УДК 65.005

С.В. Нємченко, А.В. Тристан, Ю.Г. Бусигін

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ДО ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗНОСТІ СТРУКТУРИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ПЛАНУВАННЯ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ПРОТИВНИКА

Розглянуто проблему аналізу зв'язаності структури складних систем для планування вогневого ураження об'єктів противника. Запропоновано використовувати q-аналізу для рішення задачі аналізу структури складних систем. Приведено приклад рішення задачі аналізу складної системи для виділення «сильно» та «слабо» зв'язаних симплексиарних комплексів.

Ключові слова: *відношення, відображення, вогневе ураження, ексцентриситет, зв'язаність, комплекс, множина, об'єкт, планування, симплекс, системний аналіз, складна система, топологія.*

Вступ

Постановка проблеми. Вогневе ураження об'єктів противника під час ведення бойових дій є одним з основних задач авіації Повітряних Сил.

Як правило, органи управління командування Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України починають планувати вогневе ураження противника ще на етапі прийняття рішення на стратегічному рівні управління. Отримані вихідні дані є основою для прийняття рішення органами управління ПС ЗС України щодо забезпечення виконання плану вогневого ураження.

Об'єктами удару, зазвичай, вибираються: аеродромна мережа противника, командні пункти (пункти управління) стратегічного та оперативного рівня управління, елементи інфраструктури театру військових дій (ТВД) та інше.

Вибір даних об'єктів, як правило, спирається на вимоги керівних документів та бойових статутів, а також на емпіричні знання посадових осіб органів управління, які приймають рішення щодо організації вогневого ураження.

Однак таке планування не ґрунтується на всебічному науковому аналізі ситуації, що складається, а значна обмеженість наявних сил та засобів авіації ПС ЗС України робить план вогневого ураження малоефективним.

Вибір об'єктів ураження для авіації ПС ЗС України за умови обмеженості льотного ресурсу повинен проводитися з урахуванням аналізу зв'язаності структур складних систем противника, таких як системи управління в цілому, системи командних пунктів, аеродромної мережі, оперативного угруповання військ та інфраструктури на ТВД, для визначення «критичних» об'єктів, ураження яких порушить зв'язаність структури складної системи та виведе її зі стану рівноваги до стану нестабільності. Питання зв'язаності складних структур можна знайти у публікаціях по системному аналізу [1, 2], однак викладені методи відносяться до дослідження економічних, біологічних систем, а також лексичного та змістового аналізу текстів. Спробу використати зазначені методи для військової справи можна знайти в інформаційному джерелі [3], нажаль питанню зв'язаності структур військового призначення в ньому не приділено уваги, занепокоює той факт, що дані літературні джерела датовані 70 – 80 ми роками минулого століття, а системний аналіз як галузь науки останні роки розвивається бурхливими темпами.

Серед сучасних відкритих джерел [4, 5] існує ряд праць, присвячених аналізу складних структур, однак розкриття питання використання даних методів у військовій справі, а саме планування вогневого ураження противника, не проводилися.

В літературному джерелі [6] надається підхід до розв'язання задачі планування вогневого ураження, однак методи системного аналізу не використовуються.

Розв'язати задачі планування вогневого ураження можна за допомогою методів системного аналізу, а саме q-аналізу зв'язаності складних структур.

Мета статті. Метою статті є оцінка можливості використання методу q-аналізу зв'язаності складних структур для розв'язування задач планування вогневого ураження об'єктів противника авіацією ПС ЗС України.

Основна частина

Для розкриття змісту методу q-аналізу зв'язаності складних структур введемо поняття зв'язку в системі в термінах теорії множин.

Нехай існує дві кінцеві множини X та Y, елементи яких пов'язані з системою Z. Для опису зв'язку, що існують між двома елементами (x, y), $x \in X$, $y \in Y$ введемо на прямому добутку X та Y

бінарне відношення $\lambda \in X \times Y$. Таке відношення можна задавати за допомогою матриці інцидентності, одиниці в якій відповідають факту наявності зв'язку між відповідними елементами множини X та Y.

З геометричної точки зору відношення λ визначає симплексиарний комплекс $K_X(Y;\lambda)$, в якому елементи множини Y розглядаються як вершини, а X є симплексами. Очевидно, що існує відношення λ^*, яке отримується, якщо змінити ролями множини X та Y, тобто визначається симплексиарний комплекс $K_Y(X;\lambda^*)$, в якому X – множина вершин, а Y – множина симплексів [1].

Для аналізу зв'язаності складних систем (симплексиарних комплексів) слід ввести поняття q-зв'язаність, що пов'язане з вивченням ланцюжків зв'язку в комплексі $K_X(Y;\lambda)$, таких, що кожен симплекс в ланцюжку має спільну вершину з сусідніми симплексами [2].

Геометрично ці ланцюжки містять локальну інформацію про те, яким чином симплекси, з яких складаються комплекси, пов'язані між собою.

Аналізуючи деякий комплекс $K_X(Y;\lambda)$, можна побачити, що на деякому етапі він розпадається на Qq незв'язаних елементів (класів еквівалентності), де $q = 0,1,2,...,\dim K - 1$, a dimK – геометрична розмірність комплексу. Подібні уявлення породжують алгебраїчну теорію q-зв'язаності, що дозволяє зрозуміти процеси взаємного зв'язку між симплексами (елементами) комплексу.

Однак для того, щоб зрозуміти, яким чином окремі сиплекси вкладені до комплексу, вводиться поняття ексцентриситету. Він відображає як умовну важливість симплекса у комплексі в цілому (через його розмірність), так і його значимість як поєднуючого ланцюга (через максимальне число його вершин, що належать також іншим симплексам).

Алгебраїчно q-зв'язаність визначається так [1]: два симплеса σ_i та σ_j комплексу $K_X(Y;\lambda)$ поєднані ланцюгом q-зв'язаності, якщо існує послідовність симплексів $\{\sigma_{\alpha_i}\}_{i=1}^{n}$ в $K_X(Y;\lambda)$ така, що σ_{α_1} – грань σ_i, а σ_{α_n} – грань σ_j. Симплекси σ_{α_i} і $\sigma_{\alpha_{i+1}}$ мають загальну грань розмірності β для $i = 1,2,...,n-1$, $q = \min\{i, \beta_1, \beta_2, ..., \beta_n, j\}$ (нижній індекс симплекса відповідає його геометричній розмірності dim $\sigma_s = s$).

Можна показати, що q-зв'язаність породжує відношення еквівалентності на симплексах комплексу $K_X(Y;\lambda)$. Таким чином, задача вивчення зв'язаності структури складної системи для вибору об'єктів ураження при розв'язанні задач вогневого ураження авіацією ПС ЗС України зводиться до розгляду класів q-еквівалентності. Для кожного значення розмірності $q = 0,1,2,...,\dim K$ можна визначити число різних класів еквівалентності Qq. Така операція називається q-аналізом комплексу К, а отриманий вектор $Q = \{Q_{\dim K}, ..., Q_1, Q_0\}$ – першим структурним вектором комплексу.

З цього витікає, що якщо два симплекси q-зв'язані, то вони також $q-1, q-2, ..., 0$ зв'язані в комплексі $K_X(Y;\lambda)$.

Ексцентриситет симплекса в комплексі при проведенні q-аналізу визначається як:

$$ecc(\sigma) = \frac{\hat{q} - \breve{q}}{\breve{q} + 1}, \qquad (1)$$

де $\hat{q}$ – розмірність симплеса σ; $\breve{q}$ – найбільше значення q, при якому σ стає зв'язаним з будь-яким іншим симплексом з К. Різниця $\hat{q} - \breve{q}$ є мірою «незвичності» (нонкомфорності) симплекса σ.

Наведемо приклад рішення задачі q-аналізу складної системи.

Нехай задана множина $X = \{1..13\}$ аеродромів противника з засобами повітряного нападу на них та множина $Y = \{1..12\}$ можливих об'єктів ураження нашого угруповання військ.

Противник планує удар по нашим об'єктам, гіпотетична можливість нанесення удару авіації противника з кожного аеродрому (елементу множини X) по нашому об'єкту (елементу множини Y) задає відношення λ, яке породжує симплексиарний комплекс $K_X(Y;\lambda)$, що зручно представити у вигляді матриці інцидентності виду (2), де наявність одиниці показує можливість нанесення удару з даного аеродрому противника (за умови наявності на ньому ЗПН) по відповідному об'єкту:

$$K_X(Y;\lambda) =$$

$$= \begin{array}{c|cccccccccccc}
\lambda & y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_9 & y_{10} & y_{11} & y_{21} \\
\hline
x_1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
x_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_4 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
x_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
x_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
x_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
x_{12} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
x_{13} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0
\end{array} . \qquad (2)$$

Виконуючи q-аналіз для даного симплексиарного комплексу, отримаємо наступні значення зв'язності, що зручно внести до таблиці (табл. 1).

Максимальна кількість одиниць в рядку матриці (2) дорівнює 6, симплекс $\{\tilde{o}_4\}$, тому розмірність вектора: $\dim Q$ q = 6 (q = 0 … 5).

а) $q = 5$, аналізуючи матрицю (2), знаходимо симплекси, кількість одиниць в рядку більше або дорівнює 5-ти. Це єдиний сиплекс $\{\tilde{o}_4\}$, таким чином $Q_5 = 1$.

б) $q = 4$, аналізуючи матрицю (2), знаходимо симплекси, кількість одиниць в рядку більше або дорівнює 4-м. Це єдиний сиплекс $\{\tilde{o}_4\}$, таким чином $Q_4 = 1$.

в) $q = 3$, аналізуючи матрицю (2), знаходимо симплекси, кількість одиниць в рядку більше або дорівнює 3-м. Це сиплекси $\{\tilde{o}_4\}$ та $\{\tilde{o}_{13}\}$, таким чином $Q_3 = 2$.

г) $q = 2$, аналізуючи матрицю (2), знаходимо симплекси, кількість одиниць в рядку більше або дорівнює 2-м. Це сиплекси $\{\tilde{o}_1\}$, $\{\tilde{o}_4\}$ та $\{\tilde{o}_{13}\}$, таким чином $Q_2 = 3$.

д) $q = 1$, аналізуючи матрицю (2), знаходимо симплекси, кількість одиниць в рядку більше або дорівнює одиниці, аналізуємо зв'язки (ланцюжок зв'язків між симплексами). Це симплекси $\{\tilde{o}_1, \tilde{o}_4, x_8, x_{10}, x_{12}, x_{13}\}$ та $\{\tilde{o}_5\}$, таким чином $Q_1 = 2$.

е) $q = 0$, всі симплекси $\{\tilde{o}_1 - \tilde{o}_{13}\}$, оскільки кожен з них містить у матриці (2) в рядку одиницю $Q_0 = 1$.

Таблиця 1

Результат q-аналізу

№ з/п	q	Q	симплекси
1	5	$Q_5 = 1$	$\{\tilde{o}_4\}$
2	4	$Q_4 = 1$	$\{\tilde{o}_4\}$
3	3	$Q_3 = 2$	$\{\tilde{o}_4\}$ $\{\tilde{o}_{13}\}$
4	2	$Q_2 = 3$	$\{\tilde{o}_1\}$ $\{\tilde{o}_4\}$ $\{\tilde{o}_{13}\}$
5	1	$Q_1 = 2$	$\{\tilde{o}_1, \tilde{o}_4, x_8, x_{10}, x_{12}, x_{13}\}$ $\{\tilde{o}_5\}$
6	0	$Q_0 = 1$	$\{\tilde{o}_1 - \tilde{o}_{13}\}$

Структурний вектор комплексу $K_x(Y;\lambda)$ дорівнює: $Q = (1 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \quad 1)$.

Приведений приклад показує, що відносно аеродромної мережі противника по виконанню завдання вогневого ураження наших об'єктів комплекс $K_x(Y;\lambda)$ зв'язаний відносно малих та великих значень q, а для проміжних значень – комплекс $K_x(Y;\lambda)$ розкладається на декілька незв'язаних компонент.

Існування на рівні q, (q=0…5 для даного прикладу) більше, ніж одного симплекса означає, що існує дві q-мірних компоненти комплексу $K_x(Y;\lambda)$, що не є q-зв'язаними.

Цей факт дозволяє ввести поняття геометричної перепони, що визначається вектором $O = Q - U$, де U – вектор, всі компоненти якого дорівнюють одиниці.

Компоненти вектора $\hat{I}$ є мірою перепони комплекса $K_x(Y;\lambda)$ на кожному рівні розмірності.

У приведеному прикладі видно: перепона на рівні $q = 3$ визначає, що з аеродромів $\{\tilde{o}_4\}$ та $\{\tilde{o}_{13}\}$ противник хоча і може нанести удар мінімум по 4-м аеродромам нашої мережі, однак вони не пов'язані в комплексі жодними цілями, тому обмін цілями між авіацією, що базується на аеродромі $\{\tilde{o}_4\}$ та $\{\tilde{o}_{13}\}$, на рівні $q = 3$ неможливий.

Іншими словами, вектор перепони – це грубий індикатор можливих варіантів вибору цілей для авіації на аеродромах противника на кожному q-рівні.

Як було відмічено, інтеграція окремих симплексів в комплекс може бути вивчена за допомогою їх ексцентриситетів.

Спираючись на формулу (1), отримаємо наступне значення ексцентриситетів для кожного аеродрому противника (табл. 2).

Таблиця 2

Ексцентриситет симплексів

№ з/п	x_i	$\hat{q}$	$\check{q}$	$ecc(x_i)$
1	x_1	2	1	1/2
2	x_2	0	0	0
3	x_3	0	0	0
4	x_4	5	1	2
5	x_5	1	0	1
6	x_6	0	0	0
7	x_7	0	0	0
8	x_8	0	0	0
9	x_9	0	0	0
10	x_{10}	0	0	0
11	x_{11}	0	0	0
12	x_{12}	0	0	0
13	x_{13}	3	1	1

Таким чином, найменш однорідним симплексами є $\{\tilde{\sigma}_4\}$. Отримані результати показують, що ексцентриситет є мірою гнучкості по вибору об'єктів авіацією противника, що знаходяться на відповідних аеродромах.

Оскільки задача вогневого ураження аеродромної мережі противника переслідує протилежні (антагоністичні) цілі, то висновок з проведеного аналізу такий: для порушення зв'язаності структури складної системи – аеродромної мережі противника, слід планувати удар по аеродромах 4, 13, 5, 1 за наявності відповідного вогневого ресурсу в приведеній послідовності.

Висновки

Таким чином, в статі показано як за допомогою q-аналізу зв'язаності структури складної системи можна надати рекомендації щодо планування вогневого ураження об'єктів авіацією Повітряних Сил за умови обмеженого льотного ресурсу.

З рішення, отриманого при розгляді приведеного прикладу, видно, що із застосуванням методу q-аналізу зв'язності складних систем дана задача добре формалізується та може бути включена до спеціального математичного та програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішення у складі перспективної АСУ авіацією та ППО ПС ЗС України.

Удосконалення та розвиток розглянутих методів полягає в аналізі зв'язаності структури складних динамічних, а також ієрархічних систем, чому будуть присвячені подальші дослідження.

Список літератури

1. *Касти Дж. Большие системы, связность, сложность и катастрофы: пер.с англ. Ю.П. Гупало / Джон Касти. – М.: Мир, 1982. – 216 с.*
2. *Гиг Джон Ван. Прикладная общая теория систем: пер с англ. / Гиг Джон Ван. – М.: Мир, 1981. – 336 с.*
3. *Квейд Э. Анализ сложных систем для принятия военных решений: пер .с англ. / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. – 520 с.*
4. *Кочкаров А.А. Предфрактальные графы в проектировании и анализе сложных структур / А.А. Кочкаров. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – 47с.*
5. *Морозов С.А. Принципы построения математических моделей сложных систем в условиях неопределенности / С.А.Морозов, В.Г. Манжула, С.В. Федосеев // Успехи современного естествознания. – М., 2009. – №4. – С. 74-77.*
6. *Адаменко А.А. Метод формування переліку об'єктів ураження противника в операції з нечітко визначеною метою при виконанні завдань превентивної оборони / А.А. Адаменко // Системи озброєння і військова техніка. – Х., 2009. – №1(17). – С. 31-35.*

Надійшла до редколегії 28.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Б. Леонтьєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА СВЯЗНОСТИ СТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОТИВНИКА

С.В. Немченко, А.В. Тристан, Ю.Г. Бусигин

Рассмотрена проблема анализа связанности структуры сложных систем для планирования огневого поражения объектов противника. Предложено использовать q-анализ для решения задачи анализа структуры сложных систем. Приведен пример решения задачи анализа сложной системы для выделения «сильно» и «слабо» связанных симплексиарних комплексов.

Ключевые слова: *отношение, отображение, огневое поражение, эксцентриситет, связанность, комплекс, множественное число, объект, планирование, симплекс, системный анализ, сложная система, топология.*

TO QUESTION OF THE USE OF METHOD OF ANALYSIS OF COMPENDENCY OF STRUCTURE OF DIFFICULT SYSTEMS FOR DECISION OF TASKS OF PLANNING OF FIRE DEFEAT OF OBJECTS OF OPPONENT

S.V. Nemchenko, A.V. Tristan, Yu.G. Busigin

The problem of analysis of tie-up of structure of the difficult systems is considered for planning of fire defeat of objects of opponent. It is suggested to utillize a q-analysis for the decision of task of analysis of structure of the difficult systems. The example of decision of task of analysis of the difficult system is resulted for a selection «strongly» and the «poorly» CPLD symplex complexes.

Keywords: *relation, reflection, fire defeat, excentricity, tie-up, complex, plural, object, planning, symplex, analysis of the systems, difficult system, topology.*