

УДК 519.816

С.В. Немченко, А.В. Тристан

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ЗАСТОСУВАННЯ АНАЛІЗУ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ СИСТЕМ В КОМПЛЕКСІ ЗАДАЧ ПЛАНУВАННЯ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

Існує ряд підходів і напрямків досліджень структурних властивостей складних систем. Поліедральний аналіз дозволяє розкрити багатомірну геометрію складних систем, простежити вплив локальних змін на структуру системи в цілому, визначити саме структурні особливості складної системи, що не завжди можна виявити при інших підходах. Використання цього методу для аналізу структурно-складних систем дозволяє більш глибоко розкрити роль окремих елементів складної системи і визначити їх вплив на інші елементи системи, що необхідно для виявлення тих об'єктів противника, знищення (виведення з ладу) яких веде до порушення функціонування складної системи (угруповання противника).

**Ключові слова:** вогневе ураження, зв'язаність, когнітивна модель, комплекс, об'єкт, планування, поліедральний аналіз, симплекс, система підтримки прийняття рішення, системний аналіз, складність, топологія.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При плануванні в операції вогневого ураження об'єктів противника застосовується одна в Повітряних Силах бригада тактичної авіації, яка має літаки Су-24М. Обмеженість ресурсного забезпечення може заважати виконанню певних бойових завдань для досягнення мети операції. Тобто виникає проблема – для досягнення мети вогневого ураження об'єктів противника в операції знищити потрібно більше об'єктів, ніж існує можливість, виходячи з кількості наявних засобів (бойових літаків). Вочевидь ця проблема має декілька шляхів розв'язання:

- а) збільшення кількості літаків бомбардувальної авіації у загальному парку бойових літаків;
- б) використання інших типів літаків для рішення задач вогневого ураження об'єктів противника (наприклад модернізовані Су-27) зі зміною типу підвіски;
- в) визначення серед об'єктів противника тих, знищення (виведення з ладу на деякий час) яких веде до порушення стійкого функціонування угруповання противника як складної ієрархічної системи, що може принести перевагу під час проведення операції угрупованням Збройних Сил.

Перший і другий перераховані шляхи пов'язані з розвитком Збройних Сил, визначенням раціонального складу парку бойових літаків, виходячи з покладених задач, модернізацію існуючого та створення (закупку) нового авіаційного озброєння, що виходить за рамки даної статті.

Задача вибору об'єктів противника, що підлягають ураженню авіацією в операції, відноситься до класу слабоструктурованих задач і проводиться на основі емпіричного досвіду командира (начальника). В той же час стрімкий розвиток інформаційних технологій, методів штучного інтелекту для рішення

таких класів задач, досвід побудови систем управління в збройних силах розвинутих країн світу дозволяє стверджувати про можливість та необхідність створення у складі автоматизованих систем управління системи підтримки прийняття рішення, що буде допомагати командирі приймати раціональні рішення.

До складу такої системи підтримки прийняття рішення повинен входити комплекс задач планування вогневого ураження. Застосування поліедрального аналізу когнітивних моделей складних систем у даному комплексі задач дозволить визначити об'єкти противника, знищення (виведення з ладу) яких приведе до зриву мети бойових дій угрупованням противника.

Особливість проведення даного виду аналізу складних систем для планування вогневого ураження є в тому, що в процесі ведення операції (в динаміці бою) об'єкти будуть змінюватися, тобто слід розглядати процес аналізу в часі і обчислювальна складність алгоритмів зростає в рази. В цій ситуації на допомогу повинні прийти розподілені обчислювальні системи, в тому числі і побудовані на принципах Grid-технології.

**Аналіз літературних джерел.** Питання аналізу складних структур можна знайти у роботах по автоматизації управління складними технічними системами такими як атомні електростанції [1], публікаціях по системному аналізу [2, 3], однак викладені методи використовуються для аналізу соціальних, економічних систем та не відносяться до задачі цілеспрямованого порушення структури складної системи, що необхідно у військовій справі.

Математичні основи поліедрального аналізу були закладені К. Дроукером (С. Droucer), а подальший розвиток аналіз одержав у роботах британського фізика Р. Еткіна (R.H. Atkin) [4]. Ним був розроблений перший інструмент симплексарного ана-

лізу, названий q-аналізом. Р. Еткін моделював соціальні мережі, потім він вивчив симплексиарний комплекс, будь-яка пара якого зв'язана ланцюгом симплексів. Всі ці роботи послужили початком дослідження складності структур систем методом q-аналізу або поліедральної динаміки. Останні роки серед російських та українських авторів також почав спостерігатися інтерес до застосування методів топології у вивченні структур складних систем [5]. В статті [6] було показано оцінку можливості використання методу q-аналізу зв'язаності складних структур для розв'язування задач планування вогневого ураження об'єктів противника авіацією ПС ЗС України, однак при цьому не розглядався взаємний зв'язок між елементами одного комплексу, не було проведено когнітивне моделювання процесів.

**Мета статті.** Метою даної статті є розвиток методики застосування методу q-аналізу зв'язаності складних структур для вирішення задач вибору об'єктів дій ударної авіації в процесі планування вогневого ураження об'єктів противника авіацією ПС ЗС України, показаного в статті [6] за рахунок введення когнітивних моделей складних систем.

### Основна частина

Поняття зв'язаності та складності системи взаємозалежні. Складність системи – поняття неоднозначне, точне визначення його вважається дати неможливим. Воно включає такі інтуїтивні факти, як велика кількість елементів і підсистем, велика кількість зв'язків і взаємозв'язків між ними, неможливість прогнозування поведінки складної системи без спеціального аналізу та обчислень. Тому звичайно вказують деякі основні компоненти, які присутні в будь-якій математичній теорії складності і які пропонуються як міри складності. Розглядають:

- структурну складність (включає поняття ієрархії, схем зв'язаності, розмаїття, рівнів взаємодії);
- динамічну складність (випадковість і детермінізм, різні шкали часу для різних частин процесу);
- обчислювальну складність (багатоаспектна проблема, зокрема, довжина алгоритмів);
- еволюційну складність (якщо система може збільшувати з часом контакт із навколишнім середовищем);
- внутрішню та зовнішню складність і ін.

На рівні проблем планування вогневого ураження об'єктів противника складність тісно пов'язана з можливістю або неможливістю раціонального вибору рішень людиною. У зв'язку із цим складність відбиває тип невизначеності, що не піддається обробці імовірнісними методами. Когнітивні моделі (карти) дозволяють досліджувати деякі аспекти структурної складності, які визначені зв'язаністю систем. Крім того, когнітивні моделі деякою мірою дають можливість аналізувати динамічну складність системи.

Розробка когнітивної моделі складної системи найчастіше починається з побудови когнітивної карти – знакового орієнтованого графа (1), що отримується шляхом структуризації знань експерта (експертів) про предметну область на основі теоретичних подань, статистичних даних, застосування різних експертних методів [7].

$$G = \langle V, E \rangle. \quad (1)$$

Більше складні когнітивні моделі – це векторний параметричний граф, параметричний векторний функціональний граф  $\Phi_{\Pi}$ , модифікований функціональний граф [8].

$$\Phi_{\Pi} = \langle F, X, V, \Theta \rangle. \quad (2)$$

В формулах (1) та (2) позначено:  $V = \{v_i\}$ ,  $i=1,2,\dots,k$  – множина вершин когнітивної моделі (карти),  $E = \{e_{ij}\}$  – множина дуг, що з'єднують вершини  $v_i$  і  $v_j$ ;  $X = \{x_i\}$  – множина параметрів вершин,  $F = f\{v_i, v_j, e_{ij}\}$  – функція зв'язку між вершинами,  $\Theta$  – простір параметрів вершин.

Для планування вогневого ураження об'єктів противника розглянемо поняття стійкості складної системи. Стійкість складної системи – поняття багатоаспектне [5]. При цьому розглядається два аспекти поняття "стійкість" складної системи:

- стійкість системи під впливом зовнішніх дій при фіксованій структурі системи, тобто коли змінюється тільки зовнішнє середовище;
- стійкість поведінки системи при змінах структури системи – структурна стійкість.

Для аналізу стійкості системи при зміні зовнішнього середовища досліджуються корені характеристичного рівняння матриці відношення графа (1). Для задачі вогневого ураження об'єктів противника таке поняття стійкості не розглядається, оскільки структура системи не порушується, система адаптується під зміну середовища (дій противника).

Аналіз структурної стійкості пов'язаний з аналізом циклів прямого та зворотного зв'язку в когнітивній моделі і, як показали дослідження [9], з топологічною структурою графа.

Поліедральний (або топологічний) аналіз структури складної системи – це аналіз її q-зв'язаності, що складається в аналізі симплексиарних комплексів [2]. В поліедральному аналізі система розглядається у вигляді відношень між елементами кінцевих множин – множини вершин  $V$  та заданого сімейства непустих підмножин цих вершин – симплексів. Множина вершин та відповідні їм симплекси утворюють симплексиарні комплекси  $K$ . Для їх побудови використовується структура системи.

Нехай відома когнітивна модель деякої системи у вигляді орієнтованого графа (1), матриця відношення якого  $A_G = [a_{ij}]$ . Якщо для конкретних цілей поліедрального аналізу складної системи достатньо вивчення відношень в моделі  $G$ , тобто набір (матрицю

$A_G$ ) відношень  $a_{ij}$  можна вважати такою, що відповідає набору відношень  $\lambda_{ij}$ , які необхідні для рішення задачі, то структура когнітивної моделі  $\Lambda$ , що досліджується методом полідрального аналізу, задається тим же графом  $G$ . Граф відображає безпосередній вплив змінних  $x_i$  на  $y_j$  у відповідних вершинах матриці  $\Lambda$ , взаємодія між елементами (підсистемами)  $x_i$  та  $y_j$  будуть визначатися недиагональними елементами матриці. Симплекс позначається як  $\sigma^{(i)}(\rho)$ , де  $i$  – номер вершини, а  $\rho$  – геометрична розмірність симплекса. Число  $\rho$  визначається числом дуг, що поєднують вершини  $y_j$  в симплексі через змінну  $x_i$ , воно на одиницю менше числа одиниць у відповідному  $i$ -му рядку матриці  $\Lambda$ . Розмірність порожнього симплексу позначається через «-1».

Далі застосовується алгоритм  $q$  – аналізу для визначення зв'язаності складних структур, детально описаний в роботі [6].

Оскільки розглянута складна система, описана когнітивною моделлю, функціонує в динаміці ведення бойових дій, то для визначення критичних елементів системи додатково до  $q$  – аналізу слід застосувати сценарний аналіз складної системи.

Сценарний аналіз системи проводиться на моделі поведінки системи шляхом імпульсного 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 у вершині  $i$  в попередній момент (такт моделювання)  $(n)$ ,  $x_i(n+1)$  – в момент, що цікавить командира  $(n+1)$ ;  $f_{ij}$  – коефіцієнт перетворення імпульсу;  $P_j(n)$  – значення імпульсу в вершинах, суміжних з вершиною  $i$ ;  $Q_i(n)$  – вектор збурення та управляючих дій, що вносяться в вершину  $i$  в момент  $n$ . Набір реалізацій імпульсних процесів – це «сценарій розвитку», що вказує на можливі тенденції розвитку ситуацій в динаміці. Тоді ситуацію, в якій знаходиться складна система характеризується набором всіх  $Q$  та значень  $X$  в кожному такті моделювання.

Слід відмітити, що структурний аналіз когнітивних моделей складається з полідрального, сценарного аналізу складної системи та аналізу стійкості.

Виходячи з викладених міркувань, на рис. 1 приведена запропонована структура задачі вибору об'єктів вогневого ураження комплексу задач планування вогневого ураження системи підтримки прийняття рішення.

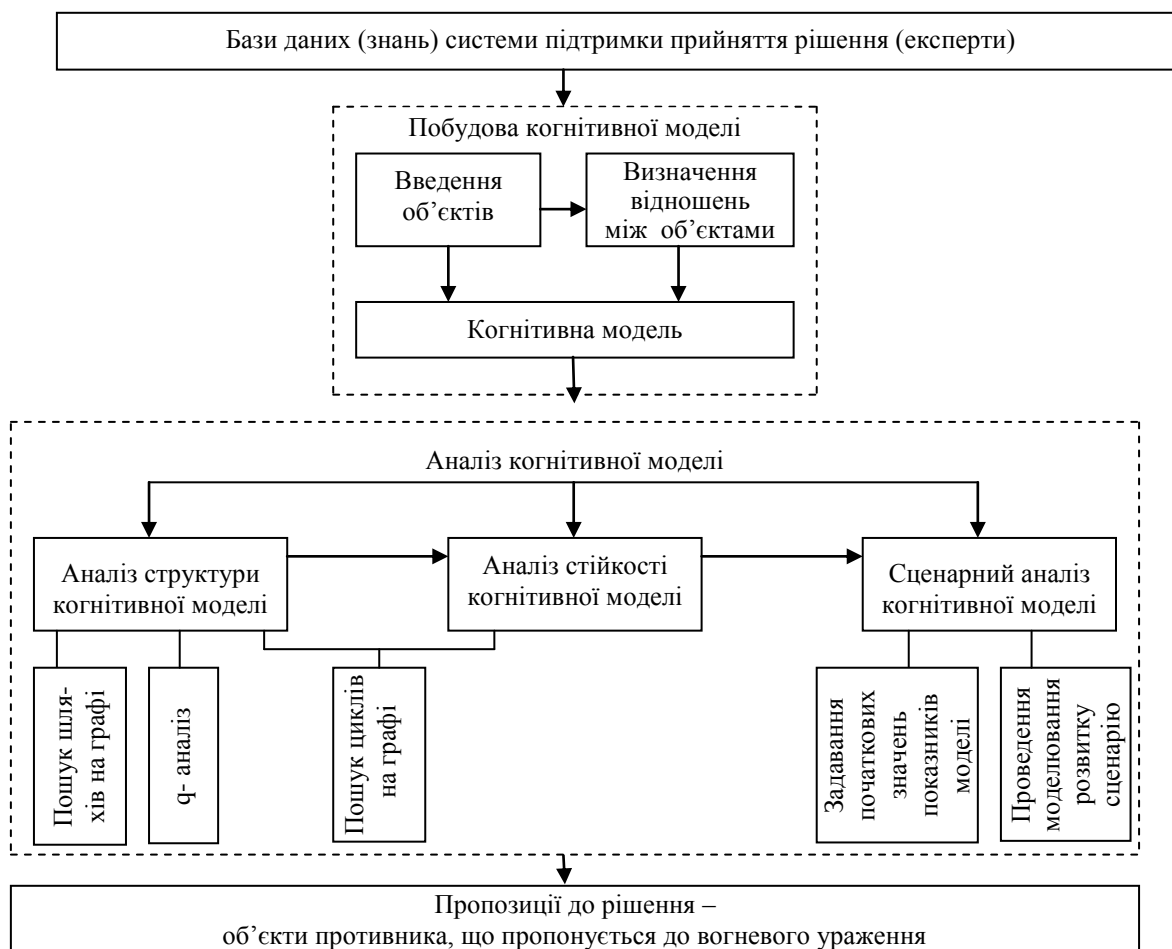


Рис. 1. Структура задачі вибору об'єктів вогневого ураження комплексу задач планування вогневого ураження системи підтримки прийняття рішення

На першому етапі проводиться процес побудови когнітивної моделі об'єктів противника. До цього слід залучити експертів (з подальшим використанням відповідних методів оцінки результатів експертизи) та (або) дані, що зберігаються в базах даних (знань) системи підтримки прийняття рішення. Вводяться як об'єкти так і зв'язки між ними. Когнітивна модель описується графом.

На другому етапі проводиться аналіз побудованої когнітивної моделі за викладеними в даній статті методами: аналіз структури; аналіз стійкості; сценарний аналіз.

Дані методи дозволяють визначити об'єкти противника, що підлягають першочерговому ураженню і визначають стійкість структури його угруповання.

### Висновки

Таким чином, в статті показано як за допомогою аналізу когнітивних моделей складних систем можна надати пропозиції до рішення щодо планування вогневого ураження об'єктів авіацією Повітряних Сил за умови обмеженого льотного ресурсу.

Застосування визначених методів складних систем дозволить наділити систему підтримки прийняття рішення ознаками штучного інтелекту. Крім того, визначено, що задача аналізу когнітивних моделей 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 складних динамічних, а також нечітких систем, чому будуть присвячені подальші дослідження.

### ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В КОМПЛЕКСЕ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

С.В. Немченко, А.В. Тристан

*Существует ряд подходов и направлений исследований структурных свойств сложных систем. Полидральный анализ позволяет раскрыть многомерную геометрию сложных систем, проследить влияние локальных изменений на структуру системы в целом, определить именно структурные особенности сложной системы, что не всегда можно обнаружить при других подходах. Использование этого метода для анализа структурно сложных систем позволяет более глубоко раскрыть роль отдельных элементов сложной системы и определить их влияние на другие элементы системы, что необходимо для выявления тех объектов противника, уничтожение (выведение из строя) которых ведет к нарушению функционирования сложной системы (группировки противника).*

**Ключевые слова:** *огневое поражение, связанность, когнитивная модель, комплекс, объект, планирование, полидральный анализ, симплекс, система поддержки принятия решения, системный анализ, сложность, топология.*

### APPLICATION OF ANALYSIS OF COGNITIVE MODELS OF DIFFICULT SYSTEMS IS IN COMPLEX OF TASKS OF PLANNING OF FIRE DEFEAT OF SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION-MAKING

S.V. Nemchenko, A.V. Tristan

*There is a row of approaches and directions of researches of structural properties of the difficult systems. Polyhedral analysis allows to expose multidimensional geometry of the difficult systems, trace influence of local changes on the structure of the system on the whole, to define the structural features of the difficult system exactly, that not always it is possible to discover at other approaches. The use of this method for an analysis structurally of the difficult systems allows in more depth to expose the role of separate elements of the difficult system and define their influence on other elements of the system, that is needed for the exposure of those objects of opponent, elimination (lay-up) of which conduces to violation of functioning of the difficult system (groupments of opponent).*

**Keywords:** *fire defeat, tie-up, cognitive model, complex, object, planning, polyhedral analysis, simplex, system of support of decision-making, analysis of the systems, complication, topology.*

### Список літератури

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 Международной конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М.: Изд-во ИПУ РАН, 2007. – С. 75-78.
2. Касты Дж. Большие системы, связность, сложность и катастрофы / Джон Касты, пер. с англ. Ю.П. Гупало. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
3. Гиг Джон Ван. Прикладная общая теория систем: пер с англ. / Гиг Джон Ван. – 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. Немченко С.В. До питання використання методу аналізу зв'язності структури складних систем для розв'язування задач планування вогневого ураження об'єктів противника / С.В. Немченко, А.В. Тристан, Ю.Г. Бусизін // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС, 2011. – Вип. 8(98). – С. 102-105.
7. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – Серия «Информатизация России на пороге XXI века» / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
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.

Надійшла до редколегії 14.05.2012

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