

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ БИЛЛИНГОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ

Разрабатываются методы и модели многокритериального синтеза организационной структуры биллинговых информационных систем, которые создаются для автоматизации расчета за инфотелекоммуникационные услуги предприятий электросвязи. Предложенные слабоструктурированные методы многокритериального синтеза допускают использование количественных и качественных частных критериев оптимизации.

### **1. Постановка проблемы многокритериального синтеза организационной структуры и ее реализация при создании информационных систем**

Модель проблемы многокритериального синтеза можно представить совокупностью целевых функций  $f_i, i = \overline{1, m}$  и набором альтернатив принимаемых решений  $x = \{x_j\} \subset X, j = \overline{1, n}$  в виде [1-3]

$$f_i(x_j) \rightarrow \max_{x \in X}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n},$$

где  $m$  – количество целевых функций;  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset X$  – конечное множество альтернатив принимаемых решений, содержащее  $n$  элементов  $x_j$ .

Для определения наиболее предпочтительных альтернатив принимаемых решений по совокупности частных критериев можно воспользоваться методом линейной свертки

$$J(x_j) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x_j), j = \overline{1, n}.$$

Структуризация проблемы принятия решений предполагает декомпозицию исходной проблемы на более простые составляющие и обработку экспертных мнений лиц, принимающих решение. По результатам мнений экспертов определяется относительная значимость частных критериев и альтернатив принимаемых решений в отношении частных критериев, находящихся на различных уровнях иерархии. Относительная значимость выражается численно в виде векторов приоритетов, которые представляют собой так называемые жесткие оценки в шкале отношений.

Построение иерархической структуры начинается с установления глобальной цели, ниже которой располагается иерархическая структура локальных критериев, содержащая уровни целей и подцелей. Под иерархической структурой критериев располагается иерархическая структура альтернатив принимаемых решений. Существуют три основных способа графического отображения иерархических структур: декомпозиция заданного множества объектов, агрегирование более общих объектов из заданных частных и упорядочение предварительно заданного множества объектов на основе их парного сравнения.

### **2. Анализ научных трудов, посвященных проблеме многокритериального синтеза организационных структур**

Для решения задач многокритериального синтеза организационных структур разработаны специальные методы [1-6], позволяющие находить решения в условиях слабой структурированности исследуемых систем и неопределен-

ности исходной информации, заданной набором количественных и качественных зависимостей. Обоснованность и достоверность принимаемых решений зависят от согласованности экспертных мнений, которые выражаются через свойства связности и транзитивности между экспертными оценками исходного факторного пространства. Отсутствие этих свойств не позволяет осуществить однозначный выбор на множествах критериев и альтернатив принимаемых решений.

В основу метода анализа иерархии (МАИ) заложен принцип декомпозиции сложной проблемы совокупностью более простых составляющих, названных Саати Т. [5, 6] иерархическими уровнями, или иерархиями. Составляющие проблемы подразделяются на объекты-критерии и объекты-альтернативы принимаемых решений. Из объектов-критериев организуется иерархическая структура критериев, содержащая уровни целей и подцелей, а из объектов-альтернатив создается иерархическая структура альтернатив принимаемых решений. В результате декомпозиции образуется структура проблемы, отражающая относительную степень взаимосвязи объектов иерархии.

### 3. Выбор метода решения задачи многокритериального синтеза

Многокритериальный синтез предлагается выполнять МАИ [1-6], предусматривающим следующие операции:

1. Содержательная постановка задачи принятия многокритериальных решений.
2. Математическая постановка задачи принятия многокритериальных решений, включающая формирование иерархической структуры исходного обобщенного критерия и иерархической структуры взаимосвязей альтернатив принимаемых решений.
3. Ранжирование конечного множества объектов-критериев и объектов-альтернатив принимаемых решений  $p = \{p_1, \dots, p_1, \dots, p_m\}$  по важности путем задания вектора весовых коэффициентов  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ , значения которых удовлетворяют ограничениям

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0.$$

В иерархической системе принятия решений ранжирование по важности каждого  $k$ -го уровня множества объектов-критериев и множества объектов-альтернатив  $p^k = \{p_1^k, \dots, p_1^k, \dots, p_m^k\}$  производится заданием  $k$  векторов весовых коэффициентов  $\alpha^k = \{\alpha_1^k, \dots, \alpha_1^k, \dots, \alpha_{m_k}^k\}$ ,  $k = \overline{1, K}$ , где  $K$  – количество уровней иерархии объектов-критериев и объектов-альтернатив;  $m_k$  – количество объектов на  $k$ -м уровне критериев и альтернатив принимаемых решений.

Задача ранжирования объектов в пределах каждого  $k$ -го уровня иерархии состоит в том, чтобы на основании опроса экспертов и методов обработки экспертных данных установить множество соотношений  $p_i^k \rightarrow \alpha_i^k$  для всех уровней иерархической структуры критериев и альтернатив.

4. Формирование матрицы парных сравнений  $[S_{p \times m}^k]$  для  $k$ -го уровня объектов:

$$[S_{p \times m}^k] = \begin{matrix} & p_1^k & & p_1^k & & p_m^k \\ p_1^k & \alpha_{11}^k & \dots & \alpha_{1j}^k = \alpha_1^k / \alpha_j^k & \dots & \alpha_{1m}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_i^k & \alpha_{i1}^k & \dots & \alpha_{ij}^k = \alpha_i^k / \alpha_j^k & \dots & \alpha_{im}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_m^k & \alpha_{m1}^k & \dots & \alpha_{mj}^k = \alpha_m^k / \alpha_j^k & \dots & \alpha_{mm}^k \end{matrix}$$

5. Многокритериальный синтез в такой последовательности: выявление наиболее важных объектов решаемой проблемы; определение лучшего способа проверки наблюдений, испытания и оценки объектов; выбор рационального способа решения и оценивание его качества.

**4. Синтез организационной структуры биллинговой системы с помощью метода анализа иерархии**

Задача многокритериального синтеза биллинговой информационной системы состоит в выборе наиболее предпочтительного варианта такой системы по глобальному критерию эффективности, который аппроксимируется совокупностью технико-экономических характеристик. В табл. 1 приведены характеристики альтернатив принимаемых решений:  $A_1$  - система "Атлант",  $A_2$  - система "Ай-Ти",  $A_3$  - система "Мир-АСР",  $A_4$  - система "Орёл-М",  $A_5$  - система "Энран" и технико-экономические показатели:  $f_1(x)$  - гибкость,  $f_2(x)$  - производительность (количество абонентов),  $f_3(x)$  - аппаратная платформа,  $f_4(x)$  - надежность,  $f_5(x)$  - экономическая эффективность.

Таблица 1. Сравнительный анализ альтернативных вариантов биллинговых информационных систем

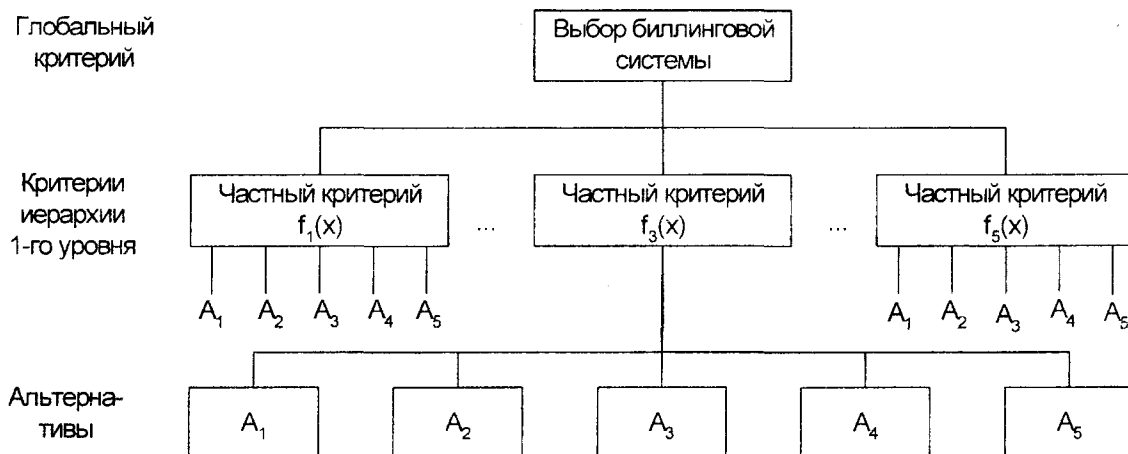
Формирование иерархической структуры частных критериев проблемы выбора биллинговой информационной системы начинается с установления фокуса иерархии, в котором расположен глобальный критерий. Ниже располагаются частные критерии и подкритерии, еще ниже - уровни альтернатив принимаемых решений (см. рисунок).

Определение коэффициентов превосходства частных критериев начинается с формирования матрицы парных сравнений  $[S_{f_{m \times m}}]$ , которая отражает оценку критериев по отношению друг к другу. Размерность матрицы  $[S_{f_{m \times m}}]$  должна быть  $5 \times 5$  (по числу критериев), строки и столбцы матрицы именуются названием частных критериев. Все диагональные элементы матрицы  $[S_{f_{5 \times 5}}]$  принимают значение, равное единице. Относительная важность элементов матрицы  $[S_{f_{5 \times 5}}]$  назначается по шкале предпочтений Саати [5, 6]. Недиagonальные элементы матрицы  $[S_{f_{5 \times 5}}]$  определяются по результатам экспертных опросов с последующим вычислением всех недостающих коэффициентов по формулам:

$$\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}; \quad \alpha_{ij} = \alpha_i/\alpha_j; \quad \alpha_{ij} = \alpha_{ik} \times \alpha_{kj}; \quad (\alpha_i/\alpha_k) \times (\alpha_k/\alpha_j) = \alpha_i/\alpha_j.$$

По результатам опроса экспертов составляется матрица  $[S_{f_{5 \times 5}}]$  парных сравнений частных критериев. Для вычисления элемента  $v_{f_{ij}}$  нормированной матрицы парных сравнений критериев  $[N_{f_{m \times m}}]$  необходимо соответствующий

$f_i(x)$	Альтернативные варианты биллинговых систем				
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$f_1(x)$	Легкая	Сравнительно гибкая	Действительно гибкая	Сравнительно легкая	Сравнительно гибкая
$f_2(x)$	До 2 млн	До 1 млн	Неограничена	500 - 500000	Неограничена
$f_3(x)$	Windows NT, Linux	Windows NT, Unix	Windows NT	Windows NT	Windows NT, Unix
$f_4(x)$	Очень высокая	Сравнительно высокая	Высокая	Высокая	Сравнительно высокая
$f_5(x)$	Высокая	Невысокая	Достаточно высокая	Невысокая	Сравнительно высокая



Иерархическая структура многокритериальной проблемы выбора биллинговой информационной системы

элемент  $\alpha_{fij}$  матрицы парных сравнений критериев  $[S_{f \times m}]$  разделить на сумму элементов  $j$ -го столбца, т.е. элементы первого столбца матрицы  $[S_{f \times m}]$  следует разделить на сумму элементов первого столбца и так далее:

$$v_{fij} = \alpha_{fij} / \sum_{i=1}^m \alpha_{fij}; j = \overline{1, m};$$

$$[S_{f \ 5 \times 5}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 1/3 & 4 & 1 & 2 \\ 3 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 5 \\ 1/4 & 1/3 & 3 & 1/5 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}.$$

Например, элемент  $v_{f11}$  первой строки первого столбца нормированной матрицы парных сравнений частных критериев  $[N_{f \ 5 \times 5}]$  равен

$$v_{fij} = \alpha_{f11} / (\alpha_{f11} + \alpha_{f21} + \alpha_{f31} + \alpha_{f41} + \alpha_{f51}) = 1 / (1 + 3 + 1/4 + 1 + 1/4) = 0,174.$$

Относительные значения коэффициентов  $v_{f1} - v_{f5}$  частных критериев  $f_1(x) - f_5(x)$  вычисляются как средние значения элементов соответствующих строк нормированной матрицы парных сравнений  $[N_{f \ 5 \times 5}]$  по формуле

$$v_{fi} = (1/m) \sum_{j=1}^m v_{fij}; i = \overline{1, m}.$$

Например, весовой коэффициент  $v_{f1}$  частного критерия  $f_1(x)$  равен

$$v_{f1} = (v_{f11} + v_{f12} + v_{f13} + v_{f14} + v_{f15}) / m = (0,174 + 0,111 + 0,260 + 0,294 + 0,177) / 5 = 0,201.$$

Результаты вычисления относительных значений весовых коэффициентов  $v_{fi}$  и усредненных значений весовых коэффициентов  $v_{fj}$  частных критериев занесены в нормированную матрицу  $[N_{f \ 5 \times 5}]$  и столбец  $v_{fj}$ , присоединенный к ней справа:

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$v_{fi}$
$f_1$	0,174	0,111	0,260	0,294	0,177	0,201
$f_2$	0,522	0,334	0,187	0,294	0,265	0,321
$[N_{f5 \times 5}] = f_3$	0,043	0,111	0,063	0,059	0,029	0,061
$f_4$	0,174	0,334	0,313	0,294	0,441	0,311
$f_5$	0,087	0,110	0,187	0,059	0,088	0,106

Для оценки фактора производительности системы строится матрица попарно сравниваемых альтернатив  $[S_{f25 \times 5}]$  и соответствующая ей нормализованная матрица парных сравнений  $[N_{f25 \times 5}]$ :

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$A_1$	1	4	3	6	3
$A_2$	1/4	1	2	5	2
$[S_{f25 \times 5}] = A_3$	1/3	1/2	1	7	1
$A_4$	1/6	1/5	1/7	1	1/7
$A_5$	1/3	1/2	1	7	1

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$v_{f2Aj}$
$A_1$	0,482	0,645	0,419	0,231	0,419	0,439
$A_2$	0,120	0,161	0,279	0,192	0,279	0,206
$[N_{f25 \times 5}] = A_3$	0,159	0,081	0,139	0,269	0,139	0,157
$A_4$	0,079	0,032	0,020	0,038	0,020	0,037
$A_5$	0,159	0,081	0,139	0,269	0,139	0,157

Значения весовых коэффициентов критерия производительности (столбец  $v_{f2Ai}$ ) свидетельствуют о том, что наиболее предпочтительными альтернативами по этому критерию являются системы "Атлант" (вариант  $A_1$  с весом  $v_{f2A1} = 0,439$ ) и "Ай-Ти" (вариант  $A_2$  с весом  $v_{f2A2} = 0,206$ ). Коэффициент относительной согласованности матрицы  $[S_{f25 \times 5}]$  равен 8,15 %, что меньше граничного допустимого значения 10%, за пределами которого требуется пересматривать суждения экспертов или менять их состав.

Для оценки фактора надёжности построены матрица парных сравнений  $[S_{f45 \times 5}]$  и нормированная матрица парных сравнений альтернатив  $[N_{f45 \times 5}]$ . Значения весовых коэффициентов матрицы  $[N_{f45 \times 5}]$  (столбец  $v_{f4Ai}$ ) свидетельствуют о том, что наиболее предпочтительными альтернативами по данному критерию являются системы "Атлант" (вариант  $A_1$  с весом  $v_{f4A1} = 0,448$ ), "Ай-Ти" (вариант  $A_2$  с весом  $v_{f4A2} = 0,211$ ) и «Энран» (вариант  $A_5$  с весом  $v_{f4A5} = 0,211$ ). Относительная согласованность матрицы  $[S_{f45 \times 5}]$ , равная 3,59 %, позволяет считать мнения экспертов согласованными.

Для оценки фактора гибкости построены матрицы  $[S_{f15 \times 5}]$  и  $[N_{f15 \times 5}]$ , значения весовых коэффициентов которых (столбец  $v_{f1Aj}$ ) свидетельствуют о том, что предпочтительными альтернативами являются системы «Атлант» и «Орёл-М» (вариант  $A_1$  с весом  $v_{f1A1} = 0,414$  и вариант  $A_4$  с весом  $v_{f1A4} = 0,241$ ). Относительная согласованность матрицы  $[S_{f15 \times 5}]$ , равная 0,42 %, позволяет считать мнения экспертов согласованными. Для оценки фактора аппаратной платформы построены матрицы  $[S_{f35 \times 5}]$  и  $[N_{f35 \times 5}]$ , значения коэффициентов

которых (столбец  $v_{f3A_j}$ ) свидетельствуют о том, что предпочтительными альтернативами по критерию аппаратной платформы являются системы «Атлант» (вариант  $A_1$  с весом  $v_{f3A_1} = 0,303$ ) и «Энран» (вариант  $A_5$  с весом  $v_{f3A_5} = 0,303$ ). Относительная согласованность матрицы  $[S_{f35 \times 5}]$ , равная 0,49 %, позволяет считать мнения экспертов согласованными. Для оценки фактора экономичности построены матрицы  $[S_{f55 \times 5}]$  и  $[N_{f55 \times 5}]$ , значения весовых коэффициентов которых (столбец  $v_{f5A_j}$ ) свидетельствуют о том, что предпочтительной альтернативой по критерию экономичности является система «Мир-АСР» (вариант  $A_3$  с весом  $v_{f5A_3} = 0,472$ ). Относительная согласованность матрицы  $[S_{f55 \times 5}]$ , равная 1,50 %, позволяет считать мнения экспертов согласованными.

Формирование набора предпочтительных весовых коэффициентов альтернатив принимаемых решений осуществляется на основании значений весовых коэффициентов частных критериев  $v_{fj}$  и весовых коэффициентов альтернатив принимаемых решений относительно каждого частного критерия  $v_{fj}(A_j)$ , которые приведены в табл. 2.

Значение предпочтительного весового коэффициента каждой отдельно взятой альтернативы принимаемого решения  $v_{A_j}^*$  определяется как сумма произведений значений компонентов вектора приоритета частных критериев  $v_{fj}$  на значения компонентов вектора локального приоритета  $v_{fj}(A_j)$  рассматриваемой альтернативы  $A_j$  в отношении данного критерия  $f_j$ , а именно:

Таблица 2. Результирующие значения глобального приоритета

$A_j$	Веса частных критериев $v_{fj}(A_j)$					Вес $v_{A_j}^*$
	$v_{f1}$	$v_{f2}$	$v_{f3}$	$v_{f4}$	$v_{f5}$	
$A_1$	0,414	0,439	0,303	0,448	0,059	0,3886
$A_2$	0,135	0,206	0,064	0,211	0,179	0,1817
$A_3$	0,074	0,157	0,164	0,064	0,472	0,1452
$A_4$	0,241	0,037	0,164	0,064	0,194	0,1107
$A_5$	0,135	0,157	0,303	0,211	0,095	0,1717
$v_{fj}$	0,201	0,321	0,061	0,311	0,106	

$$v_{A_j}^* = \sum_{i=1}^m v_{f_i} \times v_{f_i}(A_j), j=1, n.$$

В частности, определение предпочтительного весового коэффициента  $v_{A_1}^*$  для альтернативы  $A_1$  (система «Атлант») выполняется по формуле:

$$\begin{aligned} v_{A_1}^* &= v_{f1} \times v_{f1A_1} + v_{f2} \times v_{f2A_1} + v_{f3} \times v_{f3A_1} + v_{f4} \times v_{f4A_1} + v_{f5} \times v_{f5A_1} = \\ &= 0,201 \times 0,414 + 0,321 \times 0,439 + 0,061 \times 0,303 + 0,311 \times 0,448 + 0,106 \times 0,059 = 0,3886. \end{aligned}$$

Вычисление остальных предпочтительных результирующих весовых коэффициентов превосходства альтернатив  $v_{A_j}^*$  для альтернативы  $A_j$  производится аналогичным способом. Результаты вычислений занесены в правую колонку табл. 2.

Оптимальный выбор биллинговой системы – при приоритете критерия «Экономическая эффективность». Парно сравнивая критерии из строки с критерием из столбца, данные заносит в матрицу  $[S_{3f5 \times 5}]$ :

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
$f_1$	1	1/3	4	1	1/9
$f_2$	3	1	3	1	1/9
$[S_{эф} 5 \times 5] = f_3$	1/4	1/3	1	1/5	1/9
$f_4$	1	1	5	1	1/9
$f_5$	9	9	9	9	1

Рассчитав индекс согласованности для этой матрицы, получаем отношение согласованности (ОС) = 9,26 % < 10%.

Вычисленные относительные значения весовых коэффициентов и усредненные значения весов частных критериев заносятся в нормированную матрицу  $[N_{эф} 5 \times 5]$  и в столбец  $v_{эф}$ , присоединенный справа к этой матрице:

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$v_{эф}$
$f_1$	0,070	0,028	0,182	0,082	0,077	0,078
$f_2$	0,211	0,086	0,136	0,082	0,077	0,115
$[N_{эф} m \times m] = f_3$	0,017	0,028	0,045	0,017	0,077	0,032
$f_4$	0,070	0,086	0,227	0,082	0,077	0,311
$f_5$	0,632	0,772	0,409	0,737	0,692	0,670

Значения глобального приоритета каждой из альтернатив сведены в табл. 3. Желательной считается альтернатива с максимальным значением глобального приоритета. В данном случае таковой является биллинговая система «Мир-АСР», на которой следует остановить свой выбор. Далее можно продолжать исследования, отдавая предпочтение иному критерию и получая при этом все новые результаты глобального приоритета.

### 5. Выводы

Результаты выполненных исследований показывают, что предпочтительной альтернативой при многокритериальном синтезе, рекомендуемой к выбору, считается биллинговая система «Атлант» с максимальным значением глобального приоритета, несмотря на ее самую высокую стоимость. Если у заказчика имеется нехватка финансовых средств для приобретения системы «Атлант», то выбор более дешевого варианта системы осуществляется путем пересчета всех таблиц с учетом привлечения дополнительной информации о новых требованиях к разрабатываемому проекту и согласованности экспертных мнений. Разработанный метод многокритериального синтеза применяется при решении задач вывода экономики из кризисных ситуаций, реинжиниринге крупномасштабных корпоративных систем, оптимизации телекоммуникационных систем, создании инструментария подготовки и переподготовки кадров, моделировании процесса контроля знаний в системе дистанционного обучения.

**Список литературы:** 1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Ана-

Таблица 3. Значения глобального приоритета по критерию «Экономичность»

$A_i$	Веса частных критериев $v_{fi}(A_j)$					Вес $v_{э}^* A_i$
	$v_{f1}$	$v_{f2}$	$v_{f3}$	$v_{f4}$	$v_{f5}$	
$v_{f1}$	0,414	0,439	0,303	0,448	0,059	0,1797
$v_{f2}$	0,135	0,206	0,064	0,211	0,179	0,1789
$v_{f3}$	0,074	0,157	0,164	0,064	0,472	0,3519
$v_{f4}$	0,241	0,037	0,164	0,064	0,194	0,1652
$v_{f5}$	0,135	0,157	0,303	0,211	0,095	0,1241
$v_{эф}$	0,078	0,115	0,032	0,102	0,670	

лиз, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2001. 366 с. 2. Таха Х. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2001. 912 с. 3. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. СПб.: Лань, 2001. 384 с. 4. Миркин В.Г. Анализ качественных признаков и структур. М.: Наука, 1980. 320 с. 5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с. 6. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

*Поступила в редколлегию 13.07.2003*

**Авраменко Валерий Павлович**, д-р техн. наук, профессор кафедры ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование информационных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

**Калачева Вероника Валериевна**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Харьковского военного ун-та. Научные интересы: синтез информационных систем. Адрес: Украина, 61157, Харьков, ул. Богомольца, 3а, кв. 26, тел. 775-22-55.

**Колесников Олег Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры сетей связи ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация биллинговых информационных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-51.

---