УДК 389 : 001.18

О. О. Морозов

АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

Розглядається проблема синтезу складних організаційно-технічних систем в умовах нечіткої вихідної інформації та пропонується узагальнений алгоритм розв'язання задач такого класу.

Постановка проблеми. Синтез складних організаційно-технічних систем (СОТС) пов'язаний, як правило, з формулюванням і розв'язанням задач багатокритеріальної оптимізації. При цьому через суперечливість показників ефективності (ПЕ) СОТС та відсутність вичерпної інформації про бажаний вигляд системи задача стає такою, що не розв'язується традиційними методами. Узагальнення цієї ситуації може бути проведене з використанням апарату теорії нечітких множин [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням прийняття рішень і, зокрема, синтезу складних систем за умов нечіткої визначеності інформації присвячена достатня кількість праць, в яких пропонуються загальні підходи до розв'язання такого класу задач [3 – 8]. Причому синтез систем розглядається, як правило, для умов однокритеріальності. Практика вимагає розв'язання задач синтезу для умов багатокритеріальності та "розмитості" оцінювання ефективності таких систем.

Мета статті – розроблення алгоритму синтезу складних організаційно-технічних систем за умов невизначеності інформації.

Виклад основного матеріалу. Для визначеної множини цілей функціонування СОТС $\{z_i\}$ ступінь досягнення цілей оцінюється множиною ПЕ $\{K_{ij}\},\ i=\overline{1,\omega},\ j=\overline{1,\tau}$. Назвемо ціллю рангу n ціль, яка досягається на множині систем, що містять n ієрархічних рівнів. Множина таких систем створює множину розв'язків $\{X_{ijm}\},\ m=\overline{1,\rho}$. Назвемо ціль нечіткою, якщо кожній системі відповідає певний ступінь її належності множині розв'язків:

$$\mu_{\{X_{ijm}\}}\left(X_{ijm}\right)\in\left[0,1\right]. \tag{1}$$

Задача багатокритеріальної оптимізації полягає у синтезі СОТС, яка буде оптимальною за вибраними ПЕ, тобто з максимальним ступенем належності множині розв'язків, які задовольняють деякому набору граничних значень цих показників

$$K_{ij}\le K_{ij}^{гр}.$$

Складність її розв'язання пов'язана з тим, що у дійсності граничні значення показників ефективності визначити майже неможливо. Тобто граничні значення виявляються розмитими так само, як і оцінка ефективності системи, що синтезується. Ширина області "розмитості" визначається неповнотою (нечіткістю) вихідної інформації про цілі, а також про вид та властивості СОТС. У процесі розв'язування задачі можна визначити кілька етапів.

Е т а п 1. *Постановка задачі та формування граничних значень показників ефективності СОТС.*

Граничні значення показників $K_{ij}^{гр}$ визначаються директивно (у вигляді "жорстких" кількісних оцінок) або формуються на підставі вихідної інформації про цілі та властивості системи.

Для формалізованого подання вихідної інформації необхідно у відповідність кожному показнику j для цілі i поставити нечітку множину, яка характеризує вихідну інформацію про них з функціями належності $\mu_{ij}^{(k)},\ k=\overline{1,\sigma}$, та індексом нечіткості:

$$\nu_{ij}=\frac{2}{\sigma}\sum_{k=1}^{\sigma}\Lambda_k(\mu_{ij}^{(k)},\ 1\text{-}\mu_{ij}^{(k)}), \tag{2}$$

де σ – кількість характеристики інформації, що виділяється; $\mu_{ij}^{(k)}$ – функції належності, які відповідають різним характеристикам інформації (наприклад, $\mu_{ij}^{(1)}$ характеризує ступінь формалізації вихідних даних, $\mu_{ij}^{(2)}$ – ступінь повноти, $\mu_{ij}^{(3)}$ – ступінь важливості та ін.).

Значення $\mu_{ij}^{(k)}$ можуть бути оцінені як відношення кількості факторів, що враховуються, до їх загальної кількості. Введемо також функції належності $\mu_{\bigcup_{ij}}$ та $\mu_{\bigcap_{ij}}$:

$$\mu_{\bigcup_{ij}} = \frac{1}{\sigma}\sum_{k=1}^{\sigma} m_{ijm} \cdot \mu_{ij}^{(k)}, \qquad \mu_{\bigcap_{ij}} = \bigcap_{k} m_{ijk} \cdot \mu_{ij}^{(k)}, \tag{3}$$

де m_{ijk} – ваговий коефіцієнт інформаційної характеристики k.

Значення $\mu_{\bigcup_{ij}}$, $\mu_{\bigcap_{ij}}$ можна ототожнювати з оцінкою важливості показників ефективності СОТС. Індекс нечіткості характеризує "розмитість" (визначеність) граничних значень показників. Так, при директивному визначенні граничних значень, тобто коли показники визначені у вигляді "жорстких" кількісних оцінок, усі $\mu_{ij}^{(k)}=1$, а $\nu_{ij}=0$. Взагалі ж вони оцінюються за інформацією на наступних рівнях аналізу. За значеннями $\mu_{\bigcup_{ij}}$ розраховується індекс нечіткості задачі:

$$\nu_{\Sigma} = \frac{2}{n}\sum_{ij} \Lambda_{i} \Lambda_{j} \left(\mu_{\bigcup_{ij}},\ 1\text{-}\mu_{\bigcup_{ij}}\right), \tag{4}$$

який характеризує "розмитість" постановки задачі (де n – загальна кількість показників по всіх цілях).

У процесі з'ясування задачі нечітка множина, що характеризує вихідну інформацію про показники j для цілі i, індукує нечітку множину, яка характеризує інформацію про властивості систем на першому рівні аналізу:

$$\left\{\mu_{ij}^{(k)}\right\} \to \left\{\mu_{ijm(1)}^{(k)}\right\}. \tag{5}$$

У разі необхідності можна здійснювати аналіз систем на другому рівні – властивості підсистем СОТС

$$\left\{\mu_{ij}^{(k)},\ \mu_{ijm(1)}^{(k)}\right\} \to \left\{\mu_{ijm(2)}^{(k)}\right\} \tag{6}$$

і на наступних рівнях, що відповідають властивостям елементів підсистем.

Нечіткі множини $\left\{\mu_{ijm(1)}^{(k)}\right\}$, $\left\{\mu_{ijm(2)}^{(k)}\right\}$, ... характеризують інформацію про властивості систем на відповідних рівнях аналізу. Аналогічно наведеному вище вводяться $\mu_{\bigcup_{ijm(1)}}$, $\mu_{\bigcup_{ijm(2)}}$, … та індекси нечіткості:

$$\nu_{ijm(1)} = \frac{2}{\sigma}\sum_{k=1}^{\sigma} \Lambda_{k}\left(\mu_{ijm(1)}^{(k)},\ 1\text{-}\mu_{ijm(1)}^{(k)}\right), \quad \nu_{ijm(2)} = \frac{2}{\sigma}\sum_{k=1}^{\sigma} \Lambda_{k}\left(\mu_{ijm(2)}^{(k)},\ 1\text{-}\mu_{ijm(2)}^{(k)}\right), \ldots, \tag{7}$$

які характеризують "розмитість" оцінок систем за показниками якості.

Е т а п 2. *Ранжирування придатних варіантів систем за ПЕ.*

Визначимо на множині придатних варіантів СОТС $\left\{X_m\right\}$ (індекси i, j не вказуються) для кожного $X_m \in \left\{X_m\right\}$ нечіткі підмножини $\tilde{X}_m = \left\{X_m,\ \lambda_{\tilde{x}_m}^{ij}(X_m)\right\}$, які характеризують систему певної ефективності за показником j для цілі i, де $\lambda_{\tilde{x}_m}^{ij}(x_m) \in L_m^{ij}$, а L_m^{ij} – деяка множина типу "решітка". При цьому кожний з показників може набувати значення у множинах L_m^{ij}, що мають різну структуру (наприклад, L_m^{ij} може бути векторною решіткою) [9].

Нечіткість оцінок ефективності систем залежить від нечіткості граничних значень показників та інформації про властивості систем.

Можна запропонувати такий алгоритм ранжирування систем за умов, що рівень аналізу фіксований:

– структура кожного L_m^{ij} зображується у вигляді простого графа, і визначаються рівні порядку;

– для кожної пари систем $X_r, X_\ell \in \{X_m\}$ визначається величина

$$\lambda^{ij}(X_r, X_\ell) = \frac{N_r^{ij} - N_\ell^{ij}}{N_o^{ij}} \equiv \delta_r^{ij} - \delta_\ell^{ij}, \tag{8}$$

де N_r^{ij}, N_ℓ^{ij} – рівні порядку оцінок для X_r та X_ℓ відповідно за показником j для цілі i; N_o^{ij} – кількість рівнів порядку у L_m^{ij}; δ_r^{ij}, δ_ℓ^{ij} – аналоги відстаней у L_m^{ij}.

З кожним λ^{ij} пов’язане відношення ε_o – переваги виду

$$R_{ij}^{\varepsilon_o} = \left\{ \left(X_r,\, X_\ell\right) / \, X_r, X_\ell \in \{X_m\};\ \lambda^{ij}\left(X_r,\, X_\ell\right) > \varepsilon_{oij} \right\}. \tag{9}$$

Функція належності нечіткого відношення переваги визначається у вигляді

$$\mu_{ij}(X_r, X_\ell) = \begin{cases} 1; & (X_r,\, X_\ell) \in R_{ij}^{\varepsilon_o}, \\ 0{,}5; & \left|\lambda^{ij}(X_r, X_\ell)\right| \le \varepsilon_{oij}, \\ 0; & \lambda^{ij}(X_\ell, X_r) > \varepsilon_{oij}, \end{cases} \tag{10}$$

де ε_{oij} – область “розмитості”, у якій системи, що порівнюються, еквівалентні;

$$\varepsilon_{oij} \cong \max(\nu_{ijr(p)},\, \nu_{ij\ell(p)}), \tag{11}$$

де p – фіксований рівень аналізу.

Використовуючи результати ранжирування систем та поняття індексу нечіткості задачі, можна здійснити перевірку існування розв’язку задачі.

Зв’яжемо з кожним X_r нечітку множину $\tilde{X}_r$ з функціями належності $\mu_{\tilde{X}_r}^{ij}(X_r) = \delta^{ij}(X_r)$ (для всієї сукупності цілей та ознак). У підсумку отримаємо набір нечітких підмножин $\tilde{X}_1,\, \tilde{X}_2,\, \ldots,\, \tilde{X}_m$.

Для кожної пари $\tilde{X}_r$, $\tilde{X}_\ell$ підрахуємо відносні узагальнені відстані (наприклад, евклідове, Хеммінга або інші) і на їх підставі побудуємо відношення неподібності на множині $\{X_m\}$. Розрахуємо мінімакс- або (min-sum)-транзитивне замикання, яке дає матрицю відповідних транзитивних відстаней $\delta(\tilde{X}_r,\, \tilde{X}_\ell)$ у просторі ознак. Отримане відношення дає змогу побудувати схему декомпозиції з використанням мінімакс- або (min-sum)-транзитивної відстані і виділити транзитивно рівновіддалені класи (підмножини), що відповідають різним значенням δ: $\delta(\tilde{x}_r,\, \tilde{x}_\ell) = 0$; $\delta(\tilde{x}_r,\, \tilde{x}_\ell) = \delta_1$ і т. д.

Визначимо максимальне значення $\delta(\tilde{X}_r,\, \tilde{X}_\ell) = \delta_{\max}$, при якому системи $\tilde{X}_1,\, \tilde{X}_2,\, \ldots,\, \tilde{X}_m$, що аналізуються, ще розрізняються. Для того щоб задача мала розв’язок, необхідно та достатньо, щоб виконувалася нерівність $\delta_{\max} > \nu_\Sigma$, тобто міра несхожості систем у просторі ознак повинна бути більше індексу нечіткості задачі, який характеризує рівень інформації про неї.

Ця умова має такий сенс: інформація про задачу (показники та властивості систем) повинна бути достатньою для розрізнення систем у просторі ознак.

Е т а п 3. *Формування інтегральної оцінки ефективності системи.*

Знайдемо функції належності для перерізу та об’єднання відношень $R_{ij}^{\varepsilon_o}$:

$$\mu_\cap(X_r,\, X_\ell) = \bigwedge_i \bigwedge_{j(p)} m_{ij} \cdot \mu_{ij}(X_r, X_\ell), \tag{12}$$

$$\mu_\cup(X_r,\, X_\ell) = \sum_{i,j(p)} m_{ij} \cdot \mu_{ij}(X_r,\, X_\ell), \tag{13}$$

де $j(p)$ означає, що операція усереднення здійснюється за сукупністю факторів, що виділені на p-му рівні аналізу; m_{ij} ураховує різницю у ступені важливості показників ефективності.

Ранжирування систем у отриманих множинах визначається функціями належності:

$$\mu_{\cap;\cup}(X_r) = 1 - \underset{X_\ell}{V}\left[\mu_{\cap;\cup}(X_\ell, X_r) - \mu_{\cap;\cup}(X_r, X_\ell)\right]. \quad (14)$$

Шукана підмножина ефективних систем за результатами ранжирування визначається значенням функції належності:

$$\mu(X_r^{еф}) = \underset{X_r}{V}\left[\mu_\cap(X_r)\Lambda\mu_\cup(X_r)\right]. \quad (15)$$

Величину $\mu(X_r^{еф})$ можна розглядати як інтегральний показник якості, визначений на множині $\{X_m\}$.

Можлива й інша процедура отримання ефективних розв’язків. У цьому випадку розраховується

$$\mu_{cp}(X_r, X_\ell) = \frac{\mu_\cap(X_r, X_\ell) + \mu_\cup(X_r, X_\ell)}{2}, \quad (16)$$

а потім

$$\mu(X_r^{еф}) = 1 - \underset{X_\ell}{V}\left[\mu_{cp}(X_\ell, X_r) - \mu_{cp}(X_r, X_\ell)\right]. \quad (17)$$

Урахуємо додаткові порогові умови, для чого визначимо відношення ε_o' -переваги

$$R_{ij}^{\varepsilon_o'} = \left\{(X_r, X_o)/X_r,\ X_o \in \{x_m\};\ \lambda^{ij}(X_r, X_o) > \varepsilon_{oij}'\right\} \quad (18)$$

з функцією належності

$$\mu_{ij}(X_r, X_o) \equiv \mu_{ij}^o(X_r) = \begin{cases} 1; & (X_r,\ X_o) \in R_{ij}^{\varepsilon_o'}, \\ 0{,}5; & \left|\lambda^{ij}(X_r, X_o)\right| \le \varepsilon_{oij}', \\ 0; & \lambda^{ij}(X_o, X_r) > \varepsilon_{oij}', \end{cases} \quad (19)$$

де X_o – гранична “система”, що характеризується граничним значенням показників K_{ijo} (на певному рівні аналізу).

Тут, як і вище, істотно, що є область “розмитості”, в якій системи, що порівнюються, не розрізняються за даним показником; ширина області “розмитості” $\varepsilon_{oij}' \cong \max(\nu_{ij}, \nu_{ijr(p)})$.

Шукана множина оптимальних систем у цьому випадку визначається функцією належності:

$$\mu^{еф}(X_r) = \underset{X_r}{V}\left\{\left[\underset{i}{\Lambda}\ \underset{j(p)}{\Lambda}\ \mu_{ij}^o(X_r)\right]\Lambda\left[\mu_\cap(X_r)\mu_\cup(X_r)\right]\right\}. \quad (20)$$

Розглянемо деякі особливості запропонованого алгоритму оптимізації.

1. Якщо інформація про граничні значення є точною, тобто $\varepsilon_{oij}' = 0$, то алгоритм оптимізації спрощується:

$$\mu^{еф}(X_r) = \underset{X_r}{V}\ \underset{i}{\Lambda}\ \underset{j}{\Lambda}\ \mu_{ij}^o(X_r). \quad (21)$$

Подібний випадок має місце, якщо $\varepsilon_{oij} << \left|\lambda^{ij}(X_r, X_\ell)\right|$.

2. Якщо $\varepsilon_{oij}' \cong \max\left|\lambda^{ij}(X_r, X_\ell)\right|$, то чутливість розв’язків мала й алгоритм оптимізації малоефективний.

Висновки

Розроблено алгоритм синтезу складних організаційно-технічних систем за умов векторного показника ефективності та невизначеності вихідної інформації про цілі, а також про вид та властивості СОТС.

Список використаних джерел

1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств : пер. с франц. / А. Гофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 423 с.

2. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 203 с.

3. Большие системы: моделирование организационных механизмов / В. Н. Бурков, Б. Данев, А. К. Еналеев и др.; отв. ред. В. И. Опойцев; АН СССР, Ин-т проблем управления. – М. : Наука, 1999. – 245 с.

4. Герасимов Б. М. Проектирование организационных структур: методы и алгоритмы / Б. М. Герасимов, В. И. Глуцкий, А. А. Рабчук. – К. : БФ "Миротворець", 2000. – 206 с.

5. Зайченко Ю. П. Исследование операций: нечеткая оптимизация : учеб. пособие / Ю. П. Зайцев. – К. : Выща шк., 1991. – 191 с.

6. Теория и практика нечетких гибридных систем / под ред. Н. Г. Ярушкиной. – М. : Физматлит, 2007. – 185 с.

7. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень : Изд-во Тюменск. гос. ун-та, 2000. – 352 с.

8. Дилигенский Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, Н. В. Севастьянов. – М. : Машиностроение, 2004. – 397 с.

9. Гретцер Г. Общая теория решеток : пер. с англ. / под ред. Д. М. Смирнова. – М. : Мир, 1981. – 456 с.

Стаття надійшла 10.11.2009 р.