



УДК 623.4.002.8

В.Ю. КОЛОСКОВ, канд. техн. наук, доцент, **Е.А. ПОЛИЩУК**, канд. техн. наук, доцент

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков

УТИЛИЗАЦИЯ НЕПРИГОДНЫХ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЕПРИПАСОВ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ

Приведены применяемые в Украине основные способы утилизации боеприпасов, непригодных для дальнейшего использования. Рассмотрены перспективные способы и методы расснаряжения боеприпасов. Предложен метод оценки безопасности при выполнении операции по утилизации, основанный на прогнозировании состояния здоровья людей и окружающей среды.

Ключевые слова: утилизация, взрывчатое вещество, детонация, расснаряжение боеприпасов, безопасность, критерий безопасности.

В Украине на начало 2010 г. насчитывалось 136 действующих баз, хранилищ и арсеналов Вооруженных Сил, в которых складываются боеприпасы [1]. Многие из этих объектов находятся в непосредственной близости от населенных пунктов. По приблизительным оценкам, количество боеприпасов, хранящихся на территории Украины и подлежащих утилизации, составляет около 1,4–1,5 млн т [2]; доля авиационных боеприпасов, включая артиллерийское, бомбардировочное и ракетное вооружение [3], – приблизительно 800 тыс. тонн.

Государственной программой, утвержденной Постановлением Кабинета Министров Украины от 31 декабря 2006 г., определены основные задачи по утилизации непригодных для дальнейшего использования боеприпасов.

Разрушающее действие снаряда определяется его типом и массой, типом и количеством взрывчатого ве-

щества (ВВ) в боеприпасе, а также видом взрывателя. ВВ представляют собой группу веществ, обладающих способностью к быстрым химическим превращениям под действием достаточно небольших внешних воздействий (удара, нагрева, скачка давления и др.).

В зависимости от физического состояния ВВ подразделяют на твердые (монолитные или сыпучие), пластичные и жидкие. По практическому применению ВВ делятся на бризантные, инициирующие, метательные и пиротехнические составы [3].

По токсическим свойствам при утилизации ВВ относятся к 1, 2, 3, 4 классам опасности, при этом около 85 % извлекаемых компонентов принадлежат к чрезвычайно опасным (1-й класс) и высоко опасным (2-й класс) веществам.

Боеприпасы с истекшим сроком использования более чувствительны к внешним воздействиям, что связа-

но с изменением свойств ВВ, в первую очередь, за счет их взаимодействия с материалом корпуса. Несмотря на наличие лакокрасочных материалов на соответствующих поверхностях, подобные реакции со временем могут приводить к образованию более чувствительных взрывчатых соединений, что повышает опасность дальнейшего хранения боеприпасов.

До настоящего времени теоретическая основа процессов длительного хранения боеприпасов полностью не разработана и связь между химической стойкостью ВВ и гарантийным сроком их хранения не установлена. Так, например, даже небольшое нарушение технологического процесса производства ВВ и незначительное (на доли процента) увеличение содержания примесей щелочи и кислот могут привести к существенному изменению характеристик боеприпаса, особенно при длительном хранении, что в итоге приводит к значительному повышению вероятности детонирования боеприпасов. Самопроизвольное возгорание и, как следствие, взрывы приводят к тяжелым последствиям как для обслуживающего персонала, так и для жителей окрестных районов. Это подтверждают взрывы на военных складах в г. Артемовске (2003 г.), военной базе возле с. Новобогдановка (2004–2006 гг.), арсенале в г. Лозовая (2008 г.). Одновременно происходит загрязнение окружающей природной среды токсичными газами, пылевыми взвесями тяжелых металлов, особенно в радиусе 3 км от эпицентра взрыва.

Разработка методов безопасной утилизации непригодных боеприпасов имеет большую практическую важность. До недавнего времени уничтожение технически непригодных боеприпасов осуществлялось путем затопления, подрыва и сжигания, что приводило к потере дефицитных материалов и загрязнению окружающей природной среды. Такие способы утилизации можно использовать только в том случае, когда боеприпасы нельзя демонтировать иным способом по причине взрывоопасности (например, из-за их технического устройства или повреждения корпуса). В настоящее время эти способы неактуальны и разрабатываются новые, более эффективные экономически и экологически.

В работе [4] представлен обзор основных этапов утилизации боеприпасов, используемых на заводах (рис. 1). Практически нет универсального метода расснаряжения боеприпасов, что обусловлено большим разнообразием их конструкций, применяемых взрывателей и используемых рецептур ВВ с большим диапазоном механических и физико-химических свойств.

Утилизация боеприпасов является работой повышенной опасности, требует подготовки высококвалифи-

цированных кадров, наличия специального технологического оборудования, производственных и складских помещений, отвечающих требованиям взрывопожаробезопасности. Наиболее опасным и наиболее технически сложным является технологический процесс извлечения ВВ из камеры боеприпаса вследствие трудности его проведения и необходимости обеспечения специальным оборудованием. Выбор техпроцесса зависит от состава ВВ и требований к их дальнейшей переработке после извлечения из корпуса боеприпаса, а также безопасности.

При разработке технологий расснаряжения боеприпасов учитывают три особенности.

Первая – это чувствительность ВВ к механическим и тепловым воздействиям, что создает опасность их возможного взрыва. Даже случайный взрыв одного снаряда в месте сосредоточения значительных запасов ВВ может привести к масштабным трагическим последствиям.

Вторая особенность связана с тем, что боеприпас как продукт, подлежащий утилизации, представляет собой, как правило, неразъемную конструкцию, изначально не рассчитанную на демонтаж. Естественно, что извлечение из него вторичных ресурсов (в первую очередь, металлических элементов) связано с дополнительными трудностями.

Третья особенность состоит в том, что наряду с легко утилизируемой металлической составляющей исходный боеприпас содержит весьма значительную долю взрывчатых веществ, порохов, твердых ракетных топлив, отравляющих веществ и т.д.

Утилизация артиллерийских боеприпасов с использованием индукционного нагрева является одним из перспективных способов расснаряжения, преимущество которого заключается в технической простоте установки и невысоком потреблении энергии. Недостаток данного способа – в сложной схеме нагрева снаряда (необходимость контроля температуры нагреваемой поверхности и окружающей среды, переменное воздействие различных температур на разные участки снаряда) на протяжении ограниченного времени, предусмотренного техпроцессом. Незначительное отклонение во времени или подаче напряжения на катушки индукционного тока может привести к взрыву снаряда. Система оповещения и охлаждения при перегреве не предусмотрена. Таким образом, метод является взрывопожароопасным.

Другим разрабатываемым в настоящее время способом утилизации является химическая нейтрализация (разложение) монолитов взрывчатых веществ. Эту технологию рекомендуют применять в случае, когда ВВ, растворяясь в жидкости, образуют химически устойчивые, нетоксичные, мало- или невзрывоопасные смеси, а также для обезвреживания взрывоопасных предме-



Рисунок 1 – Схема этапов утилизации боеприпасов [4]

тов путем растворения ВВ многократно циркулирующим реагентом через предварительно сформированную в теле предмета реакционную полость. При этом для перекачки растворителя используют устройства, выполненные на основе метода вытеснения смеси (аппарат типа «Монтежу») с регулировкой и контролем температуры, динамического давления, расхода (скорости потока), химического состава жидкости. Исследования показали, что под воздействием разных реагентов (растворителей) ВВ разлагаются и теряют детонирующие свойства с разной степенью эффективности. Скорость разложения ВВ зависит от состава растворителя, температуры нейтрализации, скорости потока реагента и т.д. При осуществлении процесса нейтрализации необходимо регулировать скорость и тепловую мощность реакции разложения монолитов ВВ, что позволяет избежать теплового инициирования взрыва. Однако такой способ нейтрализации непригодных боеприпасов характеризуется некоторыми недоработками, без устранения которых на практике данный техпроцесс использовать невозможно [5].

Помимо высокого уровня взрывопожароопасности, процессы утилизации связаны также с наличием комплекса вредных производственных факторов – повы-

шенного уровня вибрации и шума, электромагнитных и инфракрасного излучений, температуры и, в особенности, повышенной концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны. В зависимости от этапа утилизации, технологического процесса и выполняемой операции набор и величины действующих факторов могут быть различными, вследствие чего применяемый ныне подход к установлению действующих значений, исходя из их предельно допустимых величин, малоэффективен. Также следует учитывать возможность непредсказуемого изменения значений факторов непосредственно в процессе выполнения работ в связи с отсутствием теоретических методов определения характеристик ВВ в боеприпасах с длительным сроком хранения.

Систему управления процессом утилизации боеприпасов в плане обеспечения безопасности следует рассматривать как систему жизнеобеспечения рабочего места (СЖО РМ) человека-оператора, который выполняет соответствующие технологические операции и находится под воздействием постоянно изменяющихся по величине и составу опасных для него факторов. Задачей СЖО РМ является управление функциональным состоянием организма оператора с учетом наличия в нем адаптационных механизмов [6].

Таким образом, создание применимых на практике эффективных и одновременно безопасных методов утилизации непригодных боеприпасов требует использования принципиально новых подходов к оценке и прогнозированию безопасности состояния производственной системы в динамике выполняемого технологического процесса с учетом всех факторов, действующих на человека как биологическую систему (БС), а также на окружающую среду (ОС). В работе [7] описан метод прогнозирования состояния организма человека-оператора и окружающей среды, упрощенная схема которого представлена на рис. 2.

Суть данного метода состоит в следующем. В интервале времени (T_0, T_1) рассматривается функционирование СЖО РМ, которое характеризуется действием комплекса факторов $F_i(t) \in \Phi$, вызывающих суммарный эффект в виде откликов в БС $\varepsilon_{БС,j}(F_1, F_2, \dots, F_n, t) \in E_{БС}(F_1, F_2, \dots, F_n, t)$ и изменения параметров ОС $\varepsilon_{ОС,k}(F_1, F_2, \dots, F_n, t) \in E_{ОС}(F_1, F_2, \dots, F_n, t)$

$$E = E_{ОС} \cup E_{БС} . \tag{1}$$

Процесс функционирования системы заключается в оценке безопасности действующих факторов с последую-

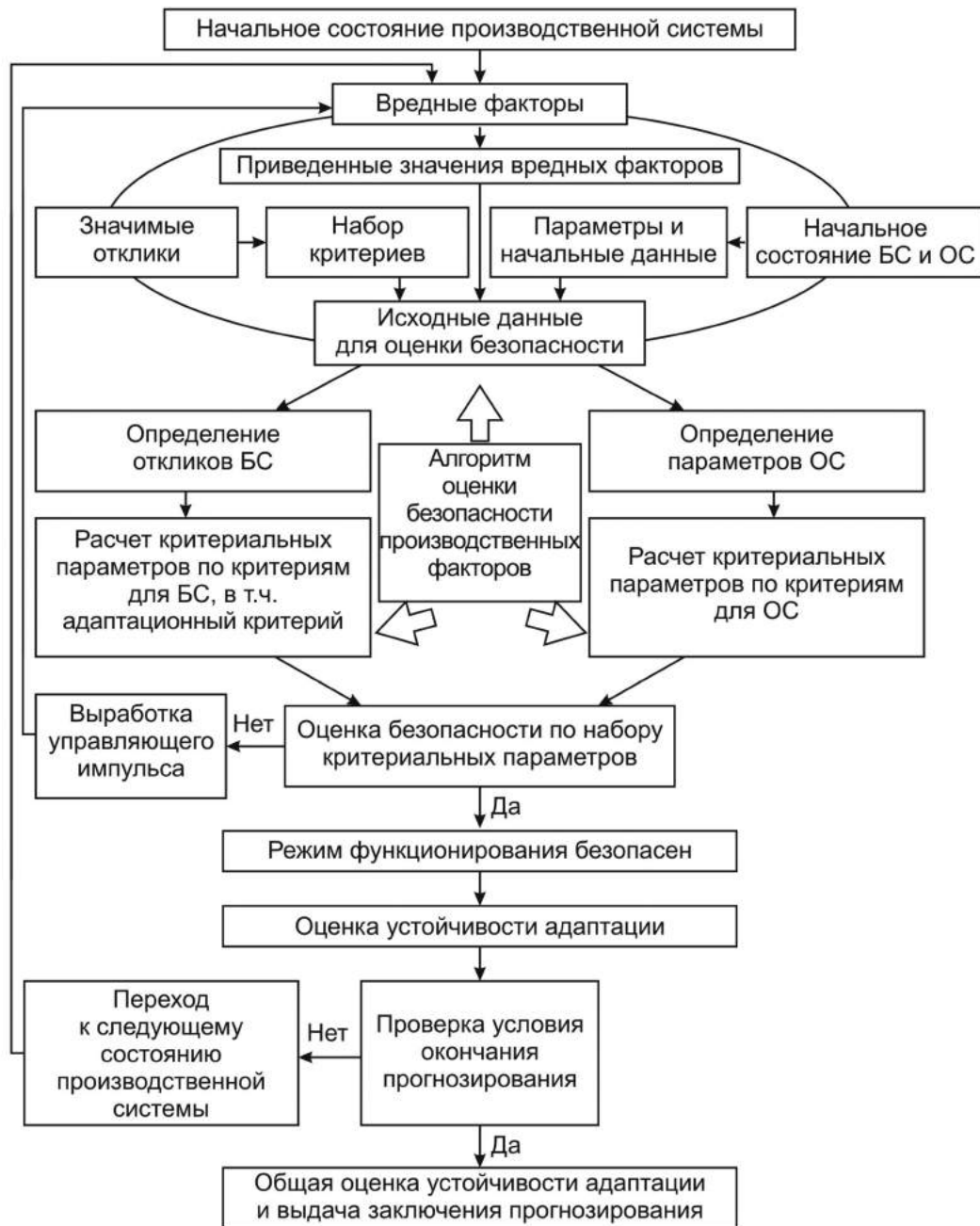


Рисунок 2 – Упрощенная схема метода прогнозирования состояния организма человека-оператора и окружающей среды под действием вредных производственных факторов



ющей выработкой управляющего импульса Y на изменение действующих значений факторов в виде решения задачи оптимизации

$$E(F_1, F_2, \dots, F_n) \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$\chi_{BC,l}(F_1, F_2, \dots, F_n, \varepsilon_{BC,1}, \varepsilon_{BC,2}, \dots, \varepsilon_{BC,p}) \leq 1, \quad l=1 \dots P; \quad (3)$$

$$\chi_{OC,m}(F_1, F_2, \dots, F_n, \varepsilon_{OC,1}, \varepsilon_{OC,2}, \dots, \varepsilon_{OC,r}) \leq 1, \quad m=1 \dots R; \quad (4)$$

$$F_i \geq 0, \quad i=1 \dots n. \quad (5)$$

В результате моделирования определяется зависимость от времени

$$W(t) = K(t), Y(t), \quad (6)$$

включающая значения критериев оценивания безопасности $K(t)$

$$K = K_{BC} \cup K_{OC}; \quad (7)$$

$$K_{BC,l} : \chi_{BC,l}(\{F_i\}, \{\varepsilon_{BC,j}\}, \{[F]\}, \{\{\varepsilon_{BC}\}\}), \quad l=1 \dots P; \quad (8)$$

$$K_{OC,m} : \chi_{OC,m}(\{F_i\}, \{\varepsilon_{OC,k}\}, \{[F]\}, \{\{\varepsilon_{OC}\}\}), \quad m=1 \dots R \quad (9)$$

и управляющего импульса $Y(t)$, представляющего совокупность воздействий на каждый из внешних факторов

$$Y = \{Y_i\}; \quad (10)$$

$$Y_i = g_i(K), \quad i=1 \dots n, \quad (11)$$

что в формализованном виде окончательно представляет собой зависимость

$$W(t) = M(A(t), B), \quad (12)$$

где $A(t)$ – совокупность входных параметров моделирования, состоящая из множества значений внешних факторов Φ и откликов БС и ОС E

$$A = \Phi \cup E; \quad (13)$$

B – комплекс ограничений, регламентирующий работу СЖО РМ по предельно допустимым значениям внешних факторов, а также параметров функционального состояния человека и ОС

$$B = \{[F]\}, \{\{\varepsilon_{BC}\}\}, \{\{\varepsilon_{OC}\}\}. \quad (14)$$

В общем виде процесс функционирования СЖО РМ можно записать следующим образом

$$\{A, B\} \rightarrow W : \{K \rightarrow Y\}. \quad (15)$$

При определении комплекса исходных данных формируется множество приведенных значений факторов $\bar{F}_i \in \Phi_{пр}$

$$\phi_F : \Phi \rightarrow \Phi_{пр}; \quad (16)$$

$$\bar{F}_i = \phi_F(F_i) = \frac{F_i}{[F_i]}, \quad i=1 \dots n, \quad (17)$$

где $[F_i]$ – предельно допустимые уровни и концентрации факторов F_i с переходом к n -мерному пространству приведенных значений внешних факторов, при которых предельно допустимые значения определяются в виде

$$\bar{F}_i = 1, \quad i=1 \dots n. \quad (18)$$

Комплекс критериев формируется из (3), (4) в зависимости от комплекса действующих факторов.

Уровень безопасности текущего состояния производственной системы оценивается устойчивостью адаптации при заданном наборе значений факторов по величине показателя резерва адаптации I , который определяется как расстояние точки от $(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$ до критериальной поверхности $(\bar{F}_{кр,1}, \bar{F}_{кр,2}, \dots, \bar{F}_{кр,n})$.

Для n -мерной критериальной поверхности резерв адаптации

$$I = \min(l_1, l_2, \dots, l_n, l_A), \quad (19)$$

где l_i – расстояние до критериальных поверхностей каждого из действующих факторов; l_A – расстояние до критериальной поверхности, отображающей адаптационный критерий (данный критерий подробно рассмотрен в [8]).

После оценки устойчивости адаптации для каждого набора значений факторов по программе технологического процесса утилизации можно сформировать общий вывод. Количественно оценка определяется минимальным значением резерва адаптации I из всех полученных. Предельные значения определяются по аналогии с донозологической классификацией Баевского по значениям параметра активности регуляторных систем – ПАРС (табл. 1).

Таким образом, резерв адаптации определяет размер «запаса прочности» организма человека. Использование предложенного метода позволит перейти к качественно новому подходу, ориентированному на поддержание постоянного значения резерва адаптации I , достаточного для компенсации пиковых значений

факторов. Задача управления системой в такой постановке описывается следующим образом

$$\begin{cases} C(F_1, F_2, \dots, F_n, \alpha, \beta, \gamma, \lambda) \rightarrow \min \\ I_1(F_1, F_2, \dots, F_n, \alpha, \beta, \gamma, \lambda) \geq [I_1] \end{cases} \quad (20)$$

где I_1 и $[I_1]$ определяются для каждого оператора индивидуально.

Таблица 1 – Сравнительная оценка состояния организма человека по значениям параметра активности регуляторных систем и резерву адаптации

Состояние	ПАРС, баллы	Резерв адаптации
Состояние нормы или удовлетворительной адаптации	0–3	$1 \geq I \geq 0,7$
Состояние функциональной нагрузки	3–5	$0,7 > I \geq 0,5$
Состояние перегрузки или неудовлетворительной адаптации	5–7	$0,5 > I \geq 0,3$
Состояние истощения регуляторных систем или срыв адаптации	7–10	$0,3 > I \geq 0$

ВЫВОДЫ

Одним из основных факторов, который оказывает существенное влияние на область и эффективность применения способа демонтажа непригодного боеприпаса, является его конструкция, а также конструкция отдельных элементов снаряжения. В процессе хранения компоненты боеприпаса, в особенности взрывчатое вещество, изменяют свои характеристики, что повышает опасность для персонала, осуществляющего утилизацию данных изделий. В связи с этим при разработке новой технологии и специального оборудования для утилизации боеприпасов необходимо проводить всесторонние исследования и анализ достаточно большого количества параметров утилизируемого объекта. Особое внимание следует уделять обеспечению безопасности и безвредности выполняемых технологических операций. Предложенный метод прогнозирования состояния организма человека, участвующего в процессе утилизации непригодных

боеприпасов, даст возможность гибко управлять этим процессом в динамике изменения комплекса факторов производственной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орчинський, В. Запаси для безпеки стають небезпекою / В. Орчинський // Надзвичайна ситуація. – 2010. – № 1. – С. 20–21.
2. Магер, Ю. Напружена тиша / Ю. Магер // Надзвичайна ситуація. – 2008. – № 10. – С. 26–27.
3. Дорофеев, А.Н. Авиационные боеприпасы / А.Н. Дорофеев, В.А. Кузнецов, Р.С. Саркисян. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1968. – 601 с.
4. Нечипорук, Н.В. Утилизация непригодных для дальнейшего использования авиационных боеприпасов / Н.В. Нечипорук, М.А. Стеблина, Е.А. Полищук, В.Ю. Колосков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»: вып. 48. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т, 2010. – С. 227–232.
5. Адаменко, В.К. Контроль температуры реагентов при химической реакции / В.К. Адаменко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2009. – № 3. – С. 12–17.
6. Гайдачук, А.В. Моделирование откликов организма оператора на воздействия внешней среды / А.В. Гайдачук, В.Ю. Колосков // Космічна наука і технологія. Додаток. – 2001. – Т. 7, №1. – С. 172–176.
7. Колосков, В.Ю. Метод прогнозування адаптації оператора до дії шкідливих факторів машинобудівного виробництва / В.Ю. Колосков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»: вып. 56 (5). – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т, 2008. – С. 104–113.
8. Колосков, В.Ю. Критерий оценки безопасности влияния производственных факторов на человека / В.Ю. Колосков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»: вып. 46 (3). – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т, 2006. – С. 71–77.

Поступила в редакцию 15.06.2011

Наведено основні способи утилізації в Україні непридатних для подальшого використання боеприпасів. Розглянуто перспективні способи та методи розлаштування боеприпасів. Запропоновано метод оцінки безпеки при виконанні операції з утилізації, що оснований на прогнозуванні стану здоров'я людей і навколишнього природного середовища.

Basic methods, used in Ukraine for utilizing ammunition not suitable for further usage are given. Perspective ways and methods of ammunition disequipping are examined. Method of safety assessment during utilization operation accomplishment is proposed, which is based on predicting the state of human health and environment.