

Оптимизация технологии выполнения ликвидационных мероприятий на объектах по уничтожению химического оружия

В.П. Капашин, В.Г. Мандыч, А.Ю. Кармишин, И.Н. Исаев,

А.С. Лякин, И.В. Коваленко, В.Д. Назаров

Федеральное бюджетное учреждение «Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия при Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации», 115487, Российская Федерация, г. Москва, ул. Садовники, д. 4А

Поступила 10.10.2020 г. Исправленный вариант 08.12.2020 г.
Принята к публикации 21.12.2020 г.

В соответствии с перечнем поручений Президента Российской Федерации по итогам реализации Российской Федерацией конвенционных обязательств в области химического разоружения после завершения работ по уничтожению химического оружия предполагается поэтапное вовлечение созданных имущественных комплексов объектов по уничтожению химического оружия в хозяйственный оборот в интересах отраслей, связанных с обеспечением обороноспособности и безопасности государства, а также в интересах других отраслей промышленности. *Цель работы* – оптимизация технологии выполнения ликвидационных мероприятий на объектах по уничтожению химического оружия. Для получения объективной информации об эффективности и достаточности термической обработки потенциально опасных по загрязнению отравляющими веществами лома металлических изделий и отработанных сорбентов в соответствии с показателями их гигиенической безопасности специалистами ФБУ «ФУБХУХО» проведено экспериментальное обоснование возможности применения только штатных производственных мощностей по термическому обезвреживанию опорожненных корпусов химических боеприпасов и других отходов, расположенных на объектах по уничтожению химического оружия «Марадыковский», «Леонидовка» и «Почеп». По результатам исследований установлено, что применение штатных комплексов термической обработки указанных объектов позволяет обеспечить санитарно-эпидемиологическую безопасность обезвреживаемых материалов при использовании проектных режимов их эксплуатации в диапазоне температур 500–700 °С. Такой подход позволил сократить время, необходимое для выполнения в полном объеме ликвидационных мероприятий на объектах по уничтожению химического оружия, за счет отказа от создания новых и/или проведения реконструкции существующих комплексов термической обработки, необходимых для обезвреживания потенциально опасных фрагментов металлоконструкций и других твердых отходов, а также повысить при этом эффективность использования финансовых, материальных и трудовых ресурсов, направляемых на обеспечение выполнения ликвидационных работ в целом. Своевременное решение проблемы ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия позволит создать безопасные условия для развития на базе имущественных комплексов объектов по уничтожению химического оружия традиционных и новых отраслей промышленности, повысить их инвестиционную привлекательность.

Ключевые слова: инженерная инфраструктура; металлоконструкции; объекты по уничтожению химического оружия; отравляющие вещества; санитарно-эпидемиологическая безопасность; температурный режим; термическое обезвреживание; технологическое оборудование; химико-аналитический контроль.

Библиографическое описание: Капашин В.П., Мандыч В.Г., Кармишин А.Ю., Исаев И.Н., Лякин А.С., Коваленко И.В., Назаров В.Д. Оптимизация технологии выполнения ликвидационных мероприятий на объектах по уничтожению химического оружия // Вестник войск РХБ защиты. 2020. Т. 4. № 4. С. 404–420. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2020-4-4-404-420>

Дальнейшее использование имущественных комплексов объектов по уничтожению химического оружия в народно-хозяйственных целях возможно только в случае их соответствия требованиям по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения, что является одним из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую природную среду [1, 2]. Необходимость выполнения мероприятий по ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия обусловлена возможным присутствием в отдельных зданиях, сооружениях, оборудовании и строительных материалах элементов производственной и инженерной инфраструктуры на таких объектах остаточных количеств боевых отравляющих веществ (ОВ), что делает их потенциально опасными по загрязнению соответствующими видами ОВ и, как следствие, непригодными для осуществления дальнейшей производственной деятельности без применения специальных средств индивидуальной защиты кожных покровов и органов дыхания [3–5].

Полномасштабное использование имеющегося в составе объектов по уничтожению химического оружия штатного оборудования АТО и УТО для обезвреживания, прежде всего, потенциально опасных по загрязнению ОВ фрагментов металлических конструкций и технологического оборудования сдерживалось из-за отсутствия объективной информации об эффективности и достаточности термической обработки лома металлических изделий по показателю безопасности, установленному гигиеническим нормативом¹, перед их выносом из помещений I и II групп опасности.

Цель работы – оптимизация технологии выполнения ликвидационных мероприятий на объектах по уничтожению химического оружия.

Для получения объективной информации об эффективности и достаточности термической обработки потенциально опасных по за-

грязнению отравляющими веществами лома металлических изделий и отработанных сорбентов в соответствии с показателями их гигиенической безопасности специалистами ФБУ «ФУБХУХО» проведено экспериментальное обоснование возможности применения только штатных производственных мощностей по термическому обезвреживанию опорожненных корпусов химических боеприпасов и других отходов, расположенных на объектах по уничтожению химического оружия «Марадыковский», «Леонидовка» и «Почеп».

Требованиям санитарных правил к типовому технологическому процессу ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия

Согласно требованиям санитарных правил СП 2.2.1.2513-09², типовой технологический процесс ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия предусматривает выполнение следующих основных обязательных мероприятий:

- специальная обработка дегазирующими растворами поверхностей технологического оборудования и строительных конструкций;
- демонтаж и разделка на мерные элементы (фрагментирование) технологического оборудования и строительных конструкций зданий и сооружений, в которых имеются помещения I и II групп опасности;
- термическое обезвреживание демонтированных материалов;
- обезвреживание различных видов опасных отходов (в том числе отработанных сорбентов), образующихся в ходе ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия, и их размещение на объектах размещения отходов;
- санация территории объектов по уничтожению химического оружия (при необходимости).

В развитие базовых положений и норм, установленных санитарными правилами

¹ Гигиенический норматив ГН 2.2.5.3296-15 «Предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения отравляющими веществами обезвреженных корпусов боеприпасов и выведенного из эксплуатации технологического оборудования и материалов, предназначенных для металлургических предприятий» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 августа 2015 г. № 42).

² Санитарные правила СП 2.2.1.2513-09 «Гигиенические требования к размещению, проектированию, строительству, эксплуатации и перепрофилированию объектов по уничтожению химического оружия, реконструкции зданий и сооружений и выводу из эксплуатации объектов по хранению химического оружия» (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 8 июля 2009 г., регистрационный номер 14275).

СП 2.2.1.2513-09 (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 мая 2009 г. № 34), для каждого объекта по уничтожению химического оружия разработана и утверждена проектная документация на ликвидацию последствий их деятельности³ с учетом специфики эксплуатации этих объектов и конкретных производственных особенностей, положения которой применяются на этапе выполнения практических работ, в том числе и для обеспечения различных аспектов безопасности персонала и населения, а также для защиты объектов окружающей среды [6–8].

На основе разработанной проектной документации на объектах по уничтожению химического оружия предусматривается создание новых (реконструкция существующих) производственных участков, необходимых для обеспечения безопасного выполнения ликвидационных мероприятий. Указанные производственные участки включают в себя, помимо прочего, установки термического обезвреживания (УТО) общего назначения, предназначенные для термической обработки фрагментов металлических отходов, отходов строительных конструкций и отработанного сорбента, которые должны монтироваться во вновь запроектированных и/или реконструированных зданиях и сооружениях.

Планировалось⁴, что в ходе выполнения ликвидационных мероприятий вновь создаваемые (реконструируемые) производственные мощности, предназначенные для термического обезвреживания фрагментов металлоконструкций, технологического оборудования и отходов строительных конструкций, должны будут обеспечивать проектируемые температурные режимы обработки металлических отходов в диапазоне температур 900–950 °С, строительного мусора – 500–550 °С⁵, а для отработанного сорбента (оксид алюминия и активированный уголь) в диапазоне температур 900–1000 °С [9]. Такой подход был продиктован

попыткой установить некий «запас прочности» для температурных режимов обезвреживания указанных материалов, который обеспечивал бы гарантированное удаление остатков ОВ в обезвреживаемых средах.

Вместе с тем, на объектах по уничтожению химического оружия ранее были созданы соответствующие производственные мощности, включающие в себя агрегаты термического обезвреживания (АТО) опорожненных корпусов химических боеприпасов и УТО твердых отходов, которые вполне могут быть задействованы в ликвидационных мероприятиях.

Очевидно, что максимальное использование в ликвидационных мероприятиях существующих производственных мощностей объектов по уничтожению химического оружия для термического обезвреживания фрагментов металлоконструкций, технологического оборудования и других твердых (несгораемых) отходов будет способствовать сокращению временных и финансовых затрат на их проведение и повышению эффективности производства таких работ в целом, выраженной в соотношении достигнутых результатов к затратам и срокам реализации проектов по приведению в безопасное состояние имущественных комплексов данных объектов.

Потенциальная опасность металлических изделий и отходов после термического воздействия

Все виды ОВ, подобно другим органическим соединениям, при нагревании в той или иной степени разлагаются. Температуры полного сгорания (минерализации) ОВ (разложение на 99 % в течение 2 с) составляют сотни градусов: иприт – 603 °С, американский VX – 541 °С, зарин – 491 °С, зоман – 498 °С, люизит – 420 °С [10–15].

Так, в работе В.А. Kuryk [16] приводятся результаты опытов по пиролизу VX в закрытом сосуде, который подвергался тепловой обработке в печи при температурах 300–660 °С в

³ Технико-экономическое обоснование (проект) проведения работ по ликвидации последствий деятельности объекта по уничтожению химического оружия и бывшего объекта по хранению химического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики (Л-02-6203).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области (Л-02-7054).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Мирный Кировской области (Л-02-6317).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области (Л-02-7413).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области (07-560-Л).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Кизнер Удмуртской Республики (06-940-ЛПД-ИОС).

⁴ Там же.

⁵ Пункт 5.19 санитарных правил СП 2.2.1.2513-09 (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 мая 2009 г. № 34).

течение 60 минут. При температурах в печи 514 и 527 °С и времени сжигания 7 и 5 минут степень разложения агента составляла 99,9988 и 99,9942 % соответственно.

При температурах 460, 554 и 618 °С полное разложение агента происходило за время, не превышающее 15 минут.

В процессе выполнения демилитаризационных работ на американских предприятиях по уничтожению химического оружия металлические конструкции, ранее контактировавшие с VX, подвергались термической обработке при температуре 540 °С в течение 15 минут. Установлено, что после проведения термической обработки в указанном режиме металлические изделия считались пригодными для использования в качестве лома металла для его последующей отправки на металлоперерабатывающие предприятия [17].

Экспериментальными исследованиями ФГУП «ГосНИИОХТ» показано, что гарантированное удаление (до степени 99,999 %) ОВ всех типов с зараженных металлических поверхностей происходит при нагревании до температуры (500+50) °С и выдержке при этой температуре в течение 15 минут.

Однако в реальных условиях инсинераторов, работающих со 100 % эффективностью, не существует, поэтому на поверхностях обезвреживаемых материалов и в воздушных выбросах может присутствовать определенная фракция органических, в том числе и высокотоксичных, соединений, включающая как компоненты сжигаемой субстанции, так и соединения, образующиеся при высокотемпературных реакциях разложения исходных компонентов [18–21].

Поэтому в процессе термического обезвреживания потенциально опасных по загрязнению ОВ фрагментов металлоконструкций, технологического оборудования и отходов строительных конструкций (отработанного сорбента) важной задачей являлось

осуществление строгого контроля режимов функционирования штатного оборудования АТО, а также контроля воздушных выбросов, летучей золы и твердых частиц согласно установленным гигиеническим нормативам⁶.

В условиях возможных ограничений, устанавливаемых для бюджетных ассигнований, выделяемых на осуществление мероприятий по ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия, упомянутые результаты экспериментальных исследований послужили теоретической основой для изменения подхода к термическому обезвреживанию потенциально опасных по загрязнению ОВ фрагментов металлоконструкций, технологического оборудования и отходов строительных конструкций (в том числе отработанного сорбента), ранее установленного пунктами 5.18, 5.19 санитарных правил СП 2.2.1.2513-09⁷ (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 мая 2009 г. № 34) и положениями соответствующей утвержденной проектной документации на ликвидацию последствий деятельности данных объектов⁸.

Условия проведения и результаты опытных работ по термической обработке потенциально опасных материалов с использованием штатного оборудования агрегатов термического обезвреживания на объектах по уничтожению химического оружия «Мардыковский» и «Леонидовка»

Опытные работы проводились в три этапа: фрагментирование до необходимых размеров технологического оборудования и трубопроводов, которые имели непосредственный контакт с ОВ и продуктами их детоксикации в процессе уничтожения химического оружия⁹ (после их «первичной» дегазации по поверхности); повторная дегазация путем погружения демонтированных фрагментов металло-

⁶ Методические рекомендации по осуществлению федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора при выводе из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия (утверждены заместителем руководителя ФМБА России – Главным государственным санитарным врачом по обслуживаемым организациям и обслуживаемым территориям В.В. Романовым 21 сентября 2012 г., регистрационный номер № 45-12).

⁷ Санитарные правила СП 2.2.1.2513-09 «Гигиенические требования к размещению, проектированию, строительству, эксплуатации и перепрофилированию объектов по уничтожению химического оружия, реконструкции зданий и сооружений и выводу из эксплуатации объектов по хранению химического оружия» (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 8 июля 2009 г., регистрационный номер 14275).

Пункт 5.19 санитарных правил СП 2.2.1.2513-09 (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 мая 2009 г. № 34).

⁸ Техничко-экономическое обоснование (проект) проведения работ по ликвидации последствий деятельности объекта по уничтожению химического оружия и бывшего объекта по хранению химического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики (Л-02-6203).

⁹ Пункт 4.5.3 санитарных правил СП 2.2.1.2513-09 (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 мая 2009 г. № 34).



Рисунок 1 – Агрегат термического обезвреживания, вид снаружи здания 1001П (март 2017 г., фотография авторов)

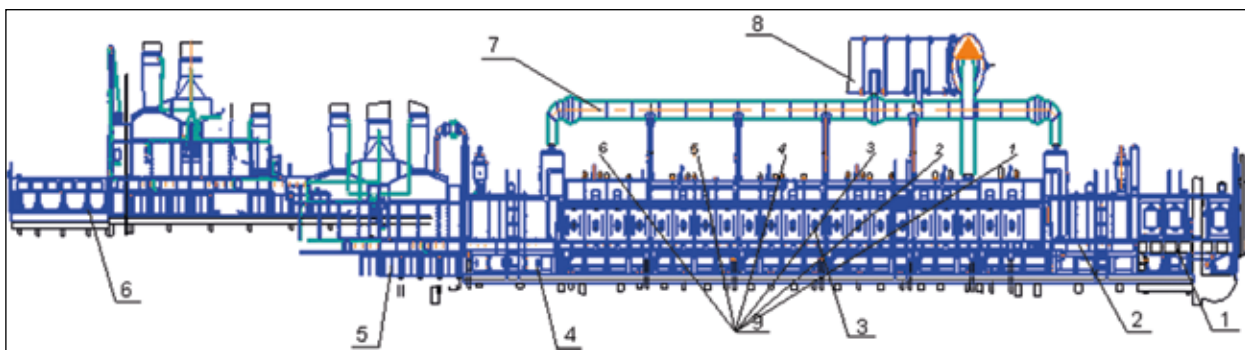


Рисунок 2 – Схема агрегата термического обезвреживания:

1 – конвейер загрузки; 2 – камера шлюзовая; 3 – камера термообработки; 4 – камера выгрузки; 5 – камера охлаждения; 6 – конвейер выгрузки; 7 – газоход вытяжной; 8 – газоход с камерой дожигания; 9 – секции камеры термообработки¹ [6]

¹ Программы проведения опытных работ по термической обработке технологического оборудования и металлоконструкций с использованием штатного оборудования агрегатов термической обработки зданий 1001П объектов по уничтожению химического оружия «Марадыковский» (пос. Мирный Кировской области) и «Леонидовка» (пос. Леонидовка Пензенской области), утверждены директором Департамента реализации конвенционных обязательств Минпромторга России 19 октября 2016 г.

конструкций на два часа в ванны, заполненные дегазирующим водным перекисно-щелочным раствором; термическое обезвреживание в электротермических комплексах АТО.

Технологическое оборудование и металлоконструкции фрагментировали на мерные элементы с размерами 400–410 мм по высоте, 400 мм по ширине и 1000 мм по длине.

Процесс термического обезвреживания металлических фрагментов осуществлялся

в штатных электротермических комплексах АТО (разработка ООО «Платекс»), в состав которых входит камера термической обработки (КТО), где и проводилась собственно термическая обработка материалов методом прокаливания – нагрев фрагментов металлических изделий и их выдержка при высокой температуре (рисунки 1, 2). Для этого КТО, состоящая из шести секций, снабжена блоками тепловых электронагревательных элементов, за счет

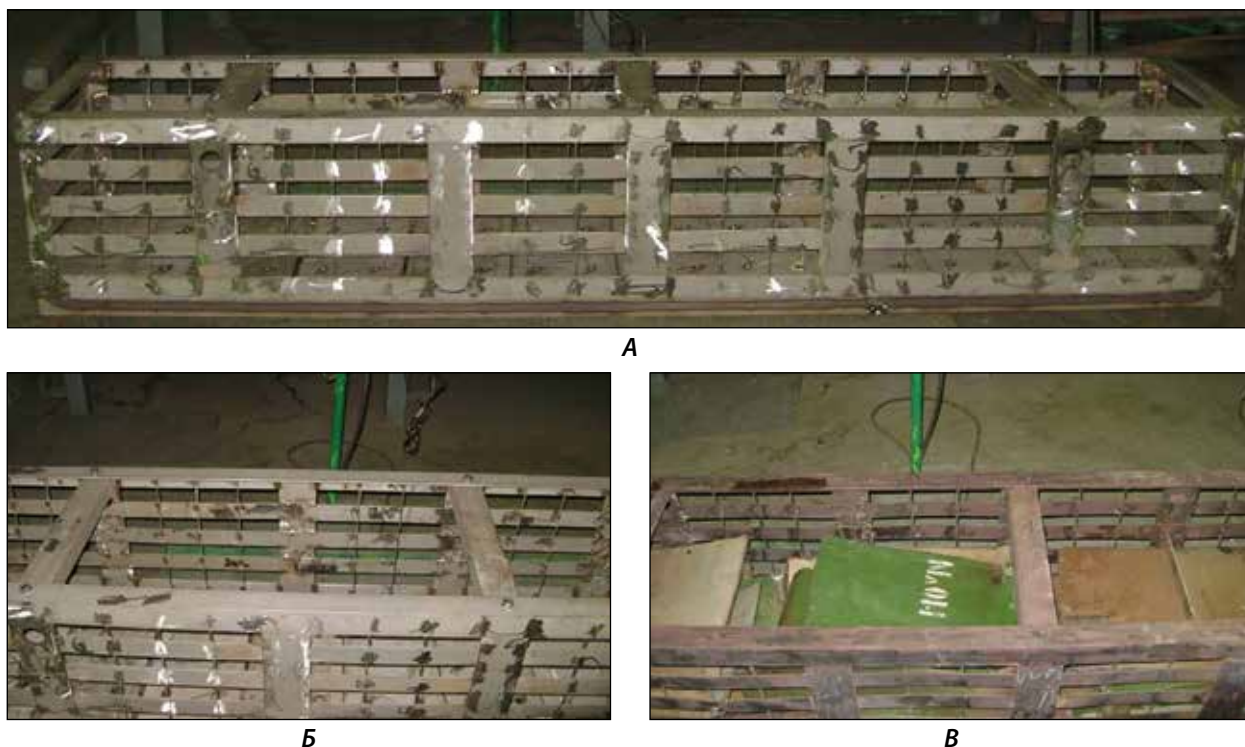


Рисунок 3 – Поддоны, использовавшиеся в процессе прокаливания фрагментов металлоконструкций: А – общий вид поддона; Б – взвешивание пустого поддона; В – взвешивание поддона с фрагментами металлоконструкций (март 2017 г., фотографии авторов)

функционирования которых обеспечивался температурный режим прокаливания материалов в оптимальном диапазоне температур (250–650 °С)¹⁰.

Для загрузки и транспортировки фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций по транспортной системе АТО использовались поддоны, ранее применявшиеся в процессе уничтожения химического оружия для прокалки опорожненных корпусов авиационных химических боеприпасов. Перед проведением термической обработки поддоны с фрагментами технологического оборудования и металлоконструкций взвешивались в целях определения оптимальной нормы их загрузки. Средняя загрузка поддонов с фрагментами технологического оборудования и металлоконструкций составляла 250 кг при максимально разрешенной загрузке в 500 кг. В случае увеличения нормы загрузки поддонов до рекомендованных значений потребовалось бы переоборудование поддонов, что являлось нецелесообразным, так как вносимые изменения привели бы к необходимости переоборудования 90 % существующей конструкции самих АТО (рисунок 3).

В целях ведения учета образцов технологического оборудования и трубопроводов, поступающих на термическое обезвреживание в печное отделение, в зависимости от источника (корпуса) поступления и типа ОВ, уничтожаемого последним на демонтируемом оборудовании, организовывалось раздельное поступление образцов в приемные помещения печных отделений. Режимы работы КТО в составе АТО объекта по уничтожению химического оружия «Марадьковский», применявшиеся в процессе прокаливания фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций, имевших контакт с заринном, зоманом и веществом типа VX, а также с продуктами их детоксикации, приведены в таблице 1.

Режимы работы КТО в составе АТО объекта по уничтожению химического оружия «Леонидовка», применявшиеся в процессе прокаливания фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций, имевших контакт с заринном, зоманом и веществом типа VX, а также с продуктами их детоксикации, приведены в таблице 2.

Как видно, в первой и второй секциях КТО в диапазоне температур 250–350 °С проис-

¹⁰ Рекомендации по режимам термической обработки технологического оборудования и металлоконструкций, демонтируемых при выполнении работ по ликвидации последствий деятельности объекта по уничтожению химического оружия «Леонидовка» (пос. Леонидовка Пензенской области), разработаны ОАО «НПП «Химмаш-Старт». Пенза. 2016.

Таблица 1 – Режимы работы КТО в составе комплекса АТО объекта «Марадыковский»

Секция КТО	Температура, °С	Время прокаливания, мин
1-ая секция	250–300	60
2-ая секция	270–350	60
3-ая секция	500–550	60
4-ая секция	500–550	60
5-ая секция	500–550	60
6-ая секция	500–550	60

Таблица 2 – Режимы работы КТО в составе комплекса АТО объекта «Леонидовка»

Секция КТО	Температура, °С	Время прокаливания, мин
1-ая секция	250–300	120
2-ая секция	270–350	120
3-ая секция	500–650	120
4-ая секция	500–650	120
5-ая секция	500–650	120
6-ая секция	500–650	120

ходил разогрев фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций и выпаривание остатков влаги с их поверхностей. В секциях КТО № 3–6 происходила полная минерализация органических веществ в диапазоне температур 500–650 °С. Время нахождения обезвреживаемых фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций в каждой секции КТО в указанных диапазонах температур составляло 60 и 120 минут.

Подтверждение достаточности термической обработки поверхностей технологического оборудования и металлоконструкций до предельно допустимых уровней (ПДУ) их загрязненности уничтожаемыми видами ОВ в соответствии с показателем безопасности, установленным гигиеническим нормативом ГН 2.2.5.3296-15¹¹, проводилось путем «сплошного» лабораторного химико-аналитического контроля каждой партии обезвреживаемых материалов. Отбор и химический анализ проб смывов с поверхностей термически обезвреженных оборудования и устройств осуществлялся с использованием поверенных средств измерений и атте-

стованных методик выполнения измерений (МВИ):

- МВИ № 031-04-157-05 «Методика выполнения измерений уровня загрязнения веществом типа VX поверхности технологического оборудования ферментативным методом»;

- МВИ № 031-04-176-05 «Методика выполнения измерений уровня загрязнения заринном поверхности технологического оборудования ферментативным методом»;

- МВИ № 031-04-217-06 «Методика выполнения измерений уровня загрязнения зоманом поверхности технологического оборудования ферментативным методом».

Сводные результаты проводившегося в период 2017–2019 гг. количественного химического анализа (КХА) проб смывов с поверхностей контрольных образцов термически обезвреженных фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций на объектах по уничтожению химического оружия «Марадыковский» и «Леонидовка» приведены в таблицах 3–8. Данные в таблицах 3–8 представлены по результатам выполненных опытных работ¹².

¹¹ Гигиенический норматив ГН 2.2.5.3296-15 «Предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения отравляющими веществами обезвреженных корпусов боеприпасов и выведенного из эксплуатации технологического оборудования и материалов, предназначенных для металлоперерабатывающих предприятий» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 августа 2015 г. № 42).

¹² Программы проведения опытных работ по термической обработке технологического оборудования и металлоконструкций с использованием штатного оборудования агрегатов термической обработки зданий 1001П объектов по уничтожению химического оружия «Марадыковский» (пос. Мирный Кировской области) и «Леонидовка» (пос. Леонидовка Пензенской области), утверждены директором Департамента реализации конвенционных обязательств Минпромторга России 19 октября 2016 г.

Таблица 3 – Сводные результаты проведения КХА в 2017 году (объект «Марадыковский»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов			Результат КХА, мг/дм ²	Показатель ПДУ, мг/дм ²
		корпус 1001Р	корпус 1047	корпус 1048/2		
Смывы с поверхностей металлических изделий	Зарин	63	-	-	менее 0,4×10 ⁻⁵	1,0×10 ⁻⁴
	Зоман	63	-	-	менее 0,5×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻⁵
	Вещество типа VX	63	363	69	менее 1,0×10 ⁻⁶	2,0×10 ⁻⁶

Таблица 4 – Сводные результаты проведения КХА в 2018 году (объект «Марадыковский»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов			Результат КХА, мг/дм ²	Показатель ПДУ, мг/дм ²
		корпус 1001Р	корпус 1047	корпус 1048/2		
Смывы с поверхностей металлических изделий	Зарин	1556	-	-	менее 0,4×10 ⁻⁵	1,0×10 ⁻⁴
	Зоман	1556	650	-	менее 0,5×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻⁵
	Вещество типа VX	1556	650	183	менее 1,0×10 ⁻⁶	2,0×10 ⁻⁶

Таблица 5 – Сводные результаты проведения КХА в 2019 году (объект «Марадыковский»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов				Результат КХА, мг/дм ²	Показатель ПДУ, мг/дм ²
		корпус 1001Р	корпус 1002	корпус 1048	корпус 1047		
Смывы с поверхностей металлических изделий	Зарин	2603	-	-	136	менее 0,4×10 ⁻⁵	1,0×10 ⁻⁴
	Зоман	2603	4060	-	136	менее 0,5×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻⁵
	Вещество типа VX	2603	4061	214	136	менее 1,0×10 ⁻⁶	2,0×10 ⁻⁶

Таблица 6 – Сводные результаты проведения КХА в 2017 году (объект «Леонидовка»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов				Результат КХА, мг/дм ²	Показатель ПДУ, мг/дм ²
		корпус 1001Р	корпус 1002	корпус 1047	корпус 1048/4		
Смывы с поверхностей металлических изделий	Зарин	1508	-	-	-	менее 0,4×10 ⁻⁵	1,0×10 ⁻⁴
	Зоман	1508	266	-	-	менее 0,5×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻⁵
	Вещество типа VX	1508	266	1710	812	менее 1,0×10 ⁻⁶	2,0×10 ⁻⁶

Таблица 7 – Сводные результаты проведения КХА в 2018 году (объект «Леонидовка»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов				Результат КХА, мг/дм ²	Показатель ПДУ, мг/дм ²
		корпус 1001Р	корпус 1002	корпус 1047	корпус 1048/4		
Смывы с поверхностей металлических изделий	Зарин	2992	-	-	-	менее 0,4×10 ⁻⁵	1,0×10 ⁻⁴
	Зоман	2992	1712	264	-	менее 0,5×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻⁵
	Вещество типа VX	2992	1712	264	1000	менее 1,0×10 ⁻⁶	2,0×10 ⁻⁶

Таблица 8 – Сводные результаты проведения КХА в 2019 году (объект «Леонидовка»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов				Результат КХА, мг/дм ²	Показатель ПДУ, мг/дм ²
		корпус 1001Р	корпус 1002	корпус 1047	корпус 1048/4		
Смывы с поверхностей металлических изделий	Зарин	58	-	-	-	менее 0,4×10 ⁻⁵	1,0×10 ⁻⁴
	Зоман	58	9438	-	-	менее 0,5×10 ⁻⁶	1,0×10 ⁻⁵
	Вещество типа VX	58	9438	-	-	менее 1,0×10 ⁻⁶	2,0×10 ⁻⁶

Данные результатов химико-аналитического контроля, приведенные в таблицах 3–8, подтверждают результативность термической обработки фрагментов металлоконструкций и технологического оборудования с использованием электротермического комплекса АТО в диапазоне температур 500–650 °С в соответствии с показателем безопасности, установленным гигиеническим нормативом ГН 2.2.5.3296-15¹³, при штатном исполнении источника тепловой энергии, особенностей конструкции футеровки КТО, транспортной системы самого агрегата, а также специфики формирования конвекционных потоков и протекания теплообменных процессов в данном техническом устройстве.

Эффективность работы штатных систем очистки отходящих дымовых газов АТО контролировалась в непрерывном автоматическом режиме в дымовой трубе и периодически – службами объектов по уничтожению химического оружия «Марадыковский» и «Леонидовка» с передачей данных на центральные

пункты управления (ЦПУ) технологическим процессом ликвидации последствий деятельности данных объектов. Присутствие в выбросах ОВ и специфических загрязнителей не обнаружено, концентрация общепромышленных загрязнителей в выбросах не превышала норм, установленных действующими на объектах по уничтожению химического оружия «Марадыковский» и «Леонидовка» проектами нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, состояние компонентов окружающей среды в районах расположения объектов по уничтожению химического оружия «Марадыковский» и «Леонидовка» и в зонах их возможного влияния находилось в пределах нормы.

Предложенному подходу к термическому обезвреживанию фрагментов металлоконструкций и технологического оборудования была дана положительная оценка специалистами ФГУП «НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России по результатам проведения санитарно-гигиенической

¹³ Гигиенический норматив ГН 2.2.5.3296-15 «Предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения отравляющими веществами обезвреженных корпусов боеприпасов и выведенного из эксплуатации технологического оборудования и материалов, предназначенных для металлоперерабатывающих предприятий» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 августа 2015 г. № 42).



Рисунок 4 – Подовая тележка, заполненная отработанным оксидом алюминия (ноябрь 2017 г., фотография авторов)



Рисунок 5 – Подовая тележка, заполненная отработанным активированным углем (ноябрь 2017 г., фотография автора)

экспертизы результатов проведения опытных работ¹⁴.

Использование такого технологического подхода позволило отказаться от необходимости проведения глубокой модернизации технологического оборудования существующих АТО и изменения принятых в целом объемно-планировочных решений по зданиям 1001П объектов по уничтожению химического оружия «Марадыковский» и «Леонидовка» для достижения более высоких температур и увеличения производительности обжига потенциально опасных материалов.

Условия проведения и результаты опытных работ по термической обработке потенциально опасных материалов с использованием штатного оборудования агрегата термического обезвреживания на объекте по уничтожению химического оружия «Почеп»

Опытные работы проводились с использованием штатного оборудования АТО отделения сжигания твердых отходов здания 11 объекта по уничтожению химического оружия «Почеп» в 2017 г. с использованием партий отработанных оксида алюминия и активированного угля, которые извлекались из контактных

¹⁴ Заключение по результатам санитарно-гигиенической экспертизы «Технического отчета о проведении опытных работ по термической обработке технологического оборудования и металлоконструкций с использованием штатного оборудования агрегата термической обработки здания 1001П объекта по уничтожению химического оружия «Леонидовка» (пос. Леонидовка Пензенской области)», утверждено директором ФГУП «НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России 15 марта 2017 г. (приложение к письму за исх. № 6/05-10 от 15 марта 2017 г.).

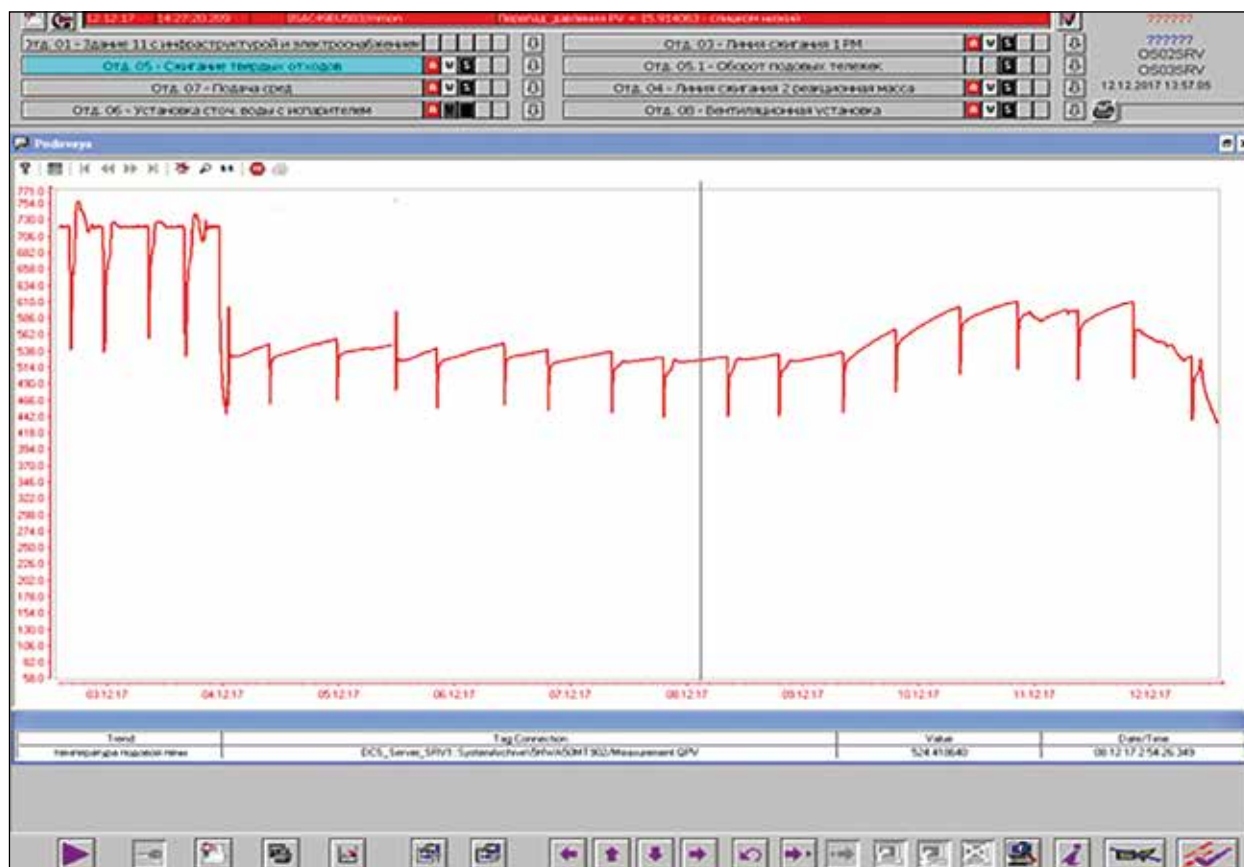


Рисунок 6 – Тренд поддержания температурных и временных режимов в агрегате термического обезвреживания (декабрь 2017 г., фотография авторов)

аппаратов систем очистки технологического оборудования (линий), расположенных в помещениях I и II групп опасности, где обращались фосфорорганические ОВ. Отработанные сорбенты перегружались для прокаливания во внутреннее пространство штатных подовых тележек АТО согласно их номинальному объему (рисунки 4, 5).

Термическое обезвреживание отработанных сорбентов проводилось в диапазоне температур 500–550 °С и при выдержке подовых тележек в рабочем пространстве АТО в течение 12 часов. Тренд поддержания заданных температурных режимов и временных интервалов обезвреживания в АТО приведен на рисунке 6.

Подтверждение достаточности термической обработки отработанных сорбентов до

предельно допустимых концентраций (ПДК) их загрязненности уничтожаемыми видами ОВ в соответствии с показателями безопасности, установленными соответствующими гигиеническими нормативами¹⁵, проводилось путем «сплошного» лабораторного химико-аналитического контроля каждой партии обезвреживаемых материалов. Отбор и химический анализ проб термически обезвреженных отработанных сорбентов осуществлялся с использованием поверенных средств измерений и аттестованных методик измерений:

- МВИ № 031-09-296-08 «Методика выполнения измерений содержания вещества типа VX в шлаках, образующихся на модульной установке по переработке реакционной масс, при уничтожении реакционной массы вещества типа VX и вязкого вещества типа VX с

¹⁵ Гигиенический норматив ГН 2.1.7.3199-14 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) О-(1,2,2-триметилпропил)метилфторфосфоната (зомана) и О-изопропилметилфторфосфоната (зарина) в отходах после печей (золе) объектов по уничтожению химического оружия» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 июля 2014 г. № 45).

Гигиенический норматив ГН 2.1.7.3202-14 «Предельно допустимая концентрация (ПДК) О-изобутил-N-диэтиламиноэтилтиолового эфира метилфосфоновой кислоты (вещества типа Vx) в строительных отходах и в отходах после термообезвреживания при выводе объектов по уничтожению химического оружия из эксплуатации» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 июля 2014 г. № 42).

Таблица 9 – Сводные результаты проведения КХА (объект «Почеп»)

Объект контроля	Вид ОВ	Количество проанализированных проб контрольных образцов	Результат КХА, мг/кг	Показатель ПДК, мг/кг
Проба оксида алюминия	Зарин	9	менее 0,25	0,5
	Зоман	9	менее 0,1	0,25
	Вещество типа VX	9	менее $2,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$
Проба активного угля	Зарин	5	менее 0,25	0,5
	Зоман	5	менее 0,1	0,25
	Вещество типа VX	5	менее $2,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$

рецептурой РД-4М, газохроматографическим методом»;

- МУК № 4.1.048-2010 «Методика измерений массовой доли зомана в пробах отходов после печей сжигания (золе) методом газовой хроматографии»;

- МУК № 4.1.049-2010 «Методика измерений массовой доли зарина в пробах отходов после печей сжигания (золе) методом газовой хроматографии».

Сводные результаты проведения КХА проб термически обезвреженных отработанных сорбентов на объекте по уничтожению химического оружия «Почеп» приведены в таблице 9. Данные в таблице 9 представлены по результатам выполненных опытных работ¹⁶.

Данные результатов химико-аналитического контроля, приведенные в таблице 9, подтверждают результативность термической обработки отработанных сорбентов в диапазоне температур 500–550 °С в течение 12 ч в соответствии с показателями безопасности, установленными гигиеническими нормативами¹⁷ при штатном исполнении источника тепловой энергии АТО, а также специфики формирования конвекционных потоков и протекания теплообменных процессов в данном техническом устройстве.

¹⁶ Программа проведения опытных работ по термической обработке твердых отходов с использованием штатного оборудования здания № 11 объекта по уничтожению химического оружия «Почеп» (г. Почеп Брянской области), утверждена директором Департамента реализации конвенционных обязательств Минпромторга России 29 ноября 2017 г.

¹⁷ Гигиенический норматив ГН 2.1.7.3199-14 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) О-(1,2,2-триметилпропил)метилфторфосфоната (зомана) и О-изопропилметилфторфосфоната (зарина) в отходах после печей (золе) объектов по уничтожению химического оружия» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 июля 2014 г. № 45).

Гигиенический норматив ГН 2.1.7.3202-14 «Предельно допустимая концентрация (ПДК) О-изобутил-N-диэтиламиноэтилтиолового эфира метилфосфоновой кислоты (вещества типа Vx) в строительных отходах и в отходах после термообезвреживания при выводе объектов по уничтожению химического оружия из эксплуатации» (утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 июля 2014 г. № 42).

Эффективность работы штатной системы очистки отходящих дымовых газов АТО контролировалась в непрерывном автоматическом режиме в дымовой трубе и периодически – службами объекта по уничтожению химического оружия «Почеп» с передачей данных на ЦПУ технологическим процессом ликвидации последствий деятельности данного объекта. Присутствие в выбросах ОВ и специфических загрязнителей обнаружено не было, концентрация общепромышленных загрязнителей в выбросах не превышала норм, установленных действующим на объекте по уничтожению химического оружия «Почеп» проектом нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, состояние компонентов окружающей среды в районе расположения объекта по уничтожению химического оружия «Почеп» и в зоне их возможного влияния находилось в пределах нормы.

Изменение подхода к термическому обезвреживанию отходов, образующихся в результате проведения ликвидационных мероприятий на объектах по уничтожению химического оружия

Полученные результаты проведения опытных работ по термическому обезвреживанию потенциально опасных по загрязнению

ОВ материалов на существующих комплексах АТО объектов по уничтожению химического оружия «Марадыковский», «Леонидовка» и «Почеп» позволили сформулировать основные положения по изменению подхода к термическому обезвреживанию отходов, образующихся в результате проведения ликвидационных мероприятий на всех объектах по уничтожению химического оружия.

Обезвреживание фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций после их «первичной» дегазации предложено проводить в два этапа.

На первом этапе:

- внутренние и внешние поверхности должны дегазироваться методом полного погружения в ванны с дегазирующим водным перекисно-щелочным раствором в течение 2 часов;

- после дегазации фрагменты должны промываться путем полного погружения в ванны, заполненные технической водой, затем обдуваться сжатым воздухом и подвергаться химико-аналитическому контролю качества проведения их дегазации в соответствии с показателями соответствующих гигиенических нормативов (для мелких деталей – содержание ОВ необходимо оценивать в промывной воде по показателю ПДК для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования).

На втором этапе:

- после дегазации и промывки фрагменты должны подвергаться термическому обезвреживанию в штатных АТО объектов по уничтожению химического оружия в диапазоне температур 500–650 °С для фосфорорганических ОВ (зарин, зоман, вещество типа VX) и ОВ кожно-нарывного действия (иприт, люизит). При этом временной режим термического обезвреживания в указанном диапазоне температур может определяться в зависимости от конкретного типа ОВ и устанавливаться технологическим регламентом производства с учетом результатов выполнения химико-аналитического контроля уровня загрязненности термически обезвреженных фрагментов.

Строительные отходы, а также отработанные сорбенты, должны обезвреживаться в штатных АТО объектов по уничтожению

химического оружия в диапазоне температур 500–550 °С для фосфорорганических ОВ (зарин, зоман, вещество типа VX) и ОВ кожно-нарывного действия (иприт, люизит их смеси). При этом временной режим термического обезвреживания в указанном диапазоне температур может определяться в зависимости от конкретного типа ОВ и устанавливаться технологическим регламентом производства с учетом результатов выполнения химико-аналитического контроля загрязненности термически обезвреженных отходов.

Обезвреженные таким образом фрагменты технологического оборудования и металлоконструкций могут являться пригодными для утилизации в специализированных организациях по вовлечению лома металлов в хозяйственный оборот в соответствии с действующими правилами¹⁸, а обезвреженные отходы строительных конструкций и отработанные сорбенты могут быть направлены для захоронения на действующие полигоны захоронения промышленных отходов в составе объектов по уничтожению химического оружия в качестве отходов производства ликвидационных работ.

Заключение

В практическом плане в ходе выполнения опытных работ достигнуты следующие результаты:

- показана возможность обезвреживания фрагментов технологического оборудования и металлоконструкций в два основных этапа: дегазация внутренних и внешних поверхностей, термическое обезвреживание при температуре 500–650 °С (с использованием только штатного оборудования АТО);

- показана возможность обезвреживания отработанных сорбентов при температуре 500–550 °С (с использованием только штатного оборудования АТО).

Полученные результаты проведения опытных работ использованы:

- при внесении изменений в санитарные правила СП 2.2.1.2513-09¹⁹ (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 декабря 2018 г. № 48);

- при согласовании и утверждении проектной документации на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объ-

¹⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 11 мая 2011 г. № 369 «Об утверждении Правил обращения с ломом и отходами черных металлов и их отчуждения».

¹⁹ Пункты 5.18, 5.19 санитарных правил СП 2.2.1.2513-09 (в ред., утвержденной постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 декабря 2018 г. № 48).

екта по уничтожению химического оружия «Кизнер» (06-940-ЛПД-ИОС)²⁰.

²⁰ Техничко-экономическое обоснование (проект) проведения работ по ликвидации последствий деятельности объекта по уничтожению химического оружия и бывшего объекта по хранению химического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики (Л-02-6203).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области (Л-02-7054).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Мирный Кировской области (Л-02-6317).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области (Л-02-7413).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области (07-560-Л).

Проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Кизнер Удмуртской Республики (06-940-ЛПД-ИОС).

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Сведения о рецензировании

Статья прошла открытое рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе.

Список источников / References

1. Никифоров Г.Е., Гормаш И.М., Белов С.М. и др. Начальный этап реформирования объектов по уничтожению химического оружия в интересах экономики и обеспечения обороны и безопасности государства // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2010. Т. LIV, № 4. С. 120–122.

Nikiforov G.E., Gormash I.M., Belov S.M., Lyakin A.S., Karpova E.S. The initial stage of reforming objects for the destruction of chemical weapons in the interests of the economy and ensuring the defense and security of the state // Russian Chemical Journal. Journal of the Russian D.I. Mendeleev Chemical Society. 2010. V. LIV, № 4. P. 120–122 (in Russian).

2. Лякин А.С. Организационно-правовые основы использования имущественного комплекса бывшего объекта по хранению и уничтожению химического оружия «Горный» в интересах обороны или экономики и обоснование необходимости проведения работ по ликвидации возникшего химического заражения // VI науч.-практ. конф. «Научно-технические аспекты обеспечения безопасности при уничтожении, хранении и транспортировке химического оружия»: Сб. матер. М.: ФУБХУХО, 2013. С. 11–15.

Lyakin A.S. Organizational and legal basis for the use of the property complex of the former object for storage and destruction of chemical weapons «Gorny» in the interests of defense or economy and justification for the need to carry out work on the elimination of chemical contamination that has arisen // VI scientific-practical conf. «Scientific and technical aspects of ensuring security in the destruction, storage and transportation of chemical weapons»: Sat. mater. Moscow: FUBHУХО,

2013. P. 11–15 (in Russian).

3. Лякин А.С. Техничко-экономические решения, принимаемые для проведения работ по выводу объектов по уничтожению химического оружия из эксплуатации и ликвидации последствий их деятельности // V науч.-практ. конф. «Научно-технические аспекты обеспечения безопасности при уничтожении, хранении и транспортировке химического оружия»: Сб. матер. М.: ФУБХУХО, 2010. С. 27–33.

Lyakin A.S. Technical and economic decisions taken to carry out work on the decommissioning of chemical weapons destruction facilities and elimination of the consequences of their activities // V scientific and practical conf. «Scientific and technical aspects of ensuring security in the destruction, storage and transportation of chemical weapons»: Sat. mater. Moscow: FUBHУХО, 2010. P. 27–33 (in Russian).

4. Лякин А.С. Технические решения по ликвидации последствий химического заражения (загрязнения) территорий в местах бывшего хранения и уничтожения химического оружия // Всероссийский симпозиум «Медико-биологические аспекты обеспечения химической безопасности Российской Федерации»: Сб. трудов. Санкт-Петербург: ФГУП «НИИГПЭЧ» ФМБА России, 2012. С. 37–41.

Lyakin A.S. Technical solutions for elimination of consequences of chemical contamination (pollution) of territories in places of former storage and destruction of chemical weapons // All-Russian Symposium «Medical and biological aspects of chemical safety of the Russian Federation»: proceedings of the Russian Academy of Sciences. Saint Petersburg: FSUE «NIIGPECH» FMBA of Russia, 2012. P. 37–41 (in Russian).

5. Лякин А.С. Санация загрязненной территории комплекса объекта по хранению и уничтожению химического оружия в процессе выведения из эксплуатации и ликвидации последствий его деятельности в г. Камбарка Удмуртской Республики // II науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых «Молодые ученые – ускорение научно-технического прогресса в 21 веке». Секция 7, рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности: электронное научное издание. Ижевск: ИЖГТУ, 2013. С. 753–765.

Lyakin A.S. Sanation of the contaminated territory of the object complex on storage and destruction of chemical weapons in the process of decommissioning and elimination of the consequences of its activities in the city of Kambarka of the Udmurt Republic // II scientific and technical conf. postgraduates, undergraduates and young scientists «Young scientists-acceleration of scientific and technological progress in the 21st century». Section 7, environmental management and life safety: electronic scientific publication. Izhevsk: IzhSTU, 2013. P. 753–765 (in Russian).

6. Мандыч В.Г., Ковалев А.Ю., Щербakov А.А., Сотников Н.В. Технологии уничтожения химического оружия: учебное пособие / Под общей ред. генерал-майора Н.П. Шебанова; Минобороны России. Саратов: СВIRXБЗ, 2006. 341 с.

Mandych V.G., Kovalev A.Yu., Shcherbakov A.A., Sotnikov N.V. Technologies of chemical weapons destruction: textbook / Ed. Major-General N.P. Shebanov; Russian Defence Ministry. Saratov: SVIRKHBZ, 2006. 341 p. (in Russian).

7. Мандыч В.Г., Шебанов Н.П., Германчук В.Г. и др. Токсичные химикаты: учебное пособие. Саратов: СВИБХБ, 2009. 182 с.

Mandych V.G. N.P. Shebanov, V.G. Germanchuk et al. Toxic chemicals: textbook. Saratov: SVIBKHB, 2009. 182 p. (in Russian).

8. Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий: учебное пособие. М. 2005. 440 с.

Vladimirov V.A., Lukiyanchenkov A.G., Pavlov K.N. et al. Methodological recommendations for the elimination of the consequences of radiation and chemical accidents: textbook. Moscow. 2005. 440 p. (in Russian).

9. Шевченко А.В., Никифоров Г.Е., Лякин А.С. и др. Научно-технические решения по санации загрязненных территорий, зданий и сооружений при выводе объектов по хранению и уничтожению химического оружия из эксплуатации и их перепрофилировании // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2010. Т. LIV. № 4, С. 77–79.

Shevchenko A.V., Nikiforov G.E., Lyakin A.S. et al. Scientific and technical solutions for the rehabilitation of contaminated territories, buildings and structures

when removing objects for storage and destruction of chemical weapons from operation and reprofiling them // Russian Chemical Journal. Journal of the Russian D.I. Mendeleev Chemical Society. 2010. V. LIV, № 4. P. 77–79 (in Russian).

10. Смирнов И.В., Завриев С.К. Химическое оружие: современное состояние и контроль за выполнением международных соглашений // Мировая экономика и международные отношения. 2018. Т. 62. № 1. С. 76–84.

Smirnov I.V., Zavriev S.K. Chemical weapons: current state and control over the implementation of international agreements // World economy and international relations. 2018. V. 62. No. 1. P. 76–84 (in Russian).

11. Wolterbeek C. Destruction of Iraqi chemical munition/UNSCOM-38 / Chemical Destruction Group // Proceedings 5th International Symposium Protection Against Chemical and Biological Warfare Agents: Suppl. Stockholm. Sweden. 11–16 June 1995. P. 85–103.

12. Franke S. Lehrbuch der Militärchemie. Band 1. Deutscher Militärverlag, Berlin. 1967.

13. Darchini-Maragheh E., Balali-Mood M. Delayed complications and long-term management of sulfur mustard poisoning: recent advances by Iranian researchers (Part I of II) // Iran. J. Med. Sci. 2018. V. 43. № 2. P. 103–124.

14. Lemieux P.M. Research Program on the disposal of wastes from decontamination activities // Очистка зданий и сооружений, загрязненных в результате химического терроризма / Международный семинар по деконтаминации. Москва, 11–13 сентября 2006. С. 45–50.

Lemieux P.M. Research Program on the disposal of wastes from decontamination activities // Cleaning of buildings and structures contaminated by chemical terrorism / International seminar on decontamination. Moscow, September 11–13, 2006, P. 45–50 (in Russian).

15. Munro N.B., Talmage S.S., Griffin G.D. The sources, fate and toxicity of chemical warfare agent degradation products // Environ. Health Perspect. 1999. V. 107. № 12. P. 933–974.

16. Kuryk B.A. Strategies to Protect the Health of Deployed U.S. Forces: Detecting, Characterizing, and Documenting Exposures, Expert from the U.S. Army's 5X Decontamination Review. The National Academies Press. 2000.

17. Pearsons G.S., Magee R.S. Synthetic fuel for imitation of municipal solid waste in experimental studies of waste incineration // Pure Appl. Chem. 2002. V. 74. P. 187–316.

18. Turner R., Hoyer R., Hall F. Hazardous Waste Incineration Prior to Land Disposal. Land Disposal, Remedial Action, Incineration and Treatment of Hazardous Waste, Proceedings of the Fourteenth Annual Research Symposium. EPA 600/79-88/021. 1988. July.

19. Юфит С.С. Яды вокруг нас. Вызов человечеству / Под ред. С.С. Юфита. М.: Классик Стиль, 2002.

Yufit S.S. Poisons around us. A challenge to humanity / Ed. S.S. Yufit. Moscow: Classics Style, 2002 (in Russian).

20. Грин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы. Хранение, утилизация, переработка. М. 2002.

Green A.S., Novikov V.N. Industrial and household waste. Storage, utilization, processing. Moscow. 2002 (in Russian).

21. Pearson G.S. The Search for Iraq's Weapons of Mass Destruction Inspection, Verification and Non-Proliferation. New York: Antony Rowe Ltd., 2005.

Об авторах

Федеральное бюджетное учреждение «Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия при Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации», 115487, Российская Федерация, г. Москва, ул. Садовники, 4А.

Капашин Валерий Петрович. Начальник Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия (ФУБХУХО), д-р техн. наук, проф.

Мандыч Владимир Григорьевич. Заместитель начальника Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия (ФУБХУХО) (по технологии и производству), канд. техн. наук, проф.

Кармишин Алексей Юрьевич. Заместитель начальника Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия (ФУБХУХО), канд. техн. наук, доцент.

Исаев Илья Николаевич. Начальник отдела, канд. хим. наук, доцент.

Лякин Алексей Станиславович. Начальник группы, канд. техн. наук.

Коваленко Игорь Викторович. Консультант управления, канд. техн. наук, доцент.

Назаров Валерий Дмитриевич. Главный инженер отдела, д-р техн. наук, проф.

Контактная информация для всех авторов: fubhuho@mil.ru

Контактное лицо: Лякин Алексей Станиславович; fubhuho@mil.ru

Optimization of Technology for Performing Liquidation Measures at Chemical Weapons Destruction Facilities

V.P. Kapashin, V.G. Mandych, A.Yu. Karmishin, I.N. Isaev,

A.S. Lyakin, I.V. Kovalenko, V.D. Nazarov

*Federal Directorate for Safe Storage and Destruction of Chemical Weapons,
Sadovniki Street 4a, Moscow 115487, Russian Federation*

Received 10.10.2020. Corrected variant 08.12.2020. Accepted for publication 21.12.2020

In accordance with the instructions of the President of the Russian Federation, the implementation of the Russian Federation's conventional obligations in the field of chemical disarmament assumes, after the completion of the destruction of chemical weapons, the involvement of former chemical weapons destruction facilities (CWDFs) in the economic turnover in the interests of the industries, connected with defense and state security, and other industries. The *aim of this work* is to consider the optimal technologies of the destruction of former CWDFs. In order to obtain objective information about the effectiveness and sufficiency of heat treatment of scrap metal products and spent sorbents, potentially contaminated with toxic substances, the FSBE «FUBKHUHO» experts conducted an experimental study of the possibility of using only regular production facilities for thermal neutralization of emptied cases of chemical ammunition and other waste, located at the CWDFs «Maradykovsky», «Leonidovka» and «Pochep». It is established during this study, that the use of standard heat treatment complexes allows to ensure the sanitary and epidemiological safety of the neutralized materials when using their design modes in the temperature range 500–700 °C. This approach allows to reduce the time required for full implementation of liquidation activities at the CWDFs at the expense of the refusal from the creation of new and/or reconstruction of existing facilities of heat treatment, necessary for the neutralization of potentially dangerous fragments of metal constructions and other solid waste, and to increase the efficiency of using financial, material and human resources to ensure the implementation of abandonment operations in general. A timely solution

to the problem of the elimination of the consequences of CWDFs' activities will create safe conditions for the development of traditional and new industries on the basis of former CWDF complexes and increase their investment attractiveness.

Keywords: engineering infrastructure; elimination of consequences of activities; metal structures; facilities for the destruction of chemical weapons; toxic substances; sanitary and epidemiological safety; temperature regime; thermal neutralization; technological equipment; chemical and analytical control.

For citation: Kapashin V.P., Mandych V.G., Karmishin A.Yu., Isaev I.N., Lyakin A.S., Kovalenko I.V., Nazarov V.D. Optimization of Technology for Performing Liquidation Measures at Chemical Weapons Destruction Facilities // Journal of NBC Protection Corps. 2020. V. 4. № 4. P. 404–420. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2020-4-4-404-420>

Conflict of interest statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest.

Peer review information

The article has been peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

References

See P. 417–419.

Authors

Federal Directorate for Safe Storage and Destruction of Chemical Weapons. Sadovniki Street 4a, Moscow 115487, Russian Federation.

Valery Petrovich Kapashin. Head of the Directorate. Doctor of Technical Sciences. Professor.

Vladimir Grigoryevich Mandych. Deputy Head of the Directorate (Technology and Production). Candidate of Technical Sciences. Professor.

Alexey Yurievich Karmishin. Deputy Head of the Directorate – Chief Engineer. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor.

Ilya Nikolaevich Isaev. Head of the Department. Candidate of Chemical Sciences. Associate Professor.

Alexey Stanislavovich Lyakin. Head of the Group. Candidate of Technical Sciences.

Igor Viktorovich Kovalenko. Management Consultant. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor.

Valery Dmitrievich Nazarov. Chief Engineer of the Department. Doctor of Technical Sciences. Professor.

Contact information for all authors: fubhuho@mil.ru

Contact person: Alexey Stanislavovich Lyakin; fubhuho@mil.ru