

УДК 628.47

## АКТУАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ С ХИМИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ТЕРРИТОРИЙ В УКРАИНЕ

ГАРМАШ С. Н.<sup>1\*</sup>, к.с.-х.н., доц.МИТИНА Н. Б.<sup>2</sup>, к.т.н., доц.ГЕРАСИМЕНКО В. А.<sup>3</sup>, к.х.н., доц.РУНОВА Г. Г.<sup>4</sup>

<sup>1\*,2,3,4</sup> Кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49605, Днепропетровск, Украина, тел. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net

**Аннотация. Цель.** Целью работы является выбор наиболее эффективных модульных установок для утилизации токсичных веществ при авариях. **Методика.** Изучен и проанализирован мировой опыт по ликвидации аварийных разливов и обезвреживанию токсичных веществ с использованием мобильных установок. **Результаты.** Определены наиболее эффективные методы и передвижные установки для обезвреживания местности: методы «холодного сжигания», мобильные плазменные установки, передвижные установки по уничтожению химических боеприпасов, «горячая детонация», мобильные модульные установка очистки жидких и твердых радиоактивных отходов, передвижные установки по демеркуризации. Плазменно-пиролитическая установка целесообразна для переработки твердых радиоактивных отходов. Эффективно применение в чрезвычайных условиях мобильных плазменных комплексов для утилизации медицинских и биологических отходов. Эксплуатация мобильных плазменных комплексов исключает риск заражения окружающей среды во время транспортировки опасных отходов в результате дорожно-транспортных происшествий. Способ «холодного сжигания» эффективен для обезвреживания токсичных промышленных отходов, просроченных пестицидов, военных отравляющих веществ, взрывчатых веществ (гептил и др.), продуктов переработки твердых бытовых отходов. Использование плазменной газификации твердых бытовых отходов исключает образование экологически опасных выбросов и отходов. В передвижных установках по демеркуризации криогенная ловушка обеспечивает высокую скорость откачки ртутных паров и низкую остаточную концентрацию ртути в выхлопных газах. **Научная новизна.** Анализ современных методов обезвреживания местности от токсичных веществ с использованием экологически безопасных технологий позволяет выбрать наиболее эффективную модульную установку. **Практическая значимость.** Использование современных эффективных методов и средств обезвреживания опасных зон с помощью мобильных установок при аварийных разливах и выбросах токсичных и пожароопасных веществ.

**Ключевые слова:** мобильные установки, чрезвычайные ситуации, токсичные вещества, отходы, утилизация

## АКТУАЛЬНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ З ХІМІЧНИМ ЗАБРУДНЕННЯМ ТЕРИТОРІЙ В УКРАЇНІ

ГАРМАШ С. М.<sup>1\*</sup>, к.с.-г.н., доц.МІТИНА Н. Б.<sup>2</sup>, к.т.н., доц.ГЕРАСИМЕНКО В. О.<sup>3</sup>, к.х.н., доц.РУНОВА Г. Г.<sup>4</sup>

<sup>1\*,2,3,4</sup> Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49605, Дніпропетровськ, Україна, тел. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net

**Анотація. Мета.** Метою роботи є вибір найбільш ефективних модульних установок для утилізації токсичних речовин при аваріях. **Методика.** Вивчений і проаналізований світовий досвід по ліквідації аварійних розливів і знешкодженню токсичних речовин з використанням мобільних установок. **Результати.** Визначені найбільш ефективні методи та пересувні установки з знешкодження місцевості: методи "холодного спалювання", мобільні плазмові установки, пересувні установки по знищенню хімічних боеприпасів, "гаряча детонація", мобільні модульні установка очищення рідких і твердих радіоактивних відходів, пересувні установки по демеркуризації. Плазмово-піролітична установка доцільна для переробки твердих радіоактивних відходів. Ефективне застосування в надзвичайних умовах мобільних плазмових комплексів для утилізації медичних і біологічних відходів. Експлуатація мобільних плазмових комплексів виключає ризик зараження довкілля під час

транспортування небезпечних відходів в результаті дорожньо-транспортних подій. Спосіб "холодного спалювання" ефективний для знешкодження токсичних промислових відходів, прострочених пестицидів, військових отруйних речовин, вибухових речовин (гептил та ін.), продуктів переробки твердих побутових відходів. Використання плазмової газифікації твердих побутових відходів виключає утворення екологічно небезпечних викидів і відходів. У пересувних установках по демеркуризації криогенна пастка забезпечує високу швидкість відкачування ртутної пари і низьку залишкову концентрацію ртуті у вихлопних газах. **Наукова новизна.** Аналіз сучасних методів знешкодження місцевості від токсичних речовин з використанням екологічно безпечних технологій дозволяє вибрати найбільш ефективну модульну установку. **Практична значимість.** Використання сучасних ефективних методів і засобів знешкодження небезпечних зон за допомогою мобільних установок при аварійних розливах і викидах токсичних і пожежонебезпечних речовин.

*Ключові слова:* мобільні установки, надзвичайні ситуації, токсичні речовини, відходи, утилізація

## RELEVANCE AND PROSPECTS FOR MOBILE DEVICES FOR DISASTER RECOVERY WITH CHEMICALLY CONTAMINATED TERRITORIES IN UKRAINE

GARMASH S. N.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Agr.), Ass. Prof.*

MITINA N. B.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

GERASIMENKO V. A.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Chem.), Ass. Prof.*

RUNOVA G. G.<sup>4</sup>

<sup>1\*,2,3,4</sup> Department of Labour Protection and Life Safety, State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Gagarin avenue, 8, 49605, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +380955387138, e-mail: svgarmash@ukr.net

**Abstract. Purpose.** The aim is to select the most efficient modular facilities for the disposal of toxic substances in case of emergency procedures. **Methodology.** We study and analyze the world experience in spill response and neutralization of toxic substances using mobile devices. **Findings.** The most effective methods and mobile devices for decontamination areas: methods of "cold combustion", mobile plasma installation, mobile installation for the destruction of chemical weapons, "hot detonation", mobile, modular clean installation of liquid and solid radioactive waste, mobile devices for mercury disposal. Plasma pyrolysis installation is suitable for the processing of solid radioactive waste. The mobile plasma systems are effective for the disposal of medical and biological waste in extreme conditions. Operation of the mobile plasma systems eliminates the risk of contamination of the environment during the transportation of hazardous waste as a result of road accidents. The method of "cold combustion" is effective for neutralization of toxic industrial waste, obsolete pesticides, military warfare agents, explosives (heptyl, etc.), substances of processing of municipal solid waste. The use of plasma gasification of municipal solid waste eliminates the formation of environmentally hazardous emissions and waste. The cryogenic trap of the mobile devices of mercury disposal provides a high pumping speed and low vapor mercury residual concentration of mercury in the exhaust gases. **Originality.** Analysis of modern methods of disposal of toxic substances from the area with the use of environmentally sound technology allows you to select the most efficient modular installation. **Practical value.** The use of modern methods of recovery of hazardous areas is effective using mobile devices in emergency spills and releases of toxic and flammable substances.

*Keywords:* mobile devices, emergency, toxic substances, waste, recovery

### Введение

В результате аварий на химических производствах, на железных, автомобильных дорогах, акваториях Мирового океана огромное количество токсичных веществ попадает в почву, водоёмы, что приводит к изменению их химического и биологического состава. Ежегодно увеличивается содержание в окружающей среде тяжелых металлов, пестицидов, радиоактивных веществ, мощных средств, масло- и нефтепродуктов, др. токсичных веществ. Использование шламохранилищ, свалок, земляная засыпка отходов, их захоронение или закачка в глубокие подземные скважины, сжигание и пиролиз способствуют вторичному загрязнению окружающей среды. Например, захоронение цианосодержащих отходов без предварительной обработки приводит к улетучиванию 90 % цианидов, а 3% выщелачивается и попадает в грунтовые воды. Кроме того, на складах и про-

мышленных площадках хранятся токсичные промышленные отходы, пестициды с истекшим сроком хранения, военные отравляющие, взрывчатые вещества (гептил и др.), продукты переработки твердых бытовых отходов, распространение которых может стать причиной ЧС.

Экологическое состояние многих регионов Украины критическое. Для локальной очистки загрязненных участков (при опрокидывании железнодорожных цистерн, емкостей с токсичными веществами, танкеров и др.) перспективным является применение мобильных установок, обеспечивающих комплексную очистку зон аварийных разливов от токсичных, пожаро- и взрывоопасных веществ с последующим обезвреживанием и обработкой образующихся отходов. Использование эффективных, простых и относительно безопасных в эксплуатации мобильных установок для деструкции отравляющих веществ «на местах» является актуальным.

### Цель

Целью работы является изучение эффективности использования мобильных установок на основе анализа использования современных разработок для ликвидации последствий аварий с химическим загрязнением территорий.

### Анализ исследований и публикаций

Изучен и проанализирован мировой опыт применения передвижных установок для ликвидации аварийных разливов токсичных веществ и их обезвреживания.

Технология «холодного сжигания» используется в мобильной установке для деструкции просроченных пестицидов, взрывчатых веществ и других токсических отходов [13]. Деструкция загрязнителя происходит в термостатированной рабочей камере, устроенной по принципу циклона. В снеговоздушном вихре, подаваемом в камеру, носителем является охлаждаемый теплообменником воздух или инертный газ, а рабочим телом – ледяная пыль (снег). Загрязнитель вводится в состав снега в момент его образования. Реакционная масса внутри установки перемешивается с помощью вентиляторов. Токсичные вещества распределяются по поверхности снежных гранул, что способствует процессам их окисления. Преимущества метода в том, что реакционная масса более экологически безопасна, а постоянное охлаждение и использование льда позволит проводить деструкцию просроченных взрывчатых веществ [14].

В связи с накоплением больших объемов радиоактивных и химических веществ, подлежащих утилизации (обезвреживанию), значительный интерес представляет создание мобильных плазменных комплексов [5]. Промышленная эксплуатация таких мобильных комплексов имеет ряд преимуществ по сравнению со стационарными установками, поскольку отсутствует риск заражения окружающей среды во время транспортировки опасных отходов в результате ДТП или нарушениями целостности защитных контейнеров и пр. Кроме того, мобильные плазменные комплексы могут найти применение для решения некоторых задач МЧС – использование установки для плазмотермической детоксикации проливов огнетушащих веществ, токсичных и экологически опасных материалов производительностью 30 кг/ч по твердым отходам и 50 кг/ч – по жидким отходам [6].

Американская компания Westinghouse разработала плазменную систему внутри передвижного модуля [2]. Внутри стандартного грузового трейлера была смонтирована плазменная система вместе с сопутствующими устройствами – источником тока, системой газо- и водоснабжения, системой управления процессом и т.д. Плазменная система, расположенная внутри трейлера, позволяет перерабатывать химические отходы с производительностью около 4 л/мин., с эффективностью разложения вредных компонентов до 99,99%. Фирмой E. S. T. Ecological Systems Ltd совместно с ООО «Плазмактор» изготовлена и вве-

дена в эксплуатацию мобильная опытно-промышленная плазменная установка для утилизации токсичных химических отходов [7]. Монтаж выполнен в 20-футовом транспортируемом автомобильном контейнере. Эта установка предназначена для обезвреживания широкого спектра органических и неорганических отходов, легко адаптируется к переработке различных видов сырья. Основными преимуществами данной системы являются ее мобильность, простота и безопасность при сборке и эксплуатации, незначительные эксплуатационные расходы. С целью достижения максимальной эффективности переработки отходов система управления позволяет регулировать рабочие параметры, такие, как расход перерабатываемого сырья, степень перемешивания материала с плазменным потоком, время нахождения компонентов отходов в плазменном реакторе, достаточное для деструкции токсичных веществ

Опыт создания и эксплуатации мобильных плазменных установок позволяет создать мобильные плазменные комплексы для утилизации медицинских и биологических отходов, предназначенные для применения в чрезвычайных условиях. Особый интерес вызывают плазменные технологии переработки муниципальных отходов [12]. Несмотря на попытки внедрения систем управления отходами, объем образующихся муниципальных отходов в промышленно развитых странах мира остается высоким. Так, по данным USEPA, в 2000 г. годовой объем твердых бытовых отходов (ТБО) в США превысил 128 млн т (свыше 400 кг на жителя). Только около 25% из них были утилизированы на мусоросжигательных заводах, при этом образовалось около 9 млн т золы, содержащей крайне токсичные вещества (диоксины, фураны, тяжелые металлы). Остальные ТБО и вся зола от сжигания мусора были складированы на свалках и хранилищах. При плазменной газификации ТБО не образуется экологически вредных выбросов и отходов, подлежащих захоронению, что подтверждено тестами на соответствие нормам USEPA. Процесс не требует предварительной сортировки мусора, допускает переработку влажных отходов. Все технологическое оборудование, обеспечивающее реализацию процесса Recovered Energy System (плазмотроны, теплообменники, скрубберы, газовые и паровые турбины), в настоящее время выпускается серийно. Аналогичные показатели имеет плазменное оборудование ряда других фирм, например, RCL (Канада), Europlasma (Франция). Те же подходы реализуются для создания мобильных установок для переработки небольших объемов ТБО. Фирма Solena Group (США) разработала оборудование для плазменной газификации ТБО на борту круизных судов.

Учёными Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины и Института газа НАН Украины разработана плазменная технология и оборудование для экологически безопасной утилизации и обезвреживания медицинских отходов производительностью 50 кг/ч [3].

Фирма UKRPLASMA Co разработала технологию плазменной утилизации, основанной на высокотемпературном плазмохимическом воздействии на токсичные вещества и полном их разложении с помощью микроволновой плазмы. Плазмотроны позволяют регулировать расход сырья от 20 до 150 кг/ч при непрерывном режиме [1].

В чрезвычайных ситуациях при гибели большого количества животных особую опасность представляют болезнетворные бактерии и другие патогенные микроорганизмы, которые активно размножаются в отходах. Инфекцию могут разносить различные насекомые, птицы, что грозит эпидемией для целых регионов. В случае эпидемии «птичьего» или «свиного» гриппа, африканской чумы свиней и др. необходимо уничтожать животных и домашнюю птицу.

Наиболее эффективным методом утилизации в условиях чрезвычайной ситуации считают применение мобильных плазменных установок [5]. Такая установка монтируется на автомобильном шасси и содержит плазменную печь, оборудованную воздушным электродуговым плазмотроном; системы газо- и водоснабжения плазмотрона; систему электропитания плазмотрона; систему газоочистки; систему автоматического управления процессом.

На настоящий момент в мире разработаны различные методы демонтажа и уничтожения боеприпасов с отравляющими веществами, однако в основном они сводятся к двум приемам: сжигание при высоких температурах, выше температуры разложения отравляющих веществ; нейтрализация отравляющих веществ при помощи химических реагентов [11].

Уничтожение боеприпасов, снаряженных ОВ, сопряжено с высокой опасностью. Для этого применяются, в частности, передвижные установки по уничтожению химических боеприпасов. Сообщалось об уничтожении запаса химического оружия в Сирии в международных водах на американском танкере «MVCapeRay» (Т-АКР9679), оснащенный системой мобильной утилизации токсичных веществ.

Некоторые технологии базируются на принципе подрыва боеприпасов в бронированных камерах. Другой принцип основан на так называемой «горячей детонации». В нем боеприпасы разогреваются в специальной камере до высокой температуры, что является достаточным для уничтожения как самого боеприпаса, так и его химического заряда. Этот метод был разработан шведской компанией Dynasafe и используется для ликвидации запасов химического оружия в КНР, Германии и США.

Высокая степень заполнения хранилищ твердых радиоактивных отходов, рост затрат на их переработку и хранение выдвигает на первый план задачу по минимизации этих отходов на стадиях их образования и кондиционирования.

Плазменно-пиролитическая переработка твердых радиоактивных отходов на мобильной установке «Плутон» поможет решить эту проблему [9]. На предприятиях ряда регионов, где имеются сравнительно небольшие объемы жидких радиоактивных отходов, целесообразно применять мобильные установки «Аква-Экспресс» и «Эко» [8].

К ртутьсодержащим отходам относятся отработанные и бракованные люминесцентные лампы, термометры и контрольно-измерительные приборы, которые достаточно часто попадают в бытовой мусор. Передвижные установки по демеркуризации (на базе автомобиля «Камаз») имеют производительность 200 ламп/ч, длительность цикла 4–6 ч. Криогенная ловушка обеспечивает высокую скорость откачки ртутных паров и низкую остаточную концентрацию ртути в выхлопных газах [10].

## Результаты

Установлено, что способы сжигания, пиролиза, термического разложения имеют существенный недостаток: в процессе сжигания органики при недостаточно высоких температурах кроме оксидов азота и углерода, возможно образование таких токсичных соединений, как фосген, дибензофураны, диоксины, бензопирены и др. в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК).

Альтернативой является их сжигание с использованием термической плазмы, т.е. высокотемпературное сжигание. Наиболее эффективными являются методы «холодного сжигания», мобильные плазменные установки, передвижные установки по уничтожению химических боеприпасов (в т.ч. на танкерах), «горячая детонация», мобильные модульные установки очистки жидких и твердых радиоактивных отходов, передвижные установки по демеркуризации.

Анализ технических характеристик мобильных установок для очистки жидких и твердых радиоактивных отходов показал, что они способны минимизировать эти отходы на стадиях их образования и кондиционирования (таблица).

Перспективным методом переработки отработанных люминесцентных лампы являются передвижные установки по демеркуризации на базе автомобиля «Камаз», которые обеспечивают низкую остаточную концентрацию ртути в выхлопных газах.

## Характеристика методов и мобильных установок для утилизации токсичных веществ и отходов

## / Characteristics and methods of mobile devises for the disposal of toxic substances and waste

Наименование токсичных отходов	Метод (установка) для утилизации	Техническая характеристика (принцип действия) установки
Токсичные промышленные отходы, просроченные пестициды, военные отравляющие вещества, взрывчатые вещества (гептил и др.), продукты переработки твердых бытовых отходов.	«Холодное сжигание»	Деструкция загрязнителя проходит в термостатированной рабочей камере, устроенной по принципу циклона. В снеговоздушном вихре носителем является охлаждаемый теплообменником воздух или инертный газ, а рабочим телом – ледяная пыль/снег. Загрязнитель вводится в состав снега в момент его образования. Реакционная масса внутри установки перемешивается с помощью вентиляторов. Токсичные вещества распределяются по поверхности снежных гранул, окисляются, снег электризуется. После достижения напряжения зажигания тихого разряда инициируются реакции деструкции.
Опасные радиоактивные, химические и биологические отходы	Мобильная плазменная установка	Установка монтируется на автомобильном шасси с оборудованием: - плазменная печь, оборудованная электродуговым плазмотроном; - система газо- и водоснабжения плазмотрона; - система электропитания плазмотрона; - система газоочистки; - система автоматического управления процессом.
Боеприпасы, снаряженные отравляющими веществами	Передвижные установки по уничтожению химических боеприпасов	Подрыв боеприпасов в бронированных камерах (в т.ч. на танкерах) «Горячая детонация» - Боеприпасы разогреваются в специальной камере до высокой температуры, что является достаточным для уничтожения как самого боеприпаса, так и его химического заряда.
Жидкие радиоактивные отходы	Мобильные установки очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО)	а) установка «Аква-Экспресс» для очистки ЖРО низкого и среднего уровня активности, образующихся в объемах до 500 м <sup>3</sup> /год. б) модульная установка “ЭКО”; производительность до 2 м <sup>3</sup> /ч. Содержит: фильтрационный модуль; модуль обратного осмоса; модуль реагентно-ионообменного умягчения
Твердые радиоактивные отходы	Установка "Плутон": плазменно-пиролитическая переработка твердых радиоактивных отходов (ТРО)	Перерабатываются твердые радиоактивные отходы смешанного типа, близкие по морфологическому составу ТРО атомных электростанций. Кроме горючих материалов (бумага, древесина, текстиль, кожа, полимеры), перерабатываемые отходы включают до 30 - 40 % негорючих компонентов (строительный мусор, стекла, грунт, ил, металлический скрап, теплоизоляционный материал и т.д.). Суммарная влажность отходов может достигать 40 % при влажности содержимого отдельных упаковок до 90%.
Ртуть	Передвижные установки по демеркуризации (на базе автомобиля «Камаз»)	Производительность составляет 200 ламп/ч; продолжительность цикла – 4 – 6 ч; расход дизельного топлива – 65 – 85 кг/цикл. Действие основано на вакуумной дистилляции ртути с криоконденсацией ртутных паров. Криогенная ловушка поддерживает высокую скорость откачки ртутных паров и низкую остаточную концентрацию ртути в выхлопных газах.

Передвижные установки по уничтожению химических боеприпасов и метод «Горячей детонации» показали высокую эффективность в полевых условиях [10].

Способ «холодного сжигания» можно рекомендовать для обезвреживания токсичных промышленных отходов, отравляющих и взрывчатых веществ. Высокая экономическая эффективность этого метода отмечена при низких температурах окружающей среды.

#### Научная новизна и практическая значимость

Проведен анализ существующих и новейших методов обезвреживания токсичных веществ и отходов в аварийных ситуациях. Установлено, что при использовании в настоящее время способов сжигания,

пиролиза, термического разложения выделяются токсичные соединения (фосген, дибензофураны, диоксины, бензопирены и др.), загрязняющие окружающую среду и обладающие канцерогенным действием. Показана высокая эффективность и безопасность использования современных модульных установок с плазменными технологиями переработки, предназначенных для утилизации опасных радиоактивных, химических и биологических отходов.

#### Выводы

1. Промышленная эксплуатация мобильных плазменных комплексов имеет ряд преимуществ по сравнению со стационарными установками, поскольку отсутствует риск заражения окружающей среды во

время транспортировки опасных отходов в результате ДТП или нарушения целостности защитных контейнеров и др.

2. Способ «холодного сжигания» эффективен для обезвреживания токсичных промышленных отходов, просроченных пестицидов, военных отравляющих

веществ, взрывчатых веществ (гептил и др.), продуктов переработки твердых бытовых отходов.

3. Использование плазменной газификации твердых бытовых отходов исключает образование экологически опасных выбросов и отходов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврилюк В. А. Модульный комплекс для плазменной утилизации бытовых и токсичных отходов / В. А. Гаврилюк, А. Н. Одинцов // Биосфера XXI века: Матер. Всеукр. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Севастополь, 14-16.04 2014), 2014. – С. 7-9. <http://www.twirpx.com/file/1811150/>.
2. Гарин В. О. Перспективные схемы установок для плазменной утилизации деталей летательных аппаратов из композиционных материалов / В. О. Гарин, Ю. А. Богославец // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2010. - № 47. – С. 105- 114. <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2011/OIKIT51/p186-193.pdf>.
3. Жовтянский В. А. Установка для конверсии углеродсодержащих материалов / В. А. Жовтянский, С. В. Петров, В. Н. Коржик и др. // Энергоэффективность: тез. докл. межд. научно-практ. конф. – К.: Институт газа НАНУ, 2008. – С. 114-116. <http://www.ingas.org.ua/index.files/Page3706.htm>.
4. Колмаков К. М. Химическая утилизация гексоген-содержащих взрывчатых веществ / К. М. Колмаков В. К. Колмаков, Г. В. Козлов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2010. – Т. 2. – С. 80-85. <https://publications.hse.ru/books/124874396>.
5. Корсунов К. А. Мобильные плазменные установки для утилизации опасных отходов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. - 2013. - Вып. 39. - С. 227-232. <http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntdgtu>.
6. Кудрявцев А. А. Новое направление дивизиона «Техника для рециклинга» / А. А. Кудрявцев //Твердые бытовые отходы. – 2011. - № 10. – С. 46-47. [http://catalog.orenlib.ru/cgi/irbis64r\\_01/cgiirbis\\_64.exe](http://catalog.orenlib.ru/cgi/irbis64r_01/cgiirbis_64.exe).
7. Моссе А. Л. Мобильная плазменная установка для уничтожения токсичных отходов / А. Л. Моссе, Г. Э. Савченко, В. В. Савчин, А. В. Ложечник // Электронный вариант материалов 7-ой Междунар. конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов», 8-9 апреля 2010 г., Харьков, Украина. – Харьков, 2010. <http://waste.ua/cooperation/2010/theses/mosse.html>.
8. Официальная страница Федерального государственного унитарного предприятия ФГУП «РАДОН». - Передвижные установки для переработки жидких радиоактивных отходов. [http://www.radon.ru/line\\_activity/rao/processing\\_rao/](http://www.radon.ru/line_activity/rao/processing_rao/).
9. Официальная страница Российского атомного сообщества - Установка "Плутон": плазменно-пиролитическая переработка твердых радиоактивных отходов. <http://www.atomic-energy.ru/>.
10. Официальная страница Технологический центр - Энергетический диалог Россия-ЕС - Анализ существующих методов утилизации ртутьсодержащих электрических ламп. [http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo\\_files/analiz\\_sushchestvuyushchih\\_metodov\\_utilizacii\\_rtutsoderzhashchih\\_elektricheskikh\\_lamp.doc](http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo_files/analiz_sushchestvuyushchih_metodov_utilizacii_rtutsoderzhashchih_elektricheskikh_lamp.doc).
11. Официальная страница Управление научных исследований СПбГТИ (ТУ) - Уничтожение химического оружия: технологии мобильной утилизации. <http://science.spb.ru/allnews/item/1466-chemical-weapons>.
12. Планковский С. И., Плазменные технологии утилизации твердых бытовых отходов: современное состояние и перспективы // Сотрудничество для решения проблемы отходов: 4-я Междун. Интернет-конференция, 1 января - 1 февраля 2007, Харьков, Украина. <https://books.google.com.ua/books?isbn=9668337093>.
13. Ткаченко Е. Ю. «Холодное сжигание» – новый метод деструкции токсических отходов / Е. Ю. Ткаченко, О. А. Варзацкий, М. А. Лозовой // Scientific Journal «Science Rise». – 2015. – V. 5/2. - № 10. – С 106-110. <http://journals.uran.ua/sciencrise/article/view/42289/39243>
14. Tkachenko E. Y. Possible contribution of triboelectricity to snow-air interactions / E. Y. Tkachenko, S. G. Kozachkov // Environmental Chemistry. – 2012. – Vol. 9, Issue 2. – P. 109. <https://www.researchgate.net/publication/270809887>.

### REFERENCES

1. Gavriljuk V.A. and Odintsov A.N. *Modul'nyj kompleks dlja plazmennoj utilizatsii bytovyh i toksichnyh othodov* [Modular system for plasma recycling of household waste and toxic]. *Biosfera XXI veka: Materialu vseukrainskoy konferentsii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov (Sevastopol', 14-16 aprelja 2014)* [Biosphere XXI Century: Materials of All-Ukrainian conference of young scientists and students]. Sevastopol, 2014. – P.p. 7-9. <http://www.twirpx.com/file/1811150/>.
2. Garin V. O. and Bogoslavec Yu. A. *Perspektivnye skhemy ustanovok dlya plazmennoj utilizacii detalej letatel'nyh apparatov iz kompozicionnyh materialov* [Perspective charts of options for plasma utilization of details of aircrafts from composition materials]. *Otkrytie informacionnye i komp'yuternye integrirrovannye tekhnologi* [The open informative and computer integrated technology], 2010. - № 47. – p.p. 105-114. <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2011/OIKIT51/p186-193.pdf>.
3. Zhovtyanskij V.A. Petrov S.V. and Korzhik V.N. *Ustanovka dlya konversii uglerodsoderzhashchih materialov* [Setting for conversion of углеродсодержащих materials] *Tezisu dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konf. «Energoeffektivnost'»* [Energy Efficiency: abstracts of the international scientific-practical conference], Kiev, NANU, 2008.- pp. 114-116. <http://www.ingas.org.ua/index.files/Page3706.htm>.
4. Kolmakov K.M., Kolmakov V.K. and Kozlov G.V. *Himicheskaya utilizaciya geksogensoderzhashchih vzruchatuh veschestv* [Chemical recycling of explosives containing RDX]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [International symposium «Reliability and Quality»], 2010. – V. 2. – P.p. 80-85. <https://publications.hse.ru/books/124874396>.

5. Korsunov K.A. *Mobil'nye plazmennye ustanovki dlya utilizacii opasnyh othodov* [Mobile plasma options for utilization of hazwastes] *Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific works of the Donbas state technical university], Donetsk, 2013. – V. 39. – P.p. 227-232. <http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntdgtu>.
6. Kudryavcev A. A. *Novoe napravlenie diviziona «Tekhnika dlya reciklinga»* [New direction of division of "Technician for recycle]. *Tverdye bytovye othody* [Hard domestic wastes]. – 2011. – N 10. - P.p. 46-47. [http://catalog.orenlib.ru/cgi/irbis64r\\_01/cgiirbis\\_64.exe](http://catalog.orenlib.ru/cgi/irbis64r_01/cgiirbis_64.exe).
7. Mosseh A. L., Savchenko G. E., Savchin V. V. and Lozhechnik A. V. *Mobil'naya plazmennaya ustanovka dlya unichtozheniya toksichnyh othodov* [Mobile plasma setting for elimination of toxic wastes]. *Elektronnyj variant materialov 7-oj Mezhdunar. konferencii «Sotrudnichestvo dlya resheniya problemy othodov»* [Electronic variant of materials of 7th International conferences are "Collaboration for the decision of problem of wastes"], 8-9.04. 2010, Kharkiv, Ukraine. 2010. <http://waste.ua/cooperation/2010/theses/mosse.html>.
8. *Oficial'naya stranica Federal'nogo gosudarstvennogo unitarnogo predpriyatiya FGUP «RADON». - Peredvizhnye ustanovki dlya pererabotki zhidkikh radioaktivnyh othodov* [Official page of the Federal state unitary enterprise the FGUP "RADON" - Movable options for processing of liquid radioactive waste]. [http://www.radon.ru/line\\_activity/rao/processing\\_rao/](http://www.radon.ru/line_activity/rao/processing_rao/).
9. *Oficial'naya stranica Rossijskogo atomnogo soobshchestva - Ustanovka "Pluton": plazmenno-piroliticheskaya pererabotka tverdyh radioaktivnyh othodov* [An official page of the Russian atomic association - Setting "Pluto": Plasma and pyrolytic processing method of hard radioactive waste]. <http://www.atomic-energy.ru/>.
10. *Oficial'naya stranica - Tekhnologicheskij centr - Energeticheskij dialog Rossiya-EC - Analiz sushchestvuyushchih metodov utilizacii rtut'soderzhashchih ehlektricheskikh lamp* [Official page - the Technological center - the Power dialogue Russia-EC - Analysis of existent methods of utilization of mercury electric lamps. [http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo\\_files/analiz\\_sushchestvuyushchih\\_metodov\\_utilizacii\\_rtutsoderzhashchih\\_elektricheskikh\\_lamp.doc](http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo_files/analiz_sushchestvuyushchih_metodov_utilizacii_rtutsoderzhashchih_elektricheskikh_lamp.doc).
11. *Oficial'naya stranica Upravlenie nauchnyh issledovanij SPbGTI (TU) - Unichtozhenie himicheskogo oruzhiya: tekhnologii mobil'noj utilizacii* [Official page Management of scientific researches of SPbGTI (TU) - Elimination of chemical weapon : technologies of mobile utilization. <http://science.spb.ru/allnews/item/1466-chemical-weapons>.
12. Plankovskij S.I. *Plazmennye tekhnologii utilizacii tvorydyh bytovykh othodov: sovremennoe sostoyanie i perspektivy* [Plasma technologies of utilization of hard domestic wastes: the modern state and prospects]. *Sotrudnichestvo dlya resheniya problemy othodov: 4-ya Mezhdunarodnaya Internet-konferenciya* [Collaboration for the decision of problem of wastes: The 4th International Internet-conference]. January, 1 - February, 1, 2007, Kharkiv, Ukraine. – 2007. <https://books.google.com.ua/books?isbn=9668337093>.
13. Tkachenko E.Yu., Varzackij O.A. and Lozovoj M.A. *«Holodnoe szhiganie» – novyj metod destrukcii toksicheskix otxodov* ["Cold combustion" - a new method of destruction of toxic waste]. *Scientific Journal «Science Rise»*. – 2015. – V.5/2. - № 10. – P.p. 106-110. <http://journals.uran.ua/sciencerise/article/view/42289/39243>.
14. Tkachenko E.Y. and Kozachkov S.G. Possible contribution of triboelec-tricity to snow–air interactions // *Environmental Chemistry*. – 2012. – Vol. 9, Issue 2. –109 p. <https://www.researchgate.net/publication/270809887>.

*Статья рекомендована к публикации д-ром с.-х. наук, проф. В.Т. Сметаниным (Украина);*

*д-ром хим. наук, проф. В.М. Набивачем (Украина)*

Статья поступила в редколлегию 09.09.2016