

УДК 395.424

М.О. ШИШАНОВ, д-р техн. наук

(Центр. наук.-дослід. ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ),

В.І. КОЦЮРУБА, канд. військ. наук (Нац. університет оборони України, м. Київ),**О.М. ГУСЛЯКОВ**, інж.

(Центр. наук.-дослід. ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

КОМПЛЕКСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗМІНУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІНЖЕНЕРНОГО ОЗБРОЄННЯ

Розглянуто математичну модель щодо комплексного моделювання процесу розмінування з використанням засобів інженерного озброєння, що враховує потребу відновлення їхнього боєздатного стану та ґрунтується на представленні у вигляді напівмарковських процесів.

Рассмотрена математическая модель относительно комплексного моделирования процесса разминирования с использованием средств инженерного вооружения, которая учитывает потребность восстановления их боеспособного состояния и основывается на представлении в виде полумарковских процессов.

Постановка проблеми. В галузі воєнно-інженерної справи одним із найбільш складних проблемних питань сьогодення є забезпечення ефективного функціонування систем, комплексів та засобів інженерного озброєння. На сьогоднішній день у зв'язку з масованим застосуванням засобів мінування та дальнього вогневого ураження в ході операції на сході нашої країни виникла проблема щодо забезпечення достатньої ефективності, оперативності та якості розмінування. За умови раціональні параметри засобів, які використовуються, повинно визначати шляхом комплексного моделювання процесу розмінування. Складовими такого процесу (рис. 1) можуть бути пошук, виявлення, ідентифікація вибухонебезпечних предметів (ВНП), їхнє вилучення з укриваючого середовища, транспортування в разі можливості, знешкодження або знищення на місці тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз робіт [1–3] показав, що в цілому для моделювання процесу розмінування існує нагальна потреба розробки комплексної моделі цього процесу, як функціонування комплексів розмінування (КР). За умови наголошується

про потребу обґрунтування потрібних часових показників бойового функціонування КР, як системи, що забезпечує зниження втрат від підриву на мінах та своєчасність маневру бойовими підрозділами в ході бою (операції).

Формування мети статті. Виходячи з вищезазначеного, метою статті є висвітлення комплексної моделі процесу розмінування, для узагальнення якої використано напівмарковський процес.

У загальному підході постановка задачі щодо комплексного моделювання процесу розмінування з використанням засобів інженерного озброєння може бути розглянуто, як процес функціонування КР. Такий процес описується за допомогою деякої фізичної системи S , яка може перебувати в одному з наступних станів: S_1 — комплекс розгорнуто, підготовлено для розмінування та почато пошук ВНП; S_2 — комплекс здійснює маркування місцевості, яку перевірено на наявність ВНП; S_3 — комплекс виявив невідомий предмет; S_4 — комплекс ідентифікував невідомий предмет, як ВНП; S_5 — комплекс вилучив ВНП із укриваючого середовища; S_6 — комплекс транспортує ВНП у разі можливості до

© М.О. ШИШАНОВ, В.І. КОЦЮРУБА, О.М. ГУСЛЯКОВ, 2014

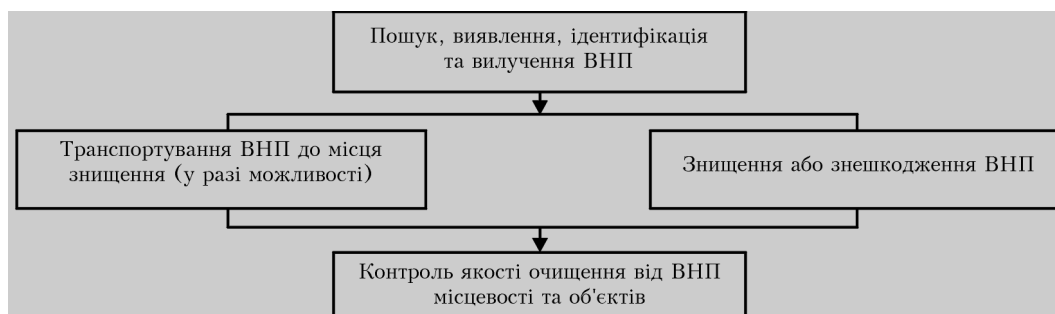


Рис. 1. Можливий комплекс заходів процесу розмінування

місця знищення; S_7 – комплексом знешкоджений ВВП; S_8 – комплекс знищив ВВП; S_9 – комплекс здійснив контроль якості розмінування місцевості або знищення ВВП; S_{10} – комплекс втратив спроможність виконувати завдання згідно з бойовим призначенням. Орієнтований граф переходів системи $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{10}\}$ з одного стану в інший під час розмінування наведено на рис. 2.

Для визначення показників ефективності функціонування КР, як системи S , оцінимо ймовірність його перебування в момент часу t в одному з станів S_i за умов, що у початковий момент часу комплекс перебував у стані S_j ($i, j = 1, 2, \dots, 10$).

Як відомо, ця задача розглядалася в роботі [4], де моделювання функціонування засобів інженерного озброєння запропоновано проводити за допомогою марковського процесу з дискретною множиною станів та безперервним часом.

На відміну від роботи [4] для КР будемо вважати, що перехід системи S із одного стану в інший відбувається наступним чином:

1) у початковий момент часу $t = 0$ система перебуває в стані S_1 деякий випадковий час Q_1 (відлік часу починається з моменту початку пошуку ВВП). Тобто це час, який система S перебуває в стані S_1 до переходу в стан S_2 або S_5 із довільною функцією розподілу $F_{12}(t)$, або $F_{15}(t)$;

2) перехід системи S із стану S_i у стан S_j відбувається з ймовірністю $p_{ij} \geq 0$, $\sum_{j \in S} p_{ij} = 1$

для $j \in S$;

3) якщо з стану S_1 відбувся перехід у стан S_j , то в цьому стані система перебуває випад-

ковий час Q_i із довільною функцією розподілу $F_{ij}(t)$ тощо.

Тоді згідно роботі [5], математичною моделлю, якою описано процес функціонування КР, є напівмарковський процес $\{v(t), t \geq 0\}$. Виходячи з роботи [5], цей процес задамо конструктивно за допомогою початкового розподілу

$$p = p_i, i \in S \{i = 1, 2, \dots, 10\} \quad (1)$$

та напівмарковської матриці

$$Q_{ij}(t) = p_{ij}F_{ij}(t) = P_i\{v(t) = S_j, Q_{ij} \leq t\}. \quad (2)$$

Тоді розв'язання задачі зводиться до визначення ймовірностей

$$P_{ij}(t) = P_i\{v(t) = S_j / v(0) = S_i, (i, j = 1, 2, \dots, 10), \quad (3)$$

які згідно з роботою [5] відповідають наступній системі лінійних інтегральних рівнянь:

$$P_{ij}(t) = \delta_{ij}[1 - F_i(t)] + \sum_{k \in S_0^t} \int Q_{ik}(du)P_{kj}(t - u); \quad (4)$$

$$F_i(t) = \sum_j Q_{ij}(t) = \sum_j p_{ij}F_{ij}(t) = P_i(\theta_i < t),$$

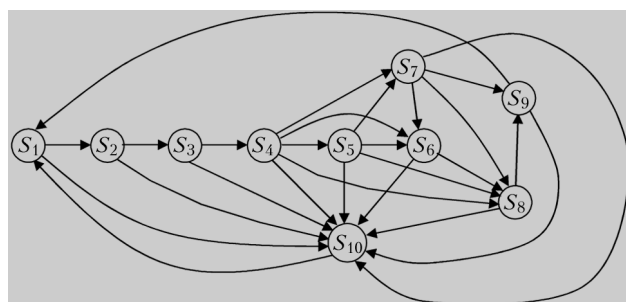


Рис. 2. Орієнтований граф станів КР

де $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j; \\ 0, & i \neq j; \end{cases}$; θ_i — час перебування системи S у стані S_i незалежно від переходу в наступний стан.

Приймаючи до уваги орієнтований граф переходів системи S (рис. 1), виникає можливість із використанням співвідношення (4) визначити шукані ймовірності того, що напівмарковський процес (t) перебуває в стані S_j за умови, що час перебування менший за t .

Слід також зазначити, що у відповідності до умов задачі стан S_{10} інтерпретується, як втрата боєздатності КР, тобто потрапляння системи S до визначеного стану на різних етапах її функціонування призводить до невиконання бойового завдання, що поставлено.

Позначимо момент першого потрапляння системи S до стану S_{10} через η , тоді

$$P_{i10}(\eta < 10) = P_{i10}(t), \quad (i = 1, 2 \dots, 9). \quad (5)$$

Це ймовірність того, що КР втратив боєздатність, а де η — час, який потрібно, для виведення КР у небоєздатний стан (наприклад, час, який потрібно супротивнику для виявлення та нанесення вогневого ураження КР).

Відновлення боєздатного стану відповідає переходу системи з стану S_{10} у S_1 . Ймовірність відновлення боєздатного стану системи визначається як

$$P_{10;1}(t) = P_{10}\{v(t) = S_1/v(0) = S_{10}\}. \quad (6)$$

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, співвідношення (4)–

(6) та напівмарковська матриця (2) дозволяють дати відповіді на цілу низку питань відносно бойового функціонування КР, зокрема щодо часу перебування КР у відповідній множині станів, часу його бойового функціонування до моменту втрати ним боєздатного стану тощо. Відзначимо також, якщо час перебування системи S у кожному стані S_i , ($i = 1, 2 \dots, 10$) буде розподілено за показовим законом, тоді з співвідношень статті, які розглянуто, витікають формули для розрахунку ймовірностей, що їх одержано в роботі [4]. Як напрямок подальших досліджень може бути обрано розроблення моделі автоматизованого процесу дистанційного розмінування місцевості з використанням зарядів розмінування різних конструкцій. —

Список літератури

1. Бочаров О.А. Алгоритмизация процессов в деятельности по разминированию как основа создания эффективных стандартных процедур действий // Науковий вісник УкрНДІПБ. — 2007. — № 2 (16). — С. 202–205.
2. Коцюруба В.І. Удосконалення математичної моделі виявлення вибухонебезпечних предметів радіохвильовим методом / В.І. Коцюруба, О.М. Гусяков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2013. — № 1 (10). — С. 163–166.
3. Гусяков О.М. Удосконалена математична модель виявлення вибухонебезпечних пристроїв індукційним методом / О.М. Гусяков, В.І. Коцюруба // Збірник наукових праць ВІ КНУ ім. Тараса Шевченка. — Київ, 2013. — № 42. — С. 19–27.
4. Юрков Б.Н. Исследование операций / Б.Н. Юрков. — М.: ВИА, 1990. — 528 с.
5. Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. — К.: Наук. думка, 1976. — 182 с.