

УДК 622.61

И. Т. Севрюков, доктор технических наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, Пермь

В. В. Ильин, кандидат технических наук, доцент, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

В. В. Козлов, доктор технических наук, профессор, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ГРУПП БОЕПРИПАСОВ

Рассматривается характер изменения состояния системы боеприпасов во времени при воздействии поражающих факторов и моделирования протекания процесса инициирования на объектах хранения. Проанализированы модели на основе марковских процессов и диаграмм причинно-следственных связей с целью выявления закономерностей возникновения инициирования в группе боеприпасов. Определены количественные значения вероятностей инициирования группы боеприпасов для конкретных условий хранения.

Ключевые слова: безопасность, моделирование, процесс инициирования, хранение боеприпасов, чрезвычайные ситуации.

В статье рассматривается характер изменения состояния системы боеприпасов во времени при воздействии поражающих факторов и моделирования протекания процесса инициирования на объектах хранения. Проанализированы модели на основе марковских процессов и диаграмм причинно-следственных связей с целью выявления закономерностей возникновения инициирования в группе боеприпасов. Определены количественные значения вероятностей инициирования группы боеприпасов для конкретных условий хранения.

Исходя из условий хранения боеприпасов очевидно, что при инициировании хотя бы одного из них в хранилище с высокой долей вероятности можно говорить о картине группового подрыва зарядов не только в помещении хранения, но и в объеме всего арсенала. Особенностью является то, что спрогнозировать результаты подобного взрыва чрезвычайно тяжело из-за нестационарности протекаемых процессов, которые зависят от множества случайных факторов. Поэтому анализ случившихся аварий, владение статистическими данными не решают всех проблем. Необходимо не только уметь находить слабые звенья в технологии хранения боеприпасов и взрывчатых веществ, но и уметь прогнозировать, как будут развиваться события, вызванные аварией.

Систему боеприпасов, находящихся на хранении (рис. 1), можно представить функциональной зависимостью вида

$$Y^h(t) = f(X^k(t), S^q(t), U^l(t)),$$

где $Y^h(t)$ – h -мерный вектор безопасности системы боеприпасов; $X^k(t)$ – k -мерный вектор, определяющий совокупность начальных (входных) условий и внешних воздействий на систему боеприпасов; $S^q(t)$ – q -мерный вектор, определяющий возможные состояния системы боеприпасов; $U^l(t)$ – l -мерный вектор, определяющий управление риском инициирования системы боеприпасов.

Обозначим через $\Omega_j(y)$ пространство выходных координат в j -м состоянии, характеризующих пове-

дение системы боеприпасов с позиций взрывобезопасности.

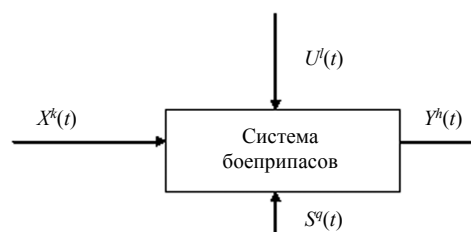


Рис. 1. Система боеприпасов

В общем случае критерий взрывобезопасности I_j можно рассматривать как оценку математического ожидания от некоторого функционала G_j , характеризующего случайные воздействия на боеприпас на траекториях процесса $Y_{j(t)}^h$:

$$I_j = M[G_j(Y_{j(t)}^h)].$$

Поскольку система боеприпасов характеризуется как сложная и многомерная, то адекватную оценку взрывобезопасности необходимо проводить не одним показателем, а их набором. Обеспечение взрывобезопасности состоит в выработке таких значений $S^q(t)$ и $U^l(t)$, чтобы критерий взрывобезопасности I_j увеличивался до требуемого или максимально возможного значения. Таким образом, в каждом из состояний системы боеприпасов имеем n значений функционалов: $G_{1j}, \dots, G_{ij}, \dots, G_{nj}$, представляющих собой выборку n значений случайных воздействий на боеприпас. В пространстве $\Omega_j(y)$ можно выделить подмножество состояний, когда система боеприпасов не соответствует требованиям безопасности – $\Omega_n[Y_{(t)}]$ и соответствует им – $\Omega_c[Y_{(t)}]$. Функционал G_{nj} может быть как качественным, так и количественным. Применение качественных показателей возможно, если, например, функционал принимает значение [1]

$$G_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если до момента инициирования } Y_{ij}(t) \in \Omega_n, \\ 1, & \text{если до момента инициирования } Y_{ij}(t) \in \Omega_c. \end{cases}$$

В этом случае показатель взрывобезопасности характеризует соответствие системы боеприпасов установленным требованиям в j -м состоянии:

$$I_j = M[G_{ij}] = R_j(t).$$

Если за значение функционала G_{ij} принять число проиницировавших боеприпасов до перехода $Y_{ij}(t)$ в Ω_n , то показатель безопасности равен их среднему значению:

$$I_j = M[G_{ij}] = N_j(t).$$

В подобных случаях оценку взрывобезопасности можно и целесообразно проводить посредством количественных показателей, так как при применении качественных показателей взрывобезопасности фиксируется только факт события E_1 , идентифицируемого условием отсутствия инициирования, или события E_0 , идентифицируемого условием наличия инициирования.

Последовательность моментов инициирования боеприпасов в условиях группового хранения, возникающих в единицу времени, назовем потоком инициирования. Число инициирований боеприпасов, возникающих в единицу времени, является дискретной случайной величиной, принимающей неотрицательные целые значения. Допустим, что потоки инициирования подчиняются пуассоновскому распределению [2]

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где $P_k(t)$ – вероятность того, что за время t возникает k инициирований; λ – плотность потока инициирования.

При пуассоновском распределении промежутки времени между инициированиями подчиняются экспоненциальному распределению

$$P(T < t) = 1 - e^{-\lambda t} = \lambda t, \quad (2)$$

где $P(T < t)$ – вероятность того, что промежуток времени T между инициированиями окажется меньше какого-то значения t .

В общем случае временные характеристики процесса инициирования можно описать распределением Эрланга с функцией распределения:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt. \quad (3)$$

Исходя из того, что система боеприпасов – это групповой объект, представим его как совокупность взаимосвязанных объектов. Под связью будем понимать физическую среду, посредством которой осуществляется обмен продуктами взаимодействия (продуктами взрыва, поражающими элементами). Все боеприпасы в системе имеют одинаковый на-

чальный потенциал и равномерно распределены по площади объекта хранения.

Пусть система боеприпасов является пуассоновской системой с дискретными состояниями и непрерывным временем. В пуассоновской системе, которую можно представить марковской цепью, переходы из состояния осуществляются простейшими пуассоновскими потоками событий. Размеченный граф состояний имеет вид, представленный на рис. 2.

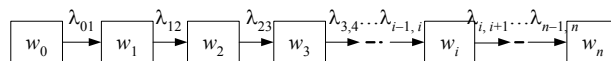


Рис. 2. Граф состояний системы боеприпасов

Процесс изменения состояний системы массового обслуживания можно описать линейной системой дифференциальных уравнений с начальными условиями:

$$\begin{aligned} t = 0, \quad P_0(0) = 1, \quad P_1(0) = 0, \quad P_2(0) = 0, \quad P_n(0) = 0; \\ \frac{dP_0}{dt} = -\lambda_{01} P_0; \\ \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{01} P_0 - \lambda_{12} P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12} P_1 - \lambda_{23} P_2; \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23} P_2 - \lambda_{34} P_3; \\ \frac{dP_i}{dt} = \lambda_{i-1,i} P_{i-1} - \lambda_{i,i+1} P_{i+1}; \\ \frac{dP_n}{dt} = \lambda_{n-1} P_n. \end{aligned} \quad (4)$$

При этом $\lambda_{i,i+1} = f(\lambda_{i,j})$. Коэффициенты уравнений системы (4) зависят от плотности потока инициирования и среднего времени инициирования τ_{cp} . Решением системы дифференциальных уравнений являются зависимости вероятностей состояний во времени $p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t)$ в интересующем интервале времени $0 < t_1 < t_{max}$.

В любой момент времени система боеприпасов может оказаться в одном из нижеуказанных состояний пространства $\Omega_j(y)$:

w_0 – точка с координатами $(0, \dots, 0)$ соответствует состоянию отсутствия воздействия на боеприпасы;

w_1 – точка с координатами $(\tau_1, \dots, 0)$ соответствует состоянию процесса инициирования группы боеприпасов с одним активным боеприпасом $\tau_1 = \tau_{cp}$

в промежутке $0 < \tau_1 < \tau_{max}$, где τ_{cp} – среднее время инициирования боеприпаса; τ_{max} – максимальное время инициирования группы боеприпасов;

w_2 – точка с координатами $(\tau_1, \tau_2, \dots, 0)$ соответствует состоянию процесса инициирования группы боеприпасов с двумя активными боеприпасами.

w_n – точка с координатами $(\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n)$ соответствует состоянию, когда активными являются n боеприпасов.

Каждому состоянию системы боеприпасов можно поставить в соответствие вероятность пребывания системы в этом состоянии:

$p_0(t) = p(w_0, t)$ – вероятность состояния w_0 в момент времени t ;

$p_1(t) = p(w_1, t)$ – вероятность состояния w_1 в момент времени t ;

$p_n(t) = p(w_n, t)$ – вероятность состояния w_n в момент времени t .

Основными параметрами системы боеприпасов в процессе инициирования являются: входные воздействия поражающих факторов с интенсивностью λ_i (интенсивность входного потока поражающих элементов), выходные воздействия с интенсивностью μ_i , факторы, влияющие на процесс инициирования и порядок инициирования боеприпасов. Переход системы боеприпасов из одного состояния в другое есть событие случайное и осуществляется под воздействием поражающих факторов с интенсивностью λ_i . Время возникновения входных воздействий обусловлено временем реакции каждого элемента системы (боеприпаса) на воздействие поражающих факторов. Потоки воздействий неизбежно имеют сгущения или разрежения, и не носят закономерного характера. Функция распределения времени реакции системы боеприпасов может быть представлена в виде [2]

$$B(t) = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} (1 - e^{-\lambda_i t}), \quad (5)$$

где $\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ – суммарный входной поток поражающих воздействий.

Вероятность возникновения взрывного процесса на объекте хранения боеприпасов i -го объекта определим выражением

$$p_i(x_1, x_2, x_3) = p_{1i}(x_1) + p_{2i}(x_2) + p_{3i}(x_3) - p_{12i}(x_1 x_2) - p_{13i}(x_1 x_3) - p_{23i}(x_2 x_3) + p_{123i}(x_1 x_2 x_3), \quad (6)$$

где $p_{1i}(x_1), p_{2i}(x_2), p_{3i}(x_3)$ – вероятности взрыва группы боеприпасов от осколочного, ударного и теплового воздействия; $p_{12i}(x_1 x_2), p_{13i}(x_1 x_3), p_{23i}(x_2 x_3)$ – вероятности взрыва группы боеприпасов от действий комбинации двух поражающих факторов; $p_{123i}(x_1 x_2 x_3)$ – вероятности взрыва группы боеприпасов от действий комбинации трех поражающих факторов.

Значения вероятностей угрозы взрыва от действия различных факторов определяются путем статистического анализа причин, которые вызывают инициирование боеприпасов на объектах хранения. Другой способ определения выявления влияния взрывоопасных факторов на вероятность угрозы взрыва связан с моделированием процессов возникновения и развития инициирования боеприпасов.

Моделирование возможно с помощью так называемых диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево происшествия» и «дерево событий» – возможных разрушительных исходов взрыва группы боеприпасов. Целью такого моделирования будем считать выявление закономерностей возникновения инициирования в группе боеприпасов. Данная модель должна состоять из одного, головного, события – собственно инициирования группы боеприпасов и предпосылок их инициирования. В структуру этого дерева включаются все те логически условные и безусловные связи между предпосылками, соблюдение которых необходимо и достаточно для возникновения конкретного разрушительного выброса энергии. В такой аналитической модели, помимо событий и связей между элементами, в качестве исходных данных также используются параметры, характеризующие вероятность или частоту исходных предпосылок на конкретном интервале времени, а также возможные исходы инициирования группы боеприпасов [2, 3]. Процесс моделирования разобьем на два этапа.

Первый этап *аналитический*.

Рассмотрим систему боеприпасов, находящихся на хранении, как площадной объект прямоугольной формы длиной L и шириной H и разобьем всю площадь условно на зоны поражения 1, 2, 3, ... n (рис. 3).

Предположим, что боеприпас N_{i2} инициирован под воздействием внешних факторов и является активным. Осколочные элементы с учетом эффекта экранирования воздействуют только на боеприпасы, находящиеся в зоне «видимости», вызывая, в свою очередь, их инициирование.

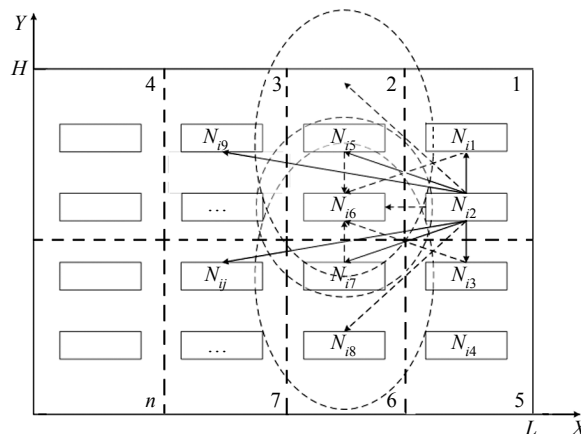


Рис. 3. Идеальная схема инициирования боеприпасов в условиях группового хранения

Вероятность инициирования зависит от ряда факторов и является их функцией:

$$P_{ин} = f(R, \alpha, m, V_{оск}, K_{\phi}, N),$$

где R – расстояние между боеприпасами; $V_{оск}$ – скорость поражающих элементов; α – угол подхода осколка к поверхности боеприпаса; m – масса осколка; N – количество осколков; K_{ϕ} – коэффициент формы осколка.

Рассмотрим характер инициирования боеприпаса N_{i6} при начальных условиях $R = 2$ м, $V_{оск} = 1100$ м/с. Можно говорить о нескольких возможных исходах этого события – от одностороннего инициирования до инициирования с определенной разновременностью.

Самым очевидным исходом инициирования является $N_{i2} - N_{i6}$, но это маловероятно из-за воздействия на торец боеприпаса. Остальные исходы обусловлены цепочными реакциями: $N_{i2} - N_{i3} - N_{i6}$, $N_{i2} - N_{i7} - N_{i6}$, $N_{i2} - N_{i1} - N_{i6}$, $N_{i2} - N_{i5} - N_{i6}$. Кроме того мы имеем воздействие и на боеприпасы N_{i9} , N_{ij} . Анализируя исходы инициирующих воздействий и опираясь на результаты известных расчетов по поражению штатных образцов боеприпасов в зависимости от угла подхода поражающих элементов и их скорости, определим общую картину взрыва. В качестве поражающего элемента рассмотрим осколки корпуса боеприпаса площадью 3 см^2 и скоростью 1000 м/с. Угол подхода к составным частям изменялся от 0 до

360° . Вероятность поражения зависит как от энерговооруженности осколка, так и от угла подхода ПЭ к поверхности составной части, а также взаимной экранировкой последних друг другом [2, 4]. В этих условиях боеприпасы N_{i1} и N_{i3} инициируют с вероятностью $0,8-0,98$. Инициирование боеприпасов N_{i5} и N_{i7} зависит от их расположения относительно N_{i2} , при подходе осколков со стороны головной части вероятность инициирования практически равна 0 , со стороны хвостовой части вероятность колеблется в пределах от $0,25$ до $0,65$. Вероятность инициирования N_{i9} , N_{ij} чрезвычайно мала из-за малого угла подхода осколочных элементов к корпусу боеприпаса $\alpha < 25^\circ$.

Временная диаграмма последовательности инициирования представлена на рис. 4. Инициирование боеприпасов зоны «прямой видимости» при заданных условиях хранения происходит во временном интервале от $0,0018$ до $0,0053$ с без учета времени реакции боеприпаса.

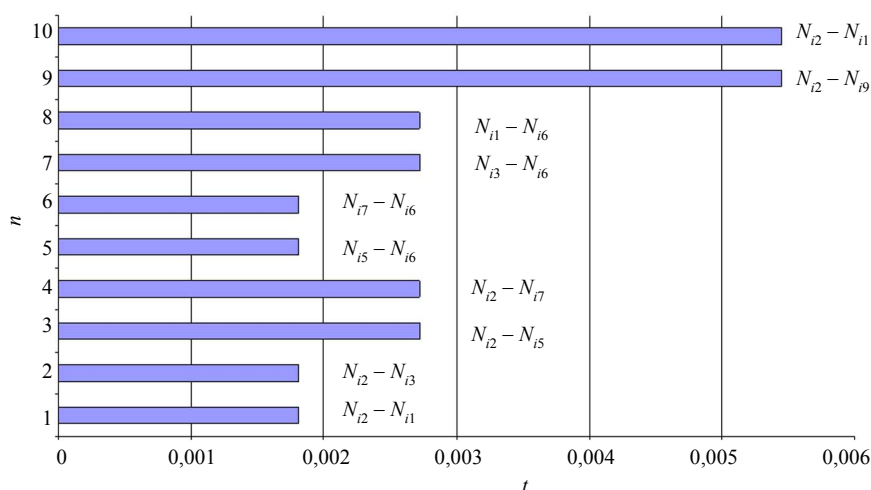


Рис. 4. Временная диаграмма последовательности инициирования

В идеальном случае разновременность инициирования боеприпаса N_{i6} будет равна 0 . Реально очевидно влияние вышеуказанных факторов: массы и скорости осколков, угла рикошета, коэффициента формы осколка и (незначительного) смещения боеприпаса под воздействием воздушной ударной волны. Учитывая это, при прогнозировании скорости разлета поражающих элементов боеприпаса N_{i6} целесообразно рассмотреть предельные случаи инициирования со стороны боеприпасов N_{i1} , N_{i5} , N_{i3} , N_{i7} при инициировании с разновременностью -1 и 0 . Таким образом, мы имеем три варианта осколочного поля боеприпаса N_{i6} .

В каждом из них нам известны скорость и направление разлета поражающих элементов, угол подхода осколков к другим боеприпасам, находящимся на хранении, кроме того, можем оценить и временную последовательность инициирования для конкретного типа боеприпасов, что также необходимо для прогноза общей ситуации при взрыве в хранилище.

Второй этап *расчетно-экспериментальный*.

Формируется семантическая модель в форме дерева происшествия, обычно включающая головное событие, которое соединяется при помощи конкретных логических условий с промежуточными и исходными предпосылками, обусловившими в совокупности его появление. Головное событие «дерева» представляет собой инициирование группы боеприпасов, а его «ветвями» служат наборы соответствующих предпосылок – их причинные цепи. «Листья» дерева происшествия – исходные события-предпосылки.

Для облегчения построения рассматриваемой модели предлагается способ формализации данной процедуры, основанный на использовании энергоэнтропийной концепции. Данный способ базируется на двух утверждениях [4]:

1) происшествия с боеприпасами всегда связаны с нежелательным высвобождением и распространением потоков энергии или вещества на различные объекты, оказавшиеся под их влиянием;

2) любое происшествие с боеприпасами является одновременно и результатом разрушительного выброса накопленной энергии, и следствием цепи соответствующих предпосылок.

При иницировании группы боеприпасов функции, увязывающие с помощью алгебры событий моделируемое головное событие с его промежуточными и исходными предпосылками, при использовании вероятности в качестве объективной количественной меры появления чрезвычайного происшествия имеют вид:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_{12} \vee P_{13} \vee P_{14} \vee P_{15} \vee P_{16} \vee P_{17} \vee P_{1n}; \\
 P_2 &= P_{21} \vee P_{23} \vee P_{24} \vee P_{25} \vee P_{26} \vee P_{27} \vee P_{2n}; \\
 P_3 &= P_{31} \vee P_{32} \vee P_{34} \vee P_{35} \vee P_{36} \vee P_{37} \vee P_{3n}; \\
 P_4 &= P_{41} \vee P_{42} \vee P_{43} \vee P_{45} \vee P_{46} \vee P_{47} \vee P_{4n}; \quad (7) \\
 P_5 &= P_{51} \vee P_{52} \vee P_{53} \vee P_{54} \vee P_{56} \vee P_{57} \vee P_{5n}; \\
 P_6 &= P_{61} \vee P_{62} \vee P_{63} \vee P_{64} \vee P_{65} \vee P_{67} \vee P_{6n}; \\
 P_7 &= P_{71} \vee P_{72} \vee P_{73} \vee P_{74} \vee P_{75} \vee P_{76} \vee P_{7n}.
 \end{aligned}$$

Вероятности исходного иницирования боеприпасов в вышеуказанных зонах поражения определены экспериментально и приведены в таблице.

При нахождении активного боеприпаса в первом секторе 2-й, 5-й и 6-й сектора иницируются с веро-

ятностями 0,42, 0,93 и 0,75 соответственно. Вероятность иницирования всей группы боеприпасов в этом случае будет равна 0,989. Аналогично и по другим секторам.

Вероятности исходного иницирования боеприпасов в условиях группового хранения

№ пассивного сектора	Сектор с активным боеприпасом						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,42	0	0	0,93	0,75	0
2	0,42	1	0,42	0	0,75	0,93	0,75
3	0	0,42	1	0,42	0	0,75	0,93
4	0	0	0,42	1	0	0	0,75
5	0,93	0,75	0	0	1	0,42	0
6	0,75	0,93	0,75	0	0,42	1	0,42
7	0	0,75	0,93	0,75	0	0,42	1
n	0	0	0,75	0,93	0	0	0,42

На рис. 5 представлено дерево событий-исходов процесса иницирования группы боеприпасов.

Результаты расчетов показывают, что независимо от того, в каком секторе находится активный боеприпас, вероятность иницирования всей группы без использования дополнительных мер близка к единице.

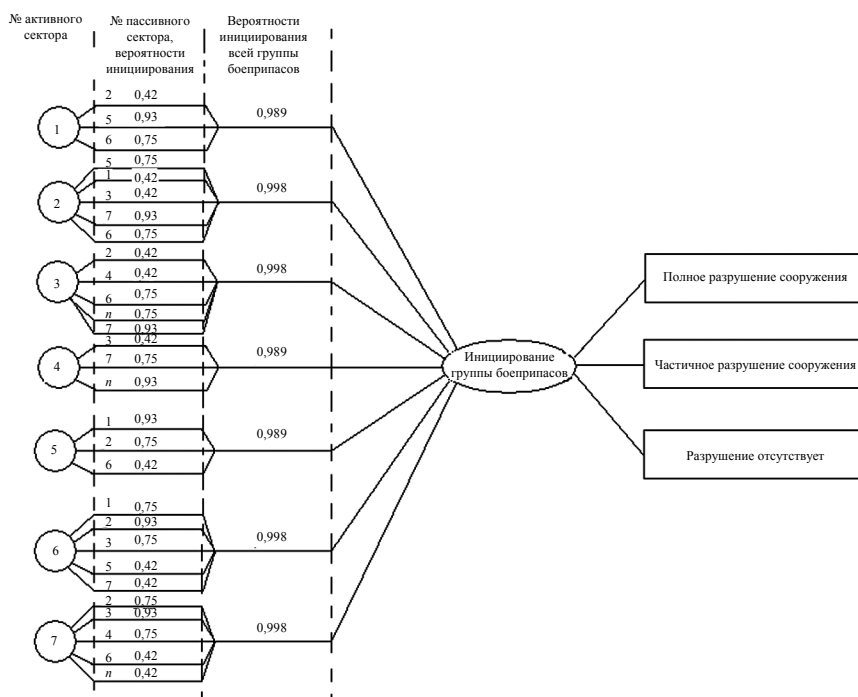


Рис. 5. Дерево событий-исходов

Таким образом, мы проанализировали процесс изменения состояния системы боеприпасов во времени при воздействии поражающих факторов и определили общий порядок моделирования протекания процесса иницирования на объектах хранения. Это позволяет

анализировать характер аварийных воздействий, прогнозировать поведение системы боеприпасов в условиях иницирования, подтверждать расчетно-экспериментальными и аналитическими методами заданный уровень безопасности боеприпасов.

Библиографические ссылки

1. Белов П. Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. – М., 1999. – 105 с.
2. Cubota N. Rockets propellants and explosives. – Tokyo : Nikkau Kodyo Press, 2001. – 250 p.

3. Севрюков И. Т., Козлов В. В. Принципы сопоставления, выбора и совместимости поражающих факторов многофакторного поля поражения // Оборонная техника. – 2009. – № 7. – С. 41–45.
4. Жуков Б. П. Энергетические конденсированные системы : Краткий энциклопедический словарь. – М. : Янус-К, 1999. – 596 с.

I. T. Sevryukov, DSc in Engineering, Professor, All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defence and Emergencies, Perm
V. V. Ilyin, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry for Internal Affairs of Russian Federation
V. V. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry for Internal Affairs of Russian Federation

Assessing the Possibility of Emergency Situations When Storing the Distributed Groups of Ammunition

The paper considers the time variation of the ammunition system state when affected by hitting factors and in simulation of initiation process on storage objects. Models were analyzed on the basis of Markov processes and diagrams of the cause-and-effect relation in order to reveal the law of initiation occurrence under specific conditions. Quantitative values were determined for ammunition initiation probabilities under specific storage conditions.

Key words: storage safety, simulation, process of initiation, storage of live ammunitions, emergency situations.

УДК 622.61

В. В. Ильин, кандидат технических наук, доцент, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ
И. Т. Севрюков, доктор технических наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, Пермь
В. В. Козлов, доктор технических наук, профессор, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ
В. И. Ладанов, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ХРАНЕНИЯ
РАССРЕДОТОЧЕННОЙ ГРУППЫ БОЕПРИПАСОВ

Рассматривается задача управления безопасностью хранения боеприпасов, заключающаяся в своевременном выявлении опасностей и причин их инициирования, осуществлении управленческих решений, направленных на устранение и предотвращение дальнейшего развития аварийной ситуации в условиях неопределенности. Анализируются модели процесса управления причинами возникновения инициаций боеприпасов и локализации распространения аварии.

Ключевые слова: безопасность хранения, моделирование, процесс инициирования, хранение боеприпасов, чрезвычайные ситуации.

Задача управления безопасностью хранения рассредоточенной группы боеприпасов (РГБ) может решаться путем анализа всех возможных аварийных ситуаций и сценариев их развития. В соответствии с этим управление безопасностью РГБ заключается в реализации следующих основных стадий управления: управление по недопущению инициирующих воздействий на боеприпас, управление по ликвидации причин воздействия на боеприпасы, управляющие решения по предотвращению развития инициирования j -го боеприпаса в аварийную ситуацию, предотвращение цепного процесса развития аварийной ситуации [1].

Функцию, включающую всевозможные причины инициирования боеприпасов, запишем как [2]

$$P'_{r_5} = f(P'_{r_1}, P'_{r_3}, P'_{r_5}, P'_{r_g}),$$

$$r_2 = (\overline{1, T_1}) \cap (\overline{1, T_3}) \cap (\overline{1, T_5}) \cap (\overline{1, M}), \quad (1)$$

где P'_{r_1} – вероятность инициирования боеприпаса из-за отказа технологического оборудования, используемого при хранении ($r_1 = \overline{1, T_1}$, T_1 – количество возможных вариантов инициирования боеприпаса из-за отказа технологического оборудования);

P'_{r_3} – вероятность инициирования боеприпаса из-за нарушения режима эксплуатации ($r_3 = \overline{1, T_3}$, T_3 – количество возможных вариантов инициирования боеприпаса из-за нарушения режима эксплуатации);

P'_{r_5} – вероятность инициирования боеприпаса из-за воздействия поражающих факторов, ($r_5 = \overline{1, T_5}$, T_5 – количество возможных вариантов инициирования боеприпаса из-за воздействия поражающих факторов);

P'_{r_g} – вероятность инициирования боеприпаса из-за g -го воздействия, приводящее к r -й аварийной ситуации ($r_g = \overline{1, M}$, M – количество возможных