

## 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.

**З**адача 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

вариантов инициирования из-за  $g$ -го воздействия на боеприпас).

Введем понятие потока инициирующих воздействий на боеприпас, под которым будем понимать последовательность инициирующих воздействий, происходящих одно за другим в случайные моменты времени. Показательной характеристикой определим ведущую функцию потока воздействий на боеприпас (необязательно приводящих к инициированию)  $\Lambda(\tau)$ :

$$\Lambda(\tau) = M[N(\tau)], \quad (2)$$

$[N(\tau)]$  – случайное число воздействий на боеприпас за время  $\tau$ .

Обозначим через  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  отображения, ставящие в соответствие показателю потока воздействий на боеприпас ( $\Lambda(\tau)$ ) вероятности инициирования ( $P'_{r_j}$ ) через функцию причины инициирования ( $Q(\tau)_{r_j}$ ):

$$\psi_1 : \Lambda(\tau)'_{r_1} \rightarrow Q(\tau)'_{r_1} \rightarrow \overline{P}'_{r_1}, \quad r_1 = \overline{1, T_1};$$

$$\psi_2 : \Lambda(\tau)'_{r_3} \rightarrow Q(\tau)'_{r_3} \rightarrow \overline{P}'_{r_3}, \quad r_3 = \overline{1, T_3};$$

$$\psi_3 : \Lambda(\tau)'_{r_5} \rightarrow Q(\tau)'_{r_5} \rightarrow \overline{P}'_{r_5}, \quad r_5 = \overline{1, T_5}.$$

Данные соотношения характеризуют связь ведущей функции с вектором вероятности инициирования.

Перейдем от количественных значений параметров инициирования боеприпасов и ВВ ( $X'$ ) к их математическим ожиданиям, характеризующим воздействие на боеприпас  $s$ -го поражающего фактора за время  $\tau$ :

$$\psi_4 : X' \rightarrow M[N'_s(\tau)], \quad s = \overline{1, N},$$

где  $N'_s(\tau)$  – случайное значение параметра  $s$ -го поражающего фактора за время  $\tau$ .

Установим связь между показателем потока воздействий на боеприпас ( $\Lambda(\tau)$ ), случайными значениями поражающих факторов ( $N'_s(\tau)$ ) и вектором вероятности инициирования ( $\overline{P}'_{r_j}$ ):

$$\psi_5 : \Lambda(\tau)'_{r_1} \rightarrow \overline{N}'_{s_1}(\tau) \rightarrow \overline{P}'_{r_1}, \quad s_1 = \overline{1, N_1}; \quad r_1 = \overline{1, T_1};$$

$$\psi_6 : \Lambda(\tau)'_{r_3} \rightarrow \overline{N}'_{s_3}(\tau) \rightarrow \overline{P}'_{r_3}, \quad s_3 = \overline{1, N_3}; \quad r_3 = \overline{1, T_3};$$

$$\psi_7 : \Lambda(\tau)'_{r_5} \rightarrow \overline{N}'_{s_5}(\tau) \rightarrow \overline{P}'_{r_5}, \quad s_5 = \overline{1, N_5}; \quad r_5 = \overline{1, T_5}.$$

Вероятности возникновения и развития аварийных ситуаций при хранении РГЗ зависят не только от вероятностей возникновения неблагоприятных событий, но и от управляющих решений, направленных на предотвращение развития аварии. Так, вероятность возникновения  $k$ -го факта инициирования при-

водящего к  $j$ -й аварийной ситуации зависит от инициирующих воздействий и управляющих решений, направленных на предотвращение развития аварийной ситуации [2]:

$$P'_{jk} = f(\overline{P}'_{r_1}, \overline{P}'_{r_3}, \overline{P}'_{r_5}, \overline{u}'_o), \quad r_1 = \overline{1, T_1}, \quad r_3 = \overline{1, T_3},$$

$$r_5 = \overline{1, T_5}, \quad o = \overline{1, O'}, \quad (3)$$

$$O' = (\overline{1, T_1}) \cup (\overline{1, T_3}) \cup (\overline{1, T_5}),$$

$\overline{u}'_o = [\overline{u}'_{t_o}, \overline{u}'_{r_o}, \overline{u}'_{w_o}]$  – вектор управляющих воздействий, включающий:

– управляющие решения ( $\overline{u}'_{t_o}$ ,  $t_o = \overline{1, T^{to}}$ ), направленные на предотвращение  $o$ -го инициирования, вызванного отказом технологического оборудования, где  $T^{to}$  – общее количество управляющих решений, направленных на предотвращение  $o$ -го инициирования вызванного отказом технологического оборудования;

– управляющие решения ( $\overline{u}'_{r_o}$ ,  $r_o = \overline{1, R^{pp}}$ ), направленные на предотвращение  $o$ -го инициирования, вызванного нарушением режима эксплуатации боеприпасов, где  $R^{pp}$  – общее количество управляющих решений, направленных на предотвращение  $o$ -го инициирования, вызванного нарушением режима эксплуатации боеприпасов;

– управляющие решения ( $\overline{u}'_{w_o}$ ,  $w_o = \overline{1, T^{mf}}$ ), направленные на предотвращение  $o$ -го инициирования, вызванного воздействием поражающих факторов взрыва, где  $T^{mf}$  – общее количество управляющих решений, направленных на предотвращение  $o$ -го инициирования, вызванного воздействием поражающих факторов взрыва.

Модель процесса управления причинами возникновения инициирования боеприпасов представим в виде вектор-функции  $V$  от параметров состояния системы управления безопасностью в момент внешнего воздействия:

$$V(\overline{u}'_{t_o}, \overline{u}'_{r_o}, \overline{u}'_{w_o}, \overline{d}', \overline{v}'_s, \overline{E}'_{j_o}) = 0, \quad t_o = \overline{1, T^{to}}, \quad w_o = \overline{1, T^{mf}},$$

$$r_o = \overline{1, R^{pp}}, \quad o = \overline{1, O'}, \quad s = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где  $\overline{d}'$  – вектор множества компонентов системы рассредоточенной группы зарядов, на которые осуществляется воздействие;  $\overline{v}'_s$  – вектор множества инициирующих воздействий на РГБ;  $\overline{E}'_{j_o}$  – вектор неопределенных параметров внешних воздействий.

Вероятность возникновения  $j$ -й аварийной ситуации в  $z$ -й РГБ определяется [2] как

$$P^z_j = f(\overline{P}^z_{j_o}, \overline{u}^z_{j_o}), \quad j = \overline{1, M^z}, \quad o = \overline{1, O^z}, \quad (5)$$

где  $\overline{u}^z_{j_o}$  – вектор управляющих воздействий по ликвидации или локализации  $o$ -х причин инициирова-

ния, приводящих к  $j$ -й аварийной ситуации ( $j_0 = \overline{1, J}$ , где  $J$  – общее число управляющих решений по локализации  $j$ -й аварийной ситуации).

Модель процесса управления безопасностью при возникновении  $j$ -й аварийной ситуации представим в виде вектор-функции:

$$V(\overline{u_{j_0}^z}, \overline{d', v'_s}, \overline{E_{j_0}}) = 0, \quad j_0 = \overline{1, J}, \quad s = \overline{1, N}. \quad (6)$$

Зависимость вероятности инициирования от неопределенных факторов, от вероятностей возникновения и развития аварийных ситуации выразим в следующем виде:

$$\overline{P_{E_{j_0}}^z} = f\left(\overline{P_j^z}(\overline{P'_{r_1}}, \overline{P'_{r_3}}, \overline{P'_{r_5}}, \overline{u'_o})\overline{u_{j_0}^z}\right). \quad (7)$$

Очевидно, что в системе управления безопасностью РГБ риск  $k$ -го вида возникновения аварийной ситуации для  $z$ -й РГБ и ее развитие по  $q$ -му сценарию зависит:

- от значений вероятностей возникновения неопределенных инициирующих параметров ( $\overline{P_{E_{j_0}}^l}$ ) и соответствующих управляющих решений по ее предотвращению;

- вероятности возникновения  $i$ -го инициирующего фактора в  $j$ -й ситуации ( $\overline{F'_{ij}}$ );

- вероятности того, что  $i$ -й фактор возникший от  $j$ -й ситуации и развивающийся по  $q$ -му сценарию приведет к  $k$ -му виду риска ( $\overline{E_{qij}^k}$ );

- оперативных управляющих воздействий по недопущению развития  $j$ -й аварийной ситуации в  $z$ -й РГБ приводящей к  $i$ -му фактору риска ( $\overline{u_{ji}^z}$ );

- оперативных управляющих воздействий направленных на снижение риска и тяжести последствий аварии, развивающейся по  $q$ -му сценарию от  $j$ -го фактора риска ( $\overline{u_{jq}^z}$ ) [2]:

$$R_{jq}^{kz} = f(\overline{P_{E_{j_0}}^z}, \overline{F'_{ij}}, \overline{E_{qij}^k}, \overline{u_{ji}^z}, \overline{u_{jq}^z}), \quad j = \overline{1, M^z},$$

$$s = \overline{1, S}, \quad i = \overline{1, N}, \quad k = \overline{1, K}, \quad q = \overline{1, Q},$$

$$R_{jq}^{kz} = f(\overline{P_{E_{j_0}}^z}(\overline{P_j^z}(\overline{P'_{r_1}}, \overline{P'_{r_3}}, \overline{P'_{r_5}}, \overline{u'_o})\overline{u_{j_0}^z}))$$

$$\overline{F'_{ij}}, \overline{u_{ji}^z}, \overline{u_{jq}^z}, \quad ji = \overline{1, N^u}, \quad iq = \overline{1, Q^u},$$

где  $N^u$  – общее количество управляющих решений, направленных на локализацию факторов риска в результате возникновения и развития  $j$ -й аварийной ситуации;

$Q^u$  – количество управляющих решений направленных на предотвращение развития аварии по  $q$ -му сценарию от  $i$ -го фактора.

Очевидно, что минимизация  $k$ -го вида риска  $R_{jq}^{kz}$  в  $z$ -й РГБ достигается за счет правильного выбора вектора управляющих решений, направленных на снижение неопределенностей причин инициирования и их развитие в аварийные ситуации.

Вектор управляющих воздействий по предотвращению возникновения аварии  $z$ -й РГБ и ее дальнейшего развития можно записать следующим образом:

$$\overline{u^z} = (\overline{u'_o}, \overline{u_{j_0}^z}, \overline{u_{jq}^z}, \overline{u_{ji}^z}), \quad ji = \overline{1, N^u}, \quad iq = \overline{1, Q^u},$$

$$o = \overline{1, O^z}, \quad j_0 = \overline{1, J}. \quad (8)$$

Управляющие решения  $\overline{u'_o}, \overline{u_{j_0}^z}$  направлены на предотвращение аварийной ситуации. Управляющие решения  $\overline{u_{ji}^z}$  связаны с недопущением распространения аварийной ситуации и снижением тяжести ее последствий.

Модель процесса управления безопасностью по предотвращению развития аварийной ситуации в РГБ можно представить как

$$V(\overline{u_{ji}^z}, \overline{d', v'_s}, \overline{E_{qij}^k}, \overline{F_{nq}^k}, M) = 0, \quad j = \overline{1, J}, \quad s = \overline{1, N}, \quad (9)$$

где  $F_{nq}^k$  – последствия воздействия поражающих факторов аварийного взрыва боеприпасов и ВВ, приводящих к  $k$ -м видам ущербов (где  $n = \overline{1, N^l}$  количество поражающих факторов для  $q$ -го сценария развития аварии);

$M$  – масса хранимых боеприпасов.

Логико-графическая модель управления безопасностью РГБ в условиях неопределенности представлена на рисунке. Модель процесса управления безопасностью по локализации распространения аварии представляется в виде

$$V(\overline{u_{jq}^z}, \overline{F_{nq}^k}, M, n, q, k) = 0, \quad j = \overline{1, J},$$

$$s = \overline{1, N}, \quad n = \overline{1, N^l}. \quad (10)$$

Обобщенную модель процесса управления безопасностью запишем в виде [2]

$$V(\overline{u_i^z}, \overline{d', v'_s}, \overline{E_{qi}}, \overline{F_{ni}}) = 0, \quad j = \overline{1, J}, \quad s = \overline{1, N}, \quad (11)$$

где  $\overline{F_{ni}}$  – вектор  $n$ -х поражающих факторов и негативных воздействий на РГБ;  $\overline{E_{qi}}$  – вектор неопределенных параметров поражающих факторов.

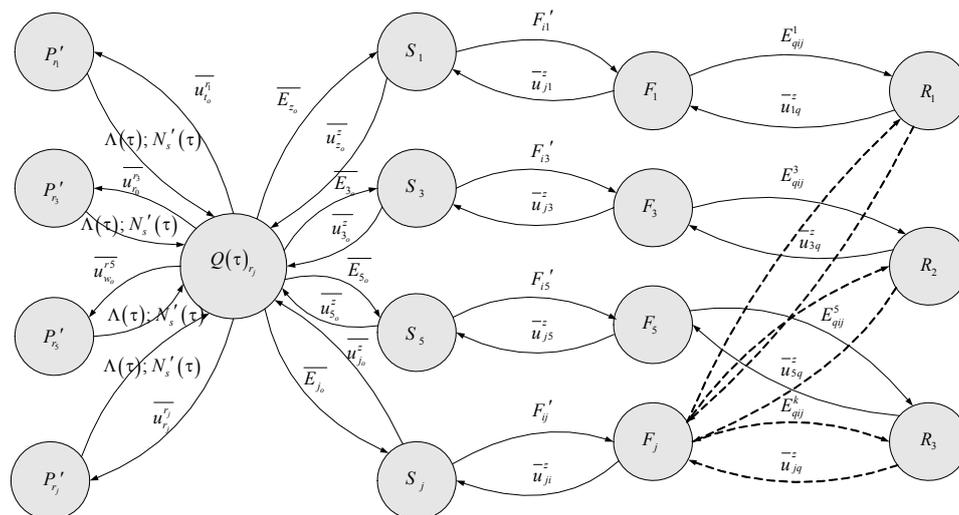
Общий вектор управляющих решений по управлению безопасностью хранения РГБ:

$$\overline{u^z} = \bigcup_{i=1}^z (u_i)^z, \quad \overline{u^z} \in U^z.$$

Ущерб  $k$ -го вида, возникающий в результате аварии от  $j$ -й ситуации по  $q$ -му сценарию, зависящий от состояния системы на момент возникновения аварии ( $\overline{d', v'_s}, \overline{E_q}$ ), от типа хранимых боеприпасов, вида поражающих факторов, представим в виде выражения [3]

$$Y_{jq}^{kz} = f(\overline{d', v'_s}, \overline{F_{nq}^k}, M, \overline{E_q}), \quad s = \overline{1, N},$$

$$k = \overline{1, K}, \quad q = \overline{1, Q}, \quad j = \overline{1, J}.$$



Логико-графическая модель управления безопасностью РГБ в условиях неопределенности

Задача управления безопасностью хранения РГБ связана с постоянным мониторингом состояния боеприпасов, прогнозированием возможных изменений условий хранения и характера внешних воздействий.

Формально задача управления безопасностью может быть сформулирована как задача минимизации ущербов  $k$ -го вида в результате взрыва боеприпаса (ВВ) в РГБ при обеспечении допустимого или приемлемого видов риска

$$u^z = \min \left[ Y_{jq}^{kz} (\overline{d}', \overline{v}'_s, F_{nq}^k, M, \overline{E}_q) \right] \in T, \quad (12)$$

где  $T$  – состояние системы боеприпасов при возникновении аварийной ситуации.

Минимизация ущерба от аварийной ситуации в общем случае достигается за счет принятия управленческих решений обеспечивающих:

- постоянный мониторинг состояния боеприпасов;
- уменьшение количества неопределенных параметров внешних воздействий;
- оптимизацию размещения хранимых боеприпасов;
- уменьшение масштабов воздействий поражающих факторов [4].

В целом оптимальное управление безопасностью РГБ подразумевает [2]: анализ опасных явлений РГБ и составление математической модели с последующим подтверждением адекватности аналитических выражений модели путем проведения вычислительного эксперимента, выявление критичных процессов в общей схеме развития аварийной ситуации, определение методов воздействия на систему РГБ с последующей проверкой эффективности влияния управления на развитие аварийной ситуации, собственно процесс управления должен базироваться на мониторинге состояния системы и прогнозировании развития аварийной ситуации.

#### Библиографические ссылки

1. Пампура В. И. Оптимальное управление безопасностью АЭС и вероятностный анализ риска // Доп. НАН Украины. – 2001. – № 5. – С. 185–191.
2. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Михайлова П. Г. Модели и методы решения задач оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических систем // Моделирование систем. – 2005. – № 6. – С. 50–54.
3. Белов П. Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. – М., 1999. – 105 с.
4. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 302 с.

V. V. Ilyin, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry for Internal Affairs of Russian Federation

I. T. Sevryukov, DSc in Engineering, Professor, All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defence and Emergencies, Perm

V. V. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry for Internal Affairs of Russian Federation

V. I. Ladanov, Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry for Internal Affairs of Russian Federation

#### Security Management of Distributed Ammunition Storage

The paper considers the problem of ammunition storage safety management consisting in timely identification of hazards and reasons for their initiation, implementation of management decisions aimed at eliminating and preventing the further development of emergency in the face of uncertainty. Models of controlling the causes of ammunition initiating and localizing the accident spread are analyzed.

**Key words:** safety, design, process of initiation, storage of ammunitions, emergency situations.