

УДК 351.813.12

Юрій Петрович Остах,
Анатолій Іванович Невольниченко,
Олександр Миколайович Рома

ПРИНЦИПИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ “БОЙОВИХ СИСТЕМ” В СУЧАСНІЙ ОПЕРАЦІЇ

Моделювання є могутнім методом дослідження складних об'єктів “бойова система (БС)” і призначене для прогнозу кінцевих результатів варіантів плану операції з метою вибору найбільш ефективного. Але адекватність моделі і об'єкту стає вирішальною умовою щодо вірогідності результатів моделювання. Розглянемо питання щодо адекватності моделі.

Згідно операційному методу, математична модель операції розробляється після визначення мети і обрання критерію ефективності операції. За її допомогою робиться змістова і формальна постановка задачі пошуку оптимального плану використання ресурсів у операції (рішення), який максимізує ефективність, що очікується. По фактичних результатах операції, що проведена згідно плану, які в загальному випадку не співпадають з такими, що очікуються, визначаються причини цієї розбіжності і проводиться корегування математичної моделі з метою підвищення її адекватності.

Таким чином, якщо ефективність, що очікується (тобто планова), операції, яка спиралася на математичну модель, є ES_n , а фактична ефективність операції склала ES_{ϕ} , то адекватність моделі повинна бути оцінена співвідношенням саме планового і фактичного кінцевого результату:

$$AM = 1 - \text{abs}(ES_n - ES_{\phi}) / ES_n \quad (1)$$

Абсолютне значення різниці між ES_{ϕ} і ES_n враховує випадки, коли ($ES_{\phi} \geq ES_n$) чи ($ES_{\phi} \leq ES_n$) через неадекватність моделі. Тоді завжди буде справедлива умова коректності оцінки адекватності ($0 \leq AM \leq 1$).

Розглянемо імітаційну модель дій угруповань різнорідних сил в операції для всебічного вивчення керованого процесу застосування БС.

Модель “дуелі” по Ланчестеру, яка набула поширеного використання в дослідженні

операцій, на цей час вже не відповідає сучасним способам і умовам бойового застосування військ (сил) в специфічних операціях. Тому далі надається зміст концепції імітаційного моделювання взаємодії різнорідних сил протиборчих угруповань в “операції”, яка відрізняється від “дуелі” наявністю планів оптимального розподілу засобів і дій сил у складному процесі логічно пов'язаних заміслів заходів бойового застосування. Метою такого моделювання є кардинальне підвищення, в порівнянні з моделями по Ланчестеру, вірогідності прогнозування наслідків варіантів планів операції за рахунок підвищення адекватності моделі.

Принциповою особливістю моделювання “дуелі” є припущення про можливість знищення кожною одиницею будь-якого різновиду сил своєї сторони кожною одиницею будь-якого різновиду сил протилежної сторони при одночасні їх дії. Зрозуміло, що це — найбільш примітивний спосіб бойового застосування сил без будь-якого замислу і відповідного до нього плану (“бійка”), тому він і не належить до воєнного мистецтва. Може, це й відповідало умовам “окопної війни” на початку ХХ століття, коли і з'явилася математична модель Ланчестера. Але і подальше вдосконалення моделі воєнними науковцями не врятувало її від вичерпання можливостей адекватної імітації керованих дій угруповань різнорідних сил в сучасній операції.

Тому розглянемо концепцію математичного імітаційного моделювання керованих дій різнорідних сил протиборчих угруповань в сучасній операції.

“Операція” відрізняється від “дуелі” саме наявністю планів ефективного розподілу засобів по об'єктах та узгоджених дій (взаємодії) різнорідних сил в логічно пов'язаних заходах складного процесу бойового застосування по реалізації планів розподілу.

Розподіл різнорідних засобів сил по об'єктах застосування ґрунтується саме на їх "спеціалізаціях" за умови взаємного сприяння при взаємодії. До "об'єктів застосування" належать формування сил і власно об'єкти їх відповідальності протилежної сторони. Вважаємо, що "різнорідність" сил є "різнорідністю" їх засобів; нехай кількість видів засобів сторін є $k = \overline{1, z}$.

Нехай об'єкти сторони R мають m різнорідних об'єктів —

$$\langle r_i, i = \overline{1, m} \rangle \quad (2)$$

в кількостях розрахункових одиниць "важливості" об'єктів відповідно

$$\langle a_i, i = \overline{1, m} \rangle, \quad (3)$$

а об'єкти протилежної сторони S мають n різнорідних об'єктів —

$$\langle s_j, j = \overline{1, n} \rangle \quad (4)$$

в кількостях розрахункових одиниць "важливості" об'єктів відповідно

$$\langle b_j, j = \overline{1, n} \rangle. \quad (5)$$

Для кожного "епізоду" застосування операції виникає матриця "спеціалізацій" сил сторони R —

$$LA = \|\lambda r_{kj}\|_{z \times m}, \quad (6)$$

де елемент λr є продуктивністю одиниці сил різновиду r_k проти об'єкту s_j , та сторони S —

$$MU = \|\mu s_{ki}\|_{z \times m}, \quad (7)$$

де елемент μs є продуктивністю одиниці сил різновиду r_k проти об'єкту r_j .

Динамічною моделлю застосування БС вважаємо ансамблі "важливості" різнорідних об'єктів сторін A, B у модельному часі —

$$\langle a_j(t), i = \overline{1, m} \rangle, \langle b_j(t), j = \overline{1, n} \rangle. \quad (8)$$

Оскільки ансамблі є функцією управління силами сторін, то корисний фінал моделювання при різних стратегіях визначає оптимальну стратегію, яка є рішенням даної "змагальної" задачі дослідження операцій. Тому перед початком дій сил розраховуються (методом динамічного програмування) оптимальні плани розподілу мінімуму засобів сил сторін по об'єктах "відповідальності"

$$XA = \langle xa_j, j = \overline{1, n} \rangle; \quad (9)$$

$$XB = \langle xb_i, i = \overline{1, m} \rangle \quad (10)$$

для завданого бойового ефекту — нанесених (відвернених) збитків об'єктам сторін та оптимальні плани (методом нелінійного програмування) розподілу мінімуму сил сторін по заходах процесу дій (сценарію) —

$$YA = \langle ya_j, j = \overline{1, n} \rangle; \quad (11)$$

$$YB = \langle yb_i, i = \overline{1, m} \rangle \quad (12)$$

для потрібної продуктивності сил (по застосуванню засобів) і завданій тривалості операції. При цьому накопичення (зростання) бойового ефекту сторін у модельному часі реалізується програмуванням у часі "планових" темпів $\lambda a(t), \mu b(t)$ витрат засобів при виконанні "тактичних завдань" (заходів процесу дій в операції):

для сторони R —

$$WR(t) = \sum_{j=1}^n cs_j \times \left\{ 1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^z \gamma_{kj} \cdot xa_{kj}(t)\right) \right\}; \quad (13)$$

$$xa_{kj}(t) = \int_0^t \lambda a_{kj}(t) \cdot dt$$

для сторони S —

$$WS(t) = \sum_{i=1}^m cr_i \times \left\{ 1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^z \gamma_{ki} \cdot xb_{ki}(t)\right) \right\}; \quad (14)$$

$$xb_{ki}(t) = \int_0^t \mu b_{ki}(t) \cdot dt$$

Логіко-математична модель плану дій (сценарію як складного процесу) для кожної сторони завдається орієнтованим сітьовим графом, дугами якого є "заходи" (тактичні завдання), а вершинами — "події", пов'язані зі скінченням попередніх та початком подальших дій сил в операції. Приклад логіко-часової моделі плану дій сил (ДС) наданий на рис. 1.

На графі:

t — вісь часу;

t_A — момент початку етапу A операції (дій z_1 та z_2);

t_B — момент початку етапу B операції (дій z_3 та z_4);

t_C — момент початку етапу C операції (дій z_5 та z_6);

t_D — момент початку етапу D операції (дій z_7);

t_E — момент закінчення операції (подія E);

$\tau_1 \dots \tau_2$ — тривалість дій сил щодо виконання поточних завдань $z_1 \dots z_7$ з "трудомісткістю" $a_1 \dots a_7$ складом $x_1 \dots x_7$ тактичних груп (од.сил);

TS — тривалість операції;

$\&$ — логічна операція кон'юнкції ("і") щодо завершення усіх дій, які безпосередньо передують початку кожного наступного етапу операції (для перевірки умови початку подальших дій).

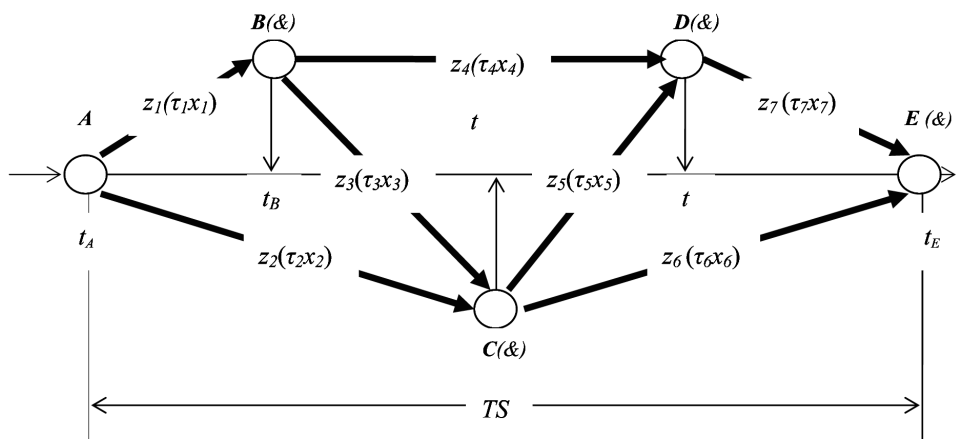


Рис. 1. Граф (“сітвовий графік”) процесу дій сил в операції

Аналітична форма даної логічної моделі завдається системою логічних функцій, що визначають “істинність” логічних змінних для $k = 1, n$ “заходів” процесу —

$$b_j^{(k=1)} = \text{“true”}, j \in J (k=1);$$

...

$$b_j^{(k=1)} = \left(\&_{i \in I^{(k)}} e_i^{(k)} \right) \& L_j^{(k=1)}, j \in J (k=1);$$

...

$$b^n = \&_{i \in I^{(n-1)}} e_i^{(k)}.$$

Тут: b — логічні змінні початку заходів;
 e — логічні змінні скінчення заходів;
 I — множина заходів, що скінчуються перед даним наступним етапом операції;
 J — множина заходів, що починаються на даному наступному етапі операції;
 L — “бульова” функція логічних умов, істинність яких перевіряється для початку заходів на даному наступному етапі операції.

Згідно плану ДС на момент t_A початку операції бойовий порядок угруповання забезпечує одночасне виконання наступних бойових завдань Z силами тактичних угруповань (ty) — “ x ” тактичних груп (tg) з силами забезпечення — по групах об’єктів, що визначені планом РЗ:

- z_1 за час τ_1 силами ty_1 (у складі x_1 tg) зосередженням їх в районі об’єктів групи a_1 ;
- z_2 за час τ_2 силами ty_1 (у складі x_2 tg) зосередженням їх в районі об’єктів групи a_2 .

Сили тактичних угруповань ty_1 (x_1 tg) та ty_2 (x_2 tg) є, очевидно, повним бойовим складом оперативного угруповання.

На момент t_B початку етапу В операції бойовий порядок угруповання забезпечує одночасне виконання наступних бойових

завдань силами тактичних угруповань по групах об’єктів, що визначені планом РЗ:

- z_3 за час τ_3 силами ty_3 (у складі x_3 tg) зосередженням в їх районі об’єктів групи a_3 ;
- z_4 за час τ_4 силами ty_4 (у складі x_4 tg) зосередженням в їх районі об’єктів групи a_4 .

При цьому зі складу ty_1 (x_1 тактичних груп, що виконували завдання z_1), формуються сили ty_3 (x_3 тактичних груп) для завдання z_3 і ty_4 (x_4 тактичних груп) для завдання z_4 (“перегрупування”). Сили ty_2 (у складі x_2 tg) продовжують виконувати завдання z_2 .

Сили тактичних угруповань ty_3 (x_3 tg) та ty_4 (x_4 tg) є, очевидно, повним бойовим складом оперативного угруповання.

На момент t_C початку етапу С операції бойовий порядок угруповання забезпечує одночасне виконання наступних бойових завдань силами тактичних угруповань по групах об’єктів, що визначені планом РЗ:

- z_5 за час τ_5 силами ty_5 (у складі x_5 tg) зосередженням в їх районі об’єктів групи a_5 ;
- z_6 за час τ_6 силами ty_6 (у складі x_6 tg) зосередженням в їх районі об’єктів групи a_6 .

При цьому зі складу ty_2 (x_2 тактичних груп, що виконували завдання z_2) та ty_3 (x_3 тактичних груп, що виконували завдання z_3) формуються сили ty_5 (x_5 тактичних груп) для завдання z_5 і ty_6 (x_6 тактичних груп) для завдання z_6 (“перегрупування”). Сили ty_4 (у складі x_4 тактичних груп) продовжують виконувати завдання z_4 .

Сили ty_4 (x_4 tg), ty_5 (x_5 tg) та ty_6 (x_6 tg) є, очевидно, повним бойовим складом оперативного угруповання.

На момент t_D початку етапу D операції бойовий порядок угруповання забезпечує виконання завдання z_7 за час τ_7 силами ty_7

(у складі x_7 m_2) зосередженням в районі об'єктів групи a_7 . При цьому зі складу mu_4 (x_4 m_2) та mu_5 (x_5 m_2), що виконували завдання z_4 та z_5 відповідно, формуються сили mu_7 (x_7 m_2) для завдання z_7 ("перегрупування"). Сили mu_6 у складі x_6 тактичних груп продовжують виконувати завдання z_2 .

Сили mu_6 (x_6 m_2) та mu_7 (x_7 m_2) є, очевидно, повним бойовим складом угруповання.

На момент t_K усі бойові завдання силам виконані, і операція закінчується. Сили оперативного угруповання у складі mu_6 (x_6 m_2) та mu_7 (x_7 m_2) знаходяться в районах виконання завдань z_6 та z_7 відповідно.

Таким чином, логіко-часова модель визначає "структуру" тактичних завдань і, а також відповідних бойовий порядок сил для їх виконання. Зрозуміло, що дана модель визначає і порядок оперативного перегрупування сил для виконання тактичних завдань; схема перегрупування для "подій" (етапів операції) очевидна (із рис. 1) —

$$\begin{aligned} A: & x_s \rightarrow (x_1, x_2); \\ B: & x_1 \rightarrow (x_3, x_4); \\ C: & (x_2, x_3) \rightarrow (x_5, x_6); \\ D: & (x_4, x_5) \rightarrow x_7; \\ E: & (x_6, x_7) \rightarrow x_s. \end{aligned} \quad (15)$$

Перегрупування сил для кожного етапу операції потребує відновлення боєздатності сил тактичних груп після виконання попередніх завдань, маневр в нову операційну зону та розгортання у потрібний бойовий порядок. Тому час на перегрупування сил чисельністю x розрахункових одиниць при нормативному часі для "одиниці" сил завдається емпіричною залежністю

$$\tau(x) = \tau(1) \times x^w; \quad 0,5 \leq w \leq 0,7; \quad (16)$$

маневр потребує вирішення задачі оптимальної маршрутизації та задачі мінімізації загальних "витрат" на маневрування, яка формалізується як транспортна задача лінійного програмування.

Реалізація планів розподілу засобів і дій сил в моделі досягається введенням матриць призначень засобів сил, нарощуванням сил (введенням резервів) і моментів модельного часу щодо їх зміни в ході процесу, як оперативне керування діями сил. Матриці (плани) призначень створюються відповідними до матриць "спеціалізацій" (5), (7) і мають наступний зміст.

Для сторони R матриця призначень —

$$G(t^R) = \|g_{kj}\|_{m \times n}, \quad 0 \leq t^R < TM, \quad (17)$$

де: t^R — момент модельного часу TM , коли матриця нових значень елементів в ході

процесу змінює матрицю попередніх значень, як керівна подія сторони R ;

g_{kj} — елемент матриці, який приймає значення —

$$0 \leq g_{kj} \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n g_{kj} = 1 \quad (18)$$

При цьому корегується матриця спеціалізацій (6) з урахуванням поточного плану призначень (15) —

$$LA = \| \lambda_{kj} = (\lambda_{kj} \times g_{kj}) \|_{z \times n}. \quad (19)$$

Нарощування сил (введенням резервів) реалізується додаванням значень елементам вектору XA у потрібний момент модельного часу —

$$XA(t_H^R) = \langle xa_j(t^R) + \Delta xa_j(t_H^R), j = \overline{1, n} \rangle. \quad (20)$$

Для сторони S матриця призначень —

$$H(t^S) = \|h_{ki}\|_{z \times m}, \quad 0 \leq t^S < TM, \quad (21)$$

де: t^S — момент модельного часу TM , коли матриця нових значень елементів в ході процесу змінює матрицю попередніх значень, як керівна подія сторони R ;

h_{ki} — елемент матриці, який приймає значення —

$$0 \leq h_{ki} \leq 1, \quad \sum_{i=1}^m h_{ki} = 1. \quad (22)$$

При цьому корегується матриця спеціалізацій з урахуванням поточного плану призначень (19) —

$$MU = \| \mu_{ki} = (\mu_{ki} \times h_{ki}) \|_{z \times m}. \quad (23)$$

Плани розподілу (9—12) готуються завчасно згідно варіантам замислу для кожного оперативного (бойового) завдання. Нарощування сил (введенням резервів) реалізується додаванням значень елементам вектору B у потрібний момент модельного часу —

$$B(t^S) = \langle xb_i(t^S) + \Delta xb_i(t^S), i = \overline{1, m} \rangle. \quad (24)$$

Зрозуміло, що при вогневому контакті протилежних різнорідних сил взаємне кероване їх застосування веде до зміни їх кількісного складу у часі. Система диференціальних рівнянь, що достатньо коректно пов'язує темпи зміни кількості розрахункових одиниць сил, буде мати вигляд —

$$\frac{da_i(t)}{dt} = - \sum_{k=1}^z \mu_{ki}(t) \cdot xb_i(t), \quad i = \overline{1, m}; \quad (25)$$

$$\frac{db_j(t)}{dt} = - \sum_{k=1}^z \lambda_{kj}(t) \cdot xa_j(t), \quad j = \overline{1, n}; \quad (26)$$

Вирішення системи неоднорідних рівнянь при початкових умовах ($t=0$)

$$\begin{aligned} \langle a_i(0) = A_i, i = \overline{1, m} \rangle, \\ \langle b_j(0) = B_j, j = \overline{1, n} \rangle, \end{aligned} \quad (27)$$

якщо воно існує в аналітичному вигляді, дає розрахункові формули для визначення кортежів векторів кількісного стану сил на момент t —

$$\langle a_i(t), i = \overline{1, m} \rangle, \langle b_j(t), j = \overline{1, n} \rangle \quad (28)$$

На жаль, через складність неоднорідної системи рівнянь (25), (26) рішення (28) в аналітичному вигляді не існує через його трансцендентність. Але аналіз вимог до процедури комп'ютерного моделювання свідчить, що більш доцільним є імітаційне моделювання “процесу” вирішенням системи диференціальних рівнянь (25), (26) для дискретних моментів модельного часу. Тому оберемо простий і зручний чисельний метод “дотичних” (Ейлера) для покрокового (з обраною дискретністю модельного часу) вирішення на ЕОМ системи (23), (24).

Для дискретизації “рішення” в системі диференціальних рівнянь переходимо від похідних до кінцевих різниць; маємо —

$$\frac{da_i(t)}{dt} \approx \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta a_i(t + \Delta t)}{\Delta t} = \quad (29)$$

$$= -\sum_{k=1}^z \mu_{ki}(t) \cdot xb_i(t), \quad i = \overline{1, m}$$

$$\frac{db_j(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta b_j(t + \Delta t)}{\Delta t} = \quad (30)$$

$$= -\sum_{k=1}^z \lambda_{kj}(t) \cdot xa_j(t), \quad j = \overline{1, n};$$

Оскільки

$$\Delta a_i(t + \Delta t) = a_i(t + \Delta t) - a_i(t), \quad i = \overline{1, m}; \quad (31)$$

$$\Delta b_j(t + \Delta t) = b_j(t + \Delta t) - b_j(t); \quad j = \overline{1, n}, \quad (32)$$

то з рівнянь (31), (32) очевидними перетвореннями одержимо рекурентні співвідношення —

$$a_i(t + \Delta t) = a_i(t) - \Delta t \cdot \sum_{k=1}^z \mu_{ki}(t) \cdot xb_i(t), \quad (33)$$

$$i = \overline{1, m}$$

$$b_j(t + \Delta t) = b_j(t) - \Delta t \cdot \sum_{k=1}^z \lambda_{kj}(t) \cdot xa_j(t), \quad (34)$$

$$j = \overline{1, n}$$

які дозволяють обчислювати кожне наступне, на подальшому дискретному моменту модельного часу ($t + \Delta t$), значення кортежу векторів A, B через значення на

поточній дискретний момент модельного часу t . Це дає можливість “спостерігати” хід процесу, визначати моменти керуючого впливу та оцінювати кількісно результати варіантів планів дій.

План дій сил в операції (сценарій), який є реалізацією варіанту замислу командувача, формально надамо математичною моделлю складного процесу сітьового типу — орієнтованим графом типу “гамак”, дугами якого є “дії” сил по виконанню оперативних бойових завдань (заходи), а вершинами — “події”, що пов'язані зі скінченням попередніх дій та контролем умов початку подальших дій сил (заходів). Для такого графу існує одна вершина, якій інцидентні тільки вихідні дуги (“початок процесу”), тільки одна вершина, якій інцидентні тільки вхідні дуги (“кінець процесу”), та решта вершин, які інцидентні як вхідні, так і вихідні дуги (“хід процесу”).

Основними показниками такої моделі процесу для своїх сил є:

– “трудомісткість” завдань по застосуванню засобів силами (од. сил \times од. часу)

$$CR = \langle cr_k, k = \overline{1, ur} \rangle; \quad (35)$$

– розподіл різнорідних сил по завданнях процесу —

$$YR = \|yr_{ik}\|_{m \times ur}; \quad (36)$$

– тривалість виконання завдань при даному плані розподілу

$$TR = \langle tr_k(yr_{ik}), k = \overline{1, ur} \rangle; \quad (37)$$

– загальна тривалість складного процесу дій сил в операції — TS .

Відповідно основними показниками такої моделі процесу для сил противника є:

– “трудомісткість” завдань по застосуванню засобів силами (од. сил \times од. часу)

$$CS = \langle cs_k, k = \overline{1, us} \rangle; \quad (38)$$

– розподіл різнорідних сил по z завданнях процесу —

$$YS = \|ys_{jk}\|_{n \times us}; \quad (39)$$

– тривалість виконання завдань при даному плані розподілу

$$TS = \langle ts_k(ys_{jk}), k = \overline{1, us} \rangle; \quad (40)$$

– загальна тривалість складного процесу дій сил в операції — TO .

Кожна вершина сітьового графу буде мати в оперативному часі момент початку дій (що надаються вихідними дугами), для якого здійснюється перехід до оперативного плану розподілу засобів сил відповідного

завдання процесу — матриць (36) та (39), а також ввід резервів.

План розподілу засобів і дій сил (план операції) кожної сторони розробляється відповідно до можливого плану розподілу засобів і дій сил (плану операції) протилежної сторони; тому спільний для сторін процес є об'єднанням у часі окремих дій протилежних сил згідно своїм планам операції і є практично непередбаченим при "мисленому" моделюванні. Тому імітаційне моделювання динаміки обстановки в ході керованого застосування протилежних сил є коректним вирішенням задачі прийняття всебічно обґрунтованого рішення на операцію і відповідає сучасним вимогам воєнного мистецтва щодо підготовки і проведення операцій.

Існує окремих клас імітаційних моделей для прогнозування "кількісного" стану ВС методом Дж. Форрестера, зміст яких надається системою диференціальних рівнянь —

$$\frac{dr_i(t)}{dt} = - \sum_{j=1, j \neq i}^m \lambda_{ij} + \sum_{j=1, j \neq i}^m \lambda_{ji}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (41)$$

де: $r_i(t)$ — кількість ро ресурсу в i -му стані; $\lambda_{ij}(t)$ — темп переходу ресурсу із i -го стану в суміжний j -й стан;

$\lambda_{ki}(t)$ — темп переходу ресурсу із суміжного k -го стану в i -й стан.

Для імітації процесу в складній системі дану систему диференціальних рівнянь зручно вирішувати дискретним методом Ейлера ("дотичних") при початкових умовах

$$R(t=0) = \langle r_i(0), \quad i = \overline{1, m} \rangle \quad (42)$$

та "програмуванні" у модельному часі ($0 \leq t \leq T^{mod}$) темпів $\lambda(t)$ і спостереженні за вектором $R(t)$.

Дана імітаційна модель, в якості "штабної", повинна використовуватися для наступних цілей:

- розробка замислу операції командувачем (командиром) на "логічному" рівні (сценарію);
- обчислення оптимальних планів розподілу засобів сил по об'єктах застосування;
- обчислення оптимальних планів розподілу сил по тактичних завданнях (заходах) плану дій в операції (визначення мінімального бойового складу сил і складу сил забезпечення угруповання для досягнення мети операції);
- проведення командно-штабного тренування ("ділової гри") з "організаційним ядром" угруповання військ (сил) для з'ясування замислу, бойових завдань, бойових порядків по етапах операції, взаємодії різнорідних сил;
- "диспетчеризація" роботи штабів під час оперативного управління силами в процесі бойового застосування.

Розроблені на цій концепції алгоритми і комп'ютерні програми моделюючого комплексу підтверджують його наукову коректність, високу адекватність моделі і ефективність щодо забезпечення вірогідності прогнозованих результатів в ході вироблення рішення на операцію.

Література

1. **Основы теории управления войсками** / П. Алтухов, И. Афонский, И. Рыболовский, А. Е. Татарченко; Под ред. П. К. Алтухова. — М.: Воениздат, 1984. — 221 с.
2. **Пацок В. П.** Дифференциальные игры при различной информированности игроков / В. Пацок. — М.: Сов. радио, 1976. — 200 с.
3. **Чуев Ю. В., Михайлов Ю. Б.** Прогнозирование в военном деле / Ю. Чуев, Ю. Михайлов. — М.: Воениздат, 1975. — 279 с.
4. **Дружинин В. В., Конторов Д. С.** Вопросы военной системотехники / В. Дружинин, Д. Конторов. — М.: Воениздат, 1976. — 224 с.
5. **Гермейер Ю. Б.** Введение в теорию исследования операций / Ю. Гермейер. — М.: Наука, 1971. — 384 с.
6. **Форрестер Дж.** Мирная динамика / Дж. Форрестер. — М.: Наука, 1978. — 165 с.
7. **Форрестер Дж.** Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) / Дж. Форрестер. — М.: Прогресс, 1971. — 340 с.

В статье рассматривается вопрос системного подхода к моделированию сложных объектов военного назначения — "боевых систем". Целью моделирования является всестороннее изучение управляемого процесса применения "боевых систем" разнородных сил в военных операциях. Приведенная концепция моделирования позволяет строить штабные модели с высокой адекватностью и эффективностью касательно достоверности прогнозируемых результатов.

Ключевые слова: математическая модель, эффективность, операция, концепция моделирования, прогнозирование.

The question of the system approach to modeling of difficult military-oriented objects — "battle systems" is considered in article. All-round studying of operated process of application the "battle systems" diverse forces in military operations is the modeling purpose. The resulted concept of modeling allows to build staff models with high adequacy and efficiency concerning reliability of predicted results.

Key words: mathematical model, efficiency, operation, the modeling concept, forecasting.