УДК 681.324: 519.713

ЭВРИСТИЧЕСКОЕ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В.П. Авраменко[1], В.В. Тулупов[2]

[1] ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

[2] Харьковский национальный университет внутренних дел, г. Харьков, Украина

Исследовано применение информационных технологий многоальтернативного проектирования компьютерных систем обработки данных (КСОД) в условиях неопределенности. Показано, что фактическое проектирование КСОД ведется, как правило, по совокупности количественных и качественных технико-экономических показателей, выступающих в качестве локальных критериев эффективности. Полученные результаты демонстрируются на конкретном тестовом примере выбора рационального аппаратно-программного компьютерного интерфейса КСОД.

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ, КОЭФФИЦИЕНТ ПРЕВОСХОДСТВА

Введение

Постановка проблемы. Существующая практика проектирования компьютерных систем обработки данных часто (КСОД) сталкивается с фактом, когда материализованная совокупность заданных качественных и количественных показателей, представляющая множество заданных требований, часто превышает общую совокупность выделенных ресурсов. Проектирование в этом случае сводится к нахождению альтернативных компромиссных решений, позволяющих сбалансировать множество заданных требований (их более чем достаточно) с совокупностью выделенных ресурсов (они всегда ограничены).

На начальных этапах проектирования КСОД допускается применение эвристических методов многоальтернативного выбора структуры и покомпонентного состава создаваемого изделия – компьютерного интерфейса. Упрощенные многоальтернативные методы оптимизации позволяют выбрать предпочтительные проектные решения по совокупности количественных и качественных показателей, выступающих в качестве локальных целевых функций. Решение такого рода задач требует разработки конструктивных моделей и инструментальных средств, ориентированных на многоальтернативные технологии проектирования КСОД.

Анализ состояния проблемы проектирования различных информационных объектов и телекоммуникационных систем свидетельствует об актуальности многоальтернативного подхода к принятию проектных и управленческих решений [1–3]. В известных источниках информации практически отсутствуют методологии решения задач эвристического многоальтернативного проектирования.

Целью работы является исследование многоальтернативных процедур принятия проектных решений, разработка альтернативных моделей и технологий проектирования КСОД, оценивание человеческого и технико-экономических факторов в принятии проектных решений.

1. Постановка и решение задачи исследования

Принцип многоальтернативности моделирования. Формализация задач проектирования предопределяется принципами абстрагирования и многоальтернативности, набором инструментальных средств для построения моделей и наличием вычислительных методов для решения задач рассматриваемого класса. Согласно принципу абстрагирования в модель включаются те компоненты проектируемой системы, которые имеют непосредственное отношение к выполнению системой своих функций или своего целевого назначения. При этом все второстепенные детали опускаются, чтобы чрезмерно не усложнять процесс анализа и синтеза полученной модели.

Принцип многоальтернативности моделирования компьютерных систем состоит в том, что никакая единственная модель не может в достаточной степени адекватно описать все аспекты функционирования системы. В достаточной степени адекватное математическое описание системы можно получить путем построения множества моделей, каждая из которых составлена под определенным углом зрения и отражает некоторый аспект поведения или структуры системы.

Многоальтернативность моделирования можно реализовать различными методами. Одним из них является принцип иерархичности, который предусматривает построение иерархической совокупности моделей. При этом исходная модель системы имеет наиболее общее представление. Такая метамодель строится на начальном этапе проектирования и может не содержать многих деталей и аспектов поведения или структуры системы. Каждый следующий уровень иерархии содержит более конкретные модели концептуального, логического

и физического представления проектируемой кибернетической системы.

Модель задачи многоальтернативного проектирования в условиях неопределенности может быть представлена следующим выражением:

$$<МП, МК, МО, МН, ММ_1, ММ_2, МА, ПВ>,$$

где МП – множество постановок решаемой задачи; МК – множество критериев решаемой задачи; МО – множество ограничений решаемой задачи; МН – множество видов проявляемых неопределенностей; $ММ_1$ – множество моделей решаемой задачи; $ММ_2$ – множество вычислительных методов, алгоритмов и процедур для решения сформулированных задач; МА – множество альтернативных решений; ПВ – процедуры выработки предпочтительных решений из множества допустимых решений.

При выработке и принятии многоальтернативных решений используются эвристические процедуры, методы линейного и целочисленного программирования, методы многоальтернативной и многокритериальной оптимизации. К числу сходных задач относятся задачи о ранце и наименьшем покрытии. Однако поскольку эти задачи относятся к NP-полным, то сложность их решения методом ветвей и границ соизмерима со сложностью решения задачи эвристического многоальтернативного проектирования всей КСОД.

Метод многоальтернативной оптимизации предусматривает декомпозицию исходной задачи на отдельные составляющие, обеспечивая структурирование и упрощение ее с выделением иерархии, содержащей различные подцели, частные критерии и альтернативные мероприятия, подлежащие оценке. Относительная значимость различных количественных и качественных критериев определяется в отдельности для каждого вышестоящего элемента путем сопоставления и анализа пар альтернативных вариантов. Таким же образом в модель интегрируется фактор выгодности мероприятий.

Метод анализа иерархий [1–5] предназначен для принятия многоальтернативных проектных решений в условиях слабой структурированности КСОД и неопределенности исходной информации, заданной набором количественных и качественных зависимостей. Причинами неопределенности являются неполнота знаний эксперта о свойствах объектов; недостаточная уверенность лица, принимающего решение, в правильности своих оценок; противоречивость знаний; нечеткость представления информации. Наличие неопределенности приводит к возникновению ошибок в экспертных оценках, несогласованности данных и нарушению основных свойств суждений, таких как связность и транзитивность.

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 в системе предпочтений не позволяет осуществить однозначный выбор на множествах критериев и альтернатив принимаемых решений. В практических задачах для повышения качества и обоснованности решений следует сначала восстановить указанные свойства, а затем согласовывать мнения экспертов.

В основу метода анализа иерархий заложен принцип декомпозиции исходной проблемы совокупностью более простых составляющих, называемых иерархическими уровнями или иерархиями. Составляющие проблемы в зависимости от системного назначения делятся на объекты-критерии и объекты-альтернативы принимаемых решений. Из объектов-критериев организуется иерархическая структура, содержащая уровни целей, подцелей, целевых функций, а из объектов-альтернатив создается иерархическая структура, отражающая соподчиненность иерархий принимаемых решений. В результате декомпозиции образуется архитектура проблемы, отражающая относительную степень взаимосвязи объектов иерархии.

Многоальтернативное решение задач проектирования компьютерных систем реализуется как процесс поэтапного установления приоритетов. На первом этапе выявляются наиболее важные составляющие задачи; на втором этапе выбирается лучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки элементов; на третьем этапе осуществляется выработка и принятие многоальтернативного решения с оценкой его качества. Процесс подвергается многократному переосмысливанию до тех пор, пока не будет уверенности, что он охватил все основные характеристики, необходимые для представления и решения задачи. Процесс решения задачи является итерационным над последовательностью иерархий, то есть результаты предыдущей итерации используются в качестве входных данных при поиске следующей иерархии.

Алгоритм метода анализа иерархий, используемый в задачах многокритериальной оптимизации, содержит следующие этапы:

1. Содержательная постановка задачи принятия многокритериальных проектных решений в условиях неопределенности.

2. Математическая постановка задачи принятия многокритериальных проектных решений в условиях неопределенности включает в себя формирование иерархической структуры обобщенного критерия эффективности в виде соподчиненных уровней целей, подцелей и целевых функций; математическое описание функциональных зави-

симостей и параметрических ограничений задачи принятия многокритериальных проектных решений в условиях неопределенности; формирование иерархической структуры взаимосвязи альтернатив принимаемых решений.

3. Ранжирование конечного множества объектов-критериев и объектов-альтернатив принимаемых решений

$$p = \{p_1, ..., p_i, ..., p_m\}$$

по важности путем задания вектора весовых коэффициентов

$$\alpha = \{\alpha_1, ..., \alpha_i, ..., \alpha_m\},$$

значения которых удовлетворяют ограничениям

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

В многоуровневой иерархической системе принятия решений ранжирование по важности каждого k-го уровня множества объектов-критериев и множества объектов-альтернатив

$$p^k = \{p^k{}_1, ..., p^k{}_i, ..., p^k{}_m\}$$

производится путем задания k векторов весовых коэффициентов

$$\alpha^k = \{\alpha^k{}_1, ..., \alpha^k{}_i, ..., \alpha^k_{m_k}\}, \quad k = \overline{1, K},$$

где K – количество уровней иерархической структуры объектов-критериев и структуры объектов-альтернатив; m_k – количество объектов на k-м уровне критериев и k-м уровне альтернатив.

Задача ранжирования объектов по важности в пределах каждого k-го уровня иерархии состоит в том, чтобы на основании опроса экспертов и методов обработки экспертных данных установить множество соотношений

$$\mathrm{p}^k{}_i \rightarrow \alpha^k{}_i$$

для всех уровней иерархической структуры критериев и иерархической структуры альтернатив. Эти суждения позволяют перевести качественные характеристики в количественные или числовые зависимости.

4. Формирование матрицы парных сравнений $[S^k{}_{p\ m\times m}]$ для каждого k-го уровня множества объектов (рис. 1).

$$[S^k{}_{p\ m\times m}] = \begin{array}{c|cccccc} & p^k{}_1 & \dots & p^k{}_j & \dots & p^k{}_m \\ p^k{}_1 & \alpha^k{}_{11} & \dots & \alpha^k{}_{1j} = \alpha^k{}_1/\alpha^k{}_j & \dots & \alpha^k{}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots\ \dots\ \dots\ \dots & \dots & \dots \\ p^k{}_i & \alpha^k{}_{i1} & \dots & \alpha^k{}_{ij} = \alpha^k{}_i/\alpha^k{}_j & \dots & \alpha^k{}_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots\ \dots\ \dots\ \dots & \dots & \dots \\ p^k{}_m & \alpha^k{}_{m1} & \dots & \alpha^k{}_{mj} = \alpha^k{}_m/\alpha^k{}_j & \dots & \alpha^k{}_{mm} \end{array}$$

Рис. 1. Структура исходной матрицы парных сравнений

Матрицы парных сравнений $[S^k{}_{p\ m\times m}]$ являются основным хранилищем информации, необходимой для принятия многоальтернативных решений. Каждая матрица $[S^k{}_{p\ m\times m}]$ составляется по таким правилам:

- Мнение каждого эксперта записывается в виде строки матрицы парных сравнений $[S^k{}_{p\ m\times m}]$.
- Эксперт должен уметь быстро отвечать на вопросы: во сколько раз весовой коэффициент α_i больше весового коэффициента α_j или во сколько раз весовой коэффициент α_j меньше коэффициента α_i.
- Каждый элемент $\alpha^k{}_{ij}$ матрицы парных сравнений $[S^k{}_{p\ m\times m}]$ определяется выражением $\alpha^k{}_{ij} = \alpha^k{}_i / \alpha^k{}_j$, где $\alpha^k{}_i$ и $\alpha^k{}_j$ – весовые коэффициенты приоритетности объектов парной связности k-го уровня иерархии:

$$p^k{}_i \rightarrow \alpha^k{}_i, \ \mathrm{p}^k{}_j \rightarrow \alpha^k{}_j; \quad \alpha^k{}_i, \alpha^k{}_j \rightarrow \alpha^k{}_{ij} = \alpha^k{}_i/\alpha^k{}_j.$$

Размерности парируемых коэффициентов $\alpha^k{}_i$ и $\alpha^k{}_j$ должны быть одинаковыми, а значения этих коэффициентов не допускают деление на нуль. Если отношение $\alpha^k{}_i/\alpha^k{}_j > 1$, то объект p_i считается важнее объекта p_j. Полученные значения весовых коэффициентов являются оценками в шкале отношений.

5. Поиск решения задачи многокритериальной оптимизации осуществляется путем поэтапного установления приоритетов. На первом этапе выявляются наиболее важные объекты решаемой проблемы, на втором изыскивается наилучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки объектов. На последующих этапах осуществляется выработка рационального решения и оценивание его качества.

Проверка согласованности экспертных мнений является исходной предпосылкой метода анализа иерархий. Для определения согласованности экспертных мнений используется исходная матрица парных сравнений, полученная путем опроса экспертов методом парных сравнений в шкале Саати [1, 2]. В качестве меры согласованности чаще всего используется индекс согласованности и отношение согласованности [2, 3]. Согласованность обратно симметричной исходной матрицы парных сравнений эквивалентна требованию равенства ее максимального собственного значения $\lambda_{\max}$ числу сравниваемых объектов n, то есть $\lambda_{\max} = n$.

В качестве меры рассогласования (несогласованности) принято рассматривать нормированное отклонение $\lambda_{\max}$ от n, называемое индексом согласованности:

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}.$$

Чтобы оценить степень согласованность экспертных мнений, индекс согласованности (ИС)

сравнивают со случайным индексом (СИ). Случайным индексом называют индекс согласованности, рассчитанный для квадратной n-мерной положительной обратно симметричной матрицы, элементы которой сгенерированы датчиком случайных чисел для интервала значений от 1 до 9.

Для матрицы с фиксированным значением индекс рассчитывается как среднее значение для выборки $N = 100$. В табл. 1 представлены среднеквадратичные значения согласованности для случайных матриц порядка от 1 до 10.

Таблица 1

Величина случайной согласованности

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Получив индекс согласованности и выбрав из табл. 1 случайный индекс для заданного порядка матрицы, определяют отношение согласованности (ОС):

$$\text{ОС} = \text{ИС} / \text{СИ}.$$

Если величина ОС ≤ 0,1, то степень согласованности экспертных данных считается приемлемой. В противном случае (если ОС > 0,1) эксперту рекомендуется пересмотреть свои суждения. Для этого необходимо выявить те позиции в матрице суждений, которые вносят максимальный вклад в величину отношения согласованности, и попытаться изменить меру несогласованности в меньшую сторону на основе более глубокого анализа вопроса.

Модель принятия многоальтернативного проектного решения может быть представлена 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 [4, с. 126 - 133]:

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

где m – количество целевых функций; $x = \{x_1, x_2, ..., x_n\} \subset X$ – конечное множество альтернатив принимаемых решений, содержащее n элементов x_j. Значения чисел m и n должны быть относительно невелики, поскольку именно они в МАИ определяют трудоемкость диалоговых процедур реального масштаба времени по извлечению дополнительной информации о задаче.

После реализации логико-семантической процедуры определения частных критериев используется метод линейной свертки

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

для получения исследуемых на оптимальность альтернатив принимаемых решений $x_1 = A_1$, $x_2 = A_2$, $x_3 = A_3$.

2. Пример многоальтернативного проектирования компьютерных систем обработки информации (КСОИ)

Постановка задачи. Требуется спроектировать наиболее предпочтительный альтернативный вариант КСОИ по совокупности заданных технико-экономических показателей [5], приведенных в табл. 2.

В табл. 2 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». В качестве частных критериев выступают технико-экономические показатели: $f_1(x)$ – гибкость, $f_2(x)$ – производительность, $f_3(x)$ – аппаратная платформа, $f_4(x)$ – надёжность, $f_5(x)$ – экономическая эффективность.

Глобальный показатель качества, характеризующий правильность выбора структуры и компонентного состава системы, обычно связывается с ее функциональными, техническими и экономическими характеристиками. Такой показатель является достаточно расплывчатым и неопределенным, поэтому можно воспользоваться набором критериев-заместителей, которые позволяют заменить исходную слабо формализованную задачу другой хорошо структурированной многоальтернативной задачей.

Таблица 2

Сравнительный анализ альтернативных вариантов КСОИ

Частные критерии	Альтернативные варианты КСОИ				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
$F_1(x)$	Легкая адаптация	Сравнительно гибкая	Действительно гибкая	Сравнительно легкая	Сравнительно гибкая
$F_2(x)$	До 2 млн. абонентов	До 1 млн. абонентов	Без ограничений	500 – 500000 абонентов	Без ограничений
$F_3(x)$	ОС Windows NT, Linux	ОС Windows NT, UNIX	ОС Windows NT	Windows NT	Windows NT, UNIX
$F_4(x)$	Очень высокая	Сравнит. высокая	Высокая надежность	Высокая надежность	Сравнительно высокая
$F_5(x)$	Высокий	Не высокий	Достаточно высокий	Не высокий	Сравнительно высокий

Исходный глобальный критерий эффективности решаемой задачи аппроксимирован набором локальных технико-экономических показателей качества, каждый из которых подлежит максимизации:

• $f_1(x)$ – гибкость системы, которая представляет собой способность быстро приспосабливаться к изменяющимся обстоятельствам, потребностям любого оператора связи, возможности использования системы как в самостоятельном режиме, так и в составе эксплуатируемой КСОИ;

• $f_2(x)$ – производительность, масштабируемость и открытость системы, состоящие в том, что при росте числа абонентов и дополнительных услуг не должна возникать необходимость доработки программного обеспечения, то есть должна существовать возможность расширения конфигурации КСОИ;

• $f_3(x)$ – аппаратная платформа, представляющая собой набор согласованных между собой технических средств, обеспечивающих решение заданных функциональных задач с требуемыми качественными показателями;

• $f_4(x)$ – надёжность, характеризующая интегрированное свойство инструментальных аппаратно-программных средств системы сохранять работоспособность в процессе их эксплуатации;

• $f_5(x)$ – экономическая эффективность (экономичность) от внедрения выбранного варианта аппаратно-программных средств проектируемой КСОИ.

Алгоритм решения задачи многоальтернативного проектирования КСОИ методом анализа иерархий содержит следующие этапы:

1. Формирование иерархической структуры частных критериев задачи многоальтернативного проектирования КСОИ, которая включает следующие этапы: 1) установить симметрично по центру фокус иерархии; 2) уровнем ниже расположить частные критерии и подкритерии; 3) ниже последнего уровня подкритериев разместить уровень альтернатив принимаемых решений.

2. Формирование матрицы парных сравнений $[S_{f\,m\times m}]$ частных критериев задачи многоальтернативного проектирования, которое включает следующие этапы:

1) задать размерность матрицы парных сравнений $[S_{f\,m\times m}]$, равную 5×5 (по числу критериев);

2) назвать строки и столбцы матрицы $[S_{f\,m\times m}]$ именами частных критериев;

3) присвоить каждому диагональному элементу матрицы $[S_{f\,5\times5}]$ значение, равное единице;

4) назначить относительную важность элементов матрицы $[S_{f\,5\times5}]$ по шкале предпочтений Саати;

5) принять значения недиагональных элементов матрицы $[S_{f\,5\times5}]$ по результатам экспертных опросов ($\alpha_{12} - ?$, $\alpha_{23} - ?$, $\alpha_{34} - ?$, $\alpha_{45} - ?$) с последующим вычислением всех недостающих коэффициентов по формулам:

$$\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}, \quad \alpha_{ij} = \alpha_i/\alpha_j, \quad \alpha_{ij} = \alpha_{ik}\times\alpha_{kj}, \quad \frac{\alpha_i}{\alpha_k}\cdot\frac{\alpha_k}{\alpha_j} = \frac{\alpha_i}{\alpha_j};$$

6) вычислить элементы $\nu_{f\,ij}$ нормированной матрицы парных сравнений частных критериев $[N_{f\,m\times m}]$ следующим образом: соответствующий элемент αf_{ij} исходной матрицы парных сравнений частных критериев $[S_{f\,m\times m}]$ разделить на сумму элементов j-го столбца, то есть элементы первого столбца матрицы $[S_{f\,m\times m}]$ необходимо разделить на сумму элементов первого столбца, элементы второго столбца – на сумму элементов второго столбца и так далее по формуле:

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

7) вычислить относительные значения весовых коэффициентов ν_{f1}–ν_{f5} частных критериев $f_1(x)$–$f_5(x)$ как средние значения элементов соответствующих строк нормированной матрицы парных сравнений $[N_{f\,5\times5}]$ по формуле:

$$\nu_{fi} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} \nu_{fij};\ i = \overline{1,m};$$

8) результаты вычисления относительных значений весовых коэффициентов ν_{fi} и усредненных значений весовых коэффициентов ν_{fi} частных критериев занести в нормированную матрицу парных сравнений $[N_{f\,5\times5}]$ и в столбец ν_{fi}, присоединенный справа к этой матрице.

Определение коэффициентов превосходства альтернатив производится по схеме, аналогичной определению коэффициентов превосходства частных критериев. Для каждого частного критерия (f_1 – гибкость, f_2 – производительность, f_3 – аппаратная платформа, f_4 – надежность, f_5 – экономичность) строится матрица парных сравнений $[Sf_{i\,n\times n}]$. Для построения такой матрицы попарно сравнивается альтернатива строки с альтернативой столбца по отношению к одному исследуемому частному критерию. Матрица $[Sf_{i\,n\times n}]$ имеет размерность 5×5 (по числу альтернатив).

Для оценки фактора производительности строится матрица $[Sf_{2\ 5\times5}]$. При этом попарно сравнивается альтернатива строки с альтернативой столбца по отношению к производительности каждой из систем. Никакие другие критерии при этом не учитываются. Значения из шкалы относительной важности вписываются в ячейки, образованные пересечением соответствующей строки и столбца. Диагональ этой матрицы заполняются значением «1», а ячейки, лежащие ниже диагонали – обратными значениями. Нормализация матрицы парных сравнений альтернатив по критерию произво-

дительности [$Sf_{2\ 5\times5}$] выполняется по приведенной выше процедуре.

Результаты вычисления относительных элементов заносятся в нормированную матрицу парных сравнений [$Nf_{2\ 5\times5}$]. Вычисленные значения весовых коэффициентов частных критериев заносятся в столбец νf_{2Aj}, который присоединяется справа к матрице [$Nf_{2\ 5\times5}$].

Значения весовых коэффициентов критерия производительности (столбец $\nu f_{2\ Aj}$) свидетельствуют, что наиболее предпочтительными альтернативами по критерию производительности являются системы «Атлант» (вариант A_1, весовой коэффициент $\nu f_{2\ A1} = 0.439$) и «Ай-Ти» (вариант A_2, весовой коэффициент $\nu f_{2\ A2} = 0.206$).

Значение коэффициента относительной согласованности исходной матрицы [$Sf_{2\ 5\times5}$] равно 8,15 %, что меньше граничного допустимого значения 10%, за пределами которого требуется пересматривать суждения экспертов или менять их состав.

Для оценки фактора экономичности системы построены матрицы исходных парных сравнений [$Sf_{5\ 5\times5}$] и нормированных парных сравнений. Значения весовых коэффициентов критерия экономичности (столбец $\nu f_{5\ Aj}$) свидетельствуют о том, что наиболее предпочтительными альтернативами по критерию экономичности является система «Мир-АСР» (вариант A_3, весовой коэффициент $\nu f_{5\ A3} = 0{,}472$). Она значительно выгоднее всех остальных систем. Значение относительной согласованности матрицы [$Sf_{5\ 5\times5}$] равно 1,50 %, что меньше граничной величины 10%, не позволяющей считать, что мнения экспертов согласованы.

Формирование набора предпочтительных весовых коэффициентов превосходства альтернатив принимаемых решений осуществляется на основании информации о значениях весовых коэффициентов частных критериев $\nu_{f\,i}$ и весовых коэффициентов альтернатив принимаемых решений (по характеристикам КСОД) относительно каждого из частных критериев (гибкость, производительность, экономичность и другие) $\nu f_i(A_j)$, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результирующие значения глобального приоритета

Альтернативы	Веса частных критериев $\nu f_i(A_j)$					Вес $\nu^* A_j$
	νf_1	νf_2	νf_3	νf_4	νf_5	
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
$\nu_{f\,i}$	0,201	0,321	0,061	0,311	0,106	

Значение предпочтительного весового коэффициента каждой отдельно взятой альтернативы принимаемого решения – $\nu^*_{A\,j}$ определяется как сумма произведений значений компонентов вектора приоритета частных критериев $\nu_{f\,i}$ на значения компонентов вектора локального приоритета $\nu f_i(A_j)$ рассматриваемой альтернативы A_j в отношении данного критерия f_i, а именно

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

Например, вычисление предпочтительного весового коэффициента превосходства альтернатив ν^*_{A1} для альтернативы A_1 (КСОД «Атлант») выполняется следующим образом:

$$\nu^*_{A1} = \nu_{f1} \times \nu_{f1\,A1} + \nu_{f2} \times \nu_{f2\,A1} + \nu_{f3} \times \nu_{f3\,A1} + \nu_{f4} \times \nu_{f4\,A1} + \nu_{f5} \times \nu_{f5\,A1} = 0{,}201 \times 0{,}414 + 0{,}321 \times 0{,}439 + 0{,}061 \times 0{,}303 + 0{,}311 \times 0{,}448 + 0{,}106 \times 0{,}059 = 0{,}3886.$$

Многоальтернативный выбор КСОД с приоритетным локальным критерием «Экономичность». Результаты парных сравнивай по критерию «Экономичность» строится матрица [$S\text{э}_{fi\ 5\times5}$]. Индекс согласованности этой матрицы как отношение согласованности равен (ОС) = 9,26 % < 10%.

Значения приоритета каждой из альтернатив приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результирующие значения глобального приоритета при приоритете критерия «Экономичность»

Альтернативы	Веса частных критериев $\nu f_i(A_j)$					Вес $\nu\text{э}^* A_j$
	νf_1	νf_2	νf_3	νf_4	νf_5	
A_1	0,414	0,439	0,303	0,448	0,059	0,1797
A_2	0,135	0,206	0,064	0,211	0,179	0,1789
A_3	0,074	0,157	0,164	0,064	0,472	0,3519
A_4	0,241	0,037	0,164	0,064	0,194	0,1652
A_5	0,135	0,157	0,303	0,211	0,095	0,1241
$\nu\text{э}_{fi}$	0,078	0,115	0,032	0,102	0,670	

Наилучшей средневзвешенной альтернативой проекта КСОИ оказалась альтернатива «Мир-АСР» с максимальным значением глобального приоритета. Однако на практике более предпочтительной альтернативой, рекомендуемой к выбору, оказалась КСОИ «Атлант» с максимальным значением глобального приоритета, несмотря на ее самую высокую стоимость. Если у заказчика не хватает финансовых средств на приобретение КСОИ «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.

Выводы

Многоальтернативное проектирование находит широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, таких как разработка компьютерных интерфейсов обработки данных, инжиниринг крупномасштабных корпоративных систем в условиях риска и неопределенности, оптимизация инфотелекоммуникационных систем по совокупности технико-экономических показателей качества, создание Web-ориентированных систем подготовки и переподготовки кадров, имитационное моделирование процесса контроля знаний в системе дистанционного обучения.

Если нет оснований считать множество достижимости рассматриваемой многокритериальной задачи выпуклым, то вместо линейной свертки в качестве обобщенного критерия целесообразно использовать свертку Джоффриона, основанную на комбинации линейной и максиминной сверток.

Помимо исследованного в работе метода анализа иерархий на практике для принятия многоальтернативных решений в условиях неопределенности часто применяются методы теории полезности и теории ценности со многими признаками, что имеет место при проектировании компьютерных распределенных корпоративных систем. Эти методы исходят из эвристических предположений и естественной способности людей думать логически и творчески, определять события и устанавливать отношения между ними.

Список литературы: 1. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь. 1989. – 316 с. 2. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь. 1991. – 224 с. 3. *Таха Х.* Введение в исследование операций. – М.: Вильямс, 2001. – 912 с. 4. *Черноруцкий И.Г.* Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с. 5. *Авраменко В.П., Колесников О.А., Калачева В.В., Юрьева Н.Н.* Технология многоальтернативного выбора информационных систем на основе метода анализа иерархий // Нові технології. Вісник Інституту економіки та нових технологій. – 2002. – Вип. 1. – С. 32-38.

Поступила в редколлегию 12.03.2008