
УДК 519.87:316.458.6

А.В. Коваль

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫБОРА ОРУЖИЯ ОПЕРИРУЮЩЕЙ ГРУППИРОВКИ ВОЙСК

В статье рассмотрена имитационная модель, используемая для обоснования выбора состава вооружения оперирующей группировки войск.

Ключевые слова: *состав вооружения, группировка войск, бюджетные ограничения, имитационное моделирование.*

Введение

Постановка задачи. При выборе вооружения оперирующей группировки войск необходимо иметь

возможность сравнения математических моделей, используемых при ведении боевых действий. Это возможно произвести, используя имитационное моделирование, в ходе которого возможно сравни-

тельно легко рассмотреть возможные варианты проведения операции. Имитационное моделирование боевых действий представляет собой актуальную военно-научную задачу, решение которой позволит обосновать информационные технологии, требуемые для необходимости создания подсистемы поддержки принимаемых решений перспективной автоматизированной системы управления войсками и оружием.

Анализ литературы. В известной литературе, посвящённой исследованию операций [1, 2], при решении задач моделирования боевых действий используются статические и динамические модели, с помощью которых оценивается эффект результата операции. В [2] изложено формализованное представление задач оптимального управления распределением активных средств в конфликтных ситуациях, базирующиеся на применении динамических моделей и предложены методы решения возможных динамических задач. Классификация задач определения состава вооружений при помощи статических и динамических моделей изложена в [3]. В [4] предложен метод решения оптимизационных задач, в котором учитывается возможные перенацеливание боевых средств. Достоверность предложенных моделей оценивалась по результатам проводимых учений, при этом практически не использовалось имитационное моделирование.

Целью статьи является разработка имитационной модели задачи выбора вооружения оперирующей группировки войск.

Основной материал

Построим имитационную модель для определения оптимального состава вооружения оперирующей группировки, исходя из критерия минимума суммарной стоимости боевых средств при ограничениях на уровни поражения боевых средств противника и учитывая имеющиеся качественный состав вооружения. Соответствующая задача выбора состава вооружений описывается соотношениями (1) – (2):

$$M(X) = \sum_{j=1}^n w_j y_j \left[1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij} + p_{ij} q_{ji})^{\frac{x_{ij}}{y_j}} \right] \rightarrow \max ; (1)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m c_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} - x_i^0 \right) &\leq C_0 ; \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &\geq x_i^0 ; \quad i = \overline{1, m} ; \\ x_{ij} = [x_{ij}] &\geq 0 ; \quad i = \overline{1, m} ; \quad j = \overline{1, n} , \end{aligned}$$

где m, n – количества типов боевых средств группировок A, B ;

$p_{ij}, q_{ji} (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$ – вероятности поражения боевого средства i -го, j -го типа группировок A, B боевыми средствами j -го, i -го типов группировок B, A , причём, если боевое средство i -го, j -го типа группировок A, B в силу своих характеристик не может поразить боевое средство j -го, i -го типа группировки B, A , то очевидно, что $p_{ij} = 0, q_{ji} = 0$;

$x_{ij} (i = \overline{1, m})$ – боевые средства каждого типа группировки A , равномерно распределяются для поражения y_j боевых средств j -го типа группировки B ;

$y_j (j = \overline{1, n})$ – количество боевых средств j -го типа группировки B ;

$w_j (j = \overline{1, n})$ – коэффициент важности боевого средства j -го типа группировки B ;

$c_i (i = \overline{1, m})$ – стоимость боевого средства i -го типа группировки A , включающая стоимость боекомплекта;

C_0 – выделенный бюджет для группировки A ;

$x_i^0 (i = \overline{1, m})$ – количество боевых средств i -го типа группировки A ;

ограничение $\sum_{i=1}^m c_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} - x_i^0 \right) \leq C_0$ означает,

что средства бюджета предназначены только для наращивания комплексов боевых средств;

ограничение $\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq x_i^0 ; i = \overline{1, m}$ означает,

что количество боевых средств после их наращивания не меньше, чем их первоначальный состав. При этом

$$\begin{aligned} p_{ij} &= p_{ij}^0 ; \quad i = \overline{1, m} ; \quad j = \overline{1, n} ; \\ q_{ji} &= q_{ji}^0 ; \quad j = \overline{1, n} ; \quad i = \overline{1, m} ; \\ c_i &= c_i^0 ; \quad i = \overline{1, m} . \end{aligned} \quad (2)$$

В соответствии с исходными данными модели (1) – (2) предполагаются известными:

- качественный и количественный состав боевых средств противостоящей группировки;
- качественный состав боевых средств оперирующей группировки;
- уровни поражения боевых средств каждого типа противостоящей группировки;

– вероятности поражения боевых средств противостоящих группировок;

– стоимости боевых средств оперирующей группировки, включающие стоимости боекомплектов.

В ходе случайного поиска в имитационной модели предлагается сравнивать различные варианты матриц целераспределения количеств боевых средств оперирующей группировки, удовлетворяющие ограничениям на уровни поражения боевых средств противостоящей группировки. Заключение о достоверности модели (1) – (2) будет вытекать в случае непротиворечивости результатов расчёта, полученного на основе имитационной модели и модели (1) – (2). Начальные условия имитационной модели соответствуют начальным условиям модели (1) – (2).

Для построения имитационной модели зададим следующие параметры:

N – количество испытаний случайной величины Ψ , равномерно распределённой в интервале $(0; 1)$; $\Psi_{11}, \Psi_{12}, \dots, \Psi_{1n}; \Psi_{21}, \Psi_{22}, \dots, \Psi_{2n}; \Psi_{m1}, \Psi_{m2}, \dots, \Psi_{mn}$ – последовательность случайных чисел, которые являются реализациями случайной величины Ψ в одном испытании (в дальнейшем данную последовательность будем представлять в виде матрицы $\|\Psi_{ij}\|_{m,n}$; C_{\min} – оптимальное значение целевой

функции задачи (1) – (2), полученное как решение соответствующей задачи линейного программирования; M – достаточно большое положительное число, которое задаётся для сравнения с первым найденным значением целевой функции.

Опишем процедуру имитационного моделирования.

1. Случайный поиск допустимых решений.

Генерируются случайные числа $\|\Psi_{ij}\|_{m,n}$ случайной величины Ψ с помощью датчика случайных чисел (ДСЧ). Далее определяются вспомогательные параметры z_{ij} из следующих соотношений:

$$z_{ij} = () C_0 \Psi_{ij} / m c_i \sum_{j=1}^n \Psi_{ij}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Эти параметры удовлетворяют соотношению

$$\sum_{i=1}^m c_i \sum_{j=1}^n z_{ij} = C_0, \quad (4)$$

так как
$$\sum_{i=1}^m c_i \sum_{j=1}^n \frac{C_{\min} \Psi_{ij}}{m c_i \sum_{j=1}^n \Psi_{ij}} = \sum_{i=1}^m \frac{C_{\min}}{m} \frac{\sum_{j=1}^n \Psi_{ij}}{\sum_{j=1}^n \Psi_{ij}} = C_{\min},$$

причём, $z_{ij} \geq 0$; $i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}$.

Искомое решение $X = \|\|x_{ij}\|_{m,n}$ определяется как $x_{ij} = \lfloor z_{ij} \rfloor$; $i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}$ и проверяется на допустимость.

С этой целью генерируются случайные числа случайных величин φ и η : $\|\varphi_{ji}\|_{n,m}$ и $\|\eta_{ij}\|_{m,n}$ с помощью ДСЧ.

Пусть событие A_{ji} , вероятность которого равна q_{ji} , состоит в том, что в результате огневого воздействия боевых средств j -го типа группировки В поражено боевое средство i -го типа группировки А. Случайная величина φ распределена на интервале $(0, 1)$ в соответствии с нормальным законом распределения. Для случайного числа φ_{ji} , которое является реализацией случайной величины с равномерным законом распределения на интервале $(0, 1)$, справедливым будет следующая зависимость:

$$P(\varphi_{ji} < q_{ji}) = \int_0^{q_{ji}} f(x) dx = q_{ji}, \quad (5)$$

так как

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & 0 < x < 1; \\ 0, & x > 1. \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, попадание случайной величины φ в интервал $(0, q_{ji})$ равно q_{ji} . Поэтому, если во время розыгрыша число φ попало в этот интервал, то следует считать, что произошло событие A_{ji} .

Аналогично, если событие B_{ij} , вероятность которого равна p_{ij} , состоит в том, что в результате огневой воздействия боевых средств i -го типа группировки А поражено боевое средство j -го типа группировки В, то

$$P(\eta_{ij} < p_{ij}) = \int_0^{p_{ij}} f(x) dx = p_{ij}. \quad (7)$$

Таким образом, вероятность попадания случайной величины η в интервале $(0, p_{ij})$ равна p_{ij} . Поэтому, если во время розыгрыша число попало в этот интервал, то следует считать, что произошло событие B_{ij} .

Так как вначале происходит огневое воздействие группировки В, то проверяются неравенства:

$\varphi_{ji} < q_{ji}$; $1 \leq j \leq n$; $1 \leq i \leq m$. Если неравенство $\varphi_{ji} < q_{ji}$ выполняется, то боевое средство i -го типа группировки А поражено. В противном случае проверяются неравенства: $\eta_{ij} < p_{ij}$; $1 \leq i \leq m$; $1 \leq j \leq n$. Если неравенство $\eta_{ij} < p_{ij}$ выполняется, то боевое средство j -го типа группировки В поражено. Если нет, то следует повторять реализацию случайных величин.

Для проверки на допустимость решения $X = \left\| x_{ij} \right\|_{m,n}$ следует также проверить выполнение следующих ограничений задачи, устанавливающих уровень поражения боевых средств группировки В:

$$y_j \leq y_j^0 (1 - 0,01r_j); \quad j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Если соотношения (8) выполняется, то $X = \left\| x_{ij} \right\|_{m,n}$ – допустимое решение, в противном случае необходимо повторить случайный поиск. Если за N испытаний допустимое решение не найдено, то следует увеличить число испытаний.

2. Вычисление значения целевой функции и его анализ.

Для каждого найденного допустимого решения вычисляется соответствующее значение целевой функции: $C_k = \sum_{i=1}^m c_i \sum_{j=1}^n x_{ij}^k$; $k = 1, 2, \dots$, причём $C_0 = M$.

Для первого найденного допустимого решения X^1 значение целевой функции $C_1 = C(X^1)$ сравнивается с числом C_0 . Для каждого следующего допустимого решения X^{k+1} производится сравнение $C_{k+1} = C(X^{k+1})$ и $C_k(X^k)$. Меньшее из них запоминается и сравнивается с C_{\min} . Если за N испытаний суммарные затраты C не меньше C_{\min} , т.е. $C \geq C_{\min}$, то подтверждается достоверность

модели. В противном случае достоверность модели за N испытаний не подтверждается.

3. Формализованный анализ результатов моделирования.

Для анализа результатов моделирования введём вспомогательный параметр τ , начальное значение которого равно нулю. Как только найдено допустимое решение, то полагаем $\tau = 1$. Если за N испытаний параметр $\tau = 0$, то допустимое решение не найдено. Следует удвоить количество испытаний. Если за N испытаний параметр $\tau = 1$ и $C \geq C_{\min}$, то достоверность модели подтверждается. Если за N испытаний параметр $\tau = 1$ и $C < C_{\min}$, то достоверность модели не подтверждается.

Выводы

1. Разработана имитационная модель боевых действий, используемая для определения оптимального состава вооружения оперирующей группировки войск с учётом имеющегося вооружения.

2. Описана процедура имитационного моделирования.

Список литературы

1. Lanchester F. *Aircraft in warfare* / F. Lanchester. – London, 1916. – 120 p.
2. Основы исследования операций в военной технике / Под ред. Ю.В. Чуева. – М.: Сов. радио, 1965. – 383 с.
3. Кононов В.Б. Теоретические основы математического моделирования ресурсного обеспечения в конфликтных ситуациях: дис. ... д-ра техн. наук / Кононов В.Б. – Х.: МОУ, ХУ ВС, 2010. – 369 с.
4. Кононов В.Б. Математические модели процессов военных действий и их применение для планирования и управления распределением боевых средств: Монография / В.Б. Кононов. – Х.: МОУ, ХУ ВС, 2007. – 280 с.
5. Кононов В.Б. Оперативное управление распределением ресурсов в ходе конфликтной ситуации / В.Б. Кононов, Ю.И. Кушнерук, О.В. Коваль // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НІУ», 2010. – Вып. 3(15). – С. 199-202.

Поступила в редколлегию 9.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ БОЙОВИХ ДІЙ ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВИБОРУ ОЗБРОЄННЯ ОПЕРУЮЧОГО УГРУПУВАННЯ ВІЙСЬК

А.В. Коваль

У статті розглянута імітаційна модель, що використовується для обґрунтування складу озброєння складу озброєння оперуючого угруповання військ.

Ключові слова: склад озброєння, угруповання військ, бюджетні обмеження, імітаційне моделювання.

SIMULATION MODEL OF BATTLE ACTIONS AND ITS APPLICATION FOR CHOICE OF ARMAMENT OF OPERATING GROUPMENT OF TROOPS

A.V. Koval'

A simulation model, in-use for the ground of choice of composition of armament of operating groupment of troops, is considered in the article.

Keywords: composition of armament, groupment of troops, budget constraints, imitation design.