

УДК 355/359

doi: 10.53816/23061456_2025_1-2_47

**МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ
ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БОЕВОГО ОХРАНЕНИЯ АВТОКОЛОННЫ ПРИ
НАПАДЕНИИ ДИВЕРСИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОЙ ГРУППЫ**

**A MODEL FOR DETERMINING THE OPTIMAL COUNTERACTION TIME OF
THE CONVOY'S COMBAT GUARD DURING AN ATTACK BY A SABOTAGE
AND RECONNAISSANCE GROUP**

Д-р техн. наук С.Н. Курков¹, д-р техн. наук Д.С. Курков², Д.В. Моргунов³

D.Sc. S.N. Kurkov, D.Sc. D.S. Kurkov, D.V. Morgunov

¹*Пензенский артиллерийский инженерный институт (филиал) ВА МТО,*

²*Военный учебный центр «Пензенский государственный университет»,*

³*Вольский военный институт материального обеспечения (филиал) ВА МТО*

Получена зависимость, позволяющая определить оптимальное время противодействия боевого охранения (БО) автоколонны при нападении диверсионно-разведывательной группы (ДРГ). Время противодействия зависит как от характеристик поражающего действия и функционирования вооружения БО, так и от обобщенной характеристики противодействия ДРГ (надежности подавления БО противником — π). Задавая конкретное значение уровня надежности подавления, можно рассчитать допустимое время стрельбы БО. Величина π может определяться как с использованием соотношений теории боевой эффективности, так и на основе обработки статистических данных опыта войны и опроса экспертов. Данная зависимость может быть применена для обоснования тактики сопровождения средств материально-технического обеспечения в районе ведения боевых действий, а также для определения рациональных тактико-технических характеристик вооружения.

Ключевые слова: автоколонна, боевое охранение, диверсионно-разведывательная группа (ДРГ), математическое ожидание (МОЖ), среднее квадратическое отклонение.

A dependence has been obtained that makes it possible to determine the optimal time to counter the convoy's combat guard (CG) during an attack by a sabotage and reconnaissance group (SRG). The counteraction time depends both on the characteristics of the damaging effect and the functioning of the CG weapons, and on the generalized characteristic of the DRG counteraction (the readiness of the CG suppression by the enemy — π). By setting a specific value for the level of suppression reliability, it is possible to calculate the permissible firing time of the CG. The value of π can be determined both using the relations of the theory of combat effectiveness, and based on the processing of statistical data from the experience of war and a survey of experts. This dependence can be used to justify the tactics of escorting logistics assets in the area of combat operations, as well as to determine the rational tactical and technical characteristics of weapons.

Keywords: convoy, combat guard, sabotage and reconnaissance group (SRG), mathematical expectation, standard deviation.

Ранее была разработана математическая модель определения вероятностей нахождения боевого охранения (БО) в состояниях противодействия с диверсионно-разведывательной группой (ДРГ) при ее нападении на автоколонну с материально-техническими средствами (МТС) на марше, опубликованная в [1], которая позволила получить аналитические выражения для расчета нахождения БО

в состояниях: S_1 — колонна с МТС и ее БО находятся в неразведанном состоянии, S_2 — колонна с МТС и ее БО разведаны противником, S_3 — нахождение колонны с МТС и ее БО под огнем противника, S_4 — колонна с МТС и ее БО подавлены на некоторое время, S_5 — колонна с МТО и ее БО боееспособны и осуществляют подготовку к выполнению задачи следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \left\{ 1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{25}} \left[1 + \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{34} + \lambda_{35}} \left(1 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{45}} \right) \right] + \frac{\lambda_{12} + \lambda_{15}}{\lambda_{51}} \right\}^{-1}; \\ P_2 &= \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{25}} P_1; P_3 = \frac{\lambda_{12} \lambda_{23}}{(\lambda_{23} + \lambda_{25})(\lambda_{34} + \lambda_{35})} P_1; \\ P_4 &= \frac{\lambda_{12} \lambda_{23} \lambda_{34}}{(\lambda_{23} + \lambda_{25})(\lambda_{34} + \lambda_{35}) \lambda_{45}} P_1; P_5 = \frac{\lambda_{12} + \lambda_{15}}{\lambda_{51}} P_1. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Наибольший интерес среди найденных вероятностей состояний представляет вероятность нахождения БО в подавленном состоянии P_4 как характеристика противодействия ДРГ [4, 7, 8].

Используя соотношения по определению плотности вероятности перехода БО из i -го в j -е состояние [2, 5]

$$\lambda_{ij} = \tilde{\lambda}_{ij} p_{ij},$$

где $\tilde{\lambda}_{ij}$ — интенсивность перехода БО из i -го в j -е состояние соответственно;

p_{ij} — вероятность перехода БО из i -го в j -е состояние соответственно.

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\lambda}_{12} &= \frac{1}{\bar{t}_p}; \tilde{\lambda}_{15}^* = \frac{1}{\bar{t}_c}; \tilde{\lambda}_{23}^* = \frac{1}{\bar{t}_p + \bar{t}_n}; \tilde{\lambda}_{25} = \frac{1}{\bar{t}_o}; \\ \tilde{\lambda}_{34} &= \frac{1}{\bar{t}}; \tilde{\lambda}_{35} = \frac{(\bar{t}_p + \bar{t}_c)(\bar{t}_n + \bar{t}_k)}{\bar{t}_c^3}; \tilde{\lambda}_{45} = \frac{1}{\bar{t}_o} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В формулах (2) черта над переменными означает математическое ожидание (МОЖ) соответствующих случайных величин (СВ):

$\bar{t}_p$ — МОЖ времени разведки БО ДРГ;

$\bar{t}_n$ — МОЖ времени подготовки БО к стрельбе;

$\bar{t}_c$ — МОЖ времени стрельбы БО;

$\bar{t}_o$ — МОЖ времени подавления БО (восстановления);

$\bar{t}^*$ — МОЖ времени нахождения БО под обстрелом ДРГ;

$\bar{t}_o$ — МОЖ времени огневого воздействия ДРГ, а также

$$\begin{aligned} p_{12} &= \text{Вер}(t_p < t_c) = \int_0^\infty f(t_c) F(t_p / t_c) dt_c = \\ &= \int_0^\infty \frac{1}{\bar{t}_c} e^{-\frac{t_p}{\bar{t}_c}} \left(1 - e^{-\frac{t_c}{\bar{t}_c}} \right) dt_c = \frac{\bar{t}_c}{\bar{t}_p + \bar{t}_c}; \end{aligned}$$

$$p_{15} = 1 - \text{Вер}(t_p \geq t_c) = 1 - p_{12} = \frac{\bar{t}_o}{\bar{t}_p + \bar{t}_c};$$

$$p_{23} = \text{Вер}(t_p + t_n < t_c) = \frac{\bar{t}_c^2}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)};$$

$$p_{25} = 1 - p_{23} = 1 - \frac{\bar{t}_c^2}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)};$$

$$p_{35} = \text{Вер}(t_o < t^*) = 1 - \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)};$$

$$p_{34} = 1 - p_{35} = \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)}.$$

и

$$P_{45} = P_{51} = 1.$$

После преобразований для величины P_4 будем иметь:

$$P_4 = \frac{\bar{\tau}_0 \bar{t}_c P_1}{A_1 A_2 A_3}, \quad (3)$$

где

$$P_1 = \left\{ 1 + \frac{\bar{t}_c^2 A}{\bar{t}_p (\bar{t}_c + \bar{t}_p) A_3} + \frac{(\bar{t}_c^2 + \bar{t}_p^2)(\bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож})}{\bar{t}_p \bar{t}_c (\bar{t}_c + \bar{t}_p)} \right\}^{-1};$$

$$A = 1 + \frac{\bar{t}_c^2 \bar{t}^*}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_p + \bar{t}_n) A_2} \times$$

$$\times \left[1 + \frac{\bar{\tau}_0 \bar{t}_c^3}{\bar{t}^* (\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)} \right];$$

$$A_1 = (\bar{t}_c + \bar{t}_p)^3 (\bar{t}_c + \bar{t}_n)^2 (\bar{t}_c + \bar{t}^*) (\bar{t}_p + \bar{t}_n) \bar{t}_p;$$

$$A_2 = \left[1 + \frac{\bar{t}^*}{\bar{t}^* + \bar{t}_c} - \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_c + \bar{t}^*)} \right];$$

$$A_3 = \left[1 + \frac{\bar{t}_c^3}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)(\bar{t}_p + \bar{t}_n)} - \frac{\bar{t}_c^2}{(\bar{t}_c + \bar{t}_p)(\bar{t}_c + \bar{t}_n)} \right].$$

Для дальнейшего анализа полученных величин сделаем допущения, что

$$\bar{t}_c + \bar{t}_p \cong \bar{t}_c; \quad \bar{t}_0 + \bar{t}_n \cong \bar{t}_c;$$

$$\bar{t}_c + \bar{t}^* \cong \bar{t}_c; \quad \bar{\tau}_0 + \bar{t}^* \cong \bar{\tau}_0.$$

Тогда после преобразования уравнения (3) выражение для вероятности нахождения БО в подавленном состоянии запишется в виде

$$P_4 = \frac{\bar{\tau}_0 \bar{t}_c}{\tau_2 + \bar{\tau}_0 \bar{t}_c}, \quad (4)$$

где

$$\tau_2 = (2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*.$$

Анализ зависимости (4) для различных частных случаев показывает, что она правильно отражает физический смысл рассматриваемого явления. В частности,

$$P_4 \rightarrow 0 \text{ при } \bar{t}_c \rightarrow 0, \text{ или } \bar{t}_p \rightarrow \infty,$$

$$\text{или } \bar{t}_n \rightarrow \infty, \text{ или } \bar{\tau}_0 \rightarrow 0;$$

$$P_4 \rightarrow 1 \text{ при } \bar{t}_c \rightarrow \infty, \text{ или } \bar{\tau}_0 \rightarrow \infty.$$

Полученная формула (4) может быть использована для определения оптимального времени ведения огня БО автоколонны при нападении ДРГ.

Если обозначить R — вероятность выполнения огневой задачи в процессе функционирования БО, то можно записать

$$R = (1 - P_4) P_{\text{пор}}, \quad (5)$$

где $(1 - P_4)$ — вероятность нахождения БО в неподавленном состоянии;

$P_{\text{пор}}$ — вероятность поражения ДРГ [3, 6];

$$P_{\text{пор}} = \frac{n\lambda \bar{t}_c}{\alpha + n\lambda \bar{t}_c}; \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{19E_x E_y}{S}; \quad (7)$$

n, λ — количество огневых средств в БО и их средняя скорострельность, соответственно;

$E_x = E_d, E_y = E_6$ — срединные ошибки подготовки по дальности и направлению, соответственно;

S — приведенная зона поражения.

Подставив в выражение (5) зависимости (4), (6), получим

$$R = \frac{\tau_2}{(\tau_2 + \bar{\tau}_0 \bar{t}_c)} \cdot \frac{n\lambda \bar{t}_c}{(\alpha + n\lambda \bar{t}_c)}.$$

Вычислив производную $\frac{dR}{d\bar{t}_c}$ и решив уравнение

$$\frac{dR}{d\bar{t}_c} = 0,$$

после преобразований и подстановки выражения (7) для величины α найдем

$$\bar{t}_{\text{с опт}} = \sqrt{\frac{19E_x E_y (2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*}{Sn\lambda \bar{\tau}_0}}. \quad (8)$$

По формуле (8) рассчитывается МОЖ времени стрельбы БО за цикл функционирования. Эта величина может использоваться и при проведении других исследований по обоснованию тактико-технических характеристик вооружения БО.

Легко убедиться, что формула (8) дает максимальное значение вероятности выполнения задачи: анализ величины $d^2 R / d\bar{t}_c^2$ показывает, что она отрицательна в точке $t - \bar{t}_{c \text{ опт}}$.

Оценку отклонений величины $\bar{t}_{c \text{ опт}}$ от ее МОЖ (8) можно произвести, используя выражение для среднеквадратического отклонения (СКО) σ функции не корреляционных случайных величин [3, 6]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)^2} \sigma_{x_i}^2, \quad (9)$$

где φ — функция случайных аргументов $x_1, x_2, \dots, x_n$, $\varphi = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$;
 σ_{x_i} — СКО случайного аргумента x_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Дифференцирование выражения (8) дает:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_p} &= B \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \left[\frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \right]^{-\frac{1}{2}} & \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_n} &= \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_{дв}} = \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}_{ож}} = \frac{1}{2} B \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \left[\frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \right]^{-\frac{1}{2}}; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}^*} &= \frac{1}{2} B \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \left[\frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o} \right]^{-\frac{1}{2}} \times \frac{(2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \bar{t}^*}{\bar{\tau}_o^2}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $B = \sqrt{\frac{19E_x E_y}{S n \lambda}}$.

Для СКО σ_{t_c} времени стрельбы, используя зависимости (9), (10) и учитывая, что при пока-

зательном законе распределения МОЖ и СКО совпадают, получим

$$\sigma_{t_c} = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}} \right)_{\bar{\tau}_p}^2 \bar{t}_p^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}} \right)_{\bar{t}_n}^2 \bar{t}_n^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}} \right)_{\bar{t}_{дв}}^2 \bar{t}_{дв}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}} \right)_{\bar{t}_{ож}}^2 \bar{t}_{ож}^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{\tau}_o} \right)_{\bar{\tau}_o}^2 \bar{\tau}_o^2}.$$

В выражение (8) входит отношение $\bar{t}^2 / \bar{\tau}_o$ времен пребывания БО в неподавленном и подавленном состояниях за время обстрела ДРГ.

Введем величину

$$\pi = \frac{\bar{\tau}_o}{\bar{\tau}_o + \bar{t}^*} = \frac{1}{1 + \beta}, \quad 0 \leq \pi \leq 1, \quad (11)$$

где $\beta = \frac{\bar{t}^*}{\bar{\tau}_o}$.

Поскольку сумма $\bar{\tau}_o + \bar{t}^*$ есть полное время огневого воздействия ДРГ по БО, зависящее от интенсивности обстрела, типа и количества привлекаемых средств, то величину π можно интерпретировать как вероятность нахождения БО в подавленном состоянии за время огневого воздействия ДРГ или надежность подавления БО огнем противника.

Решив уравнение (11) относительно величины β и подставив ее в формулу (8), окончательно получим

$$\bar{t}_{c \text{ опт}} = \sqrt{\frac{19E_x E_y}{S \lambda n} (2\bar{t}_p + \bar{t}_n + \bar{t}_{дв} + \bar{t}_{ож}) \frac{(1 - \pi)}{\pi}}. \quad (12)$$

Таким образом, оптимальное время стрельбы БО при нападении ДРГ на автоколонну, которое зависит как от характеристик поражающего действия и функционирования образцов вооружения БО, так и от обобщенной характеристики противодействия ДРГ (надежности подавления БО противником — π).

Задавая конкретное значение уровня надежности подавления, можно рассчитать допустимое время стрельбы БО.

Величина π может определяться как с использованием соотношений теории боевой эффективности, так и на основе обработки статистических данных опыта войны и опроса экспертов.

Предложенный подход остается справедливым и в случае иных законов распределения [8, 9],

составляющих времени цикла функционирования БО. Хотя возникающие при этом сложности не позволяют получать решение в аналитическом виде и приходится использовать ЭВМ, но качественные результаты остаются аналогичными.

Получено выражение (12) для определения оптимального времени стрельбы БО, которое может найти применение при обосновании тактики сопровождения средств материально-технического обеспечения в район ведения боевых действий и рациональных технических характеристик образцов вооружения.

Список источников

1. Курков С.Н., Искоркин Д.В., Моргунов Д.В. Модель определения вероятностей нахождения боевого охранения автоколонны в состояниях противодействия с диверсионно-разведывательной группой // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 11–12 (197–198). С. 92–98.

2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980. 208 с.

3. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. М.: Воениздат, 1971. 224 с.

4. Курков С.Н., Голованов О.А., Курков Д.С., Плющ А.А. Применение марковских случайных процессов в решении военно-технических задач: монография. Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. 400 с.

5. Курков Д.С., Тобольченко П.И. К вопросу совершенствования информационного обеспечения системы управления техническим состоянием, надежностью и безопасностью боеприпасов при хранении в мирное время // Вооружение и экономика: сб. науч. ст. XII Межведомственной НТК. М.: ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2019. С. 407–413.

6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. 383 с.

7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей: учеб. пособие. 5-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 440 с.

8. Логвин А.М., Мнацаканов Ю.Н., Паршин Ж.П. Теория вероятностей в применении к артиллерийской инженерной практике. Сборник задач. Ч. II.: Пенза: ВАИУ, 1986. 95 с.

9. Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. М.: ЛЕНАНД. 2019. 440 с.

References

1. Kurkov S.N., Iskorkin D.V., Morgunov D.V. A model for determining the probabilities of finding a convoy's combat guard in states of counteraction with a sabotage and reconnaissance group // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 11–12 (197–198). Pp. 92–98.

2. Wentzel E.S. Operations research. Tasks, principles, methodology. M.: Nauka, 1980. 208 p.

3. Fendrikov N.M., Yakovlev V.I. Methods of calculating the combat effectiveness of weapons. M.: Voenizdat, 1971. 224 p.

4. Kurkov S.N., Golovanov O.A., Kurkov D.S., Plyushch A.A. The use of Markov random processes in solving military-technical problems: monograph. Penza: Publishing House of PSU, 2018. 400 p.

5. Kurkov D.S., Tobolchenko P.I. On the issue of improving information support for the management system of the technical condition, reliability and safety of ammunition during storage in peacetime // Armament and Economics: collection of scientific articles of the XII Interdepartmental Scientific Committee. M.: FSBI «46 Central Research Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2019. Pp. 407–413.

6. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. Theory of random processes and its engineering applications. M.: Higher School, 2000. 383 p.

7. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. Problems and exercises in probability theory. Study guide. 5th ed. Moscow: Publishing center «Academy», 2004. 440 p.

8. Logvin A.M., Mnatsakanov Yu.N., Parshin J.P. Probability theory as applied to artillery engineering practice. Collection of tasks. Part II.: Penza: VAI, 1986. 95 p.

9. Sevostyanov B.A. Branching processes. M.: LENAND. 2019. 440 p.