

УДК 681.3: 51

В.В. Тулупов

*Харьковский национальный университет внутренних дел, Харьков*

## МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Формулируется задача многоальтернативного выбора состава аппаратно-программных средств системы обработки данных. Разрабатываются технологии выбора предпочтительного варианта инструментальных средств по совокупности заданных требований. Приводится пример многоальтернативного выбора комплекса инструментальных средств. В работе применена аддитивная свертка локальных критериев. Если множество достижимости многоальтернативной задачи выбора инструментальных средств не является выуклым, то вместо линейной свертки в качестве обобщенного критерия применяется свертка Джиоффриона, основанная на комбинации линейной и максиминной свертки.*

**Ключевые слова:** *структуризация проблемы, многоальтернативный выбор, аппаратно-программные средства, системы обработки данных, метод анализа иерархий.*

### Введение

**Постановка проблемы.** Многоальтернативный выбор инструментальных средств возникает в силу двух обстоятельств: с одной стороны, существует многовариантность принимаемых решений, а с другой стороны имеется целенаправленность системы обработки данных (СОД) в условиях неопределенности и риска. Множество альтернативных решений определяется возможностями перспективного развития; а выбор из допустимого множества зависит от целей конкретной системы обработки данных (СОД). Принимаемые решения представляют собой результат совместного представления целей, возможностей и их согласованности.

Математические модели выбора состава инструментальных средств СОД в большинстве своем ориентированы на конкретные функциональные задачи. Основными компонентами СОД являются системы сбора данных, передачи данных, отображения информации, взаимосвязанные системой компьютерных интерфейсов. Методы определения состава аппаратно-программных средств СОД требуют своего совершенствования с учетом проявления внешней среды.

**Анализ литературных источников** показал, что при многоальтернативном выборе СОД возникают следующие проблемы: 1) оптимизация топологической структуры; 2) максимальное использование пропускной способности каналов связи; 3) выбор метода передачи данных; 4) оптимизация потоков передачи данных в сети; 5) альтернативный выбор каналов связи; 6) обнаружение ошибок при передаче; 7) обеспечение требуемой надежности и экономичности [1 – 4].

Для принятия многоальтернативных решений разработано достаточное количество методов опти-

мизации, дающих приемлемые решения при соблюдении конкретных условий. В основу ряда методов декомпозиционной оптимизации положен принцип иерархической совокупности моделей [3, 5]. Согласно этому принципу на начальном этапе оптимизации строится исходная метамодель системы, которая имеет наиболее общее представление. Такая метамодель может не содержать многих деталей и аспектов функционирования системы. Последующие уровни иерархии содержат более конкретные модели концептуального, логического и физического представления создаваемой системы.

**Целью настоящей публикации** является разработка технологии многоальтернативного выбора инструментальных аппаратно-программных средств СОД. При решении подобных задач часто используется концепция, согласно которой цель отражает направление развития системы (именуемая цель-направление). Для достаточно широкого класса задач также рассматривается и вторая интерпретация, когда цель направлена на достижение заранее заданного состояния системы (именуемое цель-состояние). Цель-направление позволяет сравнивать альтернативные стратегии и выбирать из них наиболее предпочтительную, которая наилучшим образом обеспечивает максимальное приближение к желаемому состоянию (цели-состоянию).

### Модель многоальтернативного выбора

В задачах многоальтернативного выбора качество функционирования системы описывается качественными и количественными соотношениями. Наиболее общие соотношения носят, как правило, качественный характер, поскольку фиксируют сравнительные альтернативные решения с точки зрения целей функционирования системы или аналитически описывают результаты выбора из множества

имеющихся альтернатив. Цель в первом случае описывается бинарными отношениями на множестве альтернативных решений, а во втором – целевой функцией выигрыша.

Наряду с качественным описанием целей достаточно широко используются и количественные описания. Построение глобальной целевой функции по локальным качественным и количественным целевым функциям представляет довольно сложную задачу из-за наличия взаимосвязей между локальными целевыми функциями. Обобщенная целевая функция с большим трудом допускает аппроксимацию векторной целевой функцией. В силу существующих критериальных противоречий вместо обобщенной глобальной целевой функции приходится применять совокупность локальных целевых функций, моделировать которые уже представляется довольно проблематичным.

Формализация задач выбора оптимального состава инструментальных средств определяется принципами абстрагирования и многоальтернативности, набором инструментальных средств для построения моделей и наличием вычислительных методов для решения задач выбранного класса. Согласно принципу абстрагирования в модель включаются 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.

Модель многоальтернативного выбора 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]:

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

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

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

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 альтерна-

тив принимаемых решений относительно частных критериев, находящихся на различных уровнях иерархии. Относительная значимость выражается численно в виде векторов приоритетов, которые представляют собой жесткие оценки в шкале отношений.

Построение иерархической структуры принятия многоальтернативного решения 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. Завершается иерархическая структура вычислительным интерфейсом, с помощью которого отыскивается численное значение предпочтительной альтернативы.

### Метод многоальтернативного выбора

Многоальтернативный выбор инструментальных средств СОД выполнен методом анализа иерархий [1 – 3] с реализацией следующих операций:

1. Содержательная постановка задачи принятия многоальтернативных решений.

2. Математическая постановка задачи принятия многоальтернативных решений, включающая формирование иерархической структуры исходного обобщенного критерия и иерархической структуры взаимосвязей альтернатив принимаемых решений.

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

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

по важности путем задания вектора весовых коэффициентов

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

значения которых удовлетворяют ограничениям

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

4. Формирование матрицы парных сравнений  $[S_{p \times m}^k]$  для  $k$ -го уровня объектов (рис. 1) [1, 3]:

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

Рис. 1. Исходная матрицы парных сравнений  $[S_{p \times m}^k]$

5. Поиск многоальтернативного решения осуществляется путем поэтапного установления приоритетов. На первом этапе выявляются наиболее важные объекты решаемой проблемы, на втором

изыскивается способ оценки объектов. На последующих этапах вырабатываются рациональные решения и оценивается их качество. Процесс принятия многоальтернативных решений проводится над последовательностью иерархий: результаты, полученные на одной из них, используются в качестве входных данных при изучении следующей иерархии.

6. Проверка согласованности экспертных мнений осуществляется путем вычисления индекса согласованности и отношения согласованности [1]. Согласованность 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 принят индекс согласованности ИС, представляющий нормированное отклонение  $\lambda_{max}$  от  $n$ :

$$ИС = (\lambda_{max} - n) / (n - 1).$$

Степень согласованности экспертных мнений оценивается отношением согласованности (ОС):

$$ОС = ИС / СИ,$$

где ИС – индекс согласованности, СИ – случайный индекс, взятый из таблицы [1].

Если величина  $ОС \leq 0,1$ , то степень согласованности экспертных данных считается приемлемой. Если  $ОС > 0,1$ , эксперту рекомендуется пересмотреть свои суждения.

### Пример многоальтернативного выбора

**Постановка задачи.** Требуется выбрать наиболее предпочтительный вариант инструментальных средств СОД по глобальному показателю качества, который характеризует правильность структуры и компонентного состава системы, связанные с ее функциональными, техническими и экономическими характеристиками. Поскольку глобальный показатель качества является недостаточно формализованным, предлагается заменить его набором частных критериев-заместителей, которые позволят исходную слабо формализованную задачу аппрок-

симировать другой хорошо структурированной многоальтернативной задачей.

Исходный глобальный критерий эффективности решаемой задачи следует аппроксимировать набором локальных технико-экономических показателей качества, каждый из которых подлежит максимизации [3]:

- $f_1(x)$  – гибкость системы, представляющая собой способность быстро приспосабливаться к изменяющимся обстоятельствам и потребностям любого оператора связи СОД;
- $f_2(x)$  – масштабируемость и открытость системы, состоящие в том, что при росте числа дополнительных услуг не возникает необходимость доработки программного обеспечения СОД;
- $f_3(x)$  – аппаратная платформа, обеспечивающая решение заданных функциональных задач с требуемыми качественными показателями;
- $f_4(x)$  – надёжность, характеризующая интегрированное свойство аппаратно-программных средств СОД сохранять работоспособность в процессе их эксплуатации;
- $f_5(x)$  – экономическая эффективность (стоимость приобретения, внедрения и эксплуатационные расходы) выбранного варианта аппаратно-программных средств СОД.

В качестве альтернатив принимаемых решений выступают:  $A_1$  – система "Атлант",  $A_2$  – система "Ай-Ти",  $A_3$  – система "Мир-АСР",  $A_4$  – система "Орёл-М",  $A_5$  – система "Энран".

**Решение задачи** многоальтернативного выбора инструментальных средств СОД выполним методом анализа иерархий [3], который содержит следующие этапы:

1. Формирование иерархической структуры частных критериев и альтернатив выбора инструментальных средств СОД содержит следующие этапы: 1) установить по центру структуры фокус иерархии; 2) ниже расположить частные критерии эффективности; 3) еще ниже разместить уровень альтернатив принимаемых решений (рис. 2).

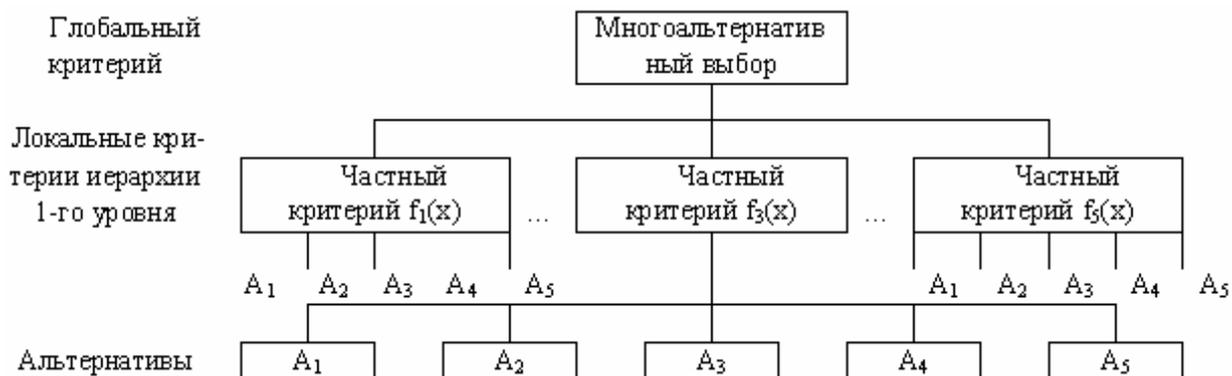


Рис. 2. Иерархическая структура частных критериев многоальтернативного выбора инструментальных средств СОД

2. Формирование элементов  $\alpha_{f_{ij}}$  исходной матрицы парных сравнений частных критериев  $[S_{f_{5 \times 5}}]$  задачи многоальтернативного выбора инструментальных средств СОД.

3. Вычисление элементов  $v_{f_{ij}}$  нормированной матрицы парных сравнений критериев  $[N_{f_{m \times m}}^k]$  по формуле:

$$v_{f_{ij}} = \alpha_{f_{ij}} / \sum_{i=1}^m \alpha_{f_{ij}}; \quad j = \overline{1, m}.$$

4. Вычисление относительных значений коэффициентов  $v_{f_1} - v_{f_5}$  критериев  $f_1(x) - f_5(x)$  как средних значений элементов соответствующих строк нормированной матрицы парных сравнений  $[N_{f_{5 \times 5}}]$  по формуле:

$$v_{f_i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_{f_{ij}}; \quad i = \overline{1, m}.$$

5. Вычисленные относительные значения весовых коэффициентов  $v_{f_{ij}}$  и усредненных значений весовых коэффициентов  $v_{f_i}$  частных критериев необходимо занести в нормированную матрицу парных сравнений  $[N_{f_{5 \times 5}}]$  и в столбец  $v_{f_i}$ , присоединенный справа к этой матрице.

6. Вычисление весовых коэффициентов альтернатив  $v_{f_{iA_j}}$  выполняется аналогично весовым коэффициентам частных критериев. Для каждого частного критерия  $f_i$  строится матрица парных сравнений  $[S_{f_{i5 \times 5}}]$ , для которой попарно сравнивается альтернатива строки с альтернативой столбца по отношению к одному частному критерию.

7. Оценивание фактора производительности СОД по критерию  $f_2$  производится на основании матрицы попарно сравниваемых альтернатив  $[S_{f_{25 \times 5}}]$  и соответствующей ей нормированной матрицы парных сравнений  $[N_{f_{25 \times 5}}]$ :

$$[S_{f_{25 \times 5}}] = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 & 6 & 3 \\ 1/4 & 1 & 2 & 5 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 7 & 1 \\ 1/6 & 1/5 & 1/7 & 1 & 1/7 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 7 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix},$$

$$[N_{f_{25 \times 5}}] = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 & v_{f_2 A_j} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,482 & 0,645 & 0,419 & 0,231 & 0,419 \\ 0,120 & 0,161 & 0,279 & 0,192 & 0,279 \\ 0,159 & 0,081 & 0,139 & 0,269 & 0,139 \\ 0,079 & 0,032 & 0,020 & 0,038 & 0,020 \\ 0,159 & 0,081 & 0,139 & 0,269 & 0,139 \end{pmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 0,439 \\ 0,206 \\ 0,157 \\ 0,037 \\ 0,157 \end{matrix}.$$

8. Значения весовых коэффициентов критерия производительности (столбец  $v_{f_2 A_j}$ ) свидетельст-

вуют, что предпочтительными альтернативами по критерию производительности являются системы «Атлант» (вариант  $A_1$  с весом  $v_{f_2 A_1} = 0,439$ ) и «Ай-Ти» (вариант  $A_2$  с весом  $v_{f_2 A_2} = 0,206$ ). Коэффициент относительной согласованности матрицы  $[S_{f_{25 \times 5}}]$  равен 8,15 %, что меньше допустимого значения 10%, за пределами которого требуется пересматривать суждения экспертов. Аналогично вычислены весовые коэффициенты остальных частных критериев.

9. Формирование значений предпочтительного весового коэффициента  $v_{A_j}^*$  каждой отдельно взятой альтернативы  $A_j$  определяется как сумма произведений значений компонентов вектора приоритета частных критериев  $v_{f_i}$  на значения компонентов вектора локального приоритета  $v_{f_i(A_j)}$  рассматриваемой альтернативы  $A_j$  в отношении данного критерия  $f_i$ , а именно

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

10. Вычисление остальных предпочтительных результирующих весовых коэффициентов превосходства альтернатив  $v_{A_j}^*$  для каждой альтернативы  $A_j$  производится аналогичным способом. По результатам парных сравнений по критерию «Экономичность» построена матрица парных сравнений  $[S_{\Sigma f_{5 \times 5}}]$ . Индекс согласованности этой матрицы равен 9,26 %, что меньше гранично-допустимого уровня 10%.

Предпочтительным вариантом выбора инструментальных средств СОД оказалась альтернатива «Мир-АСР» с максимальным значением глобального приоритета. Однако более практичной оказалась альтернатива «Атлант» с максимальным значением глобального приоритета, несмотря на ее самую высокую стоимость. Если у заказчика не хватает финансовых средств на приобретение варианта «Атлант», то более дешевый вариант системы выбирается путем пересчета всех таблиц с учетом привлечения дополнительной информации к инструментальным средствам СОД.

### Выводы

Достоинством метода анализа иерархий для многоальтернативного выбора инструментальных средств СОД является возможность оптимизации по совокупности небольшого количества локальных качественных и количественных критериев. Вычислительная сложность метода зависит от размерности пространства локальных критериев и альтернатив принимаемых решений.

В работе применена аддитивная свертка локальных критериев. Если множество достижимости

многоальтернативной задачи выбора инструментальных средств не является выпуклым, то вместо линейной свертки в качестве обобщенного критерия применяется свертка Дзоффриона, основанная на комбинации линейной и максиминной свертки. Помимо метода анализа иерархий для многоальтернативного выбора аппаратно-программных средств СОД применяются методы теории полезности и теории ценности со многими признаками.

### Список литературы

1. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

2. Черноуцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. – СПб.: Лань, 2001. – 384 с.

3. Авраменко В.П., Тулупов В.В. Эвристическое многоальтернативное проектирование компьютерных систем обработки данных // Бионика интеллекта. – 2008. – № 1 (68). – С. 47-54.

4. Руденко Д.А., Тулупов В.В. Модель и средства поддержки данных в задачах интеграции неоднородных информационных систем // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ РС, 2007. – Вип. 4 (62). – С. 110–114.

Поступила в редколлегию 5.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Авраменко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНИЙ ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДАНИХ

В.В. Тулупов

Формулюється задача багатоальтернативного вибору складу апаратно-програмних засобів системи обробки даних. Розробляються технології вибору переважного варіанту інструментальних засобів по сукупності заданих вимог. Наводиться приклад багатоальтернативного вибору комплексу інструментальних засобів. У роботі застосована аддитивна згортка локальних критеріїв. Якщо множина досяжності багатоальтернативного завдання вибирання інструментальних засобів не є опуклою, то замість лінійної згортки як узагальнений критерій застосовується згортка Дзоффріона, заснована на комбінації лінійної і максимінної згорток.

**Ключові слова:** структуризація проблеми, багатоальтернативний вибір, апаратно-програмні засоби, системи обробки даних, метод аналізу ієрархій.

### MANYALTERNATE CHOICE OF HARDWARE AND SOFTWARE TOOLS FOR DATA PROCESSING SYSTEM

V.V. Tulupov

The task of multiple-choice choice of composition of vehicle-programmatic facilities of data handling system is formulated. Technologies of choice of preferable variant of tools are developed on the aggregate of the set requirements. An example of multiple-choice choice of complex of tools is made. In work the additive is applied package of local criteria. If a great number of attainability of multiple-choice task of choice of tools is not protuberant, in place of linear packages as the generalized criterion used package of Dzhoffriona, founded on combinations of linear and maximin package.

**Keywords:** problem structuring, multialternative selection, hardware and software, data processing systems, hierarchy analysis method.