

УДК 004.891.3

## Разработка информационно-коммуникационной системы поддержки принятия решений для выбора электронных устройств на основе метода анализа иерархий

К.В. Новиковский✉, А.А. Готишан, А.П. Преображенский

*Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия*

*В статье рассматривается прикладная задача поддержки принятия решений при выборе электронных устройств в условиях многокритериальности и большого числа альтернатив. Показано, что традиционные подходы к выбору электронных устройств, основанные на субъективных предпочтениях пользователя, не обеспечивают достаточной обоснованности принимаемых решений. В качестве инструмента формализации процесса выбора используется метод анализа иерархий, позволяющий учитывать относительную значимость критериев и обеспечивать проверку согласованности экспертных оценок. Разработана информационно-коммуникационная система, реализующая данный метод и обеспечивающая автоматизированное формирование рейтинга альтернатив. Представлены модель задачи, алгоритмическая схема метода, архитектура системы и результаты контрольного эксперимента выбора смартфона. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения разработанной системы в практических задачах выбора электронных устройств.*

*Ключевые слова: система поддержки принятия решений, метод анализа иерархий, многокритериальный выбор, электронные устройства, информационно-коммуникационная система.*

## Development of an Information and Communication Decision Support System for Electronic Device Selection Based on the Analytic Hierarchy Process

K.V. Novikovskiy✉, A.A. Gotishan, A.P. Preobrazhenskiy

*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia*

*This paper considers an applied decision support problem related to the selection of electronic devices under conditions of multicriteria decision-making and a large number of alternatives. It is shown that traditional approaches to selecting electronic devices based on subjective user preferences do not provide sufficient justification for the decisions made. The Analytic Hierarchy Process is used as a tool for formalizing the selection procedure, enabling the consideration of the relative importance of criteria and the verification of the consistency of expert judgments. An information and communication system has been developed that implements this method and provides automated rating of alternatives. The problem model, the algorithmic framework of the method, the system architecture, and the results of a control experiment on smartphone selection are presented. The obtained results confirm the feasibility of applying the proposed system to practical electronic device selection tasks.*

*Keywords: decision support system, Analytic Hierarchy Process, multicriteria decision-making, electronic devices, information and communication system.*

## Введение

Современный этап развития информационных технологий характеризуется повсеместным использованием электронных устройств в профессиональной и бытовой деятельности. Смартфоны, планшеты и персональные компьютеры выполняют функции коммуникации, обработки информации и доступа к цифровым сервисам, что делает их неотъемлемой частью повседневной жизни. Одновременно с этим наблюдается устойчивый рост ассортимента электронных устройств и усложнение их технических характеристик, что существенно затрудняет процесс выбора оптимального варианта для конечного пользователя [1].

Задача выбора электронного устройства относится к классу задач принятия решений в условиях многокритериальности. Пользователь вынужден учитывать множество параметров, включая стоимость, производительность, характеристики экрана, объём памяти, автономность и дополнительные функциональные возможности. Значимость указанных критериев может существенно различаться в зависимости от индивидуальных предпочтений и условий эксплуатации устройства, что делает процесс выбора субъективным и трудноформализуемым [2]. Использование эвристических подходов, основанных на опыте или популярности бренда, не позволяет обеспечить объективность и воспроизводимость результата [3].

В связи с этим актуальной является разработка систем поддержки принятия решений, обеспечивающих формализацию предпочтений пользователя и автоматизацию процедуры сравнения альтернатив [4]. Среди методов многокритериального анализа особое место занимает метод анализа иерархий, обладающий строгим теоретическим обоснованием и высокой интерпретируемостью результатов [5]. Целью настоящей работы является разработка информационно-коммуникационной системы поддержки принятия решений для выбора электронных устройств на основе метода анализа иерархий и оценка её эффективности на прикладном примере.

## Анализ существующих подходов

В практике многокритериального выбора используются различные подходы, отличающиеся степенью формализации и вычислительной сложностью. Методы доминирующих характеристик предполагают последовательный отбор альтернатив по одному или нескольким параметрам, однако игнорируют комплексное влияние критериев и часто приводят к локально оптимальным, но глобально неэффективным решениям [3].

Рейтинговые методы основаны на присвоении альтернативам балльных оценок с последующим агрегированием. Несмотря на простоту реализации, данные методы не предусматривают механизмов контроля согласованности оценок и обладают высокой чувствительностью к субъективным факторам [1]. Более формализованные методы, такие как TOPSIS и VIKOR, требуют строгой нормализации данных и менее интуитивны для конечного пользователя [9].

Метод анализа иерархий выгодно отличается возможностью декомпозиции задачи, учёта субъективных предпочтений и проверки логической непротиворечивости оценок [8]. Это обуславливает его широкое применение в задачах выбора оборудования и поддержки управленческих решений, что подтверждается результатами современных исследований [7].

## Модель задачи выбора

Задача выбора электронного устройства формализуется как задача определения оптимальной альтернативы из конечного множества альтернатив по совокупности критериев различной значимости

Каждый критерий характеризуется относительной значимостью, отражающей его вклад в достижение цели выбора, а каждая альтернатива – набором количественных и качественных характеристик. Целью решения задачи является определение альтернативы, обладающей максимальным интегральным приоритетом. Для обеспечения структурированного анализа задача представляется в виде иерархической модели, включающей уровень цели, уровень критериев и уровень альтернатив.

## Алгоритмическая схема метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий реализует формализованную процедуру принятия решений, основанную на иерархической декомпозиции задачи и последующем синтезе приоритетов [6]. На первом этапе формируется иерархическая структура, в которой верхний уровень соответствует целевой установке, средний – системе критериев, а нижний – множеству альтернатив. Такая декомпозиция обеспечивает явную причинно-следственную связь между целью выбора и параметрами, влияющими на её достижение.

На следующем этапе выполняется попарное сравнение критериев с использованием фундаментальной шкалы относительной важности Т. Саати. Экспертные предпочтения выражаются в виде относительных оценок, что позволяет учитывать субъективный характер суждений при сохранении формальной строгости метода. По результатам сравнения формируется матрица парных сравнений, на основе которой вычисляется вектор локальных приоритетов критериев.

Аналогичная процедура применяется для альтернатив в рамках каждого критерия. Для каждого критерия формируется отдельная матрица парных сравнений альтернатив, что позволяет учитывать специфику влияния каждого параметра на итоговый результат. Полученные локальные приоритеты альтернатив отражают их относительную предпочтительность по соответствующему критерию.

Важным элементом алгоритма является проверка согласованности экспертных оценок. Для этого вычисляется коэффициент согласованности, позволяющий количественно оценить логическую непротиворечивость матриц парных сравнений. Превышение допустимого порога коэффициента свидетельствует о необходимости пересмотра исходных оценок, что предотвращает искажение итоговых результатов [10].

Завершающим этапом является синтез глобальных приоритетов альтернатив путём агрегирования локальных приоритетов с учётом весов критериев. В результате каждая альтернатива получает интегральную оценку, на основе которой формируется итоговый рейтинг. Альтернатива с максимальным значением глобального приоритета рассматривается как оптимальный вариант.

## Ограничения и корректность применения метода

Корректность применения метода анализа иерархий определяется выполнением ряда условий, включая ограничение числа критериев и альтернатив, а также соблюдение допустимого уровня согласованности экспертных оценок. Увеличение размерности матриц парных сравнений приводит к росту когнитивной нагрузки и снижению качества исходных данных [10]. В разработанной системе реализован

механизм контроля коэффициента согласованности, обеспечивающий достоверность итоговых результатов.

### Реализация системы

Информационно-коммуникационная система реализована в виде клиент-серверного приложения. Серверная часть включает реляционную базу данных, предназначенную для хранения характеристик электронных устройств и параметров критериев. Клиентская часть обеспечивает ввод пользовательских предпочтений, выполнение процедур попарного сравнения и визуализацию результатов. Выбранная архитектура обеспечивает масштабируемость и возможность функционального расширения системы без изменения базовых алгоритмов [11].

Структурная схема разрабатываемой информационно-коммуникационной системы представлена на рисунке.



Рисунок. Структурная схема информационно-коммуникационной системы поддержки принятия решений

### Настройка эксперимента

Для оценки эффективности системы был проведён контрольный эксперимент по выбору смартфона. В качестве альтернатив рассматривались модели различных производителей, отличающиеся по стоимости, характеристикам экрана, объёму памяти, производительности и ёмкости аккумулятора. В рамках контрольного эксперимента в качестве критериев выбора использовались стоимость устройства, производительность, определяемая характеристиками процессора и объёма оперативной памяти, качество экрана, включающее разрешение и диагональ дисплея, объём встроенной памяти, автономность, характеризуемая ёмкостью аккумулятора, а также функциональные возможности, включающие дополнительные характеристики устройства. Указанный набор критериев обеспечивал комплексную оценку альтернатив в рамках метода анализа иерархий, при этом относительная значимость критериев задавалась пользователем посредством процедуры попарных сравнений.

### Описание функционирования системы

Разработанная информационно-коммуникационная система функционирует в интерактивном режиме и обеспечивает автоматизированную поддержку процесса многокритериального выбора электронных устройств на основе метода анализа

иерархий. Работа системы начинается с формирования пользователем структуры задачи выбора, включающей целевую установку, набор критериев и множество альтернатив.

На первом этапе пользователь задаёт относительную значимость критериев посредством процедуры попарных сравнений. На основе сформированных матриц парных сравнений вычисляются локальные приоритеты критериев, отражающие их вклад в достижение цели выбора, при одновременном контроле согласованности экспертных оценок.

На следующем этапе для каждого критерия выполняется попарное сравнение альтернатив, в результате чего определяются локальные приоритеты альтернатив, характеризующие степень предпочтительности электронных устройств по соответствующим параметрам. Все локальные приоритеты являются нормированными.

Завершающим этапом является формирование глобальных приоритетов альтернатив. Глобальный приоритет каждой альтернативы определяется путём агрегирования её локальных приоритетов по всем критериям с учётом весов критериев. Полученные значения глобальных приоритетов нормируются, при этом их сумма по всем альтернативам равна единице, что обеспечивает корректность последующего ранжирования.

На основе рассчитанных глобальных приоритетов система автоматически формирует итоговый рейтинг электронных устройств. Итоговые результаты вычислений представлены в табличной форме (табл.), что обеспечивает наглядность сравнения альтернатив и прозрачность принятого решения.

Таблица

Итоговый рейтинг электронных устройств

№ альтернативы	Модель смартфона	Глобальный приоритет	Ранг
A <sub>1</sub>	Smartphone A	0,312	1
A <sub>2</sub>	Smartphone B	0,247	2
A <sub>3</sub>	Smartphone C	0,198	3
A <sub>4</sub>	Smartphone D	0,143	4
A <sub>5</sub>	Smartphone E	0,100	5

Подробные промежуточные вычисления, включая матрицы парных сравнений и процедуры их обработки, в статье не приводятся ввиду их стандартного характера и громоздкости, а также отсутствия влияния на интерпретацию полученных результатов.

### Результаты и обсуждение

В ходе вычислительного эксперимента была проведена оценка корректности и практической применимости разработанной информационно-коммуникационной системы поддержки принятия решений. Анализ показал, что используемая структура хранения данных обеспечивает непротиворечивое представление информации об альтернативах и их характеристиках, а также возможность оперативного обновления перечня устройств без модификации алгоритмической части системы.

Исследование масштабируемости показало, что при фиксированном числе критериев вычислительная сложность алгоритма возрастает линейно по числу альтернатив, что соответствует теоретическим свойствам метода анализа иерархий [5]. Увеличение числа критериев оказывает более существенное влияние на трудоёмкость процедуры, однако в пределах рекомендованных значений время расчёта остаётся допустимым для интерактивного использования.

Для типового сценария выбора смартфона, включающего до десяти альтернатив и семи критериев, время формирования итогового рейтинга не превышает одной секунды при типовых значениях числа альтернатив и критериев, что является приемлемым для интерактивного режима работы системы. Это позволяет отнести разработанную систему к классу интерактивных систем поддержки принятия решений, ориентированных на практическое использование. Дополнительно показано, что предварительная фильтрация альтернатив по базовым ограничениям снижает когнитивную нагрузку на пользователя и повышает удобство работы с системой без искажения итоговых результатов.

Сравнение с альтернативными подходами показало, что использование метода анализа иерархий обеспечивает более устойчивые и интерпретируемые результаты по сравнению с простыми рейтинговыми методами. Наличие процедуры проверки согласованности предпочтений позволяет выявлять логические противоречия в пользовательских оценках и тем самым повышать надёжность итогового решения.

### Заключение

В работе разработана информационно-коммуникационная система поддержки принятия решений для выбора электронных устройств на основе метода анализа иерархий. Показано, что формализованный многокритериальный подход позволяет обеспечить логическую обоснованность и воспроизводимость результатов выбора по сравнению с неформализованными эвристическими методами. Проведённый контрольный эксперимент подтвердил корректность реализации алгоритмической схемы, приемлемую вычислительную эффективность системы и её пригодность для практического использования.

Разработанная система может применяться в пользовательских и коммерческих информационных приложениях, ориентированных на поддержку выбора электронных устройств. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются расширение набора критериев, интеграция механизмов автоматизированного сбора данных и исследование устойчивости результатов при участии нескольких экспертов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Методы многокритериального анализа решений / М.О. Петросян, П.В. Зеленков, И.В. Ковалев, С.В. Ефремова // Решетневские чтения. – 2016. – Т. 2. – С. 76–77.
2. Современные компьютерные системы поддержки принятия решений / В.А. Мирончук, А.Л. Золкин, Ж.В. Мекшенева, И.А. Поскряков // Естественно-гуманитарные исследования. – 2023. – № 4 (48). – С. 228–231.
3. Подоплелова Е.С. Анализ методов многокритериального принятия решений на примере задачи ранжирования / Е.С. Подоплелова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 3 (233). – С. 118–125.
4. Программная реализация системы поддержки принятия решений при управлении образовательными программами / Д.В. Гринченков, Т.В. Лобова, А.Н. Ткачев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2020. – № 2 (206). – С. 19–28.
5. Saaty Th.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process / Th.L. Saaty // International Journal of Services Sciences. – 2008. – Vol. 1, No. 1. – P. 83–98.
6. Saaty Th.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process / Th.L. Saaty // European Journal of Operational Research. – 1990. – Vol. 48, Iss. 1. – P. 9–26.

7. Vaidya O.S. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications / O.S. Vaidya, S. Kumar // European Journal of Operational Research. – 2006. – Vol. 169, Iss. 1. – P. 1–29.

8. Ishizaka A. Review of the Main Developments in the Analytic Hierarchy Process / A. Ishizaka, A. Labib // Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38, Iss. 11. – P. 14336–14345.

9. Shekhovtsov A. A Comparative Case Study of the VIKOR and TOPSIS rankings similarity / A. Shekhovtsov, W. Sałabun // Procedia Computer Science. – 2020. – Vol. 176. – P. 3730–3740.

10. Saaty Th.L. Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process / Th.L. Saaty, L.G. Vargas. – New York: Springer, 2012. – 346 p.

11. Power D.J. Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers / D.J. Power. – Westport: Quorum Books, 2002. – 251 p.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Новиковский Константин Викторович**, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [kostya0361@yandex.ru](mailto:kostya0361@yandex.ru)

**Готишан Александр Александрович**, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [ofrise@mail.ru](mailto:ofrise@mail.ru)

**Преображенский Андрей Петрович**, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [app@vvt.ru](mailto:app@vvt.ru)