложения имеет управление ускоряющим напряжением на источнике электронов, которое позволяет регулировать кинетическую энергию пучка электронов. Этим достигается разложение токсичных соединений в контейнерах с различными по толщине стенками. Материал стенок при этом не принципиален, электронный пучок проникает и через диэлектрические материалы. Для разложения токсичных соединений в реальных условиях необходимо иметь электронный пучок с кинетической энергией до 5 МэВ. При разложении токсичных соединений с предварительной разгерметизацией контейнера и выводом их из контейнера в рабочую камеру для большей эффективности процесса следует уменьшить кинетическую энергию электронов. Таким образом, плазменно-пучковые разряды на основе электронных пучков позволяют наиболее эффективно осуществлять химические реакции, в результате которых происходит разложение токсичных соединений.

4. Структурно-функциональная модель для информационного обеспечения системы разложения токсичных соединений

Процессы разложения токсичных соединений, по существу, являются процессами с повторяющимися операциями и поэтому все экспериментальные исследования должны включать два взаимообусловленных направления:

1) математическое моделирование для установления границ характеристик, которые можно считать исходными данными для экспериментальных исследований. При этом разновидностью циклических нагрузок (содержание обратных связей) [18] является взаимообратимый процесс «математическое моделирование – эксперимент» [8], который позволил типизировать технологию экспериментальных исследований по разложению токсичных соединений (рис. 2);

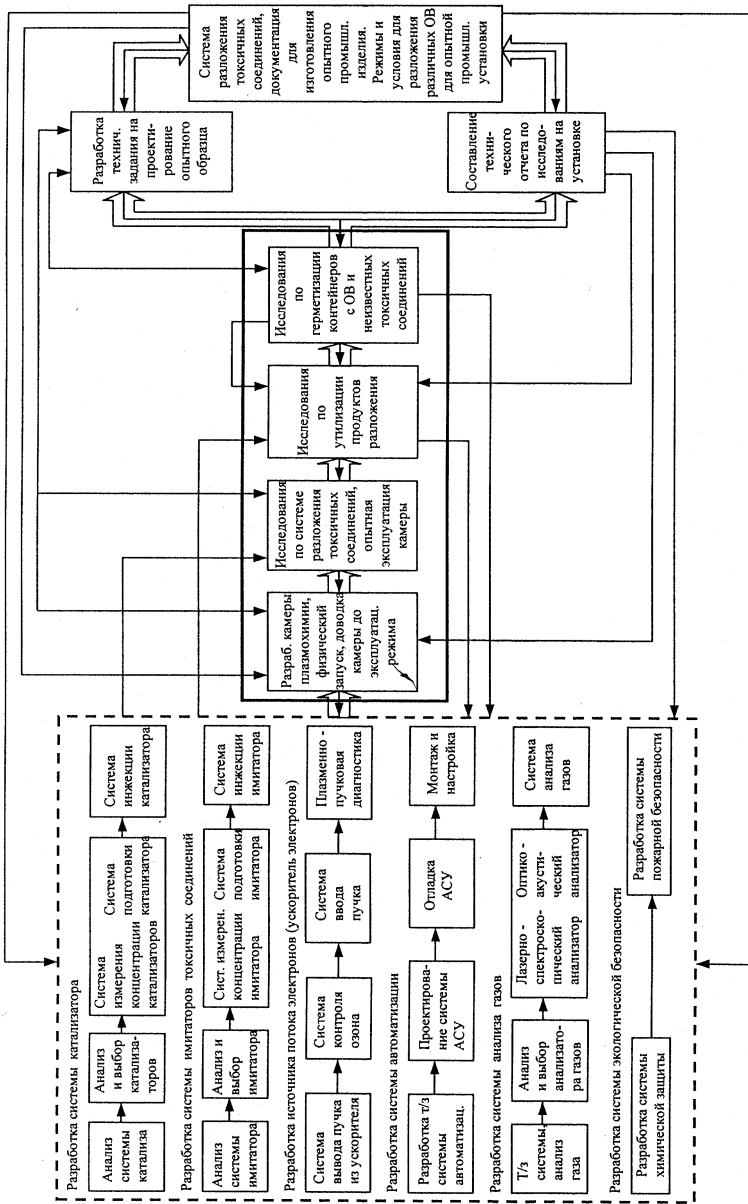


Рис. 2. Структурно-функциональная модель для системных комплексных исследований разложения токсичных соединений

2) создание опытного образца для проведения экспериментальных исследований по разложению токсичных соединений с целью выхода на серийный образец.

Для решения поставленных задач разработана структурно-функциональная модель [8] для проведения комплексных исследований разложения токсичных соединений (рис. 2). Модель состоит из следующих основных структурно-функциональных элементов:

- системы выбора катализатора;
- системы выбора имитаторов токсичных соединений;
- системы вывода пучка электронов из ускорителя и ввода пучка электронов в плазмохимический реактор;
- автоматизированной системы управления разложением токсичных соединений;
- системы анализа газов;
- системы осуществления экологической безопасности;
- системы реализации плазмохимического реактора;
- системы для проведения исследований по разложению токсичных соединений;
- системы для проведения исследований по утилизации продуктов разложения;
- системы исследования по герметизации контейнеров с вредными химическими соединениями;
- системы разработки технического задания на проектирование опытного образца;
- системы составления технического отчета по проводимым исследованиям;
- системы обработки режимов и условий разложения токсичных соединений;
- системы для разработки документации для изготовления опытного промышленного изделия.

Структурно-функциональный подход [8] позволил выявить основные составляющие системы разложению токсичных веществ [19]. Структурно-функциональная модель базы знаний технологии разложения токсичных соединений приведена на рис. 3. Данная модель построена на основе

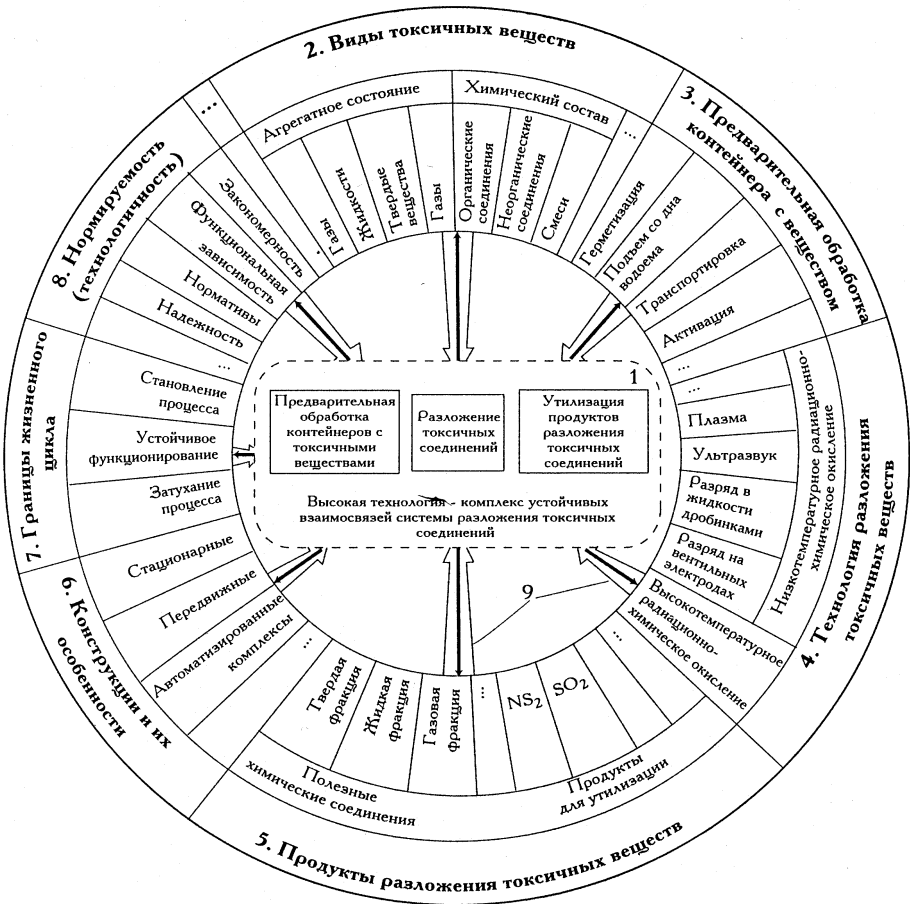


Рис. 3. Структурно-функциональная модель базы знаний системы разложения токсичных веществ: «1» – технологический процесс разложения токсичных соединений; «2 – 8» – структурно-функциональные составляющие процесса разложения токсичных соединений; «9» – взаимосвязи между «1» и «2 – 8»

проведенного системного анализа методов разложения токсичных соединений в координатах структурно-функционального типажа «вход – процесс – выход» и «измерение – оценка – принятие решения» во времени [19–22].

На рис. 4 представлен фрагмент информационной модели для выявления структурно-функциональных составляющих системы разложения токсичных соединений с применением пучковых технологий. Модель базы знаний системы разложения токсичных соединений включает:

- технологический процесс;
- семь структурно-функциональных составляющих;
- семь взаимосвязей между технологическим процессом и структурно-функциональными составляющими.

Построение модели базы знаний [19] заканчивается после выявления семи устойчивых взаимосвязей системы разложения токсичных соединений. В приложениях 1, 2 приведены примеры информационного наполнения базы знаний системы разложения токсичных соединений.

Рассмотрим принципы функционирования системы разложения жидких и токсичных газообразных соединений [14]. Источник электронов работает следующим образом. Генератор импульсного напряжения вырабатывает импульс напряжения отрицательной полярности, при подаче которого на углеродно-волоконистый катод источника электронов формируется катодная плазма. Электрическим ускоряющим полем вытягивается электронный пучок. Формирование катодной плазмы и вытягивание электронного пучка осуществляется одним импульсом напряжения отрицательной полярности. Электронный пучок проходит через фольговый анод, прозрачный для него, и поступает в камеру с имитаторами токсичных соединений для осуществления плазмохимических реакций.

В качестве источника импульсов используется генератор импульсного напряжения типа Аркадьева – Маркса. Принцип его работы заключается в использовании умножения напряжения при переключении газонаполненных разрядников от последовательной схемы включения на параллельную. При этом выходное напряжение от параллельного включения прямо пропорционально зарядному напряжению, умноженному на число последовательно включенных емкостных каскадов. Коммутация осуществляет-

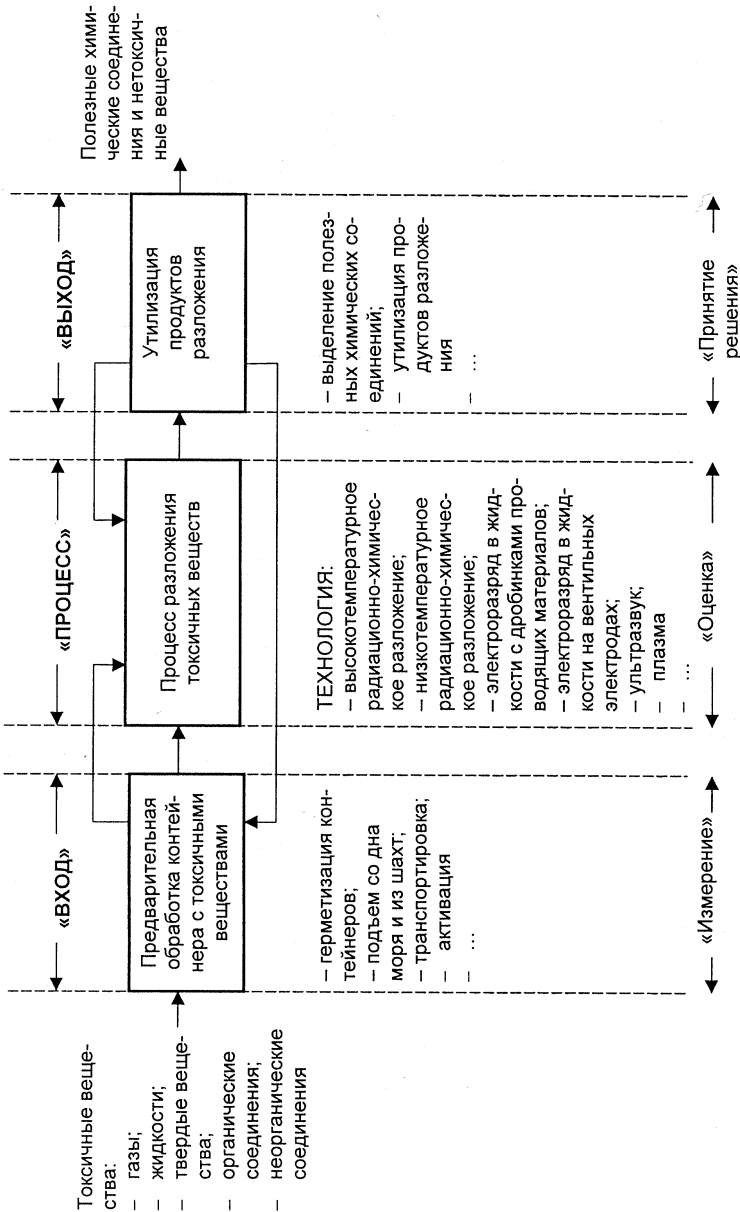


Рис. 4. Фрагмент информационной модели для выявления структурно-функциональных составляющих системы разложения токсичных соединений с применением пучковых технологий

ся с помощью газовых разрядников. При зарядном напряжении 100 кВ для получения напряжения 1 МВ используется 10 зарядных ступеней.

Источник электронов представляет собой вакуумный высоковольтный диод со взрывозамессионным катодом. Применение углеродно-волоконистого катода [23] позволяет сформировать широкий электронный пучок необходимого размера.

Вакуумная система для источника электронов и для камеры генератора импульсного напряжения состоит из стандартных вакуумных насосов. Давление остаточного газа составляет 10^{-5} торр.

Камера разложения токсичных соединений представляет собой металлическую или диэлектрическую конструкцию, которая имеет входной фланец для инжекции пучка электронов. Входной фланец имеет тонкую бериллиевую (толщиной около 200 мкм) или титановую (толщиной около 40-60 мкм) фольгу, которая прозрачна для электронов с кинетической энергией 1000 кэВ.

Диагностическая аппаратура включает в себя следующие комплексы:

- измерения параметров плазмохимических реакций разложения,
- измерения параметров пучка электронов,
- контроля вспомогательных систем.

Система коррекции параметров пучка электронов предназначена для регулировки тока и кинетической энергии пучка электронов в зависимости от коэффициента эффективности разложения имитатора токсичных соединений. Коэффициент разложения равен отношению остаточной концентрации разложения продукта к его исходной концентрации.

Система управления осуществляет следующие функции:

- обеспечение контроля за работой составляющих узлов и механизмов,
- корректировка параметров пучка,
- управление скоростью и качеством процессов химического разложения,
- обеспечение автоматической противопожарной и противохимической безопасности установки.

Для отработки технологии радиолиза с помощью импульсного электронного пучка использовался сильноточный импульсный электронно-ионный ускоритель со следующими основными параметрами [24]:

- кинетическая энергия $100 \div 700$ кэВ;
- ток пучка электронов $100 \div 2000$ А;
- длительность импульса тока пучка электронов $0,3 \div 1,0$ мкс;
- поперечный размер пучка электронов 15×30 см или 15×50 см;
- частота следования импульсов тока $0,1 \div 1$ Гц;
- общий вес установки около 500 кг;
- общие габариты установки $2 \times 4 \times 3$ м.

5. Технологическая схема проведения экспериментальных исследований разложения токсичных соединений

Разложение токсичных соединений осуществляется на основе плазмохимических реакций. По проводимости плазмы, которая зависит от параметров разряда и концентрации ионизованных токсичных соединений, определяются и устанавливаются параметры пучка электронов, а также время окончания процесса разложения.

На рис. 5 показана система разложения токсичных соединений, состоящая из: 1 – импульсного источника электронов; 2 – генератора импульсного напряжения; 3 – системы управления параметрами источника электронов; 4 – системы обработки данных по разложению токсичных соединений; 5 – токовых измерителей; 6 – системы измерения параметров электронного пучка; 7 – пучка электронов; 8 – капсулы или контейнера с токсичными соединениями; 9 – металлической ячейки; 10 – диэлектрической пластины; 11 – металлической камеры и 12 – токовой шины.

Импульсный источник электронов питается от генератора импульсного напряжения. При этом генератор импульсного напряжения и импульсный источник электронов подключены к системе управления параметрами источника электронов, которая, в свою очередь, связана с системой обработки данных по разложению токсичных соединений. Система обработки данных по разложению токсичных соединений соединена с системой измерения параметров электронного пучка. К системе обработки данных по разложению токсичных соединений подключена капсула или контейнер с токсичными соединениями через токовые измерители, которые, в свою очередь, подключены к токовой шине. При этом токовыми измерителями могут быть как шунты, так и трансформаторы тока. В металлической ка-

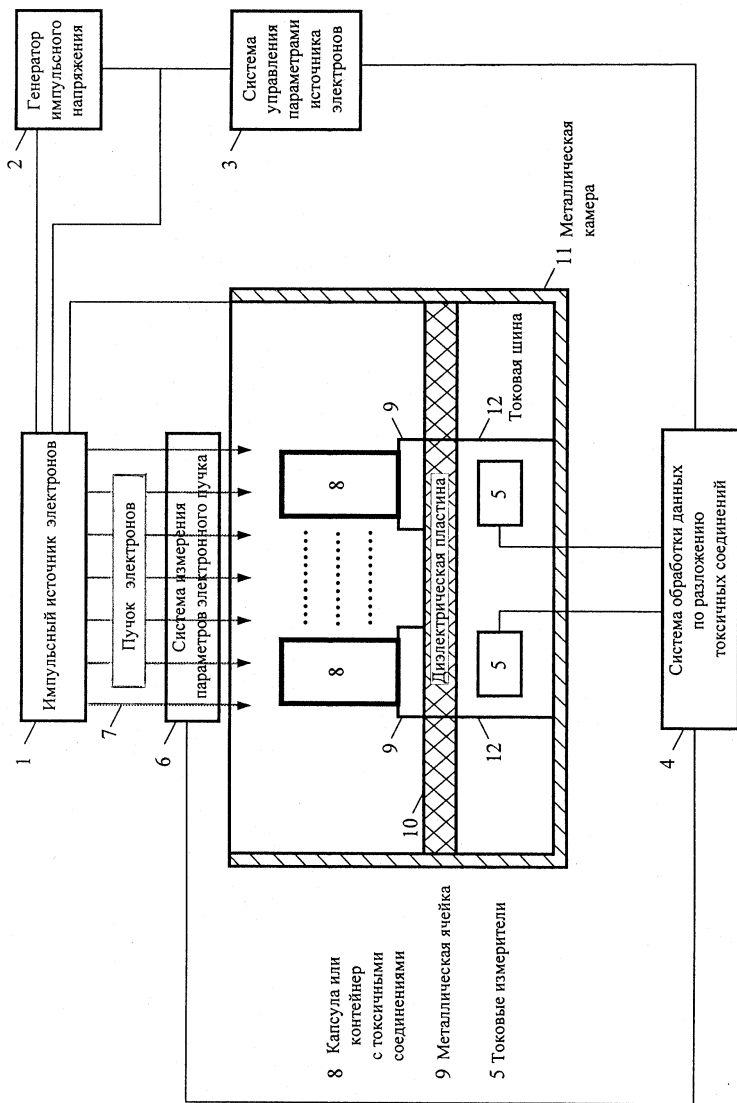


Рис. 5. Технологическая схема эксперимента разложения токсичных соединений [14]

мере устанавливается диэлектрическая пластина, в которой располагаются металлические ячейки для размещения капсул или контейнеров с токсичными соединениями. При этом металлические ячейки электрически подключены к металлической камере через токовые шины. Капсула или контейнер с токсичными соединениями устанавливаются в металлических ячейках, и при этом они имеют электрический контакт с самой металлической камерой, подключенной к общей шине импульсного источника электронов через контейнер или капсулу с токсичными соединениями на металлическую камеру, на общую шину импульсного источника электронов и на генератор импульсного напряжения.

Устройство работает следующим образом. Электронный пучок от импульсного источника электронов проходит через систему измерения параметров пучка электронов на основе токового трансформатора (пояса Роговского) и поступает в контейнер с токсичными соединениями. Параметры пучка электронов (величина электронного тока, кинетическая энергия – ускоряющее напряжение на источнике электронов) поступают в систему обработки данных по разложению токсичных соединений. При инжекции электронного пучка и при прохождении электронов через стенку контейнера или капсулу с жидким или газообразным токсичными соединениями, происходит образование гамма-квантов. Эти первичные гамма-кванты начинают иницировать диссоциацию компонентов токсичных соединений. Затем электроны, которые поступили в контейнер с токсичными соединениями, начинают ионизировать газ или жидкость.

В случае токсичных газовых соединений наблюдается плазменно-пучковый разряд, усиливается диссоциация компонентов токсичных соединений и повышается температура, которая приводит к процессу термического выжигания токсичных соединений. Температура, до которой нагревается газ, составляет более тысячи градусов в течение длительности импульса тока пучка электронов. Так как глубина проникновения электронов соизмерима с размерами капсул (или контейнеров), то выделение энергии пучка идет по всему объему. При этом происходит изменение проводимости плазмы газового (или жидкостного) разряда и величины тока, который стекает с контейнера (или капсулы) в токовую шину на металлическую камеру. Величина тока определяется разностью между то-

ком пучка электронов, измеренным с помощью системы измерения параметров пучка, и потерями электронов на формирование газового (или жидкостного) разряда в капсуле (или контейнере). В этом случае изменение тока, который стекает по токовой шине с капсулы (или контейнера) на металлическую камеру, является величиной, определяющей степень разложения токсичных соединений. В зависимости от типа токсичных соединений величина потерь электронов при разряде в капсуле (или контейнере) будет иметь различные значения. Для каждого конкретного типа токсичных соединений необходима калибровка, которая заносится в систему обработки данных по разложению токсичных соединений. Процесс облучения продолжается до тех пор, пока не наступит степень разложения токсичных соединений, которая удовлетворяет потребителей. По калибровке можно осуществлять коррекцию параметров пучка электронов в зависимости от степени разложения и эффективности протекания химических реакций разложения. Для этого с системы обработки данных по разложению токсичных соединений поступают импульсы на систему управления параметрами источника электронов. В этом случае регулируются электронный ток и кинетическая энергия пучка электронов. Поскольку существуют обширные классы веществ, которые относятся к токсичным соединениям, то необходима система процедур по коррекции параметров пучка электронов.

В случае использования токсичных отходов в виде жидкости, в ней формируется электронно-пучковый разряд и происходит радиолиз жидкости, который приводит к разложению токсичных отходов до других химических соединений, которые могут использоваться в химической промышленности. Импульсный характер пучка электронов позволяет реализовать условия зажигания разряда в жидкости в силу ее конечной проводимости. Кроме того, дополнительно к импульсному радиолизу электронным пучком в данном случае добавляется эффект воздействия гамма-излучения, природа появления которого описана выше.

Таким образом, плазменно-пучковый разряд как в газовых, так и жидкостных средах, а именно в газовых или жидкостных капсулах (контейнерах), приводит к плазмохимическим реакциям их разложения. Предварительные эксперименты проводились с использованием импульсного ис-

точника электронов в Лаборатории физики частиц ОИЯИ [13, 23] со следующими параметрами:

- кинетическая энергия электронов $200 \div 500$ кэВ;
- ток пучка электронов $500 \div 2000$ А;
- длительность импульса тока пучка электронов 300 нс.

В качестве жидкого токсичного соединения был выбран ацетон как наиболее доступное токсичное жидкое соединение. Ацетон помещался в небольшую металлическую тонкостенную ампулу из стали. Система коррекции параметров пучка, система обработки данных по разложению представляла собой электронную систему, собранную на основе известных электронных блоков (аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), усилители и др.). Управление осуществлялось от компьютерной системы на базе персонального компьютера. Регистрация разложения осуществлялась на основе продуктов химических реакций [25].

Автор благодарен И.В. Пузынину и А.Н. Сисакяну за плодотворное сотрудничество при реализации научно-исследовательских разработок и создании опытной установки, членам Научно-технического совета Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ за полезные советы при обсуждении проекта.

Приложение 1

Адресная часть классификатора «Разложение токсичных соединений электронно-лучевыми технологиями» ЭО^{пр1} – «Методы разложения токсичных соединений»

Аспект	Содержание	Значение кода
α_1	Технологический процесс разложения токсичных соединений	7
α_2	Разработка эффективных методов разложения токсичных соединений	2
α_3	Электронно-лучевая технология разложения токсичных соединений	3
α_4	Конвенция о запрещении разработки, производства и применения химического оружия и его уничтожения. ООН, Женева, 1993. Указ президента РФ №314 «О подготовке РФ к выполнению международных обязательств в области химического разоружения», 1995.	
α_5	Разложение токсичных соединений с помощью электронных пучков. Проект ОИЯИ, 1995. Система разложения токсичных соединений. Патент № 2132727. 18 апреля 1996 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ.	2
β_1	Элементарный объект «ЭО ^{пр1} » – метод радиационно-химического окисления	3
β_2	Международный масштаб пользования	1
β_3	Обеспечение безопасности людей и окружающей среды	2
β_4	Пилотная установка	3

Приложение 2

Технико-экономические параметры классификатора «Разложение токсичных соединений электронно-лучевыми технологиями» ЭО^{пр1} – «Методы разложения токсичных соединений»

Код	Наименование параметра	Единица измерения	Значение	Значение кода
1	2	3	4	5
001	g_1 – функциональное назначение			
002	Разложение токсичных веществ			1001
	Разложение токсичных химических соединений			1002
	g_2 – структурно-функциональные характеристики			
001	Виды отравляющих веществ:			2001
	а) по агрегатному состоянию:			2002а
	1 газы;			2001а ₁
	2 жидкости;			2001а ₂
	3 твердые вещества;			2001а ₃
	4 смеси			2001а ₄
	б) по химическому составу:			2001б
	1 органические соединения;			2001б ₁
	2 неорганические соединения			2001б ₂
002	Виды токсичных химических соединений:			2002
	а) по агрегатному состоянию:			2002а
	1 газы;			2002а ₁
	2 жидкости;			2002а ₂
	3 твердые вещества;			2002а ₃
	4 смеси			2002а ₄
	б) по химическому составу:			2002б
	1 органические соединения;			2002б ₁
	2 неорганические соединения			2002б ₂
003	Методы радиационно-химического окисления:			2003
	а) высокотемпературное,			2003а
	б) низкотемпературное:			2002б
	1 электроразряд в жидкости с дробинками;			2002б ₁
	2 электроразряд в жидкости на вентильных электродах;			2002б ₂
	3 ультразвук;			
	4 плазма			2002б ₃
				2002б ₄
	g_3 – решаемые задачи			
001	Токсичные соединения:			3001
	а) герметизация контейнеров;			3001а
	б) разложение и получение нетоксичных соединений			3001б
002	Разложение токсичных химических соединений			3002

1	2	3	4	5
	g_4 – конструктивно-технологические характеристики			
001	Вид исполнения: а) стационарное; б) передвижное			4001 4001а 4001б
002	Конструктивное исполнение: а) источник электронов; б) камера разложения; в) система диагностики параметров реакции; г) система управления			4002 4002а 4002б 4002в 4002г
	g_5 – энерго-функциональные характеристики			
001	Кинетическая энергия	кэВ		5001
002	Ток пучка электронов	А		5002
003	Размер пучка: а) тип 1; б) тип 2	см		5003 5003а 5003б
004	Частота импульсов	Гц		5004
005	Длительность импульсов	мкс		5005
006	Габаритные размеры а) длина; б) высота; в) ширина	мм		5006 5006а 5006б
007	Масса	кг		5006в
008	Давление остаточного газа	торр		5007
009				5008
010				
	g_6 – эксплуатационные характеристики			
001	Срок эксплуатации	год	число	6001
002	Производительность установки			6002
003	Наработка на отказ			6003
004	Климатические условия: а) температура; б) давление; в) влажность	°С Па %		6004 6004а 6004б 6004в
005	Стабильность параметров электронного пучка			
	g_7 –экономические и организационные характеристики			
001	Стоимость установки	руб.	число	
002	Расход энергии	квт/час	–“–	
003	Затраты на обслуживание	руб.	–“–	
004	Численность персонала	кол-во	–“–	
005				

Литература

1. Конвенция о запрещении разработки, производства и применения химического оружия и его уничтожения. Организация Объединенных Наций, Женева, 1993.
2. Белецкая И.М., Новиков С.С. Вестник РАН, №2, том 65, 1995, с. 99-111.
3. Alternative Technologies for the Detoxification of Chemical Weapons/ An Information Document, Washington, Circenpeace International, Pacific Campaign, May 24, 1991.
4. Самойлов В.Н. Технология информационного обеспечения поддержки сложных процессов. ОИЯИ, Р10-2000-182, Дубна, 2000 г. –28 с.
5. Фридман А. и др. Тр. первого Международного симпозиума по пучковым технологиям, Дубна, ОИЯИ, 1995.
6. Альбертинский Б.И. и др. Тр. VIII Всесоюзной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1981, т.2, с. 220.
7. Proc. IV Intern. Meeting of Radiation Processing. Rad. Phys. and Chem., 1988, v. 3, p. 1–123.
8. Самойлов В.Н. Технология моделирования сложных процессов. ОИЯИ, Р10-99-173, Дубна, 1999 г. –198 с.
9. Шнеерсон Б., Егоров Н. Электрическая очистка газов. –Л.: Госхимтехиздат, 1933.
10. Переводчиков В.И. Электрофизические методы очистки газов. Тр. первого Международного симпозиума по пучковым технологиям, Дубна, ОИЯИ, 1995.
11. Шуров А.Н. и др. ЖФХ, 1979, т. 53, с. 930.
12. Frank N., Hirano. Rad. Phys. and Chem., 1990, v. 35, № 4-6, p. 416.
13. Корнев С.А., Пузынин И.В., Самойлов В.Н., Сисакян А.Н. Разложение токсичных соединений с помощью электронных пучков. Проект ОИЯИ, 1995.
14. Корнев С.А., Самойлов В.Н. Система разложения токсичных соединений. Патент № 2132727. 18 апреля 1996 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации.
15. Свиньин М.П. Расчет и проектирование высоковольтных ускорителей электронов для радиационных ускорителей. –М.: Энергоиздат, 1989
16. Электронные пучки и технологии. Под ред. Месяца Г.А., Новосибирск: Наука, 1987.

17. Бычков В.Л., Васильев М.Н., Стриженов А.Ю. Применение электронных пучков и импульсных разрядов для очистки дымовых газов; Сб. М., 1993, с. 74.
18. Самойлов В.Н. К вопросу о понятии «высокие технологии». Сб. научных трудов ТвГУ, вып. 1, Тверь, ТвГУ, 1998, с. 64-70.
19. Самойлов В.Н. Технология разработки информационных моделей неструктурированных процессов. ОИЯИ. Р-10-2000-181, Дубна, 2000.
20. Самойлов В.Н. Методы анализа информационных моделей неструктурированных процессов. ОИЯИ. Р10-2000-180, Дубна, 2000.
21. Самойлов В.Н. Информационная технология моделирования физических экспериментов и сложных процессов. ОИЯИ, Р10-99-106, Дубна, 1999, –26 с.
22. Добрянский В.М., Самойлов В.Н., Чекер А.В. Принципы функционирования и технология создания автоматизированной системы для моделирования сложных процессов. ОИЯИ, Р10-2000-187, Дубна, 2000, –38 с.
23. Коренев С.А. Разработка и исследование импульсных сильноточных источников электронов и ионов для прикладных задач. Докторская диссертация, Дубна: ОИЯИ. 1995.
24. Korenev S.A., Puzynin I.V., Samoilov V.N., Sissakian A.N. High current pulsed ion inductor accelerator for destruction of radioactive waster. Book of Abstracts of the Second International Conference Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications, ISBN 91-506-1220-4 (2 volumes), Kalmar Sweden, 1996, p. 1061-1064.
25. Бекер С. и др. Российский химический журнал. 1993, Т. XXXVII, №3, с. 29.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 декабря 2000 года.

Самойлов В.Н., Корнев С.А., Самошкин А.М.
Информационное обеспечение технологического процесса
разложения токсичных соединений

P10-2000-313

На основе проведенного системного анализа методов разложения химических соединений выявлены проблемы и задачи разложения токсичных соединений с помощью электронно-пучковых технологий. Дано обоснование выбранного электронно-пучкового метода разложения токсичных соединений. Построена структурно-функциональная модель комплексных исследований технологии разложения токсичных соединений. Разработана структурно-функциональная модель базы знаний и показано ее информационное наполнение. Представлена запатентованная технология разложения токсичных соединений.

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий и Научном центре прикладных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод авторов

Samoilov V.N., Korenev S.A., Samoshkin A.M.
Information Software of Technologic Process
of the Toxic Compound Decomposition

P10-2000-313

Carrying out the system analysis of decomposition methods of chemical compounds, the problems and tasks of decomposition of toxic compounds by appropriate electron beam technologies are revealed. A background for electron beam technologies is given. Structure-functional model for complex investigations of the decomposition technology of toxic compounds under consideration is constructed. Structure-functional model of knowledge base is performed and its information filling is shown. Decomposition technology of toxic compounds is produced under the patent.

The investigation has been performed at the Laboratory of Information Technologies and Scientific Center of Application Research, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000

Редактор Е.К.Аксенова. Макет Р.Д.Фоминой

Подписано в печать 13.03.2001
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 2,7
Тираж 300. Заказ 52540. Цена 3 р. 24 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области