

Новые технологии уничтожения химического оружия – залог успешного завершения процесса химического разоружения

В.П. Капашин, В.Г. Мандыч, И.Н. Исаев, И.В. Коваленко, В.Л. Верига

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 10.06.2022 г. Принята к публикации 27.06.2022 г.

Для выполнения международных обязательств Российской Федерации по Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении потребовались разработка и создание безопасных инновационных промышленных технологий и производств по уничтожению химического оружия. Цель работы – привести краткие характеристики разработанных и промышленно реализованных на различных объектах технологий уничтожения химического оружия. Уничтожение химического оружия осуществлялось на семи специально спроектированных и построенных для этих целей объектах, которые располагались в шести регионах страны. Выбор технологий уничтожения (утилизации) химического оружия был осуществлен на конкурсной основе в период с 1992 г. по 1995 г., при этом приоритет был отдан двухстадийной технологии, сущность которой заключалась в следующем: на первой стадии производилось расснаряжение (извлечение) ОВ из боеприпасов или емкостей и в «мягких» контролируемых условиях его химическая детоксикация, дегазация корпусов расснаряженных боеприпасов с последующей их термической обработкой; на второй стадии осуществлялось термическое обезвреживание или битумирование реакционных масс с последующим их захоронением. В основу двухстадийной технологии уничтожения иприта и ипритно-люизитных смесей положено взаимодействие ОВ с 80 ± 5 % водным раствором моноэтаноламина (МЭА), который подавался в реактор при температуре 60–80 °С в соотношении ОВ: дегазирующая рецептура – 1:1,2 по массе. Детоксикация ОВ считалась завершённой, если содержание его в реакционной массе (РМ) не превышало $3,2 \times 10^{-3}$ %. Для уничтожения люизита реализована «короткая схема» с использованием реактора струйного типа. Смешение исходных реагентов, люизита и 20 % раствора щелочи, происходило с помощью форсунки особой конструкции, на выходе из которой люизит закручивался специальным устройством (завихрителем) и в виде тонкой пленки вводился в реакционное пространство. Первая стадия уничтожения ОВ типа ви-икс осуществлялось в корпусах боеприпасов. Сам боеприпас рассматривался как химический реактор. Процесс детоксикации ОВ типа ви-икс считался завершённым при остаточном содержании ОВ на уровне 5×10^{-4} % и реакционная масса поступала для термического обезвреживания (вторая стадия). Всего было уничтожено 39966,588 т ОВ. Общее количество уничтоженных емкостей с ОВ и химических боеприпасов составило 4158456 шт. 27 сентября 2017 г. на объекте по уничтожению химического оружия «Кизнер» был уничтожен последний химический боеприпас и тем самым был завершён процесс полного уничтожения запасов химического оружия в Российской Федерации.

Ключевые слова: автоматизированная поточная линия; двухстадийная технология; объект по уничтожению химического оружия; отравляющие вещества; реактор струйного типа; химические боеприпасы; химическое оружие.

Библиографическое описание: Капашин В.П., Мандыч В.Г., Исаев И.Н., Коваленко И.В., Верига В.Л. Новые технологии уничтожения химического оружия – залог успешного завершения процесса химического разоружения // Вестник войск РХБ защиты. 2022. Т. 6. № 3. С. 213–228. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2022-6-3-213-228>

Пять лет назад завершен процесс уничтожения запасов химического оружия в Российской Федерации. Практические работы в интересах уничтожения химического оружия относятся к концу 1980-х гг. В СССР на основе научных разработок был создан мобильный комплекс уничтожения аварийных химических боеприпасов, который прошел соответствующую апробацию и успешно функционировал.

В 1986 г. Министерство обороны СССР развернуло работы по созданию полномасштабного объекта по уничтожению химического оружия в районе г. Чапаевска Куйбышевской области. В августе 1989 г. было завершено создание первой очереди объекта по уничтожению химического оружия в г. Чапаевске Куйбышевской области. Было смонтировано все технологическое оборудование и проведено его комплексное опробование на инертных средах. В это время началось движение общественности в г. Чапаевске и Куйбышевской области, направленное против пуска объекта в эксплуатацию. Сложившаяся социально-политическая обстановка сделала невозможным пуск первого в Советском Союзе объекта по уничтожению химического оружия.

В 1989 г., в соответствии с распоряжением Совета Министров СССР, объект по уничтожению химического оружия перепрофилирован в учебно-тренировочный центр по отработке на инертных средах технологий уничтожения химического оружия и подготовке кадров для работы на объектах по уничтожению этого оружия. Таким образом, Советскому Союзу предстояло начинать «с нуля» решать вопросы по созданию технической базы уничтожения химического оружия и выработке новой концепции уничтожения такого оружия.

В этих условиях Политбюро ЦК КПСС принимает постановление о разработке Государственной программы уничтожения химического оружия в СССР. В последующем, на основе указанной программы, была разработана федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации».

В соответствии с положениями федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской

Федерации» уничтожению подлежали все отравляющие вещества (ОВ), которыми были снаряжены авиационные и артиллерийские химические боеприпасы различного типа и калибра, а также ОВ, хранившиеся в различных емкостях¹.

Цель работы – привести краткие характеристики разработанных и промышленно реализованных на различных объектах технологий уничтожения химического оружия.

Уничтожение химического оружия осуществлялось на семи специально спроектированных и построенных для этих целей объектах, которые располагались в шести регионах страны. Объекты по уничтожению химического оружия представляли собой высокотехнологические производства, на которых были реализованы результаты передовых научных разработок и исследований. Основу безопасности функционирования объектов по уничтожению химического оружия составляли отечественные технологии уничтожения токсичных химикатов, автоматизация и механизация технологических процессов, использование современных технологий мониторинга и контроля процесса уничтожения химического оружия в различных зонах объекта, охрана здоровья работающего персонала и населения [1].

Выбор технологий уничтожения (утилизации) химического оружия был осуществлен на конкурсной основе в период с 1992 г. по 1995 г., при этом приоритет был отдан двухстадийной технологии, сущность которой заключалась в следующем:

- на первой стадии производилось расснаряжение (извлечение) ОВ из боеприпасов или емкостей и в «мягких» контролируемых условиях его химическая детоксикация, дегазация корпусов расснаряженных боеприпасов с последующей их термической обработкой;

- на второй стадии осуществлялось термическое обезвреживание или битумирование реакционных масс с последующим их захоронением^{2,3}.

В 1995 г. был проведен совместный российско-американский эксперимент по оценке российской двухстадийной технологии уничтожения фосфорорганических ОВ. Эксперимент проводился как в США, так и в России. Полученные результаты подтвердили правильность выбора двухстадийной технологии для ее

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 21 марта 1996 г. № 305 «Об утверждении федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации»// Собрание законодательства Российской Федерации. 1996, № 14. Ст. 1448.

² Ульянов В.А. Проблемы химического разоружения в Российской Федерации / Третьи публичные слушания по проблеме уничтожения химического оружия. Курган, 1997.

³ Петрунин В.А., Шелученко В.В., Демидюк В.В. Безопасная, надежная и экологически чистая современная российская технология уничтожения химического оружия / Третьи публичные слушания по проблеме уничтожения химического оружия. Курган, 1997.

промышленной реализации в России, а технология прошла международную экспертизу⁴.

Технология уничтожения являлась краеугольным камнем для начала разработки проектов по созданию промышленных объектов по уничтожению химического оружия, с учетом всей номенклатуры имевшихся на хранении химических боеприпасов и емкостей с ОВ.

Отправной точкой в деле полномасштабного уничтожения химического оружия в нашей стране является 19 декабря 2002 г., когда началось промышленное уничтожение первой партии ОВ – иприта, на первом в Российской Федерации объекте по уничтожению химического оружия в пос. Горный Саратовской области.

В основу двухстадийной технологии уничтожения иприта и ипритно-люизитных смесей положено взаимодействие ОВ с 80 ± 5 % водным раствором моноэтаноламина (МЭА), который подавался в реактор при температуре 60–80 °С в соотношении ОВ: дегазирующая рецептура – 1:1,2 по массе. Время дозирования ОВ под слой дегазатора составляло до 4 ч.

Проведение операции детоксикации иприта и ипритно-люизитных смесей в реакторе осуществлялось в автоматическом режиме.

После прекращения подачи ОВ образовавшаяся в реакторе РМ выдерживалась в течение 1 ч с поддержанием температуры 95–120 °С, затем РМ охлаждалась до температуры 60 °С для осуществления автоматического отбора пробы РМ и ее анализа на полноту детоксикации иприта и ипритно-люизитных смесей.

Детоксикация ОВ считалась завершенной, если содержание его в РМ не превышало $3,2 \times 10^{-3}$ %. При положительном результате анализа РМ из реактора передавливалась азотом в сборник. При отрицательных результатах проводилась повторная выдержка РМ при температуре 95–120 °С и повторный анализ. В случае необходимости добавлялся МЭА из расчета содержания его в РМ 4–6 % [2].

Всего на этом объекте уничтожено 1143,202 т иприта, люизита, ипритно-люизитных смесей, двойных и тройных смесей, содержащих иприт и люизит. Все ОВ хранились в цистернах и бочках. Уничтожение всех ОВ на этом объекте было завершено в декабре 2005 г.

В январе 2006 г. началось промышленное уничтожение 6349,0 т люизита на объекте по уничтожению химического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики.

При уничтожении ОВ на этом объекте была реализована оригинальная технология щелочного гидролиза люизита («короткая схема» или первая стадия основного технологического процесса детоксикации ОВ) с использованием реактора струйного типа⁵.

При разработке «короткой схемы» щелочного гидролиза люизита учитывалось, что процесс смешения рассматривался как целостная химико-технологическая система, в которой оборудование являлось центральным звеном.

К такому оборудованию предъявлялись требования обеспечения непрерывности технологического процесса, регулирования параметров смешения в широком диапазоне, простоты и надежности аппаратного оформления. Среди перспективных смесителей особо выделялись статические смесители, которые имели небольшие габариты при высокой производительности. Наиболее важной особенностью процесса смешения в таких смесителях являлась возможность его проведения, как в ламинарном, так и в турбулентном режимах для жидких сред с вязкостью до 10 сПз.

Термин «статические смесители» используется в виду того, что в устройствах данного типа отсутствуют какие-либо движущиеся части. Тем не менее, конструкция смесителей обеспечивает многократную перестройку поля скоростей и изменения направления линий тока смешиваемых компонентов. Вследствие этого достигается значительное увеличение поверхности раздела фаз.

Технические данные статических смесителей свидетельствуют об их явном преимуществе по сравнению с другими типами перемешивающего оборудования. Основные достоинства таких смесителей – простота изготовления рабочих органов, быстрота их замены, отсутствие застойных зон, малый рабочий объем смешения.

При обосновании возможности использования «короткой схемы» щелочного гидролиза люизита были выполнены исследования по математическому моделированию процесса щелочного гидролиза люизита, определены кинетические и термодинамические параметры гидролиза (2-хлорвинил)-дихлорарсина (далее α-люизит) и треххлористого мышьяка (ТХМ) под действием 20 % раствора гидроксида натрия в различных условиях [3]. Результаты этих работ имели большое значение для разработки узла нейтрализации люизита и отработки ре-

⁴ Петрунин В.А., Шелученко В.В., Демидюк В.В. Безопасная, надежная и экологически чистая современная российская технология уничтожения химического оружия / Четвертые публичные слушания по проблеме уничтожения химического оружия. Ижевск, 1998.

⁵ Баранов Ю.И., Казаков П.В., Афанасьев В.В. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе Разработка «короткой схемы» процесса уничтожения люизита с использованием реактора эжекторного типа, шифр «Разгон». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2003.

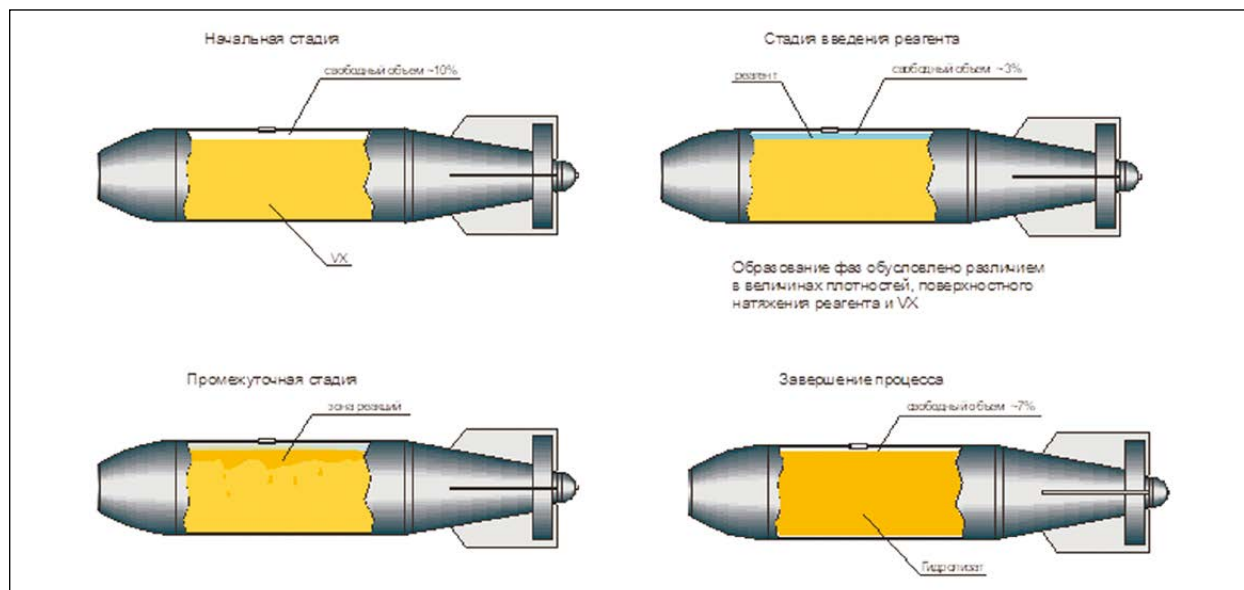


Рисунок 1 – Иллюстрация процессов, протекающих в авиационных химических боеприпасах после внесения реагента (фотография авторов)

жимов работы реактора с использованием эжекторной технологии.

Смешение исходных реагентов, люизита и 20 % раствора щелочи, происходило в струйном реакторе с помощью форсунки особой конструкции, на выходе из которой люизит закручивался специальным устройством (завихрителем) и в виде тонкой пленки вводился в реакционное пространство. Далее два параллельно движущихся потока интенсивно перемешивались и вступали в реакцию гидролиза с выделением тепла и парогазовой фазы, состоящей из ацетилена и паров реакционной массы. Конструкция аппарата (диаметр, длина) и скорость движения реагентов рассчитана таким образом, чтобы струйный реактор обеспечивал смешение компонентов и детоксикацию люизита за очень короткий отрезок времени [3]. Уничтожение люизита было завершено в 2009 г. ОВ на объекте хранилось в цистернах объемом 50 м³.

В сентябре 2006 г. началось крупномасштабное уничтожение фосфорорганических ОВ, которыми были снаряжены широкая номенклатура авиационных химических боеприпасов, и первым объектом по уничтожению данного вида химических боеприпасов являлся объект в пос. Мирный Кировской области.

На объекте впервые в мировой практике была реализована промышленная технология детоксикации ОВ типа ви-икс в корпусах авиационных химических боеприпасов. Двухстадийная технология уничтожения ОВ типа

ви-икс в корпусах боеприпасов получила название «Уничтожение ОВ в корпусе боеприпаса методом каталитического разложения»⁶.

Первая стадия данной технологии – химическая детоксикация ОВ типа ви-икс непосредственно в корпусе боеприпаса с получением реакционной массы – гидролизата, вторая стадия – извлечение реакционной массы из корпуса боеприпаса и последующая их термодеструкция. Суть технологии детоксикации ОВ типа ви-икс заключалась во введении через наливной узел химического боеприпаса определенного количества реагента, способствующего разложению ОВ (рисунок 1). При этом сам боеприпас рассматривался как химический реактор, а в качестве реактора рассматривались корпуса авиационных боеприпасов калибра 500 кг.

Количество реагента, добавляемого в боеприпас, составляло около 7 % от объема ОВ. Боеприпасы после внесения реагента возвращались в хранилище и выдерживались там при температуре окружающей среды в течение до трех месяцев. По истечении срока хранения реакционная масса извлекалась из боеприпаса и направлялась на термическое обезвреживание.

В последующем технология уничтожения ОВ в корпусе боеприпаса методом каталитического разложения была доработана и успешно применялась для авиационных химических боеприпасов калибров 150, 250 и 2000 кг.

На этом объекте также была решена задача по уничтожению химических боеприпасов БЧ

⁶ Петрунин В.А., Капашин В.П., Шелученко В.В. и др. Отчет по научно-исследовательской и экспериментальной работе «Разработка метода детоксикации отравляющего вещества VX в корпусах авиационных боеприпасов», шифр «Основа». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2001.



**Рисунок 2 – Общий вид агрегата
расснаряжения БЧ К-5
(фотография авторов)**



**Рисунок 3 – Ложемент с БЧ К-5 на каретке при
подаче по конвейеру в технологическую кабину
(фотография авторов)**

К-5⁷. Для этой цели был специально разработан агрегат расснаряжения.

Агрегат расснаряжения БЧ К-5 обеспечивал выполнение следующих основных технологических операций: загрузку и выгрузку боеприпасов; определение и регистрацию массы боеприпаса до и после расснаряжения; подачу боеприпасов в камеру расснаряжения; вскрытие корпуса боеприпаса; эвакуацию ОВ из боеприпаса в узел детоксикации; промывку опорожненного боеприпаса дегазатором; дегазацию зараженных поверхностей корпуса боеприпаса; выгрузку корпусов боеприпасов из камеры расснаряжения (рисунки 2–4).

Всего на объекте в пос. Марадыковский Кировской области было уничтожено 6890,14 т фосфорорганических ОВ, а также ипритно-люизитных смесей, которыми были снаряжены авиационные химические боеприпасы калибров 150, 250, 500 и 1500 кг. Уничтожение химического оружия было завершено в 2015 г.

В сентябре 2008 г. началось промышленное уничтожение фосфорорганических ОВ на объекте по уничтожению химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области. На этом объекте также была реализована промышленная технология уничтожения ОВ типа



**Рисунок 4 – Ложемент с БЧ К-5 в кабине
технологической (фотография авторов)**

ви-икс в корпусе боеприпаса методом каталитического разложения⁸ (рисунок 5).

С использованием классической двухстадийной технологии на данном объекте были

⁷ Кондратьев В.Б., Ратушенко В.Г., Глебов В.С. и др. Научно-технический отчет по опытно-конструкторской работе «Разработка опытного образца агрегата расснаряжения химических боеприпасов БЧ К-5», шифр «Агрегат-4». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2008.

⁸ Кондратьев В.Б., Уткин А.Ю., Шелученко В.В. и др. Отчет по научно-исследовательской работе «Комплекс исследований по научно-техническому обеспечению проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию объекта по уничтожению химического оружия в п. Леонидовка Пензенской области», шифр «Ликсна». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2008.



Рисунок 5 – Участок залива реагента в корпуса боеприпасов на объекте по уничтожению химического оружия «Леонидовка» (фотография авторов)

также уничтожены модули боеприпасов 9-А-3264 с ОВ типа ви-икс.

Их уничтожение осуществлялось с использованием специально разработанного не имеющего аналогов агрегата расснаряжения⁹.

Сущность работы агрегата заключалась в извлечении ОВ из модуля и его смешение с дегазирующей рецептурой в реакторе (рисунки 6 и 7). Образовавшаяся реакционная масса в последующем перекачивалась в реактор-дозреватель. Процесс детоксикации ОВ типа ви-икс считался завершенным при остаточном содержании ОВ на уровне $5 \cdot 10^{-4} \%$ и реакционная масса поступала для термического обезвреживания.

Уничтожение химического оружия было завершено в 2015 г. Всего было уничтожено 6884,797 т фосфорорганических ОВ, которыми были снаряжены авиационные химические боеприпасы калибров 150, 250 и 500 кг.

В мае 2009 г. на объекте по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области началось промышленное уничтожение химических боеприпасов ствольной артиллерии, головных частей реактивных снарядов и головных частей ракет.

На данном объекте впервые отрабатывалась двухстадийная технология детоксикации фосфорорганических ОВ с применением автоматизированных поточных линий¹⁰.

Автоматизированная поточная линия обеспечивала выполнение следующих операций: транспортирование боеприпаса по технологическому потоку; идентификацию боеприпаса по габаритным размерам; шлюзование боеприпаса на стадию расснаряжения; контроль массы боеприпаса до расснаряжения; вскрытие боеприпаса; эвакуацию ОВ с помощью специального устройства, соединенного системой гибких и жестких трубопроводов с технологическими линиями; дегазацию внешней поверхности боеприпаса реагентом; промывку внутренней поверхности боеприпаса; контроль полноты дегазации; контроль массы боеприпаса после расснаряжения.

Основой автоматизированной поточной линии являлся агрегат расснаряжения. Агрегат расснаряжения был выполнен прямоточным и проходным. Основные технологические узлы агрегата обеспечивали выполнение технологических операций на трех технологических позициях в следующем порядке: позиция 1 –

⁹ Кондратьев В.Б., Ратушенко В.Г., Глебов В.С. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Создание опытного образца агрегата расснаряжения модулей боеприпасов 9-А-3264», шифр «Агрегат-2». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2007.

¹⁰ Кондратьев В.Б., Уткин А.Ю., Шелученко В.В. и др. Отчет по научно-исследовательской работе «Комплекс исследований по научно-техническому обеспечению проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию объекта по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области», шифр «Садовники». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2007.



Рисунок 6 – Перемещение модулей боеприпаса 9-А-3264 на рабочую позицию эвакуации ОВ (фотография авторов)



Рисунок 7 – Модуль боеприпаса 9-А-3264 на позиции эвакуации ОВ (фотография авторов)

вскрытие боеприпаса; позиция 2 – эвакуация ОВ из боеприпаса и его промывка; позиция 3 – дегазация опорожненного боеприпаса.

Технологические позиции располагались последовательно вдоль конвейера, выполненного в виде шагового транспортера.

Для повышения производительности при расснаряжении боеприпасов калибра 120, 122, 130, 140, 152 мм вышеперечисленные технологические узлы агрегата продублированы, и загрузка этих боеприпасов в агрегат расснаряжения проводилась попарно. Боеприпасы калибра 220 мм обрабатывались в агрегате по одному на каждом из первых технологических узлов.

Завершающими операциями процесса уничтожения химических боеприпасов являлась их термодегазация, а продукты детоксикации (реакционные массы) подвергались битумированию.

Уничтожение химического оружия на объекте было завершено в 2015 г. Всего было уничтожено 5456,55 т фосфорорганических ОВ, которыми были снаряжены химические боеприпасы калибров 85, 122, 130, 140, 152 и 220 мм.

В 2010 г. начались работы по уничтожению химического оружия на объекте по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области – самом крупном по запасам ОВ. На объекте «Почеп» так же была использована технология уничтожения ОВ типа ви-икс методом каталитического разложения, которая

успешно была применена на объектах «Мардыковский» и «Леонидовка».

На данном объекте хранились авиационные химические боеприпасы калибров 150, 250, 500 и 2000 кг, снаряженные фосфорорганическими ОВ. Их общее количество составляло 7498,155 т, это составляло 18,8 % общероссийских запасов.

Кроме того, на этом объекте впервые была отработана технология уничтожения ОВ типа ви-икс в корпусе боеприпаса калибра 2000 кг¹¹ (рисунок 8).

Уничтожение химического оружия на данном объекте было завершено в 2015 г.

Необходимо отметить, что важным достижением Российской Федерации является создание уникальной инновационной технологии промышленного уничтожения боеприпасов сложной конструкции. Данная технология разработана и внедрена впервые в мировой практике [4–6].

Актуальность проблемы заключалась в том, что химические боеприпасы с изделиями сложной конструкции, представляли собой корпус (оболочку) в которых находились вкладные элементы, содержащие ОВ, заряд взрывчатых веществ и средства инициирования. Конструкция корпуса (оболочки) таких химических боеприпасов позволяла проводить, при соблюдении определенных мер безопасности, их разборку и извлечение вкладных

¹¹ Кондратьев В.Б., Степанский М.Л., Демидюк В.В. и др. Отчет по научно-исследовательской работе «Комплекс исследований по научно-техническому обеспечению проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области», шифр «Семцы». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2007.



Рисунок 8 – Участок внесения реагента в боеприпасы калибра 2000 кг (фотография авторов)

элементов, но делала невозможным извлечение из них заряда взрывчатых веществ и средств инициирования.

Характерная особенность устройства вкладных элементов изделий сложной конструкции предопределила необходимость их уничтожения в специализированных промышленных условиях с применением специально разработанных новых технологий [4–6].

Новизна и сложность решаемой проблемы потребовали постановки ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку безопасных технологий и технологического оборудования для уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции.

Решение проблемы уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции осуществлялось в соответствии с выработанной концепцией безопасного и эффективного их уничтожения¹².

В общем виде концепция уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции (ИСК) представлена в виде схемы на рисунке 9.

Концепция предусматривала следующие основные этапы (стадии) уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции:

- контроль технического состояния средств инициирования в составе вкладных элементов;

- ручная разборка химических боеприпасов, относящихся к изделиям сложной конструкции, с извлечением из них вкладных элементов и составных частей, содержащих продукты наполнения и спецхимии;

- автоматизированное расснаряжение вкладных элементов изделий сложной конструкции (извлечение ОВ и его детоксикация);

- безопасное тепловое инициирование взрывчатого вещества в расснаряженном вкладном элементе изделия сложной конструкции (подрыв) и утилизацию продуктов подрыва;

- уничтожение всех составных частей изделий, содержащих продукты спецхимии, полученных в результате разборки изделий или хранящихся отдельно.

Значительные сроки хранения рассматриваемых боеприпасов и специфика их конструктивного исполнения обусловили необходимость проведения комплексных исследований, направленных на разработку способов безопасного и эффективного уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции и сокращение технологической цепочки процесса уничтожения боеприпасов, в том числе и аварийных, и в целом на повышение безопасности процесса.

При этом были определены основные направления исследований и работ и решен комплекс последовательно выполняемых научно-технических и технологических задач

¹² Кармишин А.Ю., Ключер А.Е., Коваленко И.В. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Этапы создания и развития технологии уничтожения изделий сложной конструкции», шифр «Победа». М.: НИЦ ФУ БХУХО, 2015.



Рисунок 9 – Концепция уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции. ИСК - изделие сложной конструкции (схема Федерального управления ...)

Исходя из основных положений концепции безопасного и эффективного уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции, были осуществлены:

- экспериментально-теоретические исследования для определения безопасных условий служебного обращения с химическими боеприпасами с изделиями сложной конструкции; исследования для разработки критериев безопасного и эффективного уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции и сокращения технологической цепочки процесса их уничтожения, в том числе и аварийных, и повышения безопасности процесса;

- исследования для разработки учебно-тренировочных средств по всей номенклатуре изделий сложной конструкции;

- разработка опытного образца комплекса неразрушающего контроля для оценки технического состояния заряда взрывчатых веществ и средства инициирования в составе блоков 9-А-3109 и 9-А-3052;

- разработка опытных образцов наиболее важных узлов технологического оборудования для процесса уничтожения вкладных элементов изделий сложной конструкции: камеры уничтожения и агрегата расснаряжения вкладных элементов; разработка опытных образцов промышленных технологических



Рисунок 10 – Макет вкладного элемента 9-А-3109 (9-А-3052) (фотография авторов)



Рисунок 11 – Макет вкладного элемента 9-А-3420 (фотография авторов)

линий для уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции;

- разработка опытного образца установки для утилизации конструктивных элементов химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции [6, 7].

К разработке технологии уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции приступили в 2003 г.¹³ В работе были обоснованы принципиальная схема уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции, состав и порядок работы технологических линий, разработан комплект специальной оснастки для разборки химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции.

С 2007 г. ведутся опытно-конструкторские работы по разработке составных частей технологической линии: камеры уничтожения вкладных элементов и агрегата расснаряжения.

В создаваемых опытных образцах камеры уничтожения и агрегата расснаряжения должны были выполняться основные технологические стадии расснаряжения и уничтожения вкладных элементов изделий сложной конструкции двух типов, отличавшихся друг от друга конструктивным исполнением, типом содержащегося в них ОВ и массой взрывчатого вещества (рисунки 10 и 11).

Базовые требования при разработке и создании основных узлов технологического

оборудования для уничтожения вкладных элементов изделий сложной конструкции заключались в следующем:

- камеры уничтожения и агрегата расснаряжения должны обеспечивать поточное автоматизированное уничтожение вкладных элементов изделий сложной конструкции;

- производительность узлов расснаряжения и уничтожения вкладных элементов изделий сложной конструкции должна быть максимально возможной, но не менее 5 элементов/час;

- конструктивные и прочностные характеристики камеры уничтожения и агрегата расснаряжения должны обеспечивать максимальную безопасность уничтожения вкладных элементов изделий сложной конструкции^{14, 15, 16}.

Первые опытные образцы камеры уничтожения вкладных элементов и агрегата расснаряжения разработаны в 2007–2008 гг.

В последующем агрегат расснаряжения был подвергнут модернизации с целью повышения безопасности процесса расснаряжения вкладных элементов.

Разработанные образцы камеры уничтожения вкладных элементов и агрегата расснаряжения вкладных элементов позволили разработать принципиальную схему технологической линии расснаряжения и уничтожения вкладных элементов изделий сложной конструкции и приступить к их созданию (рисунок 12).

¹³ Кореньков В.В., Малютин О.П. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Разработка и создание промышленного комплекса разборки изделий сложной конструкции и их уничтожение», шифр «Коксит-2». М.: ФГУП ГНПП «Базальт», 2003.

¹⁴ Мацевич Б.В., Глинский В.П., Трофимов Ю.С. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Разработка камеры уничтожения элементов изделий сложной конструкции», шифр «Камера». Красноармейск: ФГУП «КНИИМ», 2007.

¹⁵ Мацевич Б.В., Глинский В.П., Трофимов Ю.С. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Модернизация камеры уничтожения элементов изделий сложной конструкции», шифр «Погулянка». Красноармейск: ФГУП «КНИИМ», 2008.

¹⁶ Кондратьев В.Б., Шелученко В.В., Ратушенко В.Г. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Разработка опытного образца агрегата расснаряжения боевых элементов изделий сложной конструкции», шифр «Агрегат-6». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2008.

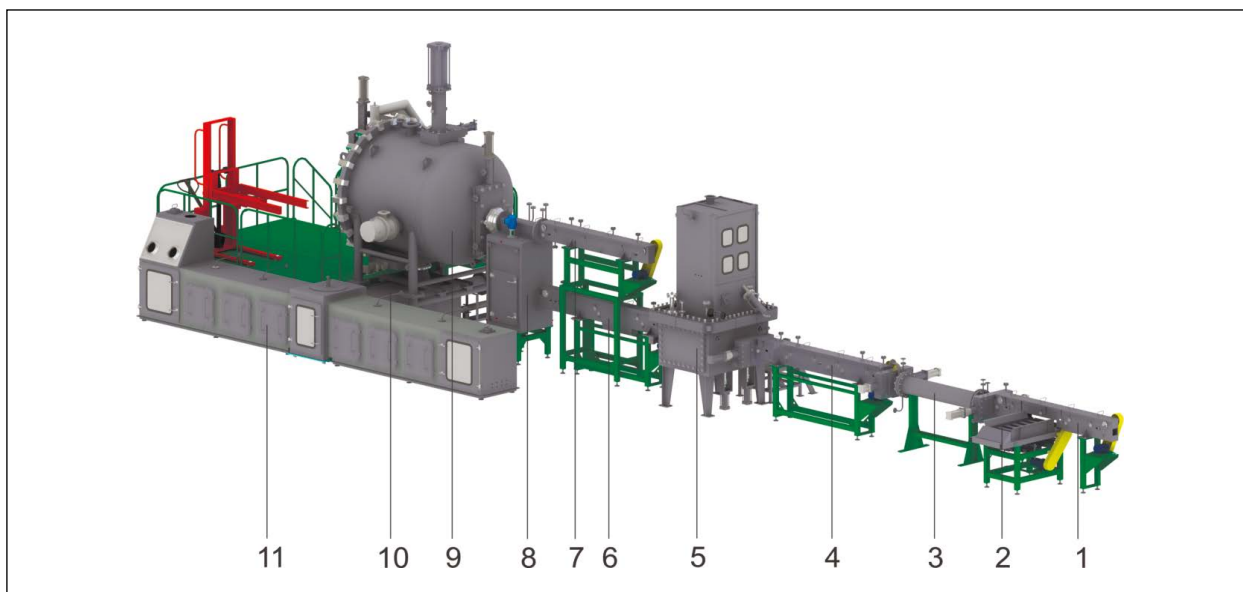


Рисунок 12 – Принципиальная схема технологической линии расснаряжения и уничтожения вкладных элементов (без оборудования для разборки химических боеприпасов):

1 – конвейер штанговый; 2 – устройство шаговой подачи с устройством взвешивания; 3 – устройство шлюзовое; 4 – устройство подачи в агрегат расснаряжения; 5 – агрегат расснаряжения вкладных элементов; 6 – устройство выгрузки с устройством взвешивания; 7 – толкатель; 8 – устройство подъема; 9 – камера уничтожения вкладных элементов; 10 – устройство выгрузки контейнера с осколками; 11 – устройство выдачи контейнера с технологической линии (схема авторов)

Для решения проблемы уничтожения изделий сложной конструкции были разработаны и внедрены два типа технологических линий:

- технологическая линия разборки и уничтожения авиационных химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции со специальным технологическим оборудованием для их разборки^{17, 18, 19, 20};

- автоматизированная технологическая линия разборки и уничтожения химических головных частей ракет с изделиями сложной конструкции со специальным технологическим оборудованием для их разборки^{21, 22}.

Технологическая линия разборки и уничтожения изделий сложной конструкции воспроизводила наиболее предпочтительную и доступную технологию уничтожения: в герме-

¹⁷ Мацеевич Б.В., Глинский В.П., Трофимов Ю.С. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Разработка технологической линии разборки и уничтожения боеприпасов сложной конструкции на объекте по уничтожению химического оружия в пос. Марадыковский Кировской области», шифр «Блок». Красноармейск: ФГУП «КНИИМ», 2010.

¹⁸ Холстов В.И., Капашин В.П., Краснянский А.И. и др. Научно-технический отчет «Проект создания технологической линии в здании 1002 объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский» (пос. Мирный Кировской области). Уточненные исходные данные». Пенза: ОАО НПП «Химмаш-Старт», 2011.

¹⁹ Краснянский А.И., Кротович И.Н., Жмуркин С.М. и др. Отчет по опытно-конструкторской работе «Модернизация технологической линии разборки и уничтожения изделий сложной конструкции», шифр «Блок-М». Пенза: ОАО НПП «Химмаш-Старт», 2011.

²⁰ Холстов В.И., Капашин В.П., Краснянский А.И. и др. Научно-технический отчет № 953/12 «Модернизация технологической линии разборки и уничтожения боеприпасов сложной конструкции». Пенза: ОАО НПП «Химмаш-Старт», 2012.

²¹ Холстов В.И., Капашин В.П., Краснянский А.И. и др. Научно-технический отчет № 11681/13 «Создание технологической линии разборки и уничтожения боеприпасов сложной конструкции на объекте по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области», шифр «Примус». Пенза: ОАО НПП «Химмаш-Старт», 2013.

²² Чижевский О.Т., Смирнов А.В., Заглада В.И. Научно-технический отчет «Разработка установки по утилизации конструктивных элементов боеприпасов содержащих взрывчатые вещества и пиротехнические составы на объекте по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области», шифр «Крепость». М.: ФГУП «ФНПЦ «Прибор», 2010.

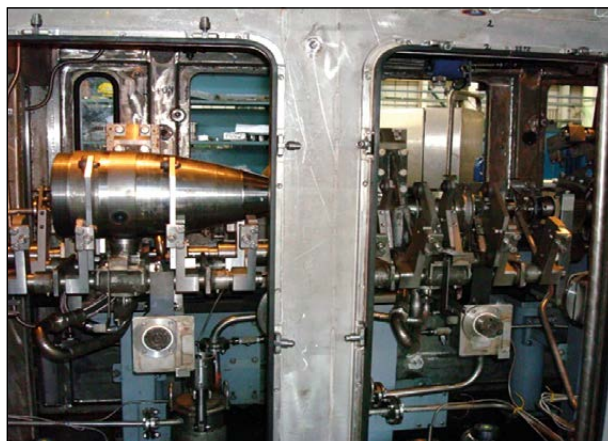


Рисунок 13 – Химический боеприпас калибра 240 мм на позиции эвакуации ОВ (фотография авторов)



Рисунок 14 – Доработанные блоки технологической обвязки агрегата расснаряжения (фотография авторов)



Рисунок 15 – Подготовка к передаче боеприпасов на поточную линию расснаряжения (фотография авторов)

тичной камере вскрывался корпус вкладного элемента, ОВ извлекалось в дегазирующий раствор с образованием реакционной массы, а опорожненный от ОВ корпус вкладного элемента с зарядом взрывчатых веществ и средствами инициирования уничтожался путем подрыва в камере уничтожения [8].

Разработанная инновационная технология уничтожения химических боеприпасов сложной конструкции была внедрена на трех объектах по уничтожению химического оружия.

На объекте по уничтожению химического оружия «Леонидовка» было уничтожено 9084 боеприпаса, из которых были извлечены и затем уничтожены 112,536 тыс. вкладных элементов изделий сложной конструкции.

На объекте по уничтожению химического оружия «Марадыковский» было уничтожено 1,9 тыс. боеприпасов, из которых были извле-

чены и затем уничтожены 29,520 тыс. вкладных элементов изделий сложной конструкции.

На объекте по уничтожению химического оружия в г. Щучье Курганской области было уничтожено 133 боевые части ракет, из которых были извлечены и затем уничтожены 8,645 вкладных элементов изделий сложной конструкции.

Всего было уничтожено около 12 тыс. химических боеприпасов сложной конструкции, из которых было извлечено и уничтожено более 150 тыс. вкладных элементов с суммарным содержанием около 73 т ОВ.

В 2013 г. был введен в эксплуатацию последний объект по уничтожению химического оружия в пос. Кизнер Удмуртской Республики.

Здесь хранилось 5744,744 т фосфорорганических ОВ и люизита, которыми были снаряжены в химические боеприпасы ствольной артиллерии и головные части реактивных снарядов калибров 122, 130, 140, 152, 220 и 240 мм.

На данном объекте также применялась двухстадийная технология детоксикации фосфорорганических ОВ и люизита с применением автоматизированных поточных линий (рисунки 13–17).

Агрегат расснаряжения, входящий в состав автоматизированной поточной линии был доработан и позволял осуществлять расснаряжение боеприпасов калибров от 122 до 240 мм. Кроме того, с учетом особенностей извлечения из боеприпасов загущенного люизита, были доработаны узел эвакуации ОВ и технологическая обвязка агрегата расснаряжения.

27 сентября 2017 г. на объекте по уничтожению химического оружия «Кизнер» был уничтожен последний химический боеприпас и тем самым был завершен процесс полного



Рисунок 16 – Перегрузка боеприпаса на поточную линию расснаряжения (фотография авторов)

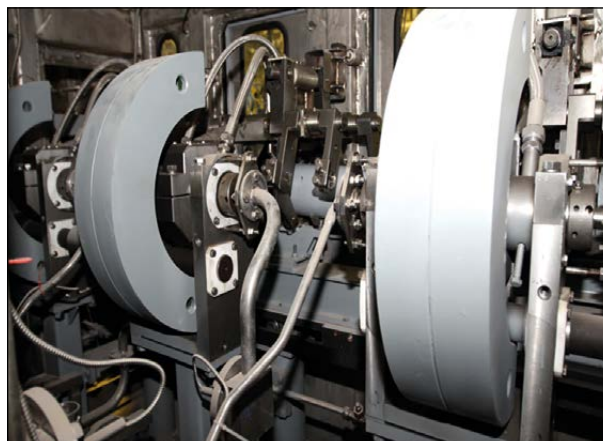


Рисунок 17 – Боеприпас в агрегате расснаряжения на позиции вскрытия и эвакуации ОВ (фотография авторов)

уничтожения запасов химического оружия в Российской Федерации.

Широкая номенклатура химических боеприпасов, подлежащих уничтожению, в том числе и боеприпасов с изделиями сложной конструкции, не позволяла создать универсальные технологии их уничтожения.

Для выполнения международных обязательств Российской Федерации по Конвенции о запрещении разработки, производства, на-

копления и применения химического оружия и о его уничтожении потребовались разработка и создание безопасных инновационных промышленных технологий и производств по уничтожению химического оружия в рамках президентской федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации».

При выполнении комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских

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

Виды емкостей и боеприпасов	Количество, шт.
Емкости с отравляющими веществами кожно-нарывного действия	
Цистерны	84
Бочки	866
Контейнеры	5
Всего:	955
Авиационные химические боеприпасы	
с ОВ кожно – нарывного действия	279
с зарином	15726
с зоманом, в том числе с изделиями сложной конструкции	51174
	10150
с ОВ типа ви-икс, в том числе с изделиями сложной конструкции	126388
	750
Всего:	193567
Химические боеприпасы ракетных войск и артиллерии	
с зарином	2776235
с зоманом, в том числе с изделиями сложной конструкции	1043673
	39
с ОВ типа ви-икс, в том числе с изделиями сложной конструкции	307934
	94
с люизитом	30623
Всего:	4158456

работ, направленных на решение проблемы уничтожения химического оружия, были разработаны оригинальные и уникальные, не имеющие аналогов в мире, технологии:

- высокопроизводительная технология щелочного гидролиза люизита с использованием реактора струйного типа;
- технология уничтожения ОВ в корпусе боеприпаса методом каталитического разложения;
- двухстадийная технология детоксикации фосфорорганических ОВ с применением автоматизированных поточных линий;
- технология уничтожения химических боеприпасов с изделиями сложной конструкции на основе применения технологической линии разборки и уничтожения авиационных химических боеприпасов и автоматизированной

технологической линии разборки и уничтожения химических головных частей ракет.

Внедренные в процесс технологии уничтожения химического оружия подтвердили свою надежность, безопасность и высокую эффективность, что позволило успешно завершить уничтожение всех запасов химического оружия.

Всего было уничтожено 39966,588 т ОВ, а общее количество уничтоженных емкостей и боеприпасов приведено в таблице 1.

Организация по запрещению химического оружия зафиксировала факт полного уничтожения химического оружия в Российской Федерации соответствующими сертификатами.

Главные итоги завершеного процесса уничтожения химического оружия – не допущены потери ни одной человеческой жизни и не нанесен урон окружающей среде.

Вклад авторов/Authors Contribution

Все авторы внесли свой вклад в концепцию рукописи, участвовали в обсуждении и написании этой рукописи, одобрили окончательную версию. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи / All authors contributed to the conception of the manuscript, the discussion, and writing of this manuscript, approved the final version. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

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.

Финансирование. Федеральное бюджетное учреждение «Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия при Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации».

Список источников / References

1. Петров С.В. Экспертная оценка технологий уничтожения запасов люизита // Рос. хим. ж. 1995. Т. 39. № 4. С. 4.
2. Умяров И.А., Кузнецов Б.А., Холстов В.И., Соловьев В.К. Методы уничтожения и утилизации запасов люизита и иприта // Рос. хим. ж. 1993. Т. 37. № 3. С. 25–28.
3. Umjarov I.A., Kuznecov B.A., Holstov V.I., Solov'ev V.K. Methods for the destruction and disposal of stocks of lewisite and mustard gas // Russian Chemical Journal. 1995. V. 37. No. 3. P. 25–28 (in Russian).
4. Капашин В.П., Кармишин А.Ю., Коваленко И.В. Создание технологии уничтожения БСК // Труды седьмой всероссийской конференции «Необратимые процессы в природе и технике», часть II. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
5. Kapashin V.P., Karmishin A.Ju., Kovalenko I.V. Creation of BSC destruction technology // Proceedings of the seventh all-Russian conference «Irreversible processes in nature and technology», part II. Moscow: MSTU im. N.E. Bauman, 2013 (in Russian).
6. Капашин В.П., Холстов В.И., Краснянский А.И. Разработка технологии безопасного уничтожения боеприпасов сложной конструкции в снаряжении отравляющими веществами и неизвлекаемыми разрывными зарядами: монография. Минпромторг России, ФУ БХУХО. М.: 2014.
7. al. Mathematical modeling of the process of alkaline hydrolysis of lewisite // Russian Chemical Journal. 1995. V. 39. No. 4. P. 25–28 (in Russian).

Kapashin V.P., Holstov V.I., Krasnjanskij A.I. Development of technology for the safe destruction of ammunition of complex design in equipment with poisonous substances and non-recoverable explosive charges: monograph. Ministry of Industry and Trade of Russia, FU ВНУНО. Moscow. 2014 (in Russian).

6. Капашин В.П., Холстов В.И., Мандыч В.Г. и др. Безопасный процесс уничтожения боеприпасов сложной конструкции – от концепции до технологии // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 3. С. 29–34.

Kapashin V.P., Holstov V.I., Mandych V.G. et al. Safe destruction of complex munitions – from concept to technology // Theoretical and Applied Ecology. 2015. No.3. P. 29–34. (in Russian).

7. Капашин В.П. Обеспечение безопасного процесса уничтожения химического оружия: моногра-

фия. ФУ БХУХО. М., 2017.

Kapashin V.P. Ensuring the safe process of destruction of chemical weapons: monograph. FU ВНУНО. Moscow. 2017 (in Russian).

8. Капашин В.П., Холстов В.И., Краснянский А.И. Разработка технологии безопасного уничтожения боеприпасов сложной конструкции в снаряжении отравляющими веществами и неизвлекаемыми разрывными зарядами. Монография. М.: Минпромторг России, ФУ БХУХО, 2014.

Kapashin V.P., Holstov V.I., Krasnjanskij A.I. Development of technology for the safe destruction of ammunition of complex design in equipment with poisonous substances and non-recoverable explosive charges. Monograph. Moscow: Ministry of Industry and Trade of Russia, FU ВНУНО. 2014 (in Russian).

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.

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

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

Верига Валерий Львович. Главный инженер отдела.

Контактная информация для всех авторов: fubhuho@mil.ru

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

New Chemical Weapons Destruction Technologies as the Key to Successful Completion of Chemical Weapons Disarmament Process

V.P. Kapashin, V.G. Mandych, I.N. Isaev, I.V. Kovalenko, V.L. Veriga

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

Received June 10, 2022. Accepted June 27, 2022

The fulfillment of international obligations of the Russian Federation under the Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on Their Destruction required the development and the creation of safe innovative industrial technologies and facilities for the destruction of chemical weapons. The *purpose of this work* is to give brief characteristics of the technologies for the destruction of chemical weapons developed and commercially implemented at various facilities. The destruction of chemical weapons was carried out at seven facilities specially designed and built for this purpose. These facilities were located in six regions of the country. The choice of technologies for the destruction (utilization) of chemical weapons was carried out on a competitive basis in the period from 1992 to 1995. The priority was given to the so-called two-stage technology. At the first stage, the toxic chemicals were extracted

from the munitions or the containers and detoxified chemically in «soft» controlled conditions. Then the empty munitions were degassed. At the second stage, thermal neutralization or bituminization of the reaction masses was carried out with their subsequent burial. The two-stage technology for the destruction of mustard and mustard-lewisite mixtures was based on the interaction of toxic chemicals with an $80 \pm 5\%$ aqueous solution of monoethanolamine, which was supplied into the reactor at a temperature of 60–80 °C in the ratio toxic chemical: degassing formulation - 1:1.2 according to mass. The detoxification process was considered completed if the content of toxic chemicals in the reaction mass did not exceed $3,2 \times 10^{-3}\%$. To destroy lewisite, a «short scheme» in a jet-type reactor was implemented. The mixing of the initial reagents, lewisite and 20% alkali solution, was carried out using a nozzle of a special design, where lewisite was swirled with a special device (swirler) and supplied into the reactor. The first stage of the destruction of V-gases was carried out in munitions cases. The munitions were considered as chemical reactors. The process of detoxification of V-gases was considered completed when the residual content of toxic chemicals was at the level of $5 \times 10^{-4}\%$, and the reaction mass was delivered for thermal neutralization (second stage). In total, 39966,588 tons of toxic chemicals were destroyed. The whole number of destroyed containers with agents and chemical munitions amounted to 4,158,456 units. On September 27, 2017, the last chemical weapon was destroyed at the Kizner chemical weapons destruction facility, thus completing the process of complete destruction of chemical weapons stockpiles in the Russian Federation.

Keywords: *automated production line; two stage technology; chemical weapons destruction facility; poisonous substances; jet-type reactor; chemical munitions; chemical weapons.*

For citation: Kapashin V.P., Mandych V.G., Isaev I.N., Kovalenko I.V., Veriga V.L. New Chemical Weapons Destruction Technologies as the Key to Successful Completion of Chemical Weapons Disarmament Process // *Journal of NBC Protection Corps*. 2022. V. 6. № 3. P. 213–228. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2022-6-3-213-228>

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.

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

References

See P. 226–227.

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.

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

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

Valerij Lvovich Veriga. Chief Engineer of the Department.

Contact information for all authors: fubhuho@mil.ru

Contact person: Valery Petrovich Kapashin; fubhuho@mil.ru