

*Key words: data visualization, decomposition, tree-map, trusted session, analytic hierarchy process*  
In practice when designing complex IT-systems the known challenge is to solve the problem of multi-criteria analysis of alternatives in order to select the most preferred choices of specific hardware and software for protection of large sets of solutions offered by the market. In particular, this problem is typical of the process of organizing a trusted session IT-systems of distance learning. The paper proposes a solution to this problem based on the analytic hierarchy process (AHP), which allows to automate the selection of an appropriate option using the visualization results of AHP.

V. С. Горбатов, Т. А. Кондратьева, А. А. Мещеряков

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОВЕРЕННОЙ СРЕДЫ<sup>1</sup>

### Введение

В практической деятельности при проектировании сложных защищенных ИТ-систем известной проблемой является решение задачи многокритериального анализа альтернатив с целью выбора наиболее предпочтительных конкретных аппаратно-программных средств защиты из многочисленной совокупности решений, предлагаемых рынком. В частности, такая задача типична для процесса организации доверенной среды в ИТ-системах дистанционного обучения [1].

Существует много различных подходов по решению задач многокритериального выбора [3], однако существенным недостатком всех известных методов является сложность интерпретации полученных результатов для корректного обоснования наиболее предпочтительного варианта.

Одним из очевидных путей устранения этого недостатка может быть использование такого мощного аналитического инструмента наглядной интерпретации численной информации, как визуализация данных. Ее значимость для корректного анализа решения задач многокритериального выбора достаточно хорошо показана в работе [2], в которой предложено использовать методы визуализации при выполнении анализа чувствительности итоговых количественных оценок суждений ЛПР по поводу относительной значимости элементов иерархии. Это позволило авторам рассмотреть различные сценарии сравнения альтернатив, которые могут быть применены при получении итоговой оценки.

В данной работе, в отличие от указанной, предлагается решение задачи визуализации результатов процедур многокритериального выбора при использовании одного из наиболее предпочтительных, на наш взгляд, подходов — метода анализа иерархий (МАИ), позволяющего автоматизировать не только сам процесс анализа и получение количественных оценок, но и их наглядное представление.

### 1. Выбор метода многокритериального анализа

При выборе базового метода решения поставленной задачи использованы результаты работы [3], в которой проведен сравнительный анализ представленных ниже подходов.

*Многокритериальная теория полезности* (МТП, Multi-attribute utility theory, MAUT) позволяет задать некоторую многокритериальную функцию полезности и оценить каждую

---

<sup>1</sup> Данная работа выполнена в НИЯУ МИФИ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта «Создание инженерно-технических решений для высокотехнологичного производства инновационных программно-аппаратных средств защиты информации на базе перспективных высокоскоростных интерфейсов информационного взаимодействия», выполненного совместно с ООО «ОКБ САПР» по договору № 02.G25.31.0050

альтернативу с помощью этой функции независимо от других альтернатив. На заключительном этапе МТП проводится оценка всех имеющихся альтернатив и выбирается наилучший вариант.

*Метод анализа иерархий* (МАИ, Analytical hierarchy process, АНР) состоит в структуризации задачи принятия решения путем построения многоуровневой иерархии, при которой становится возможным получение численных оценок интенсивности взаимовлияния элементов иерархии и итоговой количественной оценки.

*Метод ранжирования многокритериальных альтернатив* основан на попарном сравнении, при этом оценка каждой альтернативы является не абсолютной, а относительной. В отличие от МАИ не определяется количественный показатель качества каждой из альтернатив, а устанавливается лишь условие превосходства одной альтернативы над другой.

*Методы вербального анализа решений* используют вербальные оценки на порядковых шкалах критериев. Особенностью метода является сохранение естественного языка описания на всех этапах анализа и решения проблемы без каких-либо преобразований в числа.

Итоговые результаты сравнительного анализа указанных подходов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов многокритериального выбора

Метод	Преимущества	Недостатки
Многокритериальная теория полезности	- детальная проработанность процедур выявления предпочтений; - проще сравнивать альтернативы по их общим оценкам, представленным в числовом виде	- ЛПР не всегда точно может делать количественные измерения; - от ЛПР требуется назначение всех основных параметров на начальном этапе
Метод анализа иерархий	- направленность на сравнение реальных альтернатив; - попарность сравнений и наличие вербально-числовой шкалы облегчает выполнение сравнений ЛПР	- значимость одного критерия относительно другого устанавливается субъективно
Метод ранжирования многокритериальных альтернатив	- поэтапное выявление предпочтений ЛПР	- трудности при назначении ЛПР весов
Методы вербального анализа решений	- используется информация, получаемая на естественном языке	- параметры структуры задачи принятия решений выявляются неформально и не допускают изменения в процессе решения; - отсутствие проверки согласованности

Выбор МАИ как базового средства системного обоснования решения поставленной задачи определяется следующими преимуществами:

- возможность получения более точных количественных оценок по сравнению с другими методами за счет применения попарных сравнений и вербально-числовой шкалы;

- наличие встроенного критерия качества работы эксперта, обеспечивающего простоту разработки программного обеспечения с целью автоматизации процесса многокритериального выбора альтернатив.



Подробное изложение МАИ и описание возможности его применения в практических задачах многокритериального выбора средств организации доверенной среды сложных ИТ-систем приведены в работах [1, 4]. В данной работе рассмотрим возможность визуализации результатов применения МАИ как мощного средства наглядной интерпретации выбора наиболее адекватных средств защиты.

С этой целью в данной работе и предлагается использовать визуализацию результатов МАИ на основе диаграммы «дерево-карта» с возможностью интерактивного взаимодействия ЛПР с системой автоматизированной обработки данных.

## 2. Визуализация на основе диаграммы «дерево-карта»

Диаграмма «дерево-карта» (Treemap) как способ визуализации иерархических данных представляет собой двухмерную прямоугольную карту, обеспечивающую компактное изображение сложных данных через такие показатели, как площадь и цвет. Этот способ визуализации предложен Беном Шнайдерманом в 1990 г. [5], а эффективность данного визуального представления была продемонстрирована в работе [6] при решении задачи выявления причинно-следственных отношений внутри иерархии.

Возможность визуализация иерархических структур данных с помощью диаграммы «дерево-карта» была показана также в работе [7], а то, что использование диаграммы «дерево-карта» является эффективным решением задачи визуализации данных, полученных в ходе выполнения МАИ, — в работе [8].

В данной работе предлагается расширить указанные возможности за счет введения интерактивного взаимодействия разработчиков средств защиты информации с системой автоматизированного анализа на основе использования инструментов управления данными. Это позволяет расширить возможности визуализации диаграммы «дерево-карта», превратив ее в графическое представление, поддерживающее операции «чтения-записи». Инструменты интерактивного взаимодействия позволяют повысить эффективность определения причинно-следственных взаимосвязей между элементами иерархии, что хорошо показано в работе [2].

В качестве практической реализации данного предложения разработано программное обеспечение [9], позволяющее выполнить все классические процедуры МАИ и визуализацию их результатов на основе диаграммы «дерево-карта», в которой используется алгоритм «вращения и фильтрации». Корневой узел иерархии представлен всей площадью экрана. Для потомков корневого узла площадь экрана нарезается (вертикально или горизонтально), чтобы создать меньшие прямоугольники, площадь которых зависит от значения конкретного взвешиваемого атрибута. Затем каждый узел обрабатывается рекурсивно с переключением на 90 градусов для каждого следующего уровня.

Так как процесс принятия выбора альтернатив в МАИ представлен в виде иерархического дерева, то непосредственно преобразование иерархических деревьев в структуру «дерево-карта» проводится достаточно просто. Вся базовая область, представляющая собой цель принятия решения, разделена на прямоугольные области критериев, площадь которых пропорциональна важности критерия. Для удобства использования каждый критерий подписан в специальной области.

Уникальной особенностью МАИ является то, что листья каждой ветви содержат одинаковый набор альтернатив. В предлагаемой системе каждой альтернативе присвоены уникальные цвета, чтобы пользователи могли легко их идентифицировать. Выбор цвета конкретной альтернативы определяется в зависимости от первоначальной оценки альтернатив пользователем. Таким образом, пользователь может проверить степень своей удовлетворенности, сравнив свою первоначальную оценку альтернатив и оценку, полученную с помощью МАИ.

Демонстрационный пример визуализации МАИ с помощью диаграммы «дерево-карта» показан на рис. 1. Вся область экрана, представляющая собой цель, поделена на 4 прямоугольные



области критериев, площадь которых пропорциональна важности критерия в иерархии дерева критериев. Каждая область критериев поделена, в свою очередь, на три области, соответствующие альтернативам. Для визуальной идентификации в верхней части области критерия содержится подпись с названием критерия, а альтернативы выделены соответствующими цветами.

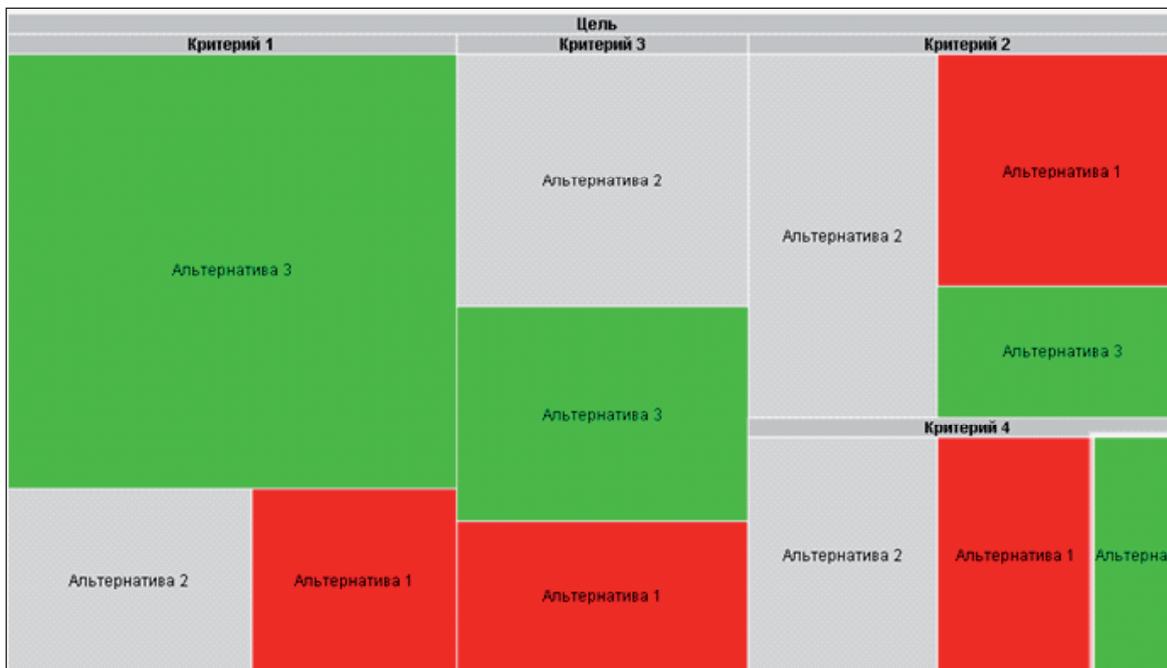


Рис. 1. Визуализация МАИ с помощью диаграммы «дерево-карта»

Для визуализации глобальных приоритетов, полученных в ходе выполнения всех этапов МАИ и не отраженных на диаграмме «дерево-карта» непосредственно, используются гистограммы (рис. 2).

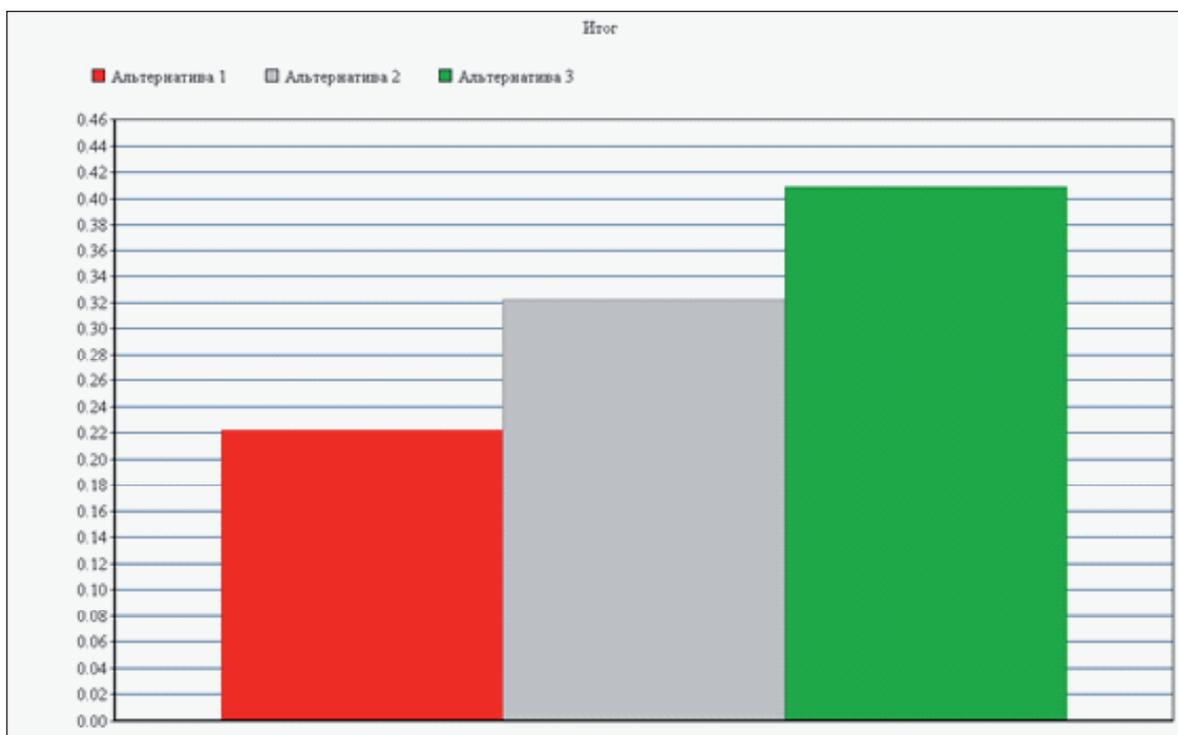


Рис. 2. Итоговая диаграмма визуализации результатов МАИ



Реализация инструментов интерактивного взаимодействия визуализации с пользователем позволяет ограничить количество выводимой информации на диаграмме, а также повысить эффективность решения задачи поиска причинно-следственных связей, что способствует пониманию структуры проблемы.

Ограничение количества выводимой информации на диаграмме «дерево-карта» достигается путем вывода одновременно только одного уровня иерархии критериев. Таким образом, диаграмма не перегружается излишней детализацией, обеспечивая лучшее восприятие итоговых данных. Переход к визуализации критериев более низкого уровня осуществляется при нажатии курсором на родительский критерий (то есть критерий, стоящий на уровень выше в иерархии).

Для повышения эффективности решения задачи поиска причинно-следственных связей реализован инструмент динамического изменения значений приоритетов соответствующих критериев и альтернатив. Данный инструмент позволяет увеличить или уменьшить размер прямоугольной области, соответствующей критерию или альтернативе, на диаграмме. При этом приоритеты критерия или альтернативы изменяются пропорционально, таким образом, что приоритет родительского критерия остается неизменным. Тем самым, пользователь может отделять влияние значений глобальных приоритетов от значений приоритетов конкретных критериев или альтернатив. Также данная процедура позволяет выявить граничные значения приоритетов, изменение которых определяет выбор наилучшей альтернативы.

### Заключение

Таким образом, предлагаемое расширение возможностей интерактивной визуализации результатов процедур многокритериального выбора средств организации доверенной среды сложной ИТ-системы с помощью МАИ на основе диаграммы «дерево-карта» дополнительно позволяет:

- выявить причинно-следственные связи между значимостью критериев и оценкой альтернатив по критериям;
- выявить граничные значения оценок критериев и альтернатив;
- ограничить количество информации, выводимой для анализа на одном экране.

Достижение дальнейших преимуществ использования МАИ в практической деятельности при проектировании защищенных ИТ-систем возможно путем автоматизации процесса проведения групповой экспертизы с визуализацией полученной иерархической структуры данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горбатов В. С., Мещеряков А. А., Петров В. Р. Формализация рационального выбора средств обеспечения доверенного сеанса связи в дистанционном обучении // Безопасность информационных технологий. 2014. № 1. С. 56–57.
2. Ishizaka A., Labib A. Review of main developments in the Analytic Hierarchy Process // Experts Systems with Applications. 2011. № 11. P. 336–345
3. Belton V., Stewart T. J. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Kluwer Academic Publishers, 2002. – 372 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. – 279 с.
5. Shneiderman B. Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/> (дата обращения: 05.10.2014).
6. Turo D. Enhancing treemap displays via distortion and animation: Algorithms and experimental evaluation. University of Maryland at College Park, 1993. – 288 с.
7. Касьянов В., Касьянова Е. Визуализация информации на основе графовых моделей // Научная визуализация. 2014. № 1. С. 31–50
8. Toshiyuki A. Using treemaps to visualize the Analytic Hierarchy Process [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cs.umd.edu/~ben/papers/Asahi1995Using.pdf> (дата обращения: 11.10.2014).
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611211 от 26.01.2015.



## REFERENCES:

1. *Gorbatov V. S., Meshcheryakov A. A., Petrov V. R.* Formalization of the choice trusted session in distance learning // *Bezopasnost Informatsionnykh Tekhnology* 2014. № 1. P. 56–57.
2. *Ishizaka A., Labib A.* Review of main developments in the Analytic Hierarchy Process // *Experts Systems with Applications*. 2011. № 11. P. 336–345
3. *Belton V., Stewart T. J.* Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Kluwer Academic Publishers, 2002. — 372 p.
4. *Saaty T.* The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. M.: Radio and Communications, 1993. — 279 p.
5. *Shneiderman B.* Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies [Electronic Resource]. URL: <http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/>.
6. *Turo D.* Enhancing treemap displays via distortion and animation: Algorithms and experimental evaluation. University of Maryland at College Park, 1993. — 288 p.
7. *Kasyanov V., Kasyanova E.* Information visualization on the base of graph models // *Scientific Visualization*. 2014. № 1. P. 31–50
8. *Toshiyuki A.* Using treemaps to visualize the Analytic Hierarchy Process [Electronic Resource]. URL: <http://www.cs.umd.edu/~ben/papers/Asahi1995Using.pdf>.
9. Certificate of state registration of the computer program № 2015611211 from 26.01.2015.

