

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВЗРЫВОМ БОЕПРИПАСОВ НА СКЛАДАХ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кандидат военных наук *Н.И. Седых*
Академия ГПС МЧС России

Предложен научно-методический подход повышения точности прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с взрывом боеприпасов, разработаны предложения по снижению вероятности возгорания боеприпасов при их совместном хранении.

Ключевые слова: прогнозирование чрезвычайных ситуаций, инженерные боеприпасы, конденсированные взрывчатые вещества.

ABOUT FORECASTING OF THE EMERGENCY SITUATIONS CONNECTED WITH EXPLOSION OF AMMUNITION IN WAREHOUSES EXPLOSIVE MATERIAL

Ph.D. (Military) *N.I. Sedyh*
Sciences Academy of GPS EMERCOM of Russia

The article offers a scientific and methodological approach to improve the accuracy of forecasting emergency situations associated with the explosion of ammunition, developed proposals to reduce the probability of fire of ammunition in their joint storage.

Keywords: emergency forecasting, ammunition, condensed explosives.

В целях повышения эффективности прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с взрывом боеприпасов, разработаны предложения по снижению вероятности возгорания боеприпасов при их совместном хранении.

Чрезвычайные ситуации, возникающие на складах инженерных боеприпасов, приводят к гибели людей, разрушению и повреждению зданий, большим материальным потерям. В Вооруженных Силах за период с 1977 по 2019 год произошло свыше 50 чрезвычайных ситуаций [1,2]. Последним ярким примером явилось возгорание и взрыв боеприпасов на складе Центра материально-технического обеспечения Центрального военного округа в Ачинском районе, который является одним из старейших в системе материально-технического обеспечения вооруженных сил и планировался к расформированию до 2022 года. В общей сложности эвакуировано 4,6 тыс. жителей ближайших населенных пунктов.

Анализ этих чрезвычайных ситуаций показывает, что основной причиной их возникновения является пожар в хранилище (штабеле) инженерных боеприпасов (ИБП).

Основными причинами пожаров на технической территории складов взрывчатых веществ и средств взрывания являются [3]:

нарушение правил пожарной безопасности, требований техники безопасности при работах с боеприпасами - 58 %;

воздействие разрядов молнии - 23 %;

переход пожара с запретной зоны на техническую территорию склада боеприпасов - 14 %; умышленные поджоги - 5 %;

Пожару на технической территории склада боеприпасов постоянно сопутствует угроза взрыва, которая накладывает свой отпечаток на организацию работ по его тушению. Знание процессов, протекающих при пожаре штабеля боеприпасов, и, в конечном итоге, возможности его взрыва, может играть решающую роль в успехе работ по тушению пожара и обеспечении безопасности личного состава.

Обычно пожар штабеля боеприпасов начинается с воспламенения и горения их деревянной упаковки. Исследование процесса горения штабелей упаковок ИБП показывает, что развитие пожара в их объеме можно условно разделить на три стадии [4]:

1 - воспламенение одного или нескольких ящиков, расположенных наиболее близко к источнику теплового излучения. Продолжительность первой стадии (Т1) составляет 90...180 с;

2 - интенсивное распространение огня в вертикальном направлении (над областью первоначального воспламенения). Продолжительность его подъема на всю высоту штабеля (Т2) составляет 120...140 с;

3 – распространение огня по горизонтальной поверхности штабеля ящиков, начало его интенсивного горения.

Особенностью горения штабеля упаковки боеприпасов является то, что область горения практически не выходит на внешнюю боковую сторону штабеля, а имеет тенденцию к развитию в его глубину.

Первый этап горения штабеля характеризуется слабым выделением дыма и отсутствием других заметных признаков пожара. Пожар начинается с горения одного из крайних ящиков и развивается в глубь штабеля.

На втором этапе, после того, как область горения нижних ящиков распространится до ближайшей, доступной для вертикального подъема зоны, образованной боковыми поверхностями ящиков, картина горения существенно меняется. Происходит быстрое распространение огня на всю высоту штабеля над областью первоначального воспламенения, кроме того, начинается расширение зоны горения по всему объему штабеля. Появляется значительное количество дыма либо открытого пламени. На этом этапе вертикальная скорость распространения пламени существенно выше горизонтальной скорости (2 м/мин - вертикальная, 0,5 м/мин - горизонтальная скорость распространения пламени). На третьей стадии пожара в процесс горения вовлекаются не только боковые поверхности ящиков, но и горизонтальные, наблюдается интенсивное горение всего объема штабеля. Происходит максимальное тепловыделение и достаточно быстрое термическое разрушение упаковки. Через 800с с начала горения происходит обрушение отдельных рядов горящей упаковки. Характерно, что даже на этой стадии пожара не происходит горение боковой поверхности штабеля. Процесс горения штабеля упаковок боеприпасов происходит внутри его объема.

Исследование распределения теплового фронта по объему горящего штабеля показывает, что область высокой температуры локализована в зоне горения. На расстоянии 2...3-х упаковок от области горения температура окружающей среды не многим (на 20...30 градусов) отличается от фонового значения. С приближением фронта пламени к рассматриваемой точке штабеля наблюдается резкое повышение температуры (средняя скорость ее нарастания - 200 град/мин). В общем случае повышение температуры до 700 и более градусов происходит за 3,5...4 мин.

Таким образом, в процессе пожара по штабелю боеприпасов распространяется ярко выраженный тепловой фронт, характеризующийся резким изменением температуры во времени ($dT/dt=200$ град/мин). До подхода теплового фронта боеприпас практически не испытывает тепловых нагрузок. В последующем резкий подвод тепла вызывает быстрый

нагрев корпуса боеприпаса при воспламенении штабеля боеприпасов первые 1...3 мин практически отсутствуют внешние признаки пожара, и только в последующем появляются дым и пламя. Горение штабеля боеприпасов характеризуется большой линейной скоростью распространения огня по штабелю (до 2 м/мин).

Указанные особенности развития пожара штабеля деревянной упаковки боеприпасов дают основание исключить возможность гомогенного взрывного превращения, обусловленного одновременной и относительно равномерной реакцией вещества во всем объеме заряда ВВ. Рассматривая возможность теплового взрыва в условиях динамического нагрева следует отметить, что в данном случае скорость нагрева боеприпаса существенно превышает критическую скорость нагрева (dT/dt) кр, которая составляет 0,02...0,04 град/с. В этих условиях вероятность теплового взрыва маловероятна, при скоростях нагрева $dT/dt = 200$ град/с произойдет воспламенение заряда у границы ВВ с корпусом боеприпаса и горение заряда взрывчатого вещества.

На основе существующих представлений переход горения твердых ВВ в детонацию [5] можно представить упрощенной схемой, которая включает следующие стадии; 1 - нормальное послойное горение; 2 - конвективное горение; 3 - низкоскоростной (800 - 3500 м/с) режим взрывного превращения; 4 - стационарная, нормальная детонация. Каждая стадия различается механизмом передачи тепла и возбуждения реакций. Основной формой передачи тепла при послойном горении является молекулярная теплопроводность, при конвективном горении - вынужденная конвекция. Низкоскоростной режим возбуждается волнами сжатия, детонация - ударной волной. В общем случае развитие процесса является ускоренным. Конечным результатом ускоренного развития является формирование ударной волны, которая инициирует детонацию ВВ, если её амплитуда превышает критическое значение и система является детонационно-способной (диаметр заряда превышает критический диаметр детонации). Существование и пространственная протяженность отдельных стадий зависят от структуры заряда, свойств ВВ и т. д. Наиболее естественно реализуются стационарные режимы - послойное горение и детонация.

В порядке возрастания мощности и уровня параметров режимы располагаются в следующей последовательности: нормальное послойное горение (НГ) - конвективное горение (КГ) - низкоскоростная детонация (НСД) - нормальная детонация (НД). Приведенная последовательность - это своеобразный природный последовательный ряд взрывного превращения. Указанная последовательность обладает рядом особенностей:

- при определённых условиях один режим может переходить в другой в поступательном направлении;
- возможно возбуждение любого из перечисленных процессов который может переходить в последующий;
- обратный переход НД-НСД-КГ-НГ исключается.

Общую картину горения конденсированных ВВ предложил А.Ф. Беляев [5, 6]. При подводе энергии к поверхностному слою ВВ, способного при данных условиях к горению, эта энергия уходит главным образом на испарение вещества, а само горение происходит в газовой фазе. Тепло, выделяемое при горении, уходит на прогрев паров и испарение новых слоев ВВ.

В процессе послойного горения и при переходе к более высокопорядковым режимам взрывного превращения важное значение имеет толщина прогретого слоя. Температура в прогретом слое T_x на глубине x прогретого слоя изменяется от температуры кипения (T_k) до начальной температуры заряда (T_0) по закону:

$$T_x = T_0 + (T_k - T_0) \cdot \exp(-U / \chi \cdot x), \quad (1)$$

где U - скорость горения; χ - температуропроводность.

При этом температуропроводность определяется соотношением:

$$\chi = \lambda_{\phi} / (C_{\phi} \cdot \rho_0), \quad (2)$$

где λ_{ϕ} - теплопроводность конденсированной фазы; C_{ϕ} - теплоемкость единицы массы ВВ; ρ_0 - плотность конденсированного ВВ.

Скорость горения ВВ зависит от давления и определяется зависимостью:

$$U = B \cdot P^n, \quad (3)$$

где B и n – коэффициенты, зависящие от природы ВВ; P – давление, кг/см².

Характеристика горения конденсированных ВВ, находящихся применение в инженерных боеприпасах, представлены в табл. 1.

Подставляя числовые значения в формулы 1 и 2 получим распределение температуры в прогревом слое тротила при горении при атмосферном давлении. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика горения конденсированных взрывчатых веществ

Наименование взрывчатого вещества	χ , 10^{-7} м ² /с	B , м/с, ГПа	$T_{п}$, К
ТЭН	0,666	1,29	3335
ГЕКСОГЕН	1,110	1,44	3325
ТЕТРИЛ	0,725	0,76	2775
ТРОТИЛ	0,885	0,7	1980

Таблица 2

Распределение температуры в прогревом слое тротила в зависимости от границы расположения заряда в глубину

Расстояние от границы заряда в глубину, мм	$\Delta T = T(x) - T_0$, °
2	104
4	35
6	12
8	4,3
10	0,5

Как следует из данных табл. 2 толщина прогреваемого слоя ВВ не превышает 8-10 мм. Толщина расплавленного слоя на поверхности горящего ВВ в пределах 2...3 мм. Наличие на поверхности твердого ВВ расплавленного слоя играет определяющую роль в обеспечении устойчивого послойного горения.

Каждому значению давления в зоне горения соответствует определенная толщина прогреваемого слоя. При увеличении давления толщина прогреваемого слоя ВВ уменьшается. При резком сбросе давления в зоне горения, малая толщина прогреваемого слоя не обеспечит поддержание процесса в новых условиях. Горение может затухнуть.

Горение открыто расположенного ВВ протекает со свободным оттоком продуктов сгорания, давление в зоне горения невелико и процесс протекает в режиме послойного горения. При затруднении оттока продуктов сгорания (горение в ограниченном и замкнутом объеме) повышается давление в зоне сгорания, фронт пламени приближается к конденсированному ВВ, толщина расплавленного слоя уменьшается, образуется существ-

венный перепад давления между давлением в зоне горения и давлением в порах ВВ. Преградой прорыва давления и, соответственно, фронта пламени из зоны горения внутрь ВВ (в поры ВВ) является расплавленный слой на поверхности горящего ВВ. Если газоприток (продукты сгорания) превышает газоотвод, давление в зоне горения продолжает возрастать, а толщина расплавленного слоя, сдерживающая прорыв пламени внутрь ВВ, уменьшается. При определенном значении давления в зоне горения, называемого критическим давлением ($P_{кр}$), толщина расплавленного слоя на поверхности ВВ не в состоянии сдерживать перепад давления между давлением в зоне горения и давлением в порах вещества. Поэтому при достижении значения критического давления срыва послойного горения происходит разрушение расплавленного слоя, раскаленные газы прорываются в поры ВВ и вызывают воспламенения вещества впереди фронта послойного горения. Значение критического давления срыва послойного горения для некоторых ВВ представлено в табл. 3.

Таблица 3

Значение критического давления срыва послойного горения некоторых взрывчатых веществ

Взрывчатое вещество	$P_c / P_{атм}$
Тротил	2000
Тэн	550
Гексоген	250
Гремучая ртуть	100
Азид свинца	Детонирует при любом давлении

Значение давления срыва послойного горения зависит от пористости (плотности) вещества. С уменьшением пористости критическое давление срыва возрастает.

Предлагаемый подход может быть учтен при прогнозировании чрезвычайных ситуаций связанных с пожаром и взрывом боеприпасов на складах взрывчатых материалов.

На основе анализа деятельности сил ликвидации чрезвычайных ситуаций [7,8], возникающих на складах инженерных боеприпасов с целью снижения гибели людей, разрушения и повреждения зданий, а также материальных потерь предлагается:

1. горение одиночных инженерных боеприпасов (за исключением каплюлей-детонаторов, эл. детонаторов, запалов, взрывателей зарядов разминирования) при соблюдении определенных условий может протекать без взрыва. Для сжигания одиночных ИБП в металлических корпусах необходимо строго локализовать подвод тепла, осуществляя воспламенение заряда ВВ через открытые заливные горловины или запальные гнезда. Боеприпас должен быть устойчиво расположен таким образом, чтобы отверстие, через которое осуществлялось воспламенение, находилось в верхней части корпуса и боеприпас при сжигании не изменял положение в пространстве.

2. при горении штабелей инженерных боеприпасов могут наблюдаться следующие ситуации:

а - горение штабеля сопровождается массовым взрывом;

б - при горении штабеля наблюдаются взрывы отдельных или нескольких боеприпасов не переходящие в массовый взрыв;

в - горение штабеля может протекать без взрыва.

3. в зависимости от вероятности перехода горения штабеля боеприпасов во взрыв инженерные боеприпасы могут классифицироваться:

Т1 - запалы; КД; ЭД; боеприпасы в металлических корпусах, снаряженные составом ТГ-40, ТГ-50; мины ПДМ-1, ПДМ-2, ПДМ-3я. Пожар штабелей, содержащих такие боеприпасы, может завершиться массовым взрывом через 14...15 мин с момента воспламенения;

T2 - противопехотные осколочные мины ОЗМ-72, взрыватели зарядов разминирования, взрыватели противотанковых мин. При пожаре таких штабелей будут наблюдаться взрывы, не переходящие в массовый взрыв;

T3 - боеприпасы, не вошедшие в группы T1 и T2, горение штабелей которых может протекать без взрыва.

4. при организации совместного хранения ИБП необходимо исключить размещение в одном хранилище боеприпасов разных групп пожароопасности. При совместном размещении боеприпасов T1 и T2 хранилищу должна присваиваться категория по взрывопожарной и пожарной опасности А [9].

5. при выполнении работ по сжиганию ИБП во всех случаях должны соблюдаться меры безопасности как при взрывании.

Направлением дальнейших исследований поведения штабелей ИБП при пожаре должно быть рассмотрение взрывопожароопасности кассетных боеприпасов.

Разработанные предложения могут быть учтены при обосновании тактики действий пиротехнических подразделений МЧС России, а также при разработке перечня мероприятий под выполнение конкретных задач связанных с обезвреживанием взрывоопасных предметов на территории складов взрывчатых материалов.

Литература

1. Государственные доклады о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2002-2018 гг. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2003-2017.

2. Седнев В.А., Аляев П.А. Предложения по повышению качества подготовки пиротехников для спасательных воинских формирований МЧС России // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – Вып. 3 (61). – 2015. – 9 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.

3. Седнёв В.А., Воронов С.И. и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. - М.: АГПС МЧС России. - 2016.-303с.

4. Справочник спасателя. Книга 10. Производство взрывных работ при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ в различных чрезвычайных ситуациях. – М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС. - 2006. – 224 с.

5. Переход горения конденсированных систем во взрыв. / А.Ф. Беляев, В.К. Боболев, А.И. Коротков и др. -М.: Наука. - 1973.

6. Теория горения и взрыва: Учебник. / Под общей редакцией доктора технических наук Барина А.В. – Химки: АГЗ МЧС России. - 2019. – 389 с.

7. Седнев В.А., Аляев П.А. Анализ требований, предъявляемых к специалистам пиротехнических подразделений, и системы их подготовки // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 4 (62). – 2015. – 7 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.

8. Седнев В.А., Аляев П.А. Особенности организации проведения и причины травматизма при пиротехнических и взрывных работах // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 5 (63). – 2015. – 7 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.

9. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Сведения об авторе

Седых Николай Иванович, профессор кафедры защиты населения и территорий в составе УНК ГЗ Академия ГПС МЧС России, 129366 Москва ул. Бориса Галушкина, 4; тел. раб. 8-(495)-617-26-82, тел. моб. 8-(906-042-40-03, e-mail: Sedyh.nik.i@yandex.ru