

ФОРМИРОВАНИЕ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИСХОДНЫХ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СИНТЕЗА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

В.А. ДОРОШЕНКО, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,

Л.В. ДРУК, *доц., МГУЛ, канд. техн. наук*⁽¹⁾,

А.Э. ГЕРАСИМОВ, *асп., МГУЛ*⁽¹⁾

alkazarrus@bk.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я институтская, д. 1, МГУЛ

Современные системы управления технологическими процессами и производствами являются распределенными по уровням, начиная с уровня датчиков и исполнительных устройств, уровня промышленных контроллеров и компьютеров и кончая локальными вычислительными сетями с множеством коммуникационных устройств. Компоновка таких систем в процессе структурного и параметрического синтеза осуществляется на множестве вариантов технических средств и показателей эффективности. При этом стоит одна из основных задач – сформировать рациональное исходное множество вариантов, обеспечивающее свободу выбора решений и сведения к минимуму возможности упустить лучший вариант технических средств. Для этого необходимо применение соответствующих методов. В работе представлено математическое описание процесса формирования и многокритериальной оценки исходных вариантов на основе метода иерархий. Исходными являются матрицы парных сравнений для показателей эффективности, определяющих оценку вариантов. Элементы матриц определяются на основе девятибалльной шкалы Саати. Анализ парных сравнений позволяет выделить приоритетные исходные варианты. Для этого выполняется нормализация столбцов матриц парных сравнений путем суммирования значений элементов столбцов матриц. На основе полученных результатов формируются нормализованные матрицы, строки и столбцы которых соответствуют анализируемым вариантам. Сумма элементов строк нормализованных матриц является векторами-столбцами данных матриц, с помощью которых формируются векторы-столбцы приоритетов. По векторам-столбцам приоритетов определяются приоритетные исходные варианты по каждому показателю эффективности. Эффективность выделения приоритетных исходных вариантов в работе предложено оценивать индексом согласованности и коэффициентом отношения согласованности исходных матриц парных сравнений. Для этого в работе использована упрощенная процедура определения максимальных собственных чисел матриц парных сравнений, которые являются основой вычисления индекса согласованности и коэффициента отношения согласованности матриц парных сравнений. Коэффициент отношения согласованности матриц парных сравнений не должен превышать значения 0,1. В работе приведен пример формирования и оценки исходного множества вариантов промышленных контроллеров для уровня низовой автоматизации распределенной системы управления.

Ключевые слова: распределенная система управления, исходное множество вариантов, показатели эффективности, матрицы парных сравнений, векторы-столбцы матриц, индекс согласованности матриц, отношение согласованности матриц, максимальные собственные числа матриц

В традиционной постановке задачи синтеза распределенных систем управления множество исходных вариантов обычно задается с помощью неявного описания либо с помощью явного перечисления исходного множества. Рационально сформированное множество исходных вариантов обладает более широким спектром и обеспечивает необходимую свободу выбора решений и сводит к минимуму возможность упустить лучший вариант. Для выделения рационального исходного множества вариантов, позволяющих создавать системы управления с заданными структурными свойствами при их многокритериальном синтезе необходимо применение соответствующих методов. В работе представлено математическое описание процесса формирования и многокритериальной оценки исходных вариантов на основе анализа метода иерархий. В основе

метода анализа иерархий лежит классическая история матриц, и в частности матриц парных сравнений [1–10]. К таким матрицам предъявляется требование согласованности. Матрица $A = [a_{ij}]$ является согласованной, если для элементов матрицы выполняется согласование [1]. Если $a_{ij} = a$, то $a_{ji} = 1/a$, $a \neq 0$, $i, j = 1, 2, \dots, n$. Матрица размером $n \times n$ дает суждение о парах вариантов (парные сравнения вариантов B_i, B_j). При этом матрица примет вид

$$A_k = \begin{matrix} & \begin{matrix} i \setminus j \\ B_1 & B_2 & \dots & B_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Основные этапы математического описания заключаются в следующем:

1. В соответствии с (1) формируются матрицы $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ для показателей эффективности, определяющих оценку вариантов (m – число показателей эффективности). Элементы матриц показывают уровень преимущества варианта B_i над вариантом B_j по девятибалльной шкале Саати [1]: 1 – если отсутствует преимущество B_i над B_j ; 3 – если имеется слабое преимущество B_i над B_j ; 5 – если имеется существенное преимущество B_i над B_j ; 7 – если есть явное преимущество B_i над B_j ; 9 – если имеется абсолютное преимущество B_i над B_j ; 2, 4, 6, 8 – промежуточные сравнительные оценки; 2 – почти слабое преимущество; 4 – почти существенное преимущество; 6 – почти явное преимущество; 8 – почти абсолютное преимущество. Анализ парных сравнений сформированных матриц позволяет выделить приоритетные варианты.

2. Нормализуются столбцы матриц парных сравнений $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$. суммируются значения элементов столбцов матриц

$$S_j^k = \{S_{j_1}^k, S_{j_2}^k, \dots, S_{j_m}^k\}, \quad (2)$$

где $k=1, 2, \dots, m$ – число показателей эффективности;

$$S_{j_1}^1 = \{S_{j_1}^1, S_{j_2}^1, \dots, S_{j_n}^1\},$$

где: $S_{j_1}^1, S_{j_2}^1, \dots, S_{j_n}^1$ – сумма значений столбцов матрицы $A_{k^1}^1$;

$j_{11}, j_{12}, \dots, j_{1n}$ – столбцы матрицы $A_{k^1}^1$, соответствующие числу вариантов ($B_1, B_2, \dots, B_n$).

Соответственно для столбцов матриц $A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$

$$S_{j_2}^2 = \{S_{j_2}^2, S_{j_2}^2, \dots, S_{j_2}^2\}, \dots, S_{j_m}^m = \{S_{j_m}^m, S_{j_m}^m, \dots, S_{j_m}^m\} \quad (3)$$

$$S_{j_{11}}^1 = \sum_{i=1}^n a_{ij_{11}}, S_{j_{12}}^1 = \sum_{i=1}^n a_{ij_{12}}, \dots, S_{j_{1n}}^1 = \sum_{i=1}^n a_{ij_{1n}}$$

$$S_{j_{21}}^2 = \sum_{i=1}^n a_{ij_{21}}, S_{j_{22}}^2 = \sum_{i=1}^n a_{ij_{22}}, \dots, S_{j_{2n}}^2 = \sum_{i=1}^n a_{ij_{2n}} \quad (4)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$S_{j_m}^m = \sum_{i=1}^n a_{ij_m}, S_{j_m}^m = \sum_{i=1}^n a_{ij_m}, \dots, S_{j_m}^m = \sum_{i=1}^n a_{ij_m}$$

Необходимо разделить значения элементов столбцов матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ на суммарные значения столбцов (3;4)

$$d = \{d_{j_1}^1, d_{j_2}^2, \dots, d_{j_m}^m\}$$

$$d_{j_1}^1 = \{d_{11}^1, d_{21}^1, \dots, d_{n1}^1; d_{12}^1, d_{22}^1, \dots, d_{n2}^1; \dots; d_{1n}^1, d_{2n}^1, \dots, d_{nn}^1\}$$

$$d_{j_2}^2 = \{d_{11}^2, d_{21}^2, \dots, d_{n1}^2; d_{12}^2, d_{22}^2, \dots, d_{n2}^2; \dots; d_{1n}^2, d_{2n}^2, \dots, d_{nn}^2\} \quad (5)$$

$$\vdots$$

$$d_{j_m}^m = \{d_{11}^m, d_{21}^m, \dots, d_{n1}^m; d_{12}^m, d_{22}^m, \dots, d_{n2}^m; \dots; d_{1n}^m, d_{2n}^m, \dots, d_{nn}^m\}$$

где: $d_{j_1}^1, d_{j_2}^2, \dots, d_{j_m}^m$ – значение элементов столбцов матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ на суммарные значения (3,4).

Значения элементов матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ будут равны:

$$d_{11}^1 = \frac{a_{11}^1}{S_{j_{11}}^1}, d_{21}^1 = \frac{a_{21}^1}{S_{j_{12}}^1}, \dots, d_{n1}^1 = \frac{a_{n1}^1}{S_{j_{1n}}^1}$$

$$d_{12}^1 = \frac{a_{12}^1}{S_{j_{12}}^1}, d_{22}^1 = \frac{a_{22}^1}{S_{j_{12}}^1}, \dots, d_{n2}^1 = \frac{a_{n2}^1}{S_{j_{12}}^1}$$

$$\vdots$$

$$d_{1n}^1 = \frac{a_{1n}^1}{S_{j_{1n}}^1}, d_{2n}^1 = \frac{a_{2n}^1}{S_{j_{1n}}^1}, \dots, d_{nn}^1 = \frac{a_{nn}^1}{S_{j_{1n}}^1}$$

$$d_{11}^2 = \frac{a_{11}^2}{S_{j_{11}}^2}, d_{21}^2 = \frac{a_{21}^2}{S_{j_{12}}^2}, \dots, d_{n1}^2 = \frac{a_{n1}^2}{S_{j_{11}}^2}$$

$$d_{12}^2 = \frac{a_{12}^2}{S_{j_{12}}^2}, d_{22}^2 = \frac{a_{22}^2}{S_{j_{12}}^2}, \dots, d_{n2}^2 = \frac{a_{n2}^2}{S_{j_{12}}^2}$$

$$\vdots$$

$$d_{1n}^2 = \frac{a_{1n}^2}{S_{j_{1n}}^2}, d_{2n}^2 = \frac{a_{2n}^2}{S_{j_{1n}}^2}, \dots, d_{nn}^2 = \frac{a_{nn}^2}{S_{j_{1n}}^2}$$

$$d_{11}^m = \frac{a_{11}^m}{S_{j_{11}}^m}, d_{21}^m = \frac{a_{21}^m}{S_{j_{12}}^m}, \dots, d_{n1}^m = \frac{a_{n1}^m}{S_{j_{11}}^m}$$

$$d_{12}^m = \frac{a_{12}^m}{S_{j_{12}}^m}, d_{22}^m = \frac{a_{22}^m}{S_{j_{12}}^m}, \dots, d_{n2}^m = \frac{a_{n2}^m}{S_{j_{12}}^m} \quad (6)$$

$$\vdots$$

$$d_{1n}^m = \frac{a_{1n}^m}{S_{j_{1n}}^m}, d_{2n}^m = \frac{a_{2n}^m}{S_{j_{1n}}^m}, \dots, d_{nn}^m = \frac{a_{nn}^m}{S_{j_{1n}}^m}$$

3. На основе элементов (6) формируются матрицы $M_{k^1}^1, M_{k^2}^2, \dots, M_{k^m}^m$ строки и столбцы матриц соответствуют анализируемым вариантам.

$$M_{k^1}^1 = \begin{array}{c|cccc} i \setminus j & B_1 & B_2 & \dots & B_n \\ \hline B_1 & d_{11}^1 & d_{12}^1 & \dots & d_{1n}^1 \\ B_2 & d_{21}^1 & d_{22}^1 & \dots & d_{2n}^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_n & d_{n1}^1 & d_{n2}^1 & \dots & d_{nn}^1 \end{array}$$

$$M_{k^2}^2 = \begin{array}{c|cccc} i \setminus j & B_1 & B_2 & \dots & B_n \\ \hline B_1 & d_{11}^2 & d_{12}^2 & \dots & d_{1n}^2 \\ B_2 & d_{21}^2 & d_{22}^2 & \dots & d_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_n & d_{n1}^2 & d_{n2}^2 & \dots & d_{nn}^2 \end{array}$$

$$M_{k^m}^m = \begin{matrix} & \begin{matrix} i \setminus j \\ B_1 & B_2 & \dots & B_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{matrix} & \begin{matrix} d_{11}^m & d_{12}^m & \dots & d_{1n}^m \\ d_{21}^m & d_{22}^m & \dots & d_{2n}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1}^m & d_{n2}^m & \dots & d_{nn}^m \end{matrix} \end{matrix} \quad (7)$$

4. Суммы строк матриц $M_{k^1}^1, M_{k^2}^2, \dots, M_{k^m}^m$ (7) являются векторами-столбцами данных матриц

$$\begin{aligned} V_{cm}^1 &= \{S_{i_1}^1, S_{i_2}^1, \dots, S_{i_n}^1\} \\ V_{cm}^2 &= \{S_{i_1}^2, S_{i_2}^2, \dots, S_{i_n}^2\} \\ &\vdots \\ V_{cm}^m &= \{S_{i_1}^m, S_{i_2}^m, \dots, S_{i_n}^m\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_{i_1}^1 &= \sum_{j=1}^n d_{i_1 j_1}^1, S_{i_2}^1 = \sum_{j=1}^n d_{i_2 j_1}^1, \dots, S_{i_n}^1 = \sum_{j=1}^n d_{i_n j_1}^1 \\ S_{i_1}^2 &= \sum_{j=1}^n d_{i_1 j_2}^2, S_{i_2}^2 = \sum_{j=1}^n d_{i_2 j_2}^2, \dots, S_{i_n}^2 = \sum_{j=1}^n d_{i_n j_2}^2 \\ &\vdots \\ S_{i_1}^m &= \sum_{j=1}^n d_{i_1 j_m}^m, S_{i_2}^m = \sum_{j=1}^n d_{i_2 j_m}^m, \dots, S_{i_n}^m = \sum_{j=1}^n d_{i_n j_m}^m \end{aligned}$$

где:

$S_{i_1}^1, S_{i_2}^1, \dots, S_{i_n}^1; S_{i_1}^2, S_{i_2}^2, \dots, S_{i_n}^2; \dots; S_{i_1}^m, S_{i_2}^m, \dots, S_{i_n}^m$ – сумма строк соответственных матриц $M_{k^1}^1, M_{k^2}^2, \dots, M_{k^m}^m$

5. Необходимо разделить векторы-столбцы матриц (7) на размерность столбцов этих матриц. В результате формируются векторы-столбцы приоритетов

$$V_{np}^1 = \frac{V_{cm}^1}{n}, V_{np}^2 = \frac{V_{cm}^2}{n}, \dots, V_{np}^m = \frac{V_{cm}^m}{n}. \quad (9)$$

По полученным векторам-столбцам (9) выделяются приоритетные варианты по каждому показателю эффективности.

Эффективность выделения приоритетных вариантов оценивается индексом согласованности матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ [1].

$$ИС^1 = (\lambda_{\max}^1 - n) / (n-1), ИС^2 = (\lambda_{\max}^2 - n) / (n-1), \dots, ИС^m = (\lambda_{\max}^m - n) / (n-1) \quad (10)$$

где $\lambda_{\max}^1, \lambda_{\max}^2, \dots, \lambda_{\max}^m$ – максимальные собственные числа матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$

Для определения максимальных значений (10) необходимо умножить матрицы $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ на векторы приоритетов (9). В результате формируются векторы-столбцы данных матриц

$$V_{k^1}^1, V_{k^2}^2, \dots, V_{k^m}^m. \quad (11)$$

После деления значений векторов (11) на соответствующие значения векторов-при-

оритетов (9) формируются векторы столбцов матриц

$$V^{11} = \frac{V_{k^1}^1}{V_{np}^1}, V^{22} = \frac{V_{k^2}^2}{V_{np}^2}, \dots, V^{mm} = \frac{V_{k^m}^m}{V_{np}^m} \quad (12)$$

Усредненные значения векторов-столбцов (12) являются максимальными собственными числами матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$. Индексы согласованности определяются по формуле (10). Окончательная оценка эффективности выделения приоритетов вариантов оценивается по отношению согласованности.

$$ОС^1 = \frac{ИС^1}{СИ}, ОС^2 = \frac{ИС^2}{СИ}, \dots, ОС^m = \frac{ИС^m}{СИ}. \quad (13)$$

Случайный индекс (СИ) определяется из порядка матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2, \dots, A_{k^m}^m$ по таблице [1].

Значение отношения согласованности считается приемлемым равным или меньше 0,1 [0.1].

Формирование и оценка исходных данных рассмотрена на примере промышленных контроллеров по двум показателям эффективности (табл. 1). Парные сравнения вариантов по шкале Саати [1–11] приведены в табл. 2. на основе парных сравнений вариантов в соответствии с (1) сформированы матрицы парных сравнений для показателей эффективности K^1, K^2 .

$$A_{k^1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} i \setminus j \\ B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 3 & 1/7 & 3 & 1/9 \\ 1/3 & 1 & 1/9 & 1 & 1/9 \\ 7 & 9 & 1 & 9 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/9 & 1 & 1/9 \\ 9 & 9 & 3 & 9 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$A_{k^2} = \begin{matrix} & \begin{matrix} i \setminus j \\ B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1/9 & 1/9 & 1/9 & 1/3 \\ 9 & 1 & 1 & 1 & 7 \\ 9 & 1 & 1 & 1 & 7 \\ 9 & 1 & 1 & 1 & 7 \\ 3 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1 \end{matrix} \end{matrix} \quad (14)$$

Исходные варианты и показатели эффективности промышленных контроллеров компании ICP DAS (ipc2u.ru)
The initial options and performance indicators of industrial controllers of ICP DAS (ipc2u.ru)

Варианты	Промышленные контроллеры	Значения показателей эффективности	
		Частота процессора МГц, K^1	Объем оперативной памяти, Мб, K^2
B_1	WP-8141-EH	520	128
B_2	XP-8347-CE6	500	1024
B_3	XP-8341-Atom	1100	1024
B_4	XP-8749-CE6-1500	500	1024
B_5	XP-8141-Atom-CE6	1330	512

Парные сравнения вариантов промышленных контроллеров по шкале Саати [1]
Paired comparison of the variants of industrial controllers on a scale of Saaty [1]

Показатель эффективности	Экспертные парные сравнения	Уровни преимущества
K^1	Абсолютное преимущество B_5 над B_1	9
	Абсолютное преимущество B_3 над B_2	9
	Абсолютное преимущество B_5 над B_2	9
	Абсолютное преимущество B_5 над B_4	9
	Абсолютное преимущество B_3 над B_4	9
	Явное преимущество B_3 над B_1	7
	Слабое преимущество B_1 над B_2	3
	Слабое преимущество B_1 над B_4	3
	Слабое преимущество B_5 над B_3	3
	Преимущество отсутствует B_2 над B_4	1
	Преимущество отсутствует B_4 над B_2	1
K^2	Абсолютное преимущество B_2 над B_1	9
	Абсолютное преимущество B_3 над B_1	9
	Абсолютное преимущество B_4 над B_1	9
	Явное преимущество B_2 над B_5	7
	Явное преимущество B_3 над B_5	7
	Явное преимущество B_4 над B_5	7
	Преимущество отсутствует B_2 над B_3	1
	Преимущество отсутствует B_2 над B_4	1
	Преимущество отсутствует B_3 над B_2	1
	Преимущество отсутствует B_3 над B_4	1
	Преимущество отсутствует B_4 над B_3	1

В результате нормализации столбцов матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2$ в соответствии с (2–4) получаем суммарное значение столбцов матриц (14).

$$S_{j_1}^1 = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 17,67 & 23,00 & 4,37 & 23,00 & 1,67 \end{bmatrix},$$

$$S_{j_2}^2 = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 31 & 3,25 & 3,25 & 3,25 & 22,33 \end{bmatrix} \quad (15)$$

После выполнения вычислительных операций (3–6) сформированы матрицы $M_{k^1}^1, M_{k^2}^2$ (7).

$$M_{k^1}^1 = \begin{bmatrix} i \setminus j & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ B_1 & 0,057 & 0,130 & 0,033 & 0,130 & 0,067 \\ B_2 & 0,019 & 0,043 & 0,025 & 0,043 & 0,067 \\ B_3 & 0,396 & 0,391 & 0,229 & 0,391 & 0,200 \\ B_4 & 0,019 & 0,043 & 0,025 & 0,043 & 0,067 \\ B_5 & 0,509 & 0,391 & 0,687 & 0,391 & 0,600 \end{bmatrix}$$

$$M_{k^2}^2 = \begin{matrix} i \backslash j & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ B_1 & 0,032 & 0,034 & 0,034 & 0,034 & 0,015 \\ B_2 & 0,290 & 0,307 & 0,307 & 0,307 & 0,313 \\ B_3 & 0,290 & 0,307 & 0,307 & 0,307 & 0,313 \\ B_4 & 0,290 & 0,307 & 0,307 & 0,307 & 0,313 \\ B_5 & 0,097 & 0,044 & 0,044 & 0,044 & 0,045 \end{matrix} \quad (16)$$

Векторы-столбцы матриц (16) определен в соответствии с (8)

$$V_{cm}^1 = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 0,417 & 0,197 & 1,607 & 0,197 & 2,578 \end{matrix},$$

$$V_{cm}^2 = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 0,149 & 1,524 & 1,524 & 1,524 & 0,274 \end{matrix}.$$

Векторы-столбцы приоритетов сформированы в соответствии с (9)

$$V_{np}^1 = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 0,083 & 0,040 & 0,322 & 0,040 & 0,516 \end{matrix},$$

$$V_{np}^2 = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 0,030 & 0,305 & 0,305 & 0,305 & 0,055 \end{matrix}. \quad (17)$$

По максимальным значениям векторов-столбцов (17) выделены приоритетные варианты по каждому показателю эффективности. В данном случае по показателю K^1 (частота процессора) приоритетным вариантом является B_5 , по показателю K^2 (объем оперативной памяти) – варианты B_2, B_3, B_4 .

Эффективность выделения приоритетных вариантов B_2, B_3, B_4, B_5 по показателям K^1, K^2 оценивается индексом согласованности (10). Для определения максимальных собственных чисел матриц (14) выполнено умножение матриц $A_{k^1}^1, A_{k^2}^2$ на векторы-приоритеты (17). В результате формируются векторы-столбцы матриц (14).

$$V_{k^1}^1 = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 0,424 & 0,200 & 1,790 & 0,200 & 2,944 \end{matrix},$$

$$V_{k^2}^2 = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 0,150 & 1,567 & 1,567 & 1,567 & 0,275 \end{matrix}. \quad (18)$$

После деления значений векторов (18) на соответствующее значение векторов-приоритетов (17) сформированы векторы-столбцы матриц (14)

$$V^{11} = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 5,088 & 5,052 & 5,565 & 5,052 & 5,706 \end{matrix},$$

$$V^{22} = \begin{matrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 5,008 & 5,136 & 5,136 & 5,136 & 5,036 \end{matrix}. \quad (19)$$

Усредненные значения векторов-столбцов (19) являются максимальными собственными числами матриц (14). В данном случае $\lambda_{\max}^1 = 5,293$; $\lambda_{\max}^2 = 5,293$. Индекс согласованности матриц (14) в соответствии с (10) равны $ИС^1 = 0,073$; $ИС^2 = 0,023$. Окончательная оценка эффективности выделенных приоритетных вариантов оценивается по отношению согласованности (13). Случайный индекс в (13) определяется из порядка матриц (14) по таблице [1]. В данном случае при $n = 5$ случайный индекс равен 1,12. В результате отношение согласованности для приоритетных вариантов равны $ИС^1 = 0,08$; $ИС^2 = 0,03$. Приемлемым считается значение отношения согласованности меньше или равное 0,1.

Предлагаемое математическое описание процесса формирования и оценки исходных данных вариантов применяется при многокритериальном синтезе распределенных по уровням систем управления техническими объектами.

Библиографический список

1. Саати, Т. Принятие решений, методы анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радиосвязь, 1993. – 278 с.
2. Саати, Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Т. Саати. – М.: ЛКН, 2008. – 360 с.
3. Черноруцкий, Н.Г. Методы принятия решений / Н.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
4. Блюмин, С.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С.А. Блюмин, И.А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
5. Подиновская, О.В. Методы анализа иерархий как метод поддержки принятия многокритериальных решений / О.В. Подиновская // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – № 1 (60). – С. 71–80.
6. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средством MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия-телеком, 2007. – 288 с.
7. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-телеком, 2008. – 452 с.
8. Ногин, В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев

- / В.Д. Ногин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2004. – Т. 44. – № 7. – С. 1261–1270.
9. Павлов, А.Н. Решение многокритериальных задач методом анализа иерархий: учебное пособие / А.Н. Павлов. – М.: РАГС, 2010. – 166 с.
10. Нечаев, Ю.Б. Формирование и выбор вариантов инфотелекоммуникационных систем на основе морфологических и иерархических методов / Ю.Б. Нечаев, А.Г. Кашченко, Г.А. Кашченко и др. // Компьютерные науки и технологии: собрание трудов второй международной технической конференции. – Белгород: ООО «ГиКи», 2011. – С. 288–293.

FORMING AND MULTICRITERIA ASSESSMENT OF PARENT VERSIONS IN TECHNICAL MEANS OF DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS BASED ON THE ANALYSIS OF HIERARCHIES

Doroshenko V.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Druk L.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Gerasimov A.E., pg. MSFU⁽¹⁾

alkazarrus@bk.ru

⁽¹⁾Moscow Forest State University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005 Mytishchi, Moscow reg., Russia

Modern control systems of technological processes and productions are distributed on a number of levels, starting with the level of sensors and actuation mechanisms, the level of industrial controllers and computers, and finishing with local computer networks with a set of communication devices. Configuration of such systems in the course of structural and parametrical synthesis is carried out on a set of options of technical means and indicators of efficiency. Thus, there is one of the main objectives – to create a rational initial set of options providing a freedom of choice of decisions and minimizing opportunity to miss the best option of technical means. For this purpose application of the corresponding methods is necessary. In this article the mathematical description of the process of formation and multicriteria assessment of initial options based on the method of hierarchies is presented. Matrixes of pair comparisons for the indicators of efficiency defining an assessment of options are initial. Elements of matrixes are defined on the basis of a nine-mark scale of Saati. The analysis of pair comparisons allows to allocate priority initial options. For this purpose normalization of columns of matrixes of pair comparisons by summation of values of elements of columns of matrixes is carried out. On the basis of the received results the normalized matrixes are formed, where lines and columns correspond to the analyzed options. The sum of elements of lines of the normalized matrixes are vectors-columns of these matrixes by means of which vectors columns of priorities are formed. On vectors-columns of priorities each indicator of efficiency determines initial options. It is offered to estimate the efficiency of allocation of priority initial options by an index of coherence and a coefficient of the relation of coherence of initial matrixes of pair comparisons. For this purpose the simplified procedure of definition of the maximum own numbers of matrixes of pair comparisons is used, which are a basis of calculation of an index of coherence and coefficient of the relation of coherence of matrixes of pair comparisons. The coefficient of the relation of coherence of matrixes of pair comparisons shouldn't exceed 0,1. The example of formation and assessment of an initial set of options of industrial controllers for the level of local automation of distributed control system is given.

Keywords: distributed control system, initial set of options, indicators of efficiency, matrix of pair comparisons, vectors-columns of matrixes, index of coherence of matrixes, relation of coherence of matrixes, maximum eigenvalue of matrixes

References

1. Saati T. *Prinyatiye resheniy, metody analiza iyerarkhiy* [Decision making, the analytic hierarchy process]. Moscow, 1993, 278 p.
2. Saati T. *Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh. Analiticheskiye seti* [Decision making at dependencies and feedback. The analytic network]. Moscow, 2008, 360 p.
3. Chernorutskiy N.G. *Metody prinyatiya resheniy* [Making methods solutions.] St. Petersburg, BKHV-Peterburg, 2005, 416 p.
4. Blyumin S.A., Shuykova I.A. *Modeli i metody prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti* [Models and methods of decision making under uncertainty]. Lipetsk, LEGI, 2001, 138 p.
5. Podinovskaya O.V. *Metody analiza iyerarkhiy kak metod podderzhki prinyatiya mnogokriterial'nykh resheniy* [The analytic hierarchy process as a method of multicriteria decision making support]. Information Technology Modeling and Control, 2010, № 1 (60), p. 71–80.
6. Shtovba S.D. *Proyektirovaniye nechetkikh sistem sredstvom MATLAB* [Design of fuzzy systems means MATLAB]. Moscow, Hotline Telecom, 2007, 288 p.
7. Rutkovskaya D., Pilin'skiy M., Rutkovskiy L. *Neyronnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems.]. Moscow, Hotline Telecom, 2008, 452 p.
8. Nogin V.D. *Uproshchennyy variant metoda analiza iyerarkhiy na osnove nelineynoy svertki kriteriyev. Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki* [A simplified version of the analytic hierarchy process based on non-linear convolution of criteria]. Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2004, Volume 44, Number 7, pp. 1261–1270.
9. Pavlov A.N. *Resheniye mnogokriterial'nykh zadach metody analiza iyerarkhiy* [Solution multicriteria problems of the analytic hierarchy]. Moscow, RAGS, 2010, 166 p.
10. Nechayev Y.B., Kashchenko A.G., Kashchenko G.A., Semenov R.V., Nikolayev O.V. *Formirovaniye i vybor variantov in fotelekommunikatsionnykh sistem na osnove morfologicheskikh i iyerarkhicheskikh metodov* [The formation and selection of options infotelecommunication systems based on morphological and hierarchical methods] Computer Science and Technology: Proceedings of the Second International Meeting of Technical conference. Belgorod, GiKi, 2011. 288–293 p.