

## Некоторые аспекты комплексного подхода к обоснованному выбору технологии ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов

© 2017. В. П. Капашин<sup>1</sup>, д. т. н., начальник,  
В. Г. Мандыч<sup>1</sup>, к. т. н., заместитель начальника управления,  
В. А. Воронин<sup>2</sup>, к. т. н., начальник,  
Т. В. Воробьев<sup>2</sup>, к. х. н., зам. начальника,  
И. В. Коваленко<sup>2</sup>, к. т. н., с. н. с.,  
А. В. Глазков<sup>1</sup>, начальник группы,  
<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению  
и уничтожению химического оружия,  
115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4-а,  
<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4-а,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье рассматриваются проблемные аспекты ликвидации отходов от деятельности производств химической продукции, содержащие токсичные вещества, которые размещались как на специально созданных полигонах, так и на несанкционированных (неорганизованных) территориях.

Сложный состав жидких промышленных отходов, накопление которых в огромных объёмах осуществлялось продолжительное время, отсутствие точных данных о веществах, содержащихся в жидких промышленных отходах, и токсикологических характеристиках этих отходов определяют комплекс сложных, взаимосвязанных и продолжительных по времени мероприятий, направленных на решение проблемы ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов.

В статье впервые предлагается осуществить выбор, разработку и создание наиболее надежных, безопасных и высокоэффективных технологий ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов на основе опыта конкурсной оценки технологий уничтожения отравляющих веществ.

Проблема ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов схожа по своей сущности с проблемой уничтожения запасов химического оружия, но имеет ряд отличительных особенностей: объёмы жидких отходов по объёму многократно превышают запасы отравляющих веществ; отравляющие вещества находились в оболочках или ёмкостях, а жидкие отходы, как правило, не изолированы и в открытом состоянии находятся на неорганизованных свалках или полигонах; при хранении химического оружия исключалось попадание отравляющих веществ в окружающую среду или их воздействие на объекты окружающей среды было максимально минимизировано (за исключением возможных аварийных ситуаций); открытый способ хранения жидких отходов является источником непрерывного негативного воздействия на объекты окружающей среды; физико-химические и токсикологические свойства отравляющих веществ до начала подготовки к уничтожению химического оружия были известны и использованы при предварительной обработке предполагаемых технологий детоксикации отравляющих веществ; физико-химические и токсикологические свойства жидких отходов, которые могут оказать влияние на выбор или разработку тех или иных технологий их обезвреживания или ликвидации, не известны и требуют отдельного изучения.

Для конкурсного отбора приоритетных технологий ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов в статье предлагаются основные критерии (безопасность, экологическая чистота, техническое совершенство, ресурсоёмкость, экономическая приемлемость, степень отработанности технологических процессов на реальных средах) и групповые требования.

В статье предлагается предусматривать выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в которых отобранные технологии получают реализацию в виде конкретных опытных образцов специального оборудования и технологических линий. Результаты выполненных исследований и конструкторских работ должны стать основой для разработки технико-экономического обоснования строительства и соответствующей проектной документации объектов по ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов.

**Ключевые слова:** конкурсный отбор, ликвидация отходов, обезвреживание отходов, промышленные отходы, токсичные отходы, уничтожение отходов.

## Some aspects of an integrated approach to the justified choice of technology for the elimination of hazardous and toxic industrial wastes

V. P. Kapashin<sup>1</sup>, V. G. Mandich<sup>1</sup>, V. A. Voronin<sup>2</sup>,  
T. V. Vorob'ev<sup>2</sup>, I. V. Kovalenko<sup>2</sup>, A. V. Glazkov<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Federal Directorate for Safe Storage and Destruction of Chemical Weapons,  
4a St. Sadovniki, Moscow, Russia, 115487,

<sup>2</sup>Research and Development center of the Federal Directorate  
for Safe Storage and Destruction of Chemical Weapons,  
4a St. Sadovniki, Moscow, Russia, 115487,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

The article deals with the problematic aspects of waste disposal from chemical enterprises that contain toxic substances which were placed both on specially created landfills and on unauthorized (unorganized) territories.

The complex composition of liquid industrial waste which has been accumulating in huge volumes for a long time, lack of accurate data on the substances contained in liquid industrial waste and on their toxicological characteristics predetermine a complex of interrelated and long-term measures aimed at solving the problem of eliminating hazardous and toxic industrial waste.

For the first time in the article it is proposed to select, develop and create the most reliable, safe and highly efficient technologies for elimination of hazardous and toxic industrial wastes based on the experience of complex assessment of technologies for toxic substances destruction.

The problem of elimination of hazardous and toxic industrial waste is similar in its essence to the problem of destruction of stockpiles of chemical weapons, but has a number of distinctive features: the volume of liquid waste many times exceeds the stocks of poisonous substances; poisonous substances are in shells or containers, and liquid wastes, as a rule, are not isolated and are in an open state on unorganized dumps or landfills; when storing chemical weapons, the entry of toxic agents into the environment was excluded or their impact on the objects of the environment was minimized (except for possible emergency situations); an open method of storing liquid waste is a source of continuous negative impact on environmental objects; physicochemical and toxicological properties of chemical agents were known and used in preliminary testing of the alleged detoxification technologies prior to the commencement of preparations for chemical weapons destruction; physicochemical and toxicological properties of liquid wastes that may influence the choice or development of certain technologies for their neutralization or elimination are not known and require separate study.

For competitive selection of priority technologies for elimination of hazardous and toxic industrial wastes, the main criteria (safety, environmental cleanliness, technical excellence, resource intensity, economic acceptability, degree of workflow of technological processes in real environments) and group requirements are proposed in the article.

The article offers to provide implementation of research and development work, in which selected technologies will be realized in the form of specific prototypes of special equipment and technological lines. The results of the research and design work should be the basis for development of a feasibility study for construction and relevant design documentation of the disposal of hazardous and toxic industrial wastes plants.

**Keywords:** competitive selection, waste disposal, waste neutralization, industrial waste, toxic waste, waste disposal.

Проблемы, связанные с обращением, утилизацией, обезвреживанием и захоронением отходов производства и потребления, характерны для всех индустриально развитых государств.

Федеральным законодательством Российской Федерации установлено, что основными направлениями государственной политики в области обращения с отходами являются: максимальное использование исходных сырья и материалов; предотвращение образования отходов; сокращение образования отходов и снижение класса опасности отходов в источниках их образования; обработка отходов; утилизация отходов; обезвреживание отходов [1].

Интенсивное социально-экономическое развитие страны в предшествующий период, процессы интенсивной индустриализации, плотность промышленного производства, накопление загрязняющих веществ преимущественно в почвах (землях) с учётом биогеохимических процессов и депонирующих свойств указанного природного объекта и ряд других факторов стали основными причинами

возникновения накопленного экологического ущерба.

В результате хозяйственной деятельности к настоящему времени в Российской Федерации накоплено около 32 млрд т отходов, из которых около 2,5 млрд т являются токсичными. Указанные объекты занимают значительные площади земель, опасные химические вещества попадают в грунтовые воды, что приводит к загрязнению поверхностных и подземных водных объектов, в том числе источников водоснабжения, и к нарушению геохимического баланса территорий.

Спецификой локализации накопленного экологического ущерба в Российской Федерации является территориальное распределение промышленного комплекса страны с учётом географических и природоресурсных аспектов, связанных с размещением горнодобывающей, тяжёлой и перерабатывающей промышленности, военно-промышленного комплекса.

В настоящее время производственные мощности и/или находящиеся в публичной

собственности загрязнённые земельные участки, на которых располагались промышленные площадки бывших химических производств, представляют собой загрязнённые токсичными веществами территории с полуразрушенными корпусами и шламонакопителями с токсичными отходами.

Особую озабоченность вызывают отходы от деятельности производств химической продукции и содержащие токсичные вещества, которые размещались как на специально созданных полигонах, так и на несанкционированных (неорганизованных) территориях. Условия их размещения не соответствуют принятым нормам промышленной и экологической безопасности, что оказывает негативное воздействие на обширные по площади прилегающие территории.

К числу таких объектов негативного экологического влияния относятся неорганизованная свалка промышленных отходов «Чёрная дыра» в Нижегородской области и полигон «Красный Бор» в Ленинградской области.

Объём жидких, пастообразных и твёрдых отходов в неорганизованной свалке промышленных отходов «Чёрная дыра» оценивается в 70000 т. Промышленные отходы поступали от бывшего производства ОАО «Оргстекло». Основными загрязнителями являются полимерные и хлорорганические остатки, а также соединения, содержащие мышьяк, свинец и кадмий.

Полигон «Красный Бор», с точки зрения негативного экологического влияния, является наиболее актуальным.

Данный полигон с 1969 по 2014 г. являлся основным местом конечного размещения промышленных токсичных отходов предприятий Санкт-Петербурга, Ленинградской области и ряда других регионов Российской Федерации. До 1992 г. на полигоне также складировались отходы из прибалтийских республик СССР [2, 3].

На сегодняшний день на полигоне накоплено около 700 тыс. тонн жидких промышленных токсичных отходов различного класса опасности с чрезвычайно разнородным составом, также на территории предприятия находятся порядка 3 млн т загрязнённых промышленными отходами грунтов. Наибольшую экологическую опасность представляют пять карт-котлованов, которые остаются открытыми до настоящего времени [2, 3].

В двух наиболее крупных картах находятся жидкие органические (нефтепродукты, ор-

ганические растворители, хлорорганические соединения) и твёрдые (загрязнённая тара, другие твёрдые) отходы, а в трёх остальных картах – жидкие гальванические и неорганические (кислоты, щелочи) отходы [2, 3].

Необходимо понимать, что решение проблемы ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов (ОТПО) – это комплекс сложных, взаимосвязанных и продолжительных по времени мероприятий.

В целом постановка проблемы ликвидации ОТПО схожа по своей сущности с проблемой уничтожения запасов химического оружия (ХО).

Отличительными особенностями проблемы ликвидации ОТПО являются:

- объёмы жидких ОТПО многократно превышают запасы ХО (по объёму содержащихся отравляющих веществ – ОВ);
- ОВ находились в оболочках или ёмкостях, а жидкие ОТПО, как правило, не изолированы и в открытом состоянии находятся на неорганизованных свалках или полигонах;
- при хранении ХО попадание ОВ в окружающую среду или их воздействие на объекты окружающей среды было максимально минимизировано (за исключением возможных аварийных ситуаций);
- открытый способ хранения жидких ОТПО – это источник непрерывного негативного воздействия на объекты окружающей среды;
- физико-химические и токсикологические свойства ОВ до начала подготовки к уничтожению ХО были известны и использованы при предварительной отработке предполагаемых технологий детоксикации ОВ;
- физико-химические и токсикологические свойства жидких ОТПО, которые могут оказать влияние на выбор или разработку тех или иных технологий их обезвреживания или ликвидации, не известны и требуют отдельного изучения.

В связи с этим важным аспектом является выбор, разработка и создание наиболее надёжных, безопасных и высокоэффективных технологий ликвидации ОТПО с учётом конкретных сведений о физико-химических и токсикологических свойствах.

При выборе технологий целесообразно принять во внимание опыт по конкурсной оценке технологий уничтожения ОВ, которая осуществлялась в преддверии решения проблемы уничтожения ХО [4, 5].

Основными критериями при отборе приоритетных технологий ликвидации ОТПО могут быть: безопасность, экологическая чистота, техническое совершенство, ресурсоёмкость, экономическая приемлемость, степень отработанности технологических процессов на реальных средах.

К технологиям ликвидации ОТПО на этапе отбора целесообразно сформулировать групповые требования.

### **Требования по безопасности к технологиям ликвидации ОТПО**

1. Требования по взрывобезопасности призваны исключить возможность использования взрывоопасных веществ в технологическом процессе, возможность мгновенного выделения большого количества энергии (достаточного для разрушения оборудования и сооружений) в ограниченных объёмах, возможность образования вторичных взрывоопасных веществ.

2. Требования по пожаробезопасности призваны исключить возможность использования горючих веществ (газов, жидкостей, пыли, твёрдых материалов) и окислителей (кислород, галогены) в технологическом процессе; возможность использования и образования источников возгорания; возможность возгорания вторичных пожароопасных веществ.

3. Требования по электробезопасности призваны исключить возможность образования в ходе технологического процесса источников электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

4. Требования по химической безопасности призваны исключить возможность пролива и утечек ОТПО в технологических процессах их ликвидации.

5. Полнота ликвидации ОТПО. Технология должна обеспечивать необходимую степень или полную ликвидацию ОТПО.

6. Безаварийность. Технология должна исключать возможность возникновения аварий в случае непреднамеренных (молния, землетрясение, наводнение, падение летательного аппарата и т.п.) и преднамеренных (несоблюдение правил эксплуатации оборудования, несоблюдение правил техники безопасности, ошибочные действия обслуживающего персонала и т.п.) внешних воздействий.

7. Риск. Технология должна исключать возможность человеческих жертв как среди обслуживающего персонала, так и среди населения, проживающего вблизи мест предполагаемой ликвидации ОТПО в случае воз-

никновения аварийных ситуаций (пожар, взрыв, пролив и утечка ОТПО, внешние воздействия).

Реализация требований по безопасности должна достигаться: сокращением числа стадий ликвидации ОТПО и использованием устойчивых технологических процессов; заменой токсичных, взрыво- и пожароопасных веществ менее вредными и опасными; выбором безопасных элементов конструкций технологических линий; применением средств механизации трудоёмких, опасных и вредных работ, автоматизации, дистанционного управления, блокировки, защиты; выполнением эргономических требований для системы «человек-машина» путём согласования конструкций оборудования с возможностями человека.

### **Экологические требования к технологиям ликвидации ОТПО**

1. Наличие отходов. Технология должна или исключать, или сводить к минимуму возможность образования новых (или сопутствующих) газообразных, жидких и твёрдых отходов.

2. Класс опасности отходов. Технология должна обеспечивать ликвидацию ОТПО до минимального класса опасности.

3. Нагрузка на окружающую среду. Технология должна обеспечивать минимальную нагрузку на окружающую среду по новым (или сопутствующим) газообразным, жидким и твёрдым отходам.

Реализация экологических требований к чистоте технологий достигается созданием в технологических схемах замкнутых, бессточных и водооборотных циклов; наличием систем очистки абгазов и возможных сточных вод; оснащением технологий современными техническими средствами контроля за технологическим процессом; разработкой и обоснованием (при необходимости) предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных примесей для рабочих и санитарно-защитных зон и предельно допустимых выбросов (ПДВ).

### **Технические требования к технологиям ликвидации ОТПО**

1. Эффективность. Технология должна наилучшим образом обеспечить ликвидацию ОТПО.

2. Надёжность. Технология (технологическая система) должна выполнять заданные функции с сохранением эксплуатационных показателей в течение требуемого промежутка времени и наработки. Надёжность техниче-

ской системы обуславливается совокупностью свойств: безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью.

3. Производительность. Технология должна обеспечивать ликвидацию ОТПО в минимально возможные сроки.

4. Технологичность. Технология должна учитывать наивыгоднейшие возможности изготовления, монтажа и удобства эксплуатации оборудования.

5. Эстетичность. Конструктивное оформление технологий должно в полной мере отвечать условиям технической эстетики.

Реализация технических требований достигается оптимальным структурным построением технической системы; конструктивным исполнением отдельных элементов, узлов и агрегатов; организацией технического обслуживания и ремонта; резервированием наиболее важных элементов технологической схемы с целью повышения её надёжности; интенсификацией режимов основных агрегатов.

### Экономические требования к технологиям ликвидации ОТПО

1. Потребности в сырье, энергетических средствах. Технология должна обеспечивать минимальные потребности в сырье и энергетических средствах.

2. Капиталовложения. Технология должна обеспечивать минимальные капитальные вложения, в том числе минимальную стоимость работ по проектированию, выполнению строительно-монтажных работ и их эксплуатации.

3. Стоимость. Технология должна обеспечивать оптимальное соотношение количества ликвидированного ОТПО на единицу денежных затрат.

Предлагаемый подход в конце 90-х годов был реализован при конкурсном отборе технологий уничтожения ХО. На рассмотрение были представлены около 30 технологий уничтожения ХО, разработанные отечественными научно-исследовательскими организациями, предприятиями промышленности и другими организациями, которые по степени отработанности были отнесены: к техническим предложениям; к научно-исследовательским разработкам; к опытно-конструкторским работам; к реализованным технологиям.

По результатам конкурсного отбора применительно к уничтожению ХО была отобрана двухстадийная технология, сущность которой заключается в следующем:

– на первой стадии производилось извлечение ОВ из ёмкости или корпуса

боеприпаса и в «мягких» контролируемых условиях химическая детоксикация ОВ с получением реакционной массы;

– на второй стадии реакционные массы битумировались с последующим захоронением битумно-солевых блоков или направлялись на термическое обезвреживание.

Необходимо отметить, что после конкурсного отбора технологий был выполнен ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в которых отобранные технологии получили реализацию в виде конкретных опытных образцов специального оборудования и технологических линий.

Результаты выполненных исследований и конструкторских работ легли в основу исходных данных для разработки технико-экономического обоснования строительства объектов по уничтожению ХО и соответствующей проектной документации.

Предлагаемый подход может послужить основой для успешного выполнения огромного комплекса мероприятий по ликвидации ОТПО.

### Литература

1. Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс] [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (Дата обращения 11.10.2017).
2. Собко А.А. Отчёт по результатам исследования качества сточных вод внутреннего и обводного каналов, обводненных отходов жидкой фракции с открытых карт-котлованов № 64, № 68 объекта «Канализационные очистные сооружения производственных и поверхностных сточных вод СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор», АО «РАОПРОЕКТ», СПб., 2016.
3. Ишпахтин В.В., Горький А.В., Ларионова Н.А. Отчёт об оказанных услугах по сбору и анализу результатов ранее выполненных исследований в районе расположения СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» с краткой пояснительной запиской по геоэкологической обстановке для разработки задания на дальнейшие изыскания и сценария реабилитации объекта. Российский геоэкологический центр. СПб., 2016.
4. Петров С.В. Экспертная оценка технологий уничтожения запасов люизита // Российский химический журнал. 1995. Т. 39. № 4. С. 4.
5. Капашин В.П., Щелученко В.В., Батырев В.В. Химическое разоружение. Научные основы технологии уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ и утилизации реакционных масс. М.: ФУ БХ и УХО. 2010. 79 с.



References

1. Federal Law of June 24, 1998 No. 89-FZ "On production and consumption wastes" [[Internet resource] [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (Accessed: 11.10.2017) (in Russian).

2. Sobko A.A. Report on the results of studying the quality of wastewater from internal and bypass canals, watered wastes of liquid fraction from open pits No. 64, 68 of the facility "Sewage treatment plants of industrial and surface wastewater of SPb GUPP" Polygon "Krasnyy Bor", AO "RAOPROEKT". Sankt-Peterburg, 2016 (in Russian).

3. Ishpakhtin V.V., Gorky A.V., Larionova N.A. Report on the services provided for collection and analysis of

the results of earlier studies in the area of the SPb GUPP Polygon Krasnyy Bor with a brief explanatory note on the geoeological situation for development of the task for further surveys and scenarios for rehabilitation of the facility. Rossiyskiy Geoekologicheskii Tsentr. Sankt-Peterburg, 2016 (in Russian).

4. Petrov S.V. Expert evaluation of technologies for lewisite stocks destruction // Russkiy Khimicheskii Zhurnal. 1995. V. 39. No. 4. P. 4 (in Russian).

5. Kapashin V.P., Sheluchenko V.V., Batyrev V.V. Chemical disarmament. Scientific foundations of technology for destruction of organophosphorus poisonous substances and utilization of reactionary masses. Moskva: FU BKh and UKhO. 2010. 79 p. (in Russian).

УДК 628.4.045:623.459

Способы ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов

© 2017. В. П. Капашин<sup>1</sup>, д. т. н., начальник,  
В. Г. Мандыч<sup>1</sup>, к. т. н., заместитель начальника управления,  
В. А. Воронин<sup>2</sup>, к. т. н., начальник,  
А. С. Лякин<sup>2</sup>, к. т. н., начальник управления,  
И. Н. Исаев<sup>2</sup>, к. х. н., начальник управления,  
И. В. Коваленко<sup>2</sup>, к. т. н., с. н. с.,

<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, 115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4 а,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, 115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4 а, e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье приводится обзор основных способов и методов ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов. Опасные и токсичные промышленные отходы относятся к безвозвратным отходам, так как повторное их использование недопустимо и/или невозможно и нецелесообразно.

Указанные виды отходов должны подлежать ликвидации, а основными направлениями их ликвидации могут быть обезвреживание (исключение или снижение уровня опасности отходов до допустимого значения), сжигание (уменьшение объема отходов и, если это возможно, извлечения из них ценных материалов, золы или получения энергии), уничтожение (полное прекращение существования отходов) и захоронение (изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, путем размещения в назначенном месте для специального хранения в течение неограниченного срока с исключением (предотвращением) их опасного воздействия на окружающую природную среду и незащищенных людей, на допустимом расстоянии от места захоронения).

Рассматриваются возможности применения методов сжигания, жидкофазного окисления, гетерогенного катализа, пиролиза, огневой переработки, переработки и обезвреживания отходов с применением плазмы.

Огневое (термическое или с применением катализаторов) обезвреживание промышленных отходов приводит к уничтожению органических веществ, которые могли бы явиться ценным сырьем целевых продуктов. В связи с этим одним из перспективных направлений в области утилизации опасных отходов считается переработка и обезвреживание отходов с применением плазмы. Плазменный метод может использоваться для плазмохимической ликвидации особо опасных высокотоксичных отходов или для переработки отходов с целью получения товарной продукции.

Многообразие способов и реализуемых методов для переработки или уничтожения отходов свидетельствует о сложности проблемы ликвидации отходов, а анализ способов и методов переработки или уничтожения отходов показал, что универсального метода не имеется.