

УДК 519.816

В.Г. Малюга<sup>1</sup>, О.Н. Мисюра<sup>1</sup>, И.М. Тихонов<sup>1</sup>, О.Ф. Сальникова<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Центральний НІІІ озброєння і військової техніки Збройних Сил України, Київ

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ АВИАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*В статье предложено усовершенствование методов выбора объектов для огневого поражения авиацией в условиях неопределенности обстановки на основе анализа когнитивных моделей сложных систем, анализа сложных структур для решения задач выбора объектов огневого поражения авиацией, построения и анализа упрощенной когнитивной модели процесса ведения боевых действий.*

**Ключевые слова:** *огневое поражение, когнитивная карта, структурно-сложная система, важный объект.*

### Введение

**Постановка проблемы.** Существует ряд подходов и направлений исследования структурных свойств сложных систем. Полиэдральный анализ позволяет раскрыть многомерную геометрию сложных систем, проследить влияние локальных изменений на структуру системы в целом, определить именно те структурные особенности сложной системы, которые не всегда могут проявиться при использовании других подходов. Умение построить когнитивную карту и использовать данный метод для анализа структурно-сложных систем позволяет более глубоко раскрыть роль отдельных элементов сложной системы, а также определить их влияние на другие элементы. Это необходимо для выявления тех объектов противника, уничтожение (вывод из строя) которых ведет к нарушению функционирования сложной системы (не достижения противником целей ведения боевых действий).

Целью огневого поражения является нанесение противнику потерь, которые снижают его боевые возможности, ухудшают морально-психологическое состояние, изменяют соотношения сил и средств в пользу наших войск (сил) и создают благоприятные условия для ведения операции (боевых действий).

Важными объектами поражения, как правило, считаются объекты, которые определяют боевую способность войск (сил). К таким объектам можно отнести:

объекты инфраструктуры (в том числе транспортной);

объекты военно-промышленного комплекса;

техногенно-опасные объекты;

группировки войск;

другие объекты противника, поражение (блокирование, изоляция, разрушение, уничтожение) которых обуславливает реализацию стратегии действий войск.

Следует отметить, что методика определения именно важных (критических) объектов, влияющих на боевую способность группировки противника вести боевые действия, имеет научный и практический интерес. На сегодняшний день выбор данных объектов, как правило, опирается на требования руководящих документов и боевых уставов, а также на эмпирические знания должностных лиц органов управления, которые принимают решение по организации огневого поражения.

Также планирование не основывается на всестороннем научном анализе складывающейся ситуации. Ограниченность имеющихся сил и средств ударной авиации делает план огневого поражения малоэффективным в условиях неопределенности обстановки, что характерно для процесса ведения боевых действий (далее БД).

Задача прогноза эффективности огневого поражения средствами разнородной авиации в условиях неопределенности обстановки заключается в определении оценок потерь противника и, что является более важным, оценки степени достижимости противником цели ведения боевых действий. Несмотря на сложность этой задачи с вычислительной точки зрения на сегодняшний день возникает необходимость создания в составе автоматизированных систем управления (АСУ) систем поддержки принятия решений (СППР), которые содержат информационно-аналитические системы для формирования цели действий противоположных сторон, стратегий ее достижения, розыгрыша действий сторон для получения оценок предложенных стратегий.

При выборе объектов для огневого поражения ударной авиацией и последующей оценки результатов ее действий предлагается использовать методы системного анализа (анализа сложных

структур), методы интеллектуального анализа данных (когнитивных карт и онтологии).

**Анализ последних исследований и публикаций.**

Вопрос анализа сложных структур можно найти в роботах по автоматике управления сложными техническими системами как, например, атомные электростанции [1], публикациях по системному анализу [2, 3]. Однако изложенные методы используются для анализа социальных, экономических систем и не применяются в задаче целенаправленного разрушения структуры сложной системы, которая решается в военном деле.

Математические основы полиэдрального анализа сложных структура были заложены К. Дроукером (С. Droucer), а дальнейшее развитие этого направления было реализовано в роботах британского физика Р. Эткина (R.H. Atkin) [4]. Им был разработан инструмент симплицеального анализа, названный q- анализом. Данные работы послужили началом исследования сложности структур систем методом q-анализа или полиэдральной динамики. В последнее время отечественные авторы также начали проявлять интерес к методам топологии при изучении и описании структур сложных систем [5].

**Формулировка цели статьи.** Статья написана с целью рассмотреть возможность использования q – анализа сложных структур для решения задач выбора объектов огневого поражения авиацией, построения и анализа упрощенной когнитивной модели процесса ведения боевых действий.

**Изложение основного материала**

Слабоструктурированную задачу выбора объектов поражения предлагаем описывать кортежем:  $\langle G(F, W), \Phi, X(0) \rangle$ , где  $G(F, W)$  - когнитивная карта.  $F = \{f_i\}$  - множество факторов ситуации,  $w = \|w_{ij}\|$  - матрица смежности,  $w_{ij} \in [-1; 1]$ ;  $\Phi = \{\varphi_i\}$  - шкалы факторов, заданные в виде отображения  $\varphi_i : z_{ik} \rightarrow x_{ik}$ , где

$z_{ik}$  – k-ое лингвистическое значение фактора  $f_i$ ,  $z_{ik} \in Z$ , где  $Z$  - упорядоченное множество лингвистических переменных:  $X(0)$  – вектор начальных значений факторов.

Определим базисные факторы когнитивной карты;

1) фактор целеполагания, который может иметь нечеткое определение параметра ( $x_1$ ) – полное дерево целей, дерево целей достаточной комплектации, ограниченной комплектации, малой комплектации;

2) фактор боевого порядка группировки войск (сил), который может иметь нечеткое определение параметра ( $x_2$ ) – оптимальный, рациональный, нерациональный;

3) фактор достаточного количества сил и средств ( $x_3$ ) – укомплектованность в полном объеме, достаточная укомплектованность, низкая укомплектованность;

4) фактор эффективности боевых действий (БД) ( $x_4$ ) – значение интегрального показателя эффективности ведения БД по результатам моделирования;

5) фактор эффективности материально-технического обеспечения (МТО) ( $x_5$ ) – значение интегрального показателя эффективности МТО по результатам моделирования;

6) фактор потерь группировки войск, сил, объектов прикрытия ( $x_6$ );

Для установления причинно-следственных связей осуществляется выбор шкалы для оценки характера (положительный или отрицательный) и силы связи между базисными факторами. Значение соответствующих переменных может задаваться, например, в лингвистической шкале, либо в интервале от 0 до 1 как показано в табл. 1.

Граф причинно-следственных связей для представленных базисных факторов имеет вид, представленный на рис. 1.

Таблица 1

Оценка связей между базисными факторами

Лингвистическое описание	Числовые значения ( $a_{ij}$ )
Не влияет	0
Очень слабо усиливает (ослабляет)	0,1; 0,2 (-0,1; -0,2)
Слабо усиливает (ослабляет)	0,3; 0,4 (-0,3; -0,4)
Умеренно усиливает (ослабляет)	0,5; 0,6 (-0,5; -0,6)
Сильно усиливает (ослабляет)	0,7; 0,8 (-0,7; -0,8)
Очень сильно усиливает (ослабляет)	0,9; 1,0 (-0,9; -1,0)

В результате анализа множества вариантов замысла БД каждый из факторов имеет конкретные значения

параметров, которые характеризуют управляющие воздействия. Использование этих факто-

ров дает возможность влиять на развитие ситуаций обстановки в ходе БД и выбирать тот вариант действий (стратегию), которая по эффективности боевых действий и уровню потерь соответствует представлениям командира.

При этом множества управляющих и целевых факторов не фиксированы, а открытые. Это означает, что их состав может меняться в процессе поиска стратегии управления.

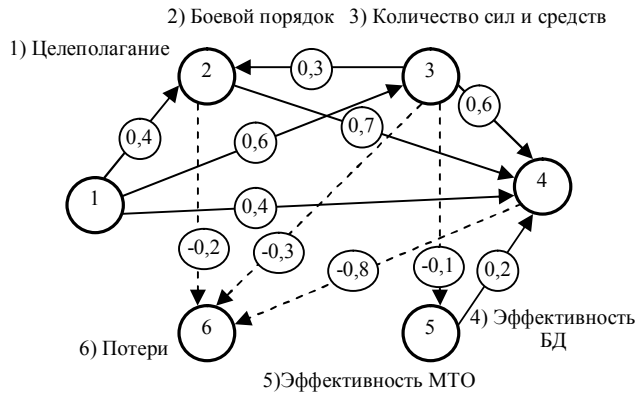


Рис. 1. Упрощенная когнитивная карта

На уровне проблем планирования огневого поражения объектов противника сложность системы тесно связана с возможностью или невозможностью рационального выбора решений человеком. В связи с этим сложность отражает тип неопределенности, которая не подвергается обработке вероятностными методами. Когнитивные модели (карты) позволяют исследовать некоторые аспекты структурной сложности, которые определены связанностью систем. Кроме того, когнитивные модели в определенной степени предоставляют возможность анализировать динамическую сложность системы.

В этом случае существует возможность уточнить весовые коэффициенты, которые определены исключительно по субъективным представлениям.

Для этого на примере графа (рис. 1) можно составить уравнения относительно базисных факторов, параметрами которых можно управлять для оптимизации показателей эффективности. Такие факторы в большинстве случаев еще зависят и от противника,

Относительно эффективности управления выделим четыре контура управления:

$$\begin{aligned} x_1 \cdot a_{12} + x_2 \cdot a_{24} &= x_4; \\ x_1 \cdot a_{13} + x_3 \cdot a_{34} &= x_4; \\ x_1 \cdot a_{14} &= x_4; \\ x_1 \cdot a_{13} + x_3 \cdot a_{35} + x_5 \cdot a_{54} &= x_4. \end{aligned} \quad (1)$$

Относительно потерь, которые могут быть нанесены:

$$\begin{aligned} x_1 \cdot a_{13} + x_3 \cdot a_{34} + x_4 \cdot a_{46} &= x_6; \\ x_1 \cdot a_{12} + x_2 \cdot a_{24} + x_4 \cdot a_{46} &= x_6; \\ x_1 \cdot a_{13} + x_3 \cdot a_{36} &= x_6. \end{aligned} \quad (2)$$

Интересным для исследования устойчивости сложной системы (рис. 1) является то, что с помощью системы уравнений (1) и (2) можно найти матрицу параметров факторов, при которой стабильность контуров повышается (уменьшается).

Состояние контуров считаются нестабильным, когда фактор потерь имеет положительную производную, а фактор эффективности боевых действий - отрицательную, и такая тенденция становится не обратимой.

Структурный анализ когнитивных карт содержит в себе следующие три группы методов анализа структуры когнитивной карты:

- а) анализ связанности;
- б) анализ влияния;
- в) анализ структуры.

Остановимся на анализе структурной связанности, которая основывается на исследовании связанности симплициальных комплексов.

Полиэдральный (или топологический) анализ структуры сложной системы - это анализ ее q-связанности, которая состоит в анализе симплексиарных комплексов [2].

В данном виде анализа система рассматривается в виде отношений между элементами конечных множеств - множества вершин V и заданного семейства непустых подмножеств этих вершин - симплексов. Множество вершин и соответствующие им симплексы образуют симплициальные комплексы K.

Для их построения как раз и используется структура системы.

Граф когнитивной карты (пример - рис. 1) отображает непосредственное влияние переменных  $x_i$  на  $x_j$  в соответствующих вершинах матрицы  $\Lambda$ , взаимодействие между элементами (подсистемами)  $x_i$  и  $x_j$  будут определяться недиагональными элементами матрицы. Симплекс обозначается как  $\sigma^{(i)}(p)$ , где  $i$  - номер вершины, а  $p$  - геометрическая размерность симплекса. Число  $p$  определяется числом дуг, которые объединяют вершины  $x_j$  в симплексе через переменную  $x_i$ , оно на единицу меньше числа единиц в соответствующей  $i$ -й строке матрицы  $\Lambda$ . Размерность пустого симплекса обозначается через "1". Далее применяется известный алгоритм расчета q - связности сложной структуры, позволяющий выделить «критические» объекты огневого поражения, определяющие функционирование системы противника.

Поскольку рассмотренная сложная система, описанная когнитивной моделью функционирует в динамике ведения боевых действий, то для определения критических элементов системы дополнительно к q-анализу следует применить сценарный анализ сложной системы.

Сценарний аналіз системи проводиться на моделі обертання системи путем імпульсного моделювання. Набор реалізацій імпульсних процесів - це "сценарій розвитку", який вказує на можливі тенденції розвитку ситуацій в динаміці.

Тоді ситуація, в якій знаходиться складна система характеризується набором всіх  $Q$  і значень  $X$  в кожному такті моделювання.

Формула імпульсного процесу [5] має вигляд:

$$x_i(n+1) = x_i(n) + \sum_{j=1}^{k-1} f_{ij} \cdot P_j(n) + Q_i(n), \quad (3)$$

де  $x_i(n)$  - величина імпульсу в вершині в попередній момент (такт моделювання) ( $n$ );

$x_i(n+1)$  - в момент, який цікавить командира ( $n+1$ );

$f_{ij}$  - коефіцієнт перетворення імпульсу;

$P_j(n)$  - значення імпульсу в вершинах, сусідніх з вершиною;

$Q_i(n)$  - вектор збурення і керуючих дій, які вносяться в вершину і в момент  $n$ .

## Выводы

Таким чином, в статті показано, як з допомогою аналізу когнітивних моделей складних систем можна формувати пропозиції в рішення командира по плануванню вогневого ураження об'єктів противника авіацією в умовах обмеженого літального ресурса.

Застосування запропонованих методів аналізу складних систем дозволить наділити систему підтримки прийняття рішення ознаками штучного інтелекту. Крім того, в статті обґрунтовано, що задача аналізу когнітивних моделей достатньо просто формалізується і може бути включена в склад спеціального математичного і програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішення в складі АСУ авіацією і ПВО.

## Список литературы

1. Горелова Г.В. Исследование отказоустойчивости на моделях средств поддержки управленческих решений в системах управления безопасностью методами планирования эксперимента / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Тр. 15-й Междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М. : Изд-во ИПУ РАН, 2007. – С. 75-78.

2. Кастри Д. Большие системы, связность, сложность и катастрофы / Д. Кастри, пер. с англ. Ю.П. Гулало, М., Мир, 1982. – 216 с.

3. Гиг Джон Ван Прикладная общая теория систем / Гиг Джон Ван, пер с англ. – М.: Мир, 1981. – 336 с.

4. Atkin R.H. Combinatorial Connectivities in Social Systems / R.H. Atkin // An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations, Interdisciplinary Systems Research, 1997.

5. Горелова Г.В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко – Ростов н/Д. : Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

6. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Г.А. Дробаха, Є.Б. Смірнов, Трістан А.В. та ін. За ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова. – Х.: ХУПС, 2008. – 545 с.

7. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц – М. : СИНТЕГ, 1998. – 376 с. – Серия «Информатизация России на пороге XXI века».

8. Максимов В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В.И. Максимов // Сб. трудов 1-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций», (CASC'2001). – М. : ИПУ РАН, 2001. – Т. 1. – С. 4-18.

Поступила в редколлегию 19.03.2014

**Рецензент:** д-р воен. наук проф. Г.А. Дробаха, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИБОРУ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ АВІАЦІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КОГНІТИВНОЇ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

В.Г. Малюга, О.М. Місюра, І.М. Тихонов, О.Ф. Сальнікова

У статті запропоновано удосконалення методів вибору об'єктів для вогневого ураження авіацією в умовах невизначеності обстановки на основі аналізу когнітивних моделей складних систем, аналізу складних структур для вирішення завдань вибору об'єктів вогневого ураження авіацією, побудови та аналізу спрощеної когнітивної моделі процесу ведення бойових дій.

**Ключові слова:** вогневе ураження, когнітивна карта, структурно-складна система, важливий об'єкт.

## IMPROVEMENT OF METHODS OF SELECTING THE OBJECTS TO FIRE DAMAGE AVIATION UNDER UNCERTAINTY SITUATION BASED ON THE ANALYSIS OF THE COGNITIVE MODELS OF COMPLEX SYSTEMS

V.G. Malyuga, O.V. Misyura, I.M. Tikhonov, O.F. Salnikova

The article suggested improvement methods to select objects for fire damage aircraft in conditions of uncertainty of the situation based on the analysis of cognitive models of complex systems, the analysis of complex structures for solving problems of selection objects fire damage aviation, construction and analysis of a simplified model of the cognitive process of warfare.

**Keywords:** fire damage, cognitive map, structurally complex system, an important object.