

УДК 351.74



В. П. Городнов



В. А. Кириленко



А. В. Шевченко

МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ БОЄПРИПАСІВ, НЕОБХІДНИХ ПРИКОРДОННОМУ НАРЯДУ ДЛЯ ВЕДЕННЯ БОЮ З ДИВЕРСІЙНО-РОЗВІДУВАЛЬНОЮ ГРУПОЮ ДО МОМЕНТУ ПІДХОДУ ПІДКРІПЛЕННЯ

Для умов раптового бою наряду прикордонників з диверсійно-розвідувальною групою сформовано гіпотези про найбільш істотні властивості бою, знайдено аналітичний опис внутрішнього закону бою і марковські моделі, що дозволяють прогнозувати результати бою й оцінювати необхідну для прикордонників кількість боєприпасів. Наведено приклад розрахунків.

Ключові слова: модель, прикордонний наряд, терорист, бій, охорона державного кордону, боєприпаси.

Постановка проблеми. Охорона державного кордону (ДК) на ділянках відповідальності підрозділів Державної прикордонної служби України (ДПСУ), у тому числі вздовж лінії розмежування в зоні операції об'єднаних сил (ООС), виконується прикордонними нарядами.

Під час патрулювання кордону прикордонний наряд може раптово вступити у бій з диверсійно-розвідувальною групою (ДРГ) з одночасною доповіддю черговому в центр управління служби підрозділу для виклику підкріплення (резерву першої або другої черги).

Кількість боєприпасів у прикордонного наряду повинна бути достатньою для ведення бою до моменту підходу підкріплення. Однак час початку і тривалість бою, відстань від місця бою до пункту постійної дислокації підрозділу, склад ДРГ, інтенсивність витрати боєприпасів, втрати сторін у ході і в результаті бою заздалегідь не відомі – випадкові, що ускладнює оцінку оптимальної кількості боєприпасів у прикордонників.

Надлишок боєприпасів збільшує їх вагу, знижує маневреність і підвищує можливості бойових втрат прикордонників. Нестача боєприпасів знижує наявний час очікування підкріплення і шанси на успішне виконання завдання з охорони ДК прикордонним нарядом. Своєю чергою, одним із завдань матеріального забезпечення є оцінка кількості боєприпасів, необхідних нарядам

прикордонників у ході охорони ділянок відповідальності державного кордону.

У підсумку виникає одна з проблем матеріального забезпечення – оцінка оптимальної кількості боєприпасів, необхідних нарядам прикордонників у ході охорони ділянок відповідальності державного кордону з урахуванням можливості бою з ДРГ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1, 2] та в інших відомих публікаціях основна увага приділялася конкретним елементам побудови прикордонних операцій і боротьби з ДРГ. Так, у [1] розроблено методику планування прикордонних операцій з розподілом особового складу між елементами її оперативної побудови. У [2] виконано аналіз протидії диверсійно-розвідувальним групам з боку підрозділів ДПСУ в нових умовах.

Питання матеріального забезпечення в сучасних умовах розглядалися у [3, 4] та у деяких інших відомих публікаціях, проте, в основному, для Сухопутних військ. Зокрема, у [3] запропоновано показник для оцінювання своєчасності підвезення матеріальних засобів угрупованням Сухопутних військ. У [4] запропоновано підхід до оцінювання впливу рівнів забезпечення матеріальними засобами на кількість бездатного особового складу міжвидової тактичної групи.

Однак питання оцінювання кількості боєприпасів, необхідних прикордонному наряду для ведення бою з диверсійно-

розвідувальною групою до моменту підходу підкріплення, у зазначених та інших публікаціях не розглянуто.

Метою статті є побудова моделі для оцінювання кількості боєприпасів, необхідних прикордонному наряду в ході ведення бою з диверсійно-розвідувальною групою до моменту підходу підкріплення.

Виклад основного матеріалу. У разі зустрічі з диверсійно-розвідувальною групою прикордонний наряд у складі n_0 прикордонників займає вихідне положення у бойовому порядку з урахуванням захисних властивостей місцевості, повідомляє оперативну обстановку черговому в центр управління служби підрозділу, викликає підкріплення і вступає у бій з терористами ДРГ. Метою прикордонного наряду є недопущення порушення державного кордону шляхом захоплення у полон чи знищення або примусу терористів ДРГ відмовитися від порушення і відступити на їхню територію.

Бій з ДРГ може закінчитися з однієї з таких причин, як вихід терористів ДРГ із зони вогню прикордонників і повернення на свою територію, ураження або полон терористів, ураження прикордонників, вичерпання боєприпасів у однієї зі сторін, підхід підкріплення до прикордонного наряду, а також у результаті комбінації перерахованих подій.

Основним змістом бою є сукупність послідовних і одночасних вогневих контактів прикордонників з терористами. Кожен вогневий контакт прикордонника починається і закінчується у заздалегідь не відомий (випадковий) момент часу і має заздалегідь не відому (випадкову) тривалість.

Вогневі контакти мають високу швидкоплинність, жорстку протилежність і непередбачуваність результатів. Результат вогневого контакту можна передбачити лише з певною ймовірністю. Результатами кожного вогневого контакту можуть бути:

- 1) знищення терориста (з ймовірністю P_y);
- 2) незнищення терориста (з ймовірністю $1 - P_y$);
- 3) ураження прикордонника (з ймовірністю P^*);
- 4) неуразнення прикордонника (з ймовірністю $1 - P^*$);
- 5) комбінації результатів 1–4.

Гіпотези і припущення. Найбільш суттєві особливості вогневих контактів сформулюємо у вигляді таких гіпотез.

1. Кожен вогневий контакт може привести не тільки до знищення терориста, але й до ураження прикордонника, результат заздалегідь не передбачуваний (випадковий).

2. Терористи у ході вогневих контактів прагнуть вийти із зон вогню прикордонників, у таких зонах вогню не накопичуються як з причин безпеки, так і у зв'язку з обмеженим запасом боєкомплекту.

3. Бій розвивається у часі як випадковий процес. Початок, закінчення і тривалість кожного вогневого контакту заздалегідь не відомі. Тому інтервали між вогневими контактами випадкові і згідно з відомою теоремою А. Я. Хинчина [6] розподілені за законом, близьким до показникового.

Припущення. Рівень підготовки кожного прикордонника однаково достатній для виконання завдань охорони державного кордону. Терористи ДРГ також мають приблизно однаковий рівень підготовки, достатній для виконання поставлених завдань. Тому умови і ймовірність результатів вогневих контактів у ході бою не змінюються в часі. На першому етапі побудови моделі будемо вважати, що знищення терориста і (або) ураження прикордонника можливі у ході вогневого контакту (дуелі).

Формальні наслідки гіпотез. За результатами розробки моделі виникне необхідність оцінювання її адекватності реальним процесам бою. Тому попередньо розглянемо можливі формальні наслідки гіпотез 1-3. Для одного вогневого контакту прикордонника з терористом використаємо введені вище позначення для ймовірностей результатів вогневого контакту і знайдемо математичне сподівання [5] кількості знищених терористів $N_{y,1}$ та уражених $n_{п,1}$ прикордонників:

$$\begin{aligned} N_{y,1} &= 1 \cdot P_y + 0 \cdot (1 - P_y) = P_y; \\ n_{п,1} &= 1 \cdot P^* + 0 \cdot (1 - P^*) = P^*. \end{aligned} \quad (1)$$

Шукані величини збіглися з ймовірністю знищення терориста та ураження прикордонника відповідно. Для виявлення внутрішньої закономірності бою тимчасово припустимо можливість появи коридору, по якому не знищені терористи можуть просочуватися через кордон на територію держави, і можливість необмеженого боєкомплекту у прикордонників. Припустимо також, що до моменту часу бою t було

проведено в середньому $n_{ок}(t)$ вогневих контактів. Для зручності використаємо повні і спрощені позначення математичного сподівання кількості знищених терористів $M[N_y] = N_y(t)$ та уражених прикордонників $M[n_n] = n_n(t)$ і дістанемо:

$$M[N_y] = M\left[\sum_{i=1}^{n_{ок}} N_{y,i}\right] = \sum_{i=1}^{n_{ок}} M[N_{y,i}] = \sum_{i=1}^{n_{ок}} P_y = P_y \cdot n_{ок};$$

$$N_y(t) = P_y \cdot n_{ок}(t); \quad (2)$$

$$M[n_n] = M\left[\sum_{i=1}^{n_{ок}} n_{n,i}\right] = \sum_{i=1}^{n_{ок}} M[n_{n,i}] = \sum_{i=1}^{n_{ок}} P^* = P^* \cdot n_{ок};$$

$$n_n(t) = P^* \cdot n_{ок}(t). \quad (3)$$

Далі врахуємо обмежену кількість n_0 прикордонників у складі наряду й умову, згідно з якою у кожному вогневому контакті прикордонник може бути уражений вогнем терориста. Спрямуємо час бою до нескінченності. Тоді з часом усі n_0 прикордонники у складі наряду будуть уражені. У цей момент кількість вогневих контактів досягне свого граничного $n_{ок}$ значення:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} n_n(t) = n_0; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} n_{ок}(t) = n_{ок\infty}. \quad (4)$$

Підставимо (4) у (3) і знайдемо оцінку математичного сподівання граничної кількості вогневих контактів до моменту ураження всіх прикордонників наряду, а також для окремого прикордонника:

$$n_0 = P^* \cdot n_{ок\infty}; \quad \rightarrow n_{ок\infty} = \frac{n_0}{P^*}; \quad n_{ок\infty}(n_0=1) = \frac{1}{P^*}. \quad (5)$$

Можна переконатися у коректності фізичного змісту виразу (5). Так, якщо ймовірність ураження прикордонника в одному вогневому контакті дорівнюватиме одиниці, то кількість вогневих контактів збігатиметься з кількістю прикордонників у складі наряду. Підставивши (5) у (2), знайдемо граничне значення математичного сподівання кількості $N_{y\infty}$ знищених терористів до моменту ураження всіх прикордонників у складі прикордонного наряду:

$$N_{y\infty} = P_y \cdot n_{ок\infty} = n_0 \frac{P_y}{P^*}. \quad (6)$$

Маючи у своєму розпорядженні граничні значення кількості вогневих контактів і втрат сторін, перейдемо до їх відносних величин:

$$n_{ок}^*(t) = \frac{n_{ок}(t)}{n_{ок\infty}}; \quad (7)$$

$$N_y^*(t) = \frac{N_y(t)}{N_{y\infty}}; \quad (8)$$

$$n^*(t) = \frac{n_n(t)}{n_0}. \quad (9)$$

Розділимо ліву і праву частини рівності (3) на кількість прикордонників n_0 у складі наряду і врахуємо рівності (7) і (9), отримаємо:

$$\frac{n_n(t)}{n_0} = \frac{P^* \cdot n_{ок}(t)}{n_0} = \frac{n_{ок}(t)}{n_0 / P^*}; \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow n^*(t) = \frac{n_{ок}(t)}{n_{ок\infty}} = n_{ок}^*(t). \quad (10)$$

Помножимо чисельник і знаменник правої частини рівності (9) на ймовірність знищення терориста в результаті вогневого контакту, знайдемо:

$$n^*(t) = \frac{P_y \cdot n_{ок}(t)}{P_y \cdot n_{ок\infty}} = \frac{N_y(t)}{N_{y\infty}} = N_y^*(t). \quad (11)$$

Рівності (10) і (11) отримані на основі гіпотез 1-3 шляхом допустимих операцій з математичними сподіваннями [5] випадкових величин і дозволяють сформулювати нове істотне твердження про властивості цього процесу. Наслідком гіпотез 1-3 про найбільш суттєві особливості вогневих контактів прикордонників з терористами є рівність відносних значень математичних сподівань кількості вогневих контактів і втрат сторін на будь-який момент бою:

$$n^*(t) = N_y^*(t) = n_{ок}^*(t), \quad (12)$$

що є внутрішнім законом бою. При цьому абсолютні значення цих параметрів можуть мати різну величину залежно від умов бою.

Для крайніх значень часу t рівність (12) легко перевірити. Дійсно, на початку бою всі величини (7), (8), (9) у рівності (12) строго дорівнюють нулю. У момент ураження всіх прикордонників значення всіх цих величин стає рівним одиниці. Якщо у розробленій далі моделі під час перевірки її адекватності буде виявлено рівність відносних втрат сторін (12), то таку модель можливо вважати адекватною реальному бою з точністю гіпотез 1-3 про його найбільш істотні властивості. В іншому випадку адекватність моделі стає не очевидною і її застосування – не доцільним.

Найпростіша модель бою окремого прикордонника з терористами ДРГ. Перерахуємо можливі стани S_{ij} прикордонника у ході бою, істотні для цілей його дій, тобто такі, які відрізняються можливістю відкриття вогню по “черговому” терористові. Перший

індекс i використаємо для позначення кількості уражених прикордонників у цьому стані, другий індекс j – для позначення кількості терористів, обстрілюваних у цьому стані:

S_{00} – прикордонник не уражений, вільний;

S_{01} – прикордонник не уражений, обстрілює одного терориста;

S_{10} – прикордонник уражений, терористів не обстрілює.

Отримаємо граф найпростішої моделі бою окремого прикордонника (рис. 1), де перехід зі стану S_{00} у стан S_{01} можливий у разі виявлення “чергового” терориста і характеризується інтенсивністю (частотою) вогневих контактів (I).

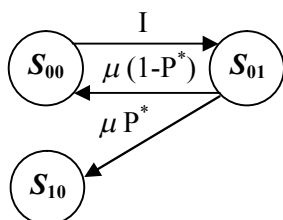


Рис. 1. Граф найпростішої моделі бою окремого прикордонника з терористами ДРТ

Кожен вогневий контакт може тривати випадковий час T_{random} і може закінчитися з однієї або за сукупністю зазначених вище та інших причин. Ця особливість відповідно до теореми А. Я. Хинчина [6] дозволяє стверджувати розподіл тривалості вогневого контакту із законом, близьким до показникового закону з математичним сподіванням T_{cp} , з параметром μ і з інтенсивністю виникнення I :

$$M[T_{\text{random}}] = T_{\text{cp}}; \quad \mu = \frac{1}{T_{\text{cp}}}; \quad I = \frac{N_{\text{tr}}}{L_{\text{str}}} V_{\text{tr}}. \quad (13)$$

Під час оцінювання інтенсивності (I) враховуються склад групи терористів N_{tr} , ширина полоси L_{str} , яку терористи повинні подолати у зоні вогню прикордонників, і середня швидкість руху V_{tr} терористів по цій смузі.

Кожен вогневий контакт може закінчитися ураженням прикордонника з імовірністю P^* і переходом процесу (див. рис. 1) зі стану S_{01} у стан S_{10} , або з імовірністю $(1-P^*)$ може мати благополучний для прикордонника результат, що приведе до переходу зі стану S_{01} у стан S_{00} .

Показниковий розподіл випадкових величин у цьому процесі бою дозволяє шукати його аналітичний опис у класі марковських

процесів з безперервним часом і дискретними станами [6]. Тому для ймовірностей P_{ij} станів S_{ij} моделі бою (див. рис. 1) складемо систему диференціальних рівнянь Чепмена – Колмогорова [6], де для зручності похідні позначимо точкою над імовірностями станів і не враховуватимемо позначення залежності ймовірностей від часу, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_{00} &= -I \cdot P_{00} + \mu \cdot (1-P^*) \cdot P_{01}; \\ \dot{P}_{01} &= -\mu \cdot P_{01} + I \cdot P_{00}; \\ \dot{P}_{10} &= \mu \cdot P^* \cdot P_{01}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Інтегрування системи рівнянь (14) виконаємо за початкових умов:

$$P_{00}(t=0) = 1; \quad P_{01}(t=0) = P_{10}(t=0) = 0. \quad (15)$$

Дістанемо:

$$\left. \begin{aligned} P_{00} &= C_1 \cdot e^{\lambda_1 \cdot \mu t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 \cdot \mu t}; \\ P_{01} &= \frac{\rho}{\alpha} \left[e^{\lambda_1 \cdot \mu t} - e^{\lambda_2 \cdot \mu t} \right]; \\ P_{10} &= 1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \cdot \mu t} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 \cdot \mu t} \right], \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

де

$$\rho = \frac{I}{\mu}; \quad \alpha = \sqrt{1 + \rho^2 + 2\rho(1 - 2P^*)}; \quad (17)$$

$$C_{12} = \frac{\alpha \pm (1 - \rho)}{2\alpha}; \quad \lambda_{12} = \pm \frac{\alpha \mp (1 + \rho)}{2}.$$

Математичне сподівання кількості вогневих контактів (атакованих терористів ДРТ) до моменту бою t знайдемо з урахуванням часу перебування прикордонника у зайнятому стані S_{01} і його “продуктивності” μ :

$$n_{\text{ок}}(t) = \mu \int_0^t P_{01}(\tau) d\tau = \frac{1}{P^*} \left(1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 e^{\lambda_2 \cdot \mu t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \cdot \mu t} \right] \right). \quad (18)$$

Максимально можливе значення математичного сподівання кількості вогневих контактів за весь час до моменту ураження прикордонника знайдемо, переходячи до межі у виразі (18):

$$n_{\text{ок}\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} n_{\text{ок}}(t) = \frac{1}{P^*} \left(1 - \frac{1}{\alpha} [0] \right) = \frac{1}{P^*}. \quad (19)$$

Зазначимо, що результат збігся з отриманим раніше значенням (5) для окремого прикордонника. З метою перевірки адекватності моделі бою окремого прикордонника (16) – (19) знайдемо відносне значення математичного сподівання кількості вогневих контактів у будь-який момент часу t бою. Для цього розділимо рівність (18) на рівність (19) й отримаємо:

$$\frac{n_{ок}(t)}{n_{ок\infty}} = \frac{1}{P^*} \left(1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 e^{\lambda_2 \cdot \mu t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \cdot \mu t} \right] \right) \cdot \left(\frac{1}{P^*} \right)^{-1}. \quad (20)$$

Після скорочення однакових змінних величин знаходимо:

$$n_{ок}^*(t) = 1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 e^{\lambda_2 \cdot \mu t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \cdot \mu t} \right]. \quad (21)$$

Відносне значення математичного сподівання кількості уражених прикордонників у будь-який момент часу бою знайдемо з урахуванням відомих властивостей математичного сподівання випадкових величин [5]:

$$n^*(t) = \frac{n_n(t)}{n_o} = \frac{n_n(t)}{1} = n_n(t) = 0 \cdot [P_{00}(t) + P_{01}(t)] + 1 \cdot P_{10}(t) = P_{10}(t). \quad (22)$$

Таким чином, відносне значення математичного сподівання кількості уражених прикордонників у будь-який момент часу виявляється таким, що дорівнює ймовірності стану P_{10} :

$$n^*(t) = P_{10}(t) = 1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \cdot \mu t} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 \cdot \mu t} \right]. \quad (23)$$

Порівнюючи вирази (21) і (23), переконуємося у їх тотожності:

$$n^*(t) = n_{ок}^*(t). \quad (24)$$

Вираз для відносного значення математичного сподівання $N_y^*(t)$ кількості знищених терористів відрізняється від виразу для $n_{ок}^*(t)$ імовірністю знищення терориста і збігається з виразом (21):

$$N_y^*(t) = \frac{N_y(t)}{N_{y\infty}} = \frac{P_y \cdot n_{ок}(t)}{P_y \cdot n_{ок\infty}} = \frac{n_{ок}(t)}{n_{ок\infty}} = n_{ок}^*(t). \quad (25)$$

Отримані результати (19)–(25) дають змогу вважати знайдену раніше рівність (12) відносних значень математичних сподівань кількості вогневих контактів і втрат сторін виконаною в аналітичному описі моделі (14)–(18):

$$n^*(t) = N_y^*(t) = n_{ок}^*(t).$$

Отже, синтезована найпростіша модель бою окремого прикордонника виявляється адекватною реальному бою з точністю прийнятих гіпотез 1-3 про найбільш суттєві особливості бою, що дозволяє повернутися до основного завдання оцінювання кількості боєприпасів, необхідних прикордонному наряду в ході ведення бою з диверсійно-розвідувальною групою до моменту підходу підкріплення.

У нульовому наближенні можна вважати, що кожному з прикордонників у складі наряду

доведеться вести бій не з усіма відразу $N_{тер}$ терористами ДРГ, а лише з частиною терористів, що призводить до зменшення вхідної інтенсивності вогневих контактів у n_0 разів:

$$I_1 = I / n_0. \quad (26)$$

Штатний боєкомплект до зброї прикордонника у складі прикордонного наряду має вагу Q_{ck} і може у середньому забезпечити F_c вогневих контактів. Однак у ході бою можливі втрати терористів ДРГ і прикордонників. Закінчення бою, метою якого є ураження протилежної сторони, настає у момент часу $t_{кр}$, коли виникає зниження чисельного складу групи до порогового рівня β , за якого втрачається її боєздатність:

$$n^*(t_{кр}) = \frac{n_n(t_{кр})}{n_o} \geq \beta. \quad (27)$$

Кількість вогневих контактів і втрат сторін до цього моменту можна знайти без виконання складних розрахунків на засадах рівності (12) і співвідношень (7), (8), (9):

$$n_{ок}(t_{кр}) = \beta \cdot n_{ок\infty} = \beta \cdot \frac{n_0}{P^*}; \quad (28)$$

$$N_y(t) = \beta \cdot N_{y\infty} = \beta \cdot n_0 \frac{P_y}{P^*}; \quad n_n(t_{кр}) = \beta \cdot n_o.$$

Для окремого прикордонника вирази (28) матимуть такий вигляд:

$$n_{ок}(t_{кр}) = \beta \cdot n_{ок\infty} = \frac{\beta}{P^*}; \quad (29)$$

$$N_y(t) = \beta \cdot N_{y\infty} = \beta \frac{P_y}{P^*}; \quad n_n(t_{кр}) = \beta.$$

Достатність існуючого боєкомплекту одного прикордонника може бути перевірена з урахуванням (29) з нерівності

$$F_c \geq \frac{\beta}{P^*}. \quad (30)$$

Оцінку тривалості часу t_F , за який може бути витрачений існуючий боєкомплект, можна знайти з урахуванням (18) з рівняння

$$F_c = \frac{1}{P^*} \left(1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 e^{\lambda_2 \cdot \mu t_F} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \cdot \mu t_F} \right] \right). \quad (31)$$

Із нерівності (30) випливає, що прикордонники з більш високим рівнем підготовки (меншим значенням імовірності P^*) мають більшу потенційну кількість вогневих контактів і можуть потребувати більшого обсягу боєкомплекту. Обмеженням у цьому випадку є сумарна вага Q_w боєкомплекту Q_{ck} і штатного спорядження Q_N , який не повинен перевищувати фізіологічно допустимої величини Q_m :

$$Q_w = (Q_N + Q_{ck}) \leq Q_m. \quad (32)$$

Однак факт виконання бойового завдання залежить від можливості своєчасного прибуття підкріплення до місця бою прикордонного наряду з ДРГ. Час t_r прибуття визначається часом підготовки t_{pr} чергових сил до виїзду і тривалістю t_{mv} руху по маршруту до місця бою на віддаленні D із середньою швидкістю v :

$$t_r = t_{pr} + t_{mv} = t_{pr} + \frac{D_{mv}}{v}. \quad (33)$$

Значення критичного часу можна знайти із співвідношення

$$\begin{aligned} P_{10}(t_{кр}) &\geq \beta; \rightarrow \\ \rightarrow \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \cdot t_{кр}} - \lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 \cdot t_{кр}} \right] &= 1 - \beta. \end{aligned} \quad (34)$$

Якщо критичний час або час витрачання боєприпасів виявиться менше часу прибуття підкріплення

$$(t_r < t_{кр}) \cup (t_{кр} < t_r), \quad (35)$$

то прикордонний наряд може бути уражений терористами ДРГ і своє завдання може не виконати. У такому випадку (35) слід або зменшити довжину маршруту прикордонного наряду, або призначити у наряд прикордонників з більш високим рівнем підготовки і зі збільшеним боєкомплектом. Розмір боєкомплекту такого прикордонника має забезпечити виконання середньої кількості вогневих контактів (18) не менше ніж

$$n_{ок}(t_r) = \frac{1}{P^*} \left(1 - \frac{1}{\alpha} \left[\lambda_1 e^{\lambda_2 \cdot t_r} - \lambda_2 e^{\lambda_1 \cdot t_r} \right] \right). \quad (36)$$

За істинності умови (35) розмір збільшення ΔF_c існуючого F_c боєкомплекту в процентах і кінцеву вагу боєкомплекту можна оцінити так:

$$\Delta F_c = \frac{n_{ок}(t_r) \cdot F_c}{F_c} \times 100\%; \quad (37)$$

$$Q_{ck} = Q_{nw} \cdot (1 + \Delta F_c / 100).$$

Нову вагу боєкомплекту слід перевірити (32) на допустимість. Розглянута найпростіша модель уже дозволяє отримувати оцінки кількості (37) боєприпасів, необхідних прикордонному наряду для ведення бою з диверсійно-розвідувальною групою до моменту підходу підкріплення, проте не враховує інформаційну компоненту бою, яка пов'язана зі своєчасним виявленням терористів прикордонним нарядом, що може оцінюватися ймовірністю P_d своєчасного виявлення і знижувати можливості прикордонного наряду.

Так, не своєчасно виявлений терорист може безкарно атакувати й уразити прикордонника, який знаходиться у стані S_{00} "не уражений, вільний". Така подія достовірною не є, може бути оцінена ймовірністю P_h безкарного знищення прикордонника, не змінює розглянутої логіки оцінок втрат сторін і потреб прикордонників у боєкомплектах, але визначає необхідність уточнення моделі.

Повна модель бою окремого прикордонника з терористами ДРГ (рис. 2).

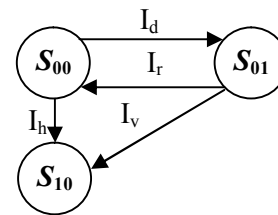


Рис. 2. Граф повної моделі бою окремого прикордонника з терористами ДРГ

Інтенсивності переходів у повній моделі бою (див. рис. 2) ураховують усі відомі варіанти вогневих контактів – дуельних та безкарних і мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} I_d &= I \times P_d; \quad I_h = I(1 - P_d)P_h; \\ I_r &= \mu(1 - P^*); \quad I_v = \mu P^* + I_h. \end{aligned} \quad (38)$$

Модель описується системою лінійно незалежних диференціальних рівнянь Чепмена – Колмогорова

$$\begin{cases} \dot{P}_{00} = -(I_h + I_d) \times P_{00} + I_r \times P_{01}; \\ \dot{P}_{01} = I_d \times P_{00} - (I_r + I_v) \times P_{01}, \end{cases} \quad (39)$$

які інтегруються за початкових умов (15) і мають рішення:

$$\left. \begin{aligned} P_{00} &= C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 t}; \\ P_{01} &= \frac{a_{21}}{\alpha} \cdot [e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}]; \\ P_{10} &= 1 - \frac{1}{2\alpha} [(\alpha + \delta) \cdot e^{\lambda_1 t} + (\alpha - \delta) \cdot e^{\lambda_2 t}], \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

де a_{ij} – коефіцієнти:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= -(I_h + I_d); & a_{12} &= I_r = \mu(1 - P^*); \\ a_{21} &= I_d = I \times P_d; & a_{22} &= -(I_r + I_v); \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

λ_{12} – корені характеристичного рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{12} &= \frac{(a_{11} + a_{22}) \pm \alpha}{2}; & \delta &= (a_{11} - a_{22}) + 2a_{21}; \\ \alpha &= \sqrt{(a_{11} + a_{22})^2 - 4(a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12})}. \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

Математичне сподівання кількості вогневих контактів знаходиться аналогічно до виразу (18):

$$n_{ок}(t) = \mu \int_0^t P_{01}(\tau) d\tau = \frac{\mu \cdot a_{21}}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \alpha} \left[\lambda_2 \cdot e^{\lambda_1 \cdot t} - \lambda_1 \cdot e^{\lambda_2 \cdot t} + \alpha \right] \quad (43)$$

і має граничне значення:

$$n_{ок\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} n_{ок}(t) = \frac{\mu \cdot a_{21}}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \quad (44)$$

Можна строго показати, що у повній моделі також виконується умова рівності нормованих значень для математичних сподівань кількості вогневих контактів і втрат сторін (12), й у разі наближення ймовірності P_d до одиниці всі розрахункові вирази (40) – (44) автоматично переходять до виду виразів, розглянутих для найпростішої моделі бою. Однак у випадку більш повного врахування умов бою замість виразу (36) слід використовувати вираз (43):

$$n_{ок}(t_r) = \frac{\mu \cdot a_{21}}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \alpha} \left[\lambda_2 e^{\lambda_1 t_r} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t_r} + \alpha \right] \quad (45)$$

Приклад. З метою перевірки придатності розробленої моделі для застосування за призначенням виконаємо розрахунки для умов, близьких до реально можливих.

Посилений прикордонний наряд у складі чотирьох прикордонників повинен патрулювати ділянку державного кордону протяжністю 20 км. Найбільш складний

варіант виконання завдання включає можливість виявлення ДРГ у складі семи терористів на максимальному віддаленні від місця постійної дислокації підрозділу. Значення параметрів рівня підготовки прикордонників оцінювалися у ході професійної підготовки і подані у таблиці.

У таблиці наведені також усі початкові дані у формі позначень, використаних у цьому тексті, та результати розрахунків з використанням формул повної моделі бою (38)–(45).

Розмір боєкомплекту прикордонника (див. таблиця, п. 16) у наведеному прикладі дозволяє йому вести бій у середньому протягом 23 хв (див. п. 36). Це означає, що боєкомплект закінчиться раніше закінчення критичного часу (див. п. 35) на 5 хв і раніше прибуття підкріплення (див. п. 34). У підсумку можна очікувати ураження прикордонного наряду і подолання державного кордону терористами.

Збільшення боєкомплекту на 30 % до $F_c = 2$ дозволяє збільшити середній час до моменту вичерпання боєкомплекту (у таблиці п. 40) і забезпечити виконання завдання з охорони державного кордону до моменту прибуття підкріплення. При цьому вага боєкомплекту (у таблиці п. 18) збільшиться до 5,47 кг, сумарна вага спорядження дорівнюватиме 27,97 кг і не перевищить допустимої ваги 28 кг (у таблиці п. 20).

Початкові дані та результати розрахунків з використанням моделі бою

№	Позначення	Значення	№	Позначення	Значення
1	n_0	4	21	I_d	0,12775
2	β	0,75	22	I_h	0,01276
3	N_{tr}	7	23	I_r	1,38
4	L_{str}, m	200	24	I_v	0,63276
5	$V_{tr}, m/min$	20	25	a_{11}	-0,140507
6	P^*	0,31	26	a_{12}	1,38
7	P_v	0,69	27	a_{21}	0,12775
8	P_d	0,73	28	a_{22}	-2,012757
9	I	0,7	29	λ_1	-0,050657
10	I_1	0,175	30	λ_2	-2,102607
11	T_{cp}	0,5	31	δ	2,12775
12	μ	2	32	α	2,0519503
13	D_{mv}, km	20	33	$n_{ок\infty}$	2,39878
14	$v, km/h$	55	34	t_r, min	26,8182
15	t_{pr}	5	35	t_{kr}, min	28
16	F_c	1,5	36	t_F, min	23,285
17	Q_N	22,5	37	$P_{10}(t_{kr})$	0,75343
18	Q_{ck}	4,1	38	n_n	3,01
19	Q_w	26,6	39	N_v	4,98
20	Q_m	28	40	$t_{F, New}$	31,047

Висновки

Оцінювання кількості боєприпасів, необхідних прикордоннику для ведення бою з терористами ДРГ, потребує визначення найбільш істотних особливостей бою. Подальший аналіз дозволив установити наслідки виявлених особливостей у формі внутрішнього закону бою – рівності відносних значень математичних сподівань кількості вогневих контактів і втрат сторін на будь-який момент бою, що стало одним із критеріїв перевірки адекватності при побудові моделей динаміки бою.

Отриманий аналітичний опис найпростішої і повної марковської моделі бою прикордонника з терористами дає змогу враховувати: випадковість часу початку і закінчення кожного вогневого контакту, випадковість результатів вогневих контактів, віддаленість місця бою від пункту постійної дислокації прикордонного підрозділу, рівень підготовки, кількість та вагу боєкомплекту і штатного спорядження прикордонника й інші параметри умов бою. В аналітичному описі моделей рівність відносних втрат сторін знайдено в явному вигляді, що дозволило вважати моделі адекватними реальному бою з точністю гіпотез про його найбільш істотні особливості.

Наведений приклад для умов охорони державного кордону, близьких до реальних, показав можливість застосування моделі для оцінювання ступеня відповідності боєкомплекту прикордонника і поточної ситуації можливого бою з ДРГ. У прикладі показано можливість розрахунку і зміни боєкомплекту до рівня, достатнього для виконання завдання з охорони державного кордону, що дає змогу вважати поставлену мету статті досягнутою.

Розроблені моделі містять розрахункові вирази для оцінювання результатів бою залежно від вимірних параметрів рівня підготовки прикордонників, що дозволяє формувати індивідуальні рекомендації для професійної підготовки кожному прикордоннику.

Однак у моделях не враховано взаємодопомоги прикордонників у бою, що може бути напрямом подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Мисик, А. Б. Методика планування прикордонних операцій під час участі формувань Державної прикордонної служби України у територіальній обороні [Електронний ресурс] / А. Б. Мисик // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Військові та технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 106–115. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpnarv_vtn_2018_3_4. – Назва з екрана.
2. Андрушко, О. В. Проблеми протидії диверсійно-розвідувальним групам підрозділами Державної прикордонної служби України на кордоні та в зоні проведення антитерористичної операції [Електронний ресурс] / О. В. Андрушко // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Військові та технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 19–28. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpnarv_vtn_2018_3_4. – Назва з екрана.
3. Городнов, В. П. Оцінка впливу своєчасності матеріального забезпечення на бойові можливості угруповання військ у бою (операції) [Електронний ресурс] / В. П. Городнов, Ю. Є. Репіло // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Військові та технічні науки. – 2017. – № 2. – С. 44–54. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpnarv_vtn_2018_2_3. – Назва з екрана.
4. Городнов, В. П. Оцінка впливу рівнів повноти матеріального забезпечення на значення показника біоенергетичного потенціалу міжвидової тактичної групи [Електронний ресурс] / В. П. Городнов, С. П. Ярош // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Військові та технічні науки. – 2017. – № 2. – С. 55–69. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpnarv_vtn_2018_2_3. – Назва з екрана.
5. Городнов, В. П. Вища математика (популярно, із прикладами) [Текст] : підручник для студ. екон. спец. вищ. навч. закл. / В. П. Городнов. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. – 372 с.
6. Городнов, В. П. Теоретические основы моделирования микроэкономических и других процессов и систем [Текст] : монография / В. П. Городнов. – Харьков : Акад. ВВ МВД Украины, 2009. – 484 с.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2018 р.

УДК 351.74

В. П. Городнов, В. А. Кириленко, А. В. Шевченко

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА БОЕПРИПАСОВ, НЕОБХОДИМЫХ ПОГРАНИЧНОМУ НАРЯДУ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ БОЯ С ДИВЕРСИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОЙ ГРУППОЙ ДО МОМЕНТА ПОДХОДА ПОДКРЕПЛЕНИЯ

Для условий внезапного боя наряда пограничников с диверсионно-разведывательной группой сформированы гипотезы о наиболее существенных свойствах боя, найдены аналитическое представление внутреннего закона боя и марковские модели, позволяющие прогнозировать результаты боя и оценивать необходимое для пограничников количество боеприпасов. Приведен пример расчетов.

Ключевые слова: модель, пограничный наряд, террорист, бой, охрана государственной границы, боеприпасы.

UDC 351.74

V. P. Gorodnov, V. A. Kyrylenko, A. V. Shevchenko

MODEL OF EVALUATION OF THE AMOUNT OF AMMUNITION REQUIRED FOR THE BORDER PATROL FOR BATTLE WITH THE DIVERSIONAL RECONNAISSANCE GROUP UP TO ARRIVAL TIME OF THE REINFORCEMENT

The protection of the state border in the areas of responsibility of the units of the State Border Guard Service of Ukraine, including along the line of demarcation in the zone of operation of the combined forces, is carried out by border dresses.

While patrolling the border, the border guard may suddenly engage in a sabotage and reconnaissance group with a simultaneous report to the duty officer in the center of the unit's service department to call for reinforcements (reserve of the first or second queue).

The number of ammunition in the border guard should be sufficient for the battle until the approach of reinforcement. However, the start time and duration of the battle, the distance from the battle to the unit's permanent deployment, the composition of the sabotage and reconnaissance group, the intensity of ammunition consumption, loss of sides in the course and as a result of the battle are not known in advance - random, which complicates the assessment of the optimal number of munitions from the border guards.

The surplus of ammunition increases their weight, reduces maneuverability and increases the possibilities of battle losses of border guards. Lack of ammunition reduces the available time of waiting for reinforcements and the chances of successfully fulfilling the task of border guarding the border guard. In its turn, one of the tasks of material support is the assessment of the number of ammunition needed for border guards during the protection of the areas of responsibility of the state border.

For conditions of a sudden battle of the border patrol with diversion reconnaissance group, hypotheses about the most significant properties of the battle are formed, an analytical representation of the internal law of the battle and Markov models are obtained, which allow predicting the results of the battle and estimating the amount of ammunition necessary for the border guards. An example of calculations is given.

Keywords: model, border patrol, terrorist, battle, state border guard, ammunition.

Городнов Вячеслав Петрович – доктор військових наук, професор, професор кафедри управління повсякденною діяльністю Національної академії Національної гвардії України

Кириленко Володимир Анатолійович – заступник ректора Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького з наукової роботи

Шевченко Артем Васильович – заступник начальника Головного центру підготовки особового складу Державної прикордонної служби України з тилу