

УДК 681.322

Ю.В. Паржин<sup>1</sup>, Ю.Б. Васильєв<sup>1</sup>, Н.Ю. Любченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет "ХПІ", Харків

<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба

## ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМАХ

*Розглядаються питання формалізації процедури прийняття рішення у складних організаційних ієрархічних системах для визначення умов побудови алгоритмів оптимізації вироблення управлінських рішень.*

*складна організаційна ієрархічна система, орган управління, критерій функціонування*

### Вступ

#### Постановка проблеми й аналіз літератури.

На сьогодні при розгляді складних організаційних ієрархічних систем (СОІС) критичного застосування, до яких відносяться і транспортні системи, особлива увага приділяється питанням безпеки їх функціонування (безпеки руху транспортних засобів).

Найгостріше проблема безпеки стоїть у системах управління повітряним транспортом. Дана проблема багато в чому визначається ризиками, що виникають в процесі прийняття рішень, які ґрунтуються на неповноті знань про проблемну ситуацію, непередбачуваності впливу "людського чинника" в екстремальних умовах вироблення управлінських рішень. Вирішення вказаної проблеми може бути здійснено в результаті застосування інформаційних систем підтримки істинності прийняття рішень, побудованих на основі використання формально-логічних засобів подання знань і даних про проблемну область [1, 2].

**Мета досліджень.** Для розробки інформаційної технології побудови даних засобів необхідно здійснити дослідження і формалізацію процедури прийняття управлінських рішень у СОІС з метою визначення умов побудови алгоритмів оптимізації вироблення рішень.

### Основна частина

Для розв'язання поставленої задачі розглянемо питання побудови алгоритмів оптимізації управлінських рішень у СОІС.

Нехай визначено множину ребер

$$h = \left\{ h_{j\Theta}^{f^{v_{m-1}} Z^{\alpha_{m-1}}} \right\},$$

що виражає залежність виконання завдань оперативного управління, що стоять перед  $v_{m-1}$ -м органом управління (ОУ), від розв'язання задач оперативного управління іншим ОУ ( $m-1$ -го рангу. Тоді задача ОУ з досягнення максимального значення критерію його функціонування набере вигляду

$$\max \left\{ \bigoplus_{\alpha_{m-1}} \left[ K_{\alpha_{m-1}}^{v_{m-1}} \right] \times R_S^{v_{m-1}} \times \right.$$

$$\left. \times \left( \sum_{\eta_{m-1}} e_{v_{m-1}\eta_{m-1}} - \sum_{C_{m-1}} e_{C_{m-1}v_{m-1}} \right) \right\} \rightarrow K_{v_{m-1}}^0, \quad (1)$$

де  $K_{\alpha_{m-1}}^{v_{m-1}}$  – критерій ефективності розв'язання задачі оперативного управління  $\alpha_{m-1}$ -м ОУ для  $v_{m-1}$ -го ОУ;  $R_S^{v_{m-1}}$  – множина ресурсів, яка виділяється  $v_{m-1}$ -м ОУ для розв'язання задач оперативного управління;  $e_{v_{m-1}\eta_{m-1}}, e_{C_{m-1}v_{m-1}}$  – відповідно вектори ресурсів з  $\eta_{m-1}$  у  $v_{m-1}$  та з  $v_{m-1}$  у  $C_{m-1}$ , визначені в результаті перерозподілу ресурсів, який здійснюється вищестоячим ОУ;  $\oplus$  – символ композиції;  $K_{v_{m-1}}^0$  – оптимальне значення критерію  $K_{v_{m-1}}$ .

$K_{\alpha_{m-1}}$  визначається аналогічним чином причому, перший аргумент може бути відсутнім, якщо розв'язання задачі не вимагає ресурсів, що є у інших ОУ ( $m-1$ -го рангу).

Символ композиції визначає закон взаємодії вихідних ефектів, одержаних у результаті розв'язання задач оперативного управління різними ОУ. Крайніми випадками будуть варіанти, коли вихідний ефект, що одержується множиною органів управління, визначається як сума вихідних ефектів окремих ОУ або як їх добуток [3].

Визначимо задачу отримання максимального значення критерію ефективності ОУ ( $m-1$ -го рангу

$$\max \left\{ \bigoplus_{v_{m-1}} K_{v_{m-1}}^{v_{m-1}} \left( \bigoplus_{\alpha_{m-1}} K_{\alpha_{m-1}}^{v_{m-1}} \right) \times \left\{ S_{pr}^{v_{m-2}} \right\} \times R_S^{v_{m-2}} \times \right. \\ \left. \times \left( \sum_{\eta_{m-2}} e_{v_{m-2}\eta_{m-2}} - \sum_{C_{m-2}} e_{C_{m-2}v_{m-1}} \right) \right\} \rightarrow \\ \rightarrow K_{v_{m-2}}^0 \quad \forall v_{m-1} \left( R \left| X^{v_{m-1}} \right| = X^{v_{m-2}} \right); \quad (2) \\ -\exists \alpha_{m-1} \left( R \left| X^{\alpha_{m-1}} \right| = X^{v_{m-2}} \right).$$

Сенс подвійної композиції  $\bigoplus_{v_{m-1}} \bigoplus_{\alpha_{m-1}} \left[ K_{\alpha_{m-1}}^{v_{m-1}} \right] -$

урахування при оцінці значень критеріїв ефективності розв'язання задач для  $v_{m-2}$ -го ОУ всіма органами управління  $(m - 1)$ -го рангу, яка не є його потомками.

Всю множину органів управління  $(i + 1)$ -го рангу,  $1 \leq i \leq m - 2$ , представимо у вигляді об'єднання двох сімей підмножин

$$\bar{X}^{i+1} = \left\{ \bar{X}_a^{i+1} \mid a \in \bar{1}, \ell_a \right\} \cup \left\{ \bar{X}_b^{i+1} \mid b \in \bar{1}, \ell_b \right\}, \quad (3)$$

підлеглих  $\left\{ \bar{X}_a^{i+1} \right\}$  і не підлеглих  $\left\{ \bar{X}_b^{i+1} \right\}$  ОУ  $v_i$ . Природно припускати, що критерій ефективності  $K_{v_i}$  розв'язання задач оперативного управління  $v_i$ -м ОУ визначатиметься композицією

$\bigoplus_{v_{i+1} \in \bar{1}, \ell_a} K_{v_{i+1}}$  критеріїв ефективності органів управління з сімейств  $\left\{ \bar{X}_a^{i+1} \right\}$ . При цьому кожний  $K_{v_{i+1}} \mid v_{i+1} \in \bar{1}, \ell_a$  з  $\left\{ \bar{X}_a^{i+1} \right\}$  в загальному випадку визначається через

$$\bigoplus_{v_{i+2} \in \bar{1}, \ell_a} K_{v_{i+2}} \mid \forall v_{i+2} \left( \mathbb{R} \mid X^{v_{i+2}} \mid = X^{v_{i+1}} \right) \quad (4)$$

підлеглих йому ОУ з  $\left\{ \bar{X}_a^{i+2} \right\}$  і  $\bigoplus_{v_{i+1} \in \bar{1}, \ell_b} K_{v_{i+1}}$  ОУ з сімейств  $\left\{ \bar{X}_b^{i+1} \right\}$ .

Очевидно, що критерій, який дозволяє оцінити ефективність розв'язання задач оперативного управління  $v_{i+1}$ -м ОУ, залежить від ефективності розв'язання задач оперативного управління, які входять у графі  $\left\{ G_{C_0 \beta^v}^{v_{m-1}^*} \right\}$  потомків  $X^{v_{i+1}}$   $(m - 1)$ -го ОУ,

органами управління  $(m - 1)$ -го рангу, які підпорядковані іншим ОУ рангу  $i + 1$ . Композиція таких критеріїв визначатиме  $K^{v_i}$ . Проте кожний з ОУ  $(i + 1)$ -го рангу прагне максимізувати критерій ефективності розв'язання задач, які визначаються графами  $\left\{ G_{C_0 \beta^v}^{v_{m-1}^*} \right\}$ , що стоять перед підлеглими йому ОУ

$(m - 1)$ -го рангу. У цьому випадку значення критеріїв ОУ  $(i + 1)$ -го рангу будуть менше значень, одержаних без урахування обмежень на елементи структури  $S$  – матриці залежностей для цих же ОУ. Тепер запишемо рішення задачі оптимізації ОУ  $X^{v_i}$  в наступному вигляді:

$$\max \left\{ \bigoplus_{v_{i+1}} K^{v_{i+1}} \left[ S \left[ S_{pr}^{v_i} \right] \right] \times \left( \sum_{\eta_i} e_{v_i \eta_i} - \sum_{C_i} e_{C_i v_i} \right) \times R_S^{v_i} \right\} \rightarrow K_{v_i}^0; \quad (5)$$

$$X^{v_{i+1}} \in \left\{ \bar{X}_{a,c}^{i+1} \right\} = \left\{ \bar{X}_{a,c_1}^{i+1} \right\} \cup \left\{ \bar{X}_{a,c_2}^{i+1} \right\};$$

$$\forall v_{i+1} \left( \mathbb{R} \mid X^{v_{i+1}} \mid = X^{v_i} \right),$$

де  $S_{pr}^{v_i}$  – структура перерозподілу ресурсів.

При фіксованих значеннях компонент  $R_S^{v_i}$ ,  $\left( \sum_{\eta_i} e_{v_i \eta_i} - \sum_{C_i} e_{C_i v_i} \right)$  областю допустимих значень є множина реалізацій матриці  $S$  таких, що значення  $K^{v_{i+1}} / \forall X^{v_{i+1}} \in \left\{ \bar{X}_{a,c}^{i+1} \right\}$  задовольняють умову композиції  $\oplus$ , яка визначає правила прийняття рішень в ОУ  $X^{v_i}$ . Тут

$$K^{v_{i+1}} = \bigoplus_{v_{i+2}} \bigoplus_{v_{m-1}} \left\{ K_{a,c}^{v_{i+2}} \oplus K_{v_{i+1}^{a,c_2}, v_{i+1}^{a,c_1}}^{v_{m-1}} \oplus \bigoplus_{v_{i+2}} \bigoplus_{v_{m-1}} \left\{ K_{v_{i+1}^{a,d}, v_{i+1}^{a,c_1}}^{v_{m-1}} \oplus K_{v_{i+1}^{a,b_1}, v_{i+1}^{a,c_1}}^{v_{m-1}} \right\} \right\}; \quad (6)$$

$$\forall v_{i+2} \left( \mathbb{R} \mid X^{v_{i+2}} \mid = X^{v_{i+1}} \right),$$

$$v_{i+1}^{a,c_2} \in \bar{1}_{i+1}^{a,c_2}, \ell_{i+1}^{a,c_2}, v_{i+1}^{a,d} \in \bar{1}_{i+1}^{a,d}, \ell_{i+1}^{a,d},$$

$$v_{i+1}^{b_1} \in \bar{1}_{i+1}^{b_1}, \ell_{i+1}^{b_1}, v_{i+1}^{a,c_1} \in \bar{1}_{i+1}^{a,c_1}, \ell_{i+1}^{a,c_1}.$$

Аналогічним чином визначається для ОУ  $v_{i+1}^{a,c_2} \in \bar{1}_{i+1}^{a,c_2}, \ell_{i+1}^{a,c_2}$ .

Визначення  $K_{v_i}^0$  у виразі (5) є досить складною математичною задачею. Її розв'язання визначається видом екстремізованої функції, обмежень на входні у неї змінні і структурою СОІС. У теперішній час розроблені ефективні методи розв'язання задач (5) лише для порівняно простого випадку, коли екстремізований критерій є сепарабельною функцією окремих нелінійних критеріїв нижнього рівня і задовольняє умову безперервної диференційованості. Цю ж умову повинні задовольняти функції взаємодії між окремими підсистемами. Такі методи носять назву декомпозиційних. Припустимо, що умови задання (5) дозволяють використовувати для її розв'язання декомпозиційні методи. Тоді задачу (5) сформулюємо таким чином.

Для фіксованого  $S_{pr}^{v_i}$  визначити

$$\max K_{v_i} \left( K_{v_{i+1}} / X^{v_{i+1}} \in \left\{ \bar{X}_{a,c}^{i+1} \right\}, S, R_S^{v_i} \right) = \max \sum_{v_{i+1}} K_{v_{i+1}} \quad (7)$$

за умов

$$Y_{v_{i+1} \eta_{i+1}} \left( \bigoplus_{v_{i+2}} K_{a,c}^{v_{i+2}}, \bigoplus_{v_{m-1}} K_{\ell_{i+1}, v_{i+1}}^{v_{m-1}}, X^{\ell_{i+1}} \in \bar{X}_{a,c_2}^{i+1} \cup \bar{X}_d^{i+1} \cup \bar{X}_{b_1}^{i+1} \right) = \bigoplus_{v_{m-1}} K_{v_{i+1} \eta_{i+1}}^{v_{m-1}}. \quad (8)$$

Тут

$$\bigoplus_{v_{m-1}} K_{v_{i+1}}^{v_{m-1}} = \left\{ \bigoplus_{v_{m-1}} K_{\ell_{i+1}, v_{i+1}}^{v_{m-1}} \right\}; \bigoplus_{v_{m-1}} K^{v_{m-1}} = \left\{ \bigoplus_{v_{m-1}} K_{v_{i+1}}^{v_{m-1}} \right\};$$

$$X^{v_{i+1}} \in \bar{X}_{a,c_2}^{i+1} \cup \bar{X}_d^{i+1} \cup \bar{X}_{b_1}^{i+1}; X^{\eta_{i+1}} \in \left\{ \bar{X}_a^{i+1} \right\} \cup \left\{ \bar{X}_{b_1}^{i+1} \right\};$$

$$Y_{v_i, \eta_{i+1}} = 0 / X^{v_{i+1}} \in \left\{ \bar{X}_{a,c}^{i+1} \right\}.$$

Розв'язанням задачі (7) є координати точки мінімуму функції Лагранжа. Для розв'язання задачі (7) використовуємо дворівневий декомпозиційний алгоритм, який ґрунтується на координації за методом узагальнення зведеного градієнта [4, 5].

Для знаходження розв'язання задач, які не задовольняють умови застосування декомпозиційних методів, їх приводять до вигляду (7) або будують алгоритми, що враховують умови розв'язання конкретної задачі. Проте безпосереднє використання подібних алгоритмів для оптимізації управлінських рішень в ОУ СОІС не є можливим, оскільки оптимальне рішення визначається на множині значень критеріїв нижнього рівня, а при цьому не враховується можливість досягнення знайдених значень критеріїв відповідними підсистемами СОІС. З іншого боку, значення критеріальної функції ОУ залежатиме від кількості наявних у нього ресурсів для проведення операції і структури їх перерозподілу між підлеглими йому органами управління. Задання аналітично таких залежностей проблематично. Тому пропонується такий алгоритм розв'язання задачі (5).

1. Орган управління  $v_i$  визначається для підлеглих органів управління

$$\left\{ \oplus_{v_{i+2}} K_{a,c}^{v_{i+2}*} \right\}, \left\{ \oplus_{v_{m-1}} K_{v_{i+1}, \delta_{i+1}}^{v_{m-1}*} \right\},$$

що доставляють екстремальне значення критерію ефективності ОУ  $v_i - K_{v_i}$ , при фіксованому  $S_{pr_{v_i}}$ .

2. Відповідно до визначених значень  $\left\{ \oplus_{v_{i+2}} K_{a,c}^{v_{i+2}*} \right\}, \left\{ \oplus_{v_{m-1}} K_{v_{i+1}, \delta_{i+1}}^{v_{m-1}*} \right\}$  органи управління ( $i+1$ )-го рангу розв'язують задачу екстремізації своїх критеріїв ефективності і визначають значення

$$\left\{ \oplus_{v_{i+3}} K_{a,c}^{v_{i+3}*} \right\}, \left\{ \oplus_{v_{m-1}} K_{v_{i+2}, \delta_{i+2}}^{v_{m-1}*} \right\}.$$

Аналогічним чином визначаються критерії ефективності для ОУ рангів до  $(m-1)$ -го включно. Значення екстремуму цих критеріїв залежить також від топології перерозподілу ресурсів між підлеглими ОУ.

3. Залежно від наявних ресурсів і відповідно до множини структур перерозподілу ресурсів підлеглими ОУ  $v_i$  органами управління рангів  $i+1, m-1$ , обчислюється значення критерію  $K_{v_i}^*$ . При цьому перевіряється умова: якщо при всіх допустимих

$S_{pr_{v_i}} \quad K_{v_i}^* \left( S_{pr_{v_i}} \right) < K_{v_i}^Y$ , де  $K_{v_i}^Y$  – значення, одержане при розв'язанні задачі (5), то обчислюється значення  $K_{v_i}^Y - \Delta K_{v_i}^Y$  і здійснюється перехід до п.1;

у противному разі при  $K_{v_i}^* \geq K_{v_i}^Y$ , значення  $K_{v_i}^Y$  збільшується на  $\Delta K_{v_i}^Y$  і слідує перехід до п.1.

Умовою завершення алгоритму буде виконання співвідношень:

$$K_{v_i}^* \left( S_{pr_{v_i}} \right) > K_{v_i}^Y; \quad K_{v_i}^{**} \left( S_{pr_{v_i}} \right) < K_{v_i}^Y + \Delta K_{v_i}^Y, \quad (9)$$

де  $K_{v_i}^{**} \left( S_{pr_{v_i}} \right)$  – значення критерію, одержане при всіх допустимих, якщо задано  $K_{v_i}^Y + \Delta K_{v_i}^Y$ .

Таким чином, розглянутий алгоритм є модифікацією централізованого розімкненого управління "зверху вниз", що складається з етапів розв'язання задач органами управління  $i$ -го рангу і видачі підсистемам  $(i+1)$ -го рангу розв'язання для реалізації, після чого органи управління  $(i+1)$ -го рангу визначають для себе закони розподілу і перерозподілу ресурсів.

## Висновок

На основі проведеного аналізу функціонування СОІС при розв'язання задач оперативного управління можна стверджувати, що процес синтезу координуючих та управляючих дій у СОІС не може бути описаний ніякою детермінованою схемою глобальної оптимізації щодо кінцевої мети системи. Перехід від реального об'єкта до його формальної моделі в класичних методах моделювання супроводжується втратою індивідуальних семантичних відомостей про об'єкт, які для простих систем не є істотними, а для складних систем, як СОІС, втрачається можливість адекватного опису об'єкта. Таке положення висуває задачу створення інформаційних систем підтримки прийняття рішень в ОУ СОІС, основою яких є формалізм подання знань про проблемну область, що дозволяє автоматично оцінювати стан об'єкта і середовища управління, знаходити необхідний і достатній перелік управлінських рішень на основі накопичених знань.

## Список літератури

1. Мельцер М.И. Диалоговое управление производством (модели и алгоритмы). – М.: Финансы и статистика, 1983. – 240 с.
2. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. – М., СПб., К., 2003. – 863 с.
3. Лавров А.Н. Автоматизированное управление в больших системах. – Л.: Энергия, 1974. – 120 с.
4. Таха Х. Введение в исследование операций.: В 2-х книгах. Кн.2 – М.: Мир, 1985. – 496 с.
5. Плискин Л.Г. Оптимизация непрерывного производства. – М.: Энергия, 1975. – 336 с.

Надійшла до редколегії 14.11.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний технічний університет сільського господарства, Харків.