РЕФЕРАТ

Отчет 85 с., 24 рис., 12 табл., 30 источников, 2 прил.

Ключевые слова: РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ, МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, СТРУКТУРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ, ГРАФОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ, СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ

Цель работы — разработка программного обеспечения системы распознавания рукописных символов в стандартизованных бланках.

В процессе работы проанализированы существующие способы представления данных о распознаваемых символах, обосновано и выбрано представление в виде граф системы, строящегося на основе промежуточного (сокращенного) скелетного представления.

В результате работы была создана система распознавания рукописных символов в стандартизованных бланках, основанная на выбранном представлении данных о распознаваемых символах.

Система распознавания включает в себя обучающую и распознающую части.

Программная реализация выполнена в среде программирования… . Программы написаны на языке … .

Общий объем страниц - 19, рисунок - 1, источников - 9.

Ключевые слова: СИСТЕМА ПОДДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА, РАНЖИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ.

Цель работы – сравнение существующих систем поддержки принятия решений и постановка задачи на разработку такой программы.

Для реализации данной цели в первой части научной работы рассмотрены некоторые программы предназначенные для поддержки принятия решений.

Во второй части работы проводится сравнение существующих программы с для выявления их достоинств и недостатков для дальнейшей постановки задачи.

В третьей части работы ставится задача и требования к программе её решающей.

СОДЕРЖАНИЕ

[РЕФЕРАТ 3](#_Toc485284444)

[СОДЕРЖАНИЕ 5](#_Toc485284445)

[ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 7](#_Toc485284446)

[ВВЕДЕНИЕ 8](#_Toc485284447)

[РАЗДЕЛЫ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ 11](#_Toc485284448)

[1. Цель и постановка задачи 11](#_Toc485284449)

[2. Сравнение аналогов и формулировка требований к программе 11](#_Toc485284450)

[3. Математическая и алгоритмическая постановка задачи 11](#_Toc485284451)

[4. Разработка программы для решения поставленной задачи 11](#_Toc485284452)

[5. Применение разработанной программы для решения задач 11](#_Toc485284453)

[6. Выводы по работе 11](#_Toc485284454)

[1 Рассмотрение метода анализа иерархий 12](#_Toc485284455)

[1.1 Методика применения метода анализа иерархий 13](#_Toc485284456)

[1.2 Определение иерархической структуры 14](#_Toc485284457)

[1.3 Выводы по разделу 15](#_Toc485284458)

[2 Обзор существующих программ 16](#_Toc485284459)

[2.1 Система поддержки принятия решений «Выбор» 16](#_Toc485284460)

[2.2 Мыслитель 17](#_Toc485284461)

[2.3 MPRIORITY 17](#_Toc485284462)

[2.4 Super Decisions 19](#_Toc485284463)

[2.5 MakeItRational 19](#_Toc485284464)

[2.6 PriEsT 19](#_Toc485284465)

[2.7 Выводы по разделу 20](#_Toc485284466)

[3 Сравнение программ поддержки принятия решений 21](#_Toc485284467)

[3.1 Постановка критериев сравнения 21](#_Toc485284469)

[3.2 Сравнительная таблица программ по критериям 22](#_Toc485284470)

[3.3 Выводы по результатам сравнения 23](#_Toc485284471)

[4 Постановка задачи на разработку программы поддержки принятия решений 24](#_Toc485284472)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 25](#_Toc485284473)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 26](#_Toc485284474)

[ПРИЛОЖЕНИЯ 27](#_Toc485284475)

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной выпускной квалификационной работы обусловлена тем, что в настоящее время часто возникает необходимость оценки каких-либо объектов. При чём многие объекты требуют для своей оценки определённых знаний и квалификации, иначе говоря – оценка объекта производится экспертами. Где под экспертом подразумевается лицо, обладающее специальными знаниями, привлекаемое для выдачи квалифицированного заключения или суждения по вопросу, рассматриваемому или решаемому другими людьми, менее компетентными в этой области[3].

Для оценки определяются качества объекта, по которым будут выставляться оценки экспертами и проводится сравнение.

Программа должна позволять хранить информацию об объектах сравнения, их качествах, профили экспертов. Также должна присутствовать возможность экспорта данных в другие программы, формирование отчётов и графический интерфейс пользователя.

Для этого необходимо сравнить существующие программы на соответствие возможностям.

В данной научно-практической работе определены следующие задачи:

* дать основные понятия и рассмотреть метод анализа иерархий;
* сделать краткий обзор некоторых программ для поддержки принятия решений;
* провести сравнение этих программ по определённым критериям;
* на основе результатов сравнения сделать выводы и поставить задачу на разработку программы поддержки принятия решений.

Таким образом, целью данной научно-практической работы является рассмотрение существующих программ поддержки принятия решений, их сравнение и постановка задачи на разработку своего решения.

Это пример

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработать программу для проведения экспертных опросов по задаваемым проблемам с целью ранжирования объектов и выяснения компетентности экспертов на основе выставляемых ими оценок.

В данной работе должные быть решены следующие задачи:

- сравнение существующих программ реализующих метод МАИ, на основе этого сформулировать требования к разрабатываемой программе;

- на основе этих требований разработать программу;

- применить разработанную программу для решения задач(проведения опросов).

В процессе написания выпускной квалификационной работы был проведён анализ и сра

Метод анализа иерархий активно применяется в процессе выбора для сравнения и ранжирования альтернатив.

Качественная теория дифференциальных уравнений, или, как ее теперь чаще называют, теория динамических систем, является сейчас наиболее активно развивающейся и имеющей наиболее важные приложения в естествознании областью теории дифференциальных уравнений. Эта теория была разработана Пуанкаре (1854 - 1912) и вместе с теорией функций комплексных переменных привела к основанию современной топологии.

Основная задача состояла в определении или исследовании движения системы по векторному полю фазовой скорости. Сюда относятся вопросы о виде фазовых кривых: уходят ли фазовые кривые данного векторного поля в фазовом пространстве на бесконечность или остаются в ограниченной области.

В простейших частных случаях задача решается явно при помощи интегрирования. Вычислительные машины позволяют приближенно находить решения дифференциальных уравнений на конечном отрезке времени, но не дают ответа на качественные вопросы о поведении фазовых кривых в целом. В своей дипломной работе я рассматривала геометрическую, качественную сторону изучаемых явлений.

Выпускная квалификационная работа состоит из 4 глав, заключения, списка литературы и приложений.

В первой главе дается понятие эволюционного процесса, обладающего свойствами детерминированности, конечномерности и дифференцируемости. Математической моделью такого процесса является обыкновенное дифференциальное уравнение.

Во второй главе раскрывается понятие линейной однородной системы с постоянными коэффициентами. Приводится один из методов интегрирования однородных линейных систем с постоянными коэффициентами - метод Эйлера. Рассматриваются примеры с решением на этот метод.

Третья глава раскрывает понятие фазового пространства. С фазовым пространством связана система дифференциальных уравнений. Решение системы дифференциальных уравнений на фазовом пространстве интерпретируется в виде траекторий (фазовых кривых), а сама система дифференциальных уравнений интерпретируется в виде векторного поля. На фазовом пространстве возможны три вида фазовых кривых: кривые без самопересечения, замкнутые кривые и положения равновесия (особые точки, которые являются фазовыми кривыми). Особо рассмотрены положения равновесия: возможные простейшие типы особых точек.

Четвертая глава посвящена устойчивости решений автономной системы дифференциальных уравнений. Здесь главным является определение устойчивости, асимптотической устойчивости, теорема о первом приближении. Приведены примеры на исследование на устойчивость решения системы дифференциальных уравнений.

РАЗДЕЛЫ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ

1. Цель и постановка задачи

Цель, постановка задачи, сравнение аналогов, формулировка требований к ПО.

2. Сравнение аналогов и формулировка требований к программе

3. Математическая и алгоритмическая постановка задачи

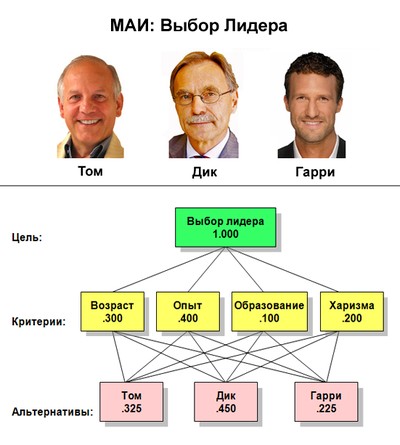
Исходные данные, алгоритмическая модель, описание языка и фреймворка.

Согласованность и компетентность – погуглить и посмотреть в книге Саати и Андрейчиковых.

**Метод анализа иерархий**

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

**Метод Анализа Иерархий (МАИ**, иногда **МетАнИе)** — математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение ([ЛПР](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%86%D0%BE%2C_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)), какого- либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к её решению. Этот метод разработан американским математиком Томасом Саати, который написал о нем книги, разработал программные продукты и в течение 20 лет проводит симпозиумы ISAHP ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *International Symposium on Analytic Hierarchy Process*).



**Пример задачи многокритериального выбора с простейшей иерархией.** В данной задаче необходимо выбрать из трех кандидатов одного на должность руководителя. Кандидаты оцениваются по критериям: возраст, опыт, образование и личные качества. На рисунке показана иерархия для этой задачи.

Простейшая иерархия содержит три уровня: цель, критерии и альтернативы. Числа на рисунке показывают приоритеты элементов иерархии с точки зрения цели, которые вычисляются в МАИ на основе парных сравнений элементов каждого уровня относительно связанных с ними элементами вышерасположенного уровня. Приоритеты альтернатив относительно цели (глобальные приоритеты) вычисляются на заключительном этапе метода путём линейной свертки локальных приоритетов всех элементов. В данном примере лучшим кандидатом является Дик, так как имеет максимальное значение глобального приоритета.

МАИ широко используется на практике и активно развивается учеными всего

мира. В его основе наряду с [математикой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA) заложены и [психологические](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) аспекты.

МАИ позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. Метод Анализа Иерархий используется во всем мире для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в [бизнесе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81), [промышленности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), [здравоохранении](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B4%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и [образовании](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Для компьютерной поддержки МАИ существуют программные продукты, разработанные различными компаниями. Анализ проблемы принятия решений в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая

включает цель, критерии, альтернативы и

другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор. Эта структура отражает понимание проблемы лицом, принимающим решение. Каждый элемент иерархии может представлять различные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты как материальные, так и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки [1]. Иными словами, анализ ситуации выбора решения в МАИ напоминает процедуры и методы аргументации, которые используются на интуитивном уровне.

Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную

важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Безразмерные приоритеты позволяют обоснованно сравнивать разнородные факторы, что является отличительной особенностью МАИ. На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате которой вычисляются приоритеты альтернативных решений относительно главной цели. Лучшей считается альтернатива с максимальным значением приоритета.

**Содержание**

1 Пример задачи многокритериального выбора с простейшей иерархией 2 Сфера образования и научных исследований

1. Методика применения МАИ
2. Моделирование проблемы в виде иерархии
   1. Определение иерархической структуры
   2. Объяснение иерархических структур, используемых в МАИ 5 Расстановка приоритетов

5.1 Определение приоритетов и пояснения 6 Критика

1. Примечания
2. Литература

# Пример задачи многокритериального выбора с простейшей иерархией

В данной задаче необходимо выбрать из трех кандидатов одного на должность руководителя. Кандидаты оцениваются по критериям: возраст, опыт, образование и личные качества. На рисунке показана иерархия для этой задачи. Простейшая иерархия содержит три уровня: цель, критерии и альтернативы. Числа на рисунке показывают приоритеты элементов иерархии с точки зрения цели, которые вычисляются в МАИ на основе парных сравнений элементов каждого уровня относительно связанных с ними элементами вышерасположенного уровня. Приоритеты альтернатив относительно цели (глобальные приоритеты) вычисляются на заключительном этапе метода путём линейной свертки локальных приоритетов всех элементов. В данном примере лучшим кандидатом является Дик, так как имеет максимальное значение глобального приоритета.

# Сфера образования и научных исследований

Хотя для практического применения МАИ отсутствует необходимость специальной подготовки, основы метода преподают во многих учебных заведениях [2][3] . Кроме того, этот метод широко применяется в сфере управления качеством и читается в рамках многих специализированных программ, таких как Six Sigma, Lean Six Sigma, и QFD [4][5][6]. Около ста [китайских](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%B9%D1%86%D1%8B) университетов предлагают курсы по основам МАИ, и многие соискатели научных степеней выбирают МАИ в качестве объекта научных и диссертационных исследований. Опубликовано более 900 научных статей по данной тематике.

Существует китайский научный журнал, специализирующийся в области МАИ [7]. Раз в два года проводится Международный симпозиум, посвященный МАИ (International Symposium on Analytic Hierarchy Process, ISAHP), на котором встречаются как ученые, так и практики, работающие с МАИ. В 2007 году симпозиум проходил в Вальпараисо, Чили, где было представлено более 90 докладов ученых

из 19 стран, включая США, Германию, Японию, Чили, Малайзию, и Непал [8].

# Методика применения МАИ

Метод анализа иерархий содержит процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе субъективных суждений экспертов. Число суждений может измеряться дюжинами или даже сотнями. Математические вычисления для задач небольшой размерности можно выполнить вручную или с



Устройство для удаленного ввода и обработки оценок

[помощью калькулятора, однако гораздо удобнее использовать программное обеспечение (ПО) для ввода и обработки суждений. Самый простой способ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) компьютерной поддержки — электронные таблицы, самое развитое ПО предусматривает применение специальных устройств для ввода суждений участниками процесса коллективного выбора. Порядок применения Метода Анализа Иерархий:

1. Построение качественной модели проблемы в виде иерархии, включающей цель, альтернативные варианты достижения цели и критерии для оценки качества альтернатив.
2. Определение приоритетов всех элементов иерархии с использованием метода парных сравнений.
3. Синтез глобальных приоритетов альтернатив путём линейной свертки приоритетов элементов на иерархии.
4. Проверка суждений на согласованность.
5. Принятие решения на основе полученных результатов.[9] Рассмотрим эти шаги подробнее.

# Моделирование проблемы в виде иерархии

Первый шаг МАИ — построение иерархической структуры, объединяющей цель выбора, критерии, альтернативы и другие факторы, влияющие на выбор решения. Построение такой структуры помогает проанализировать все аспекты проблемы и глубже вникнуть в суть задачи.[9]

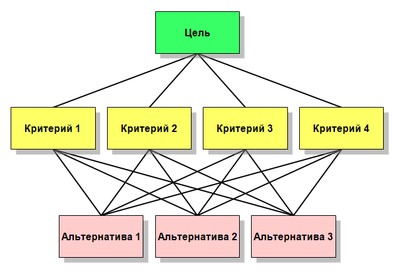
## Определение иерархиче ской структуры

Иерархическая структура — это графическое представление проблемы в виде перевернутого дерева, где каждый элемент, за исключением самого верхнего, зависит от одного или более выше расположенных элементов. Часто в различных организациях распределение полномочий, руководство и эффективные коммуникации между сотрудниками организованы в иерархической форме.

Иерархические структуры используются для лучшего понимания сложной реальности: мы раскладываем исследуемую проблему на составные части; затем разбиваем на составные части получившиеся элементы и т. д. На каждом шаге важно фокусировать внимание на понимании текущего элемента, временно абстрагируясь от всех прочих компонентов. При проведении подобного анализа приходит понимание всей сложности и многогранности исследуемого предмета.

В качестве примера можно привести иерархическую структуру, которая используется при обучении в [медицинских вузах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D0%B0). В рамках изучения анатомии отдельно рассматривается костно-мышечная система (которая включает такие элементы, как руки и их составляющие: мышцы и кости), сердечнососудистая система (и её множественные уровни), нервная система (и её компоненты и подсистемы) и т. д. Степень детализации доходит до клеточного и молекулярного уровня. В конце изучения приходит понимание системы организма в целом, а также осознание того, какую роль играет в нем занимает каждая часть. С помощью подобного иерархического структурирования студенты приобретают всесторонние знания об анатомии.

Аналогичным образом, когда мы решаем сложную проблему, мы можем использовать иерархию как инструмент для обработки и восприятия больших объемов информации. По мере проектирования этой структуры у нас формируется все более полное понимание проблемы [9].



**Простейшая иерархия МАИ.** Чтобы избежать беспорядка в диаграммах МАИ, связи, соединяющие Альтернативы и их покрывающие Критерии, часто опускаются, или их количество искусственно уменьшается. Несмотря на такие упрощения в диаграмме, в самой иерархии каждая Альтернатива связана с каждым из покрывающих её Критериев.

## Объяснение иерархиче ских структур, используемых в МАИ

Иерархические структуры, используемые в МАИ, представляют собой инструмент для качественного моделирования сложных проблем. Вершиной иерархии является главная цель; элементы нижнего уровня представляют множество вариантов достижения цели (альтернатив); элементы промежуточных уровней соответствуют критериям или факторам, которые связывают цель с альтернативами.

Существуют специальные термины для описания иерархической структуры МАИ. Каждый уровень состоит из узлов. Элементы, исходящие из узла, принято называть его детьми (дочерними элементами). Элементы, из которых исходит узел, называются родительскими. Группы элементов, имеющие один и тот же родительский элемент, называются группами сравнения. Родительские элементы Альтернатив, как правило, исходящие из различных групп сравнения, называются покрывающими Критериями.

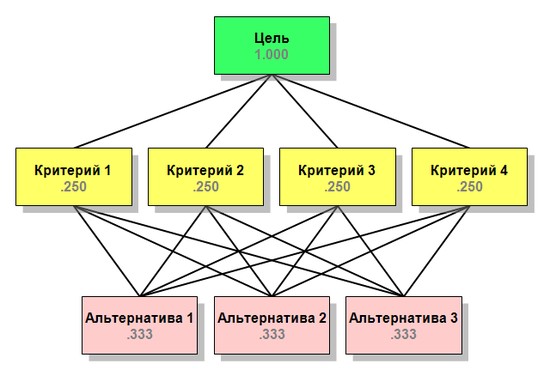
Используя эти термины для описания представленной ниже диаграммы, можно сказать, что четыре Критерия — это дети Цели; в свою очередь, Цель — это родительский элемент для любого из Критериев. Каждая Альтернатива — это дочерний элемент каждого из включающих её Критериев. Всего на диаграмме присутствует две группы сравнения: группа, состоящая из четырех Критериев и группа, включающая три Альтернативы. Вид любой иерархии МАИ будет зависеть не только от объективного характера рассматриваемой проблемы, но и от знаний, суждений, системы ценностей, мнений, желаний и т. п. участников процесса. Опубликованные описания применений МАИ часто включают в себя различные схемы и объяснения представленных иерархий [10]. Последовательное выполнение всех шагов МАИ предусматривает возможность изменения структуры иерархии, с целью включения в неё вновь появившихся, или ранее не считавшихся важными, Критериев и Альтернатив [9].

# Расстановка приоритетов

После построения иерархии участники процесса используют МАИ для определения приоритетов всех узлов структуры. Информация для расстановки приоритетов собирается со всех участников и математически обрабатывается. В данном разделе приведена информация, на простом примере поясняющая процесс вычисления приоритетов.

## Определение приоритетов и пояснения

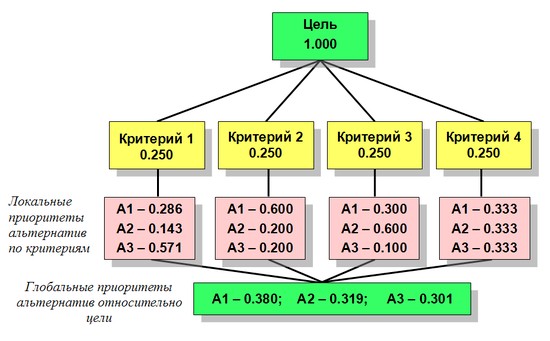
Приоритеты — это числа, которые связаны с узлами иерархии. Они представляют собой относительные веса элементов в каждой группе. Подобно вероятностям, приоритеты — безразмерные величины, которые могут принимать значения от нуля до единицы. Чем больше величина приоритета, тем более значимым является соответствующий ему элемент. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу выше лежащего уровня иерархии, равна единице. Приоритет цели по определению равен 1.0. Рассмотрим простой пример, поясняющий методику вычисления приоритетов.



**Простейшая иерархическая структура МАИ с приоритетами, определенными по умолчанию.**

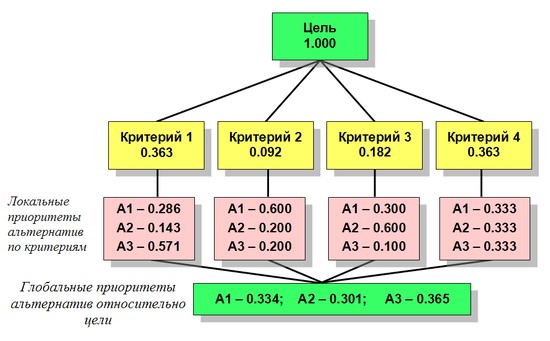
На рисунке показана иерархия, в которой приоритеты всех элементов не устанавливались ЛПР. В таком случае по умолчанию приоритеты элементов считаются одинаковыми, то есть все четыре критерия имеют равную важность с точки зрения цели, а приоритеты всех альтернатив равны по всем критериями. Другими словами, альтернативы в этом примере неразличимы. Заметим, что сумма приоритетов элементов любого уровня, равна единице. Если бы альтернатив было две, то их

приоритеты были бы равны 0.500, если бы критериев было 5, то приоритет каждого был бы равен 0.200. В этом простом примере приоритеты альтернатив по разным критериям могут не совпадать, что обычно и бывает на практике. Приведем пример, в котором локальные приоритеты альтернатив по разным критериям не совпадают. Глобальные приоритеты альтернатив относительно цели вычисляются путём умножения локального приоритета каждой альтернативы на приоритет каждого критерия и суммирования по всем критериям.



**Более сложная иерархическая структура, содержащая глобальные и локальные значения приоритетов по умолчанию.**

Если приоритеты критериев изменятся, то изменятся значения глобальных приоритетов альтернатив, следовательно, может измениться их порядок. На рисунке показано решение данной задачи с изменившимися значениями приоритетов критериев, при этом наиболее предпочтительной альтернативой становится A3.



# Критика

В статье ["О некорректности метода анализа иерархий"](http://pu.mtas.ru/archive/Podinovski.pdf) показана возможная некорректность работы метода анализа иерархий при определенных наборах входных данных и предложены направления его модификации. Следует отметить, что авторы этой статьи допустили ошибку при использовании аппарата МАИ. Анализ этой ошибки представлен в статье " Об одном контрпримере для метода анализа иерархий" [11]

**1. Особенности применения метода анализа иерархий, его преимущества и недостатки**

**1.1 Понятие и характеристика метода анализа иерархий**

В настоящее время существует множество информационных технологий, позволяющих предельно облегчить жизнь и помочь в решении проблем, связанных с процессами принятия решений в различных предметных областях. В частности, очень распространены сейчас системы поддержки принятия решений на основе Метода Анализа Иерархий (МАИ). Оценка вариантов решений с использованием МАИ осуществляется как на основе объективной, так и субъективной исходной информации.

В начале 1970 года американский математик Томас Саати разработал процедуру поддержки принятия решений, которую назвал "Analityc hierarchy process" (AHP). Авторы русского издания перевели это название как "Метод анализа иерархий" - (Книга "Принятие решений. Метод анализа иерархий".

Этот метод относится к классу критериальных и занимает особое место, благодаря тому, что он получил исключительно широкое распространение и активно применяется по сей день, особенно в США. Не следует думать, что его выдающаяся популярность объясняется какими-либо важными преимуществами этого метода, по сравнению с другими. Здесь можно столкнуться с известным психологическим феноменом: продукт, появившийся первым и удачно удовлетворяющий определенную потребность, захватывает рынок. Более поздние продукты, зачастую более совершенные, часто оказываются неспособны вытеснить удачливого первенца.

На основе этого метода разработаны достаточно серьезные системы поддержки принятия решений, например "Expert choice".

Структура модели принятия решения в методе анализа иерархий представляет собой схему (граф), которая включает:

1) набор альтернативных решений;

2) главный критерий рейтингования решений;

3) набор групп однотипных факторов, влияющих на рейтинг;

4) множество направленных связей, указывающих на влияния решений, критерия и факторов друг на друга.

Структура модели отражает результат анализа ситуации принятия решения.

Первая группа понятий связана с описанием возможных структур моделей принятия решения.

Для вычисления приоритетов альтернативных решений к структуре необходимо добавить информацию о силе влияний решений, критерия и факторов друг на друга.

Вторая группа понятий связана с описанием данных для моделей принятия решения.

После того как сформирована структура и собраны все данные, модель принятия решения готова, т.е. в ней могут быть получены рейтинги приоритетов решений и факторов. Знание приоритетов используется для поддержки принятия решения.

Третья группа понятий связана с описанием результатов, получаемых в моделях принятия решения.

Четвертая группа понятий связана с пояснением того, как организованы вычисления. Знание этих понятий необходимо лишь для понимания математических обоснований метода. Для применения метода знание этих понятий необязательно.

Метод анализа иерархий представляет собой междисциплинарную область науки.

Обоснование вычислительных процедур метода проводится с помощью теории неотрицательных матриц.

Основным инструментом для сбора данных, благодаря которому метод практически не имеет аналогов при работе с качественной информацией, является процедура парных сравнений. Психологические обоснования шкал сравнений основаны на результатах исследований стимулов и реакций.

Анализ структуры модели, которой оперирует метод анализа иерархий, проводится с помощью процедур, разработанных в теории графов.

При проведении процедуры согласования и при решении обратной задачи используются методы оптимизации (нелинейного программирования).

Метод анализа иерархий представляется более обоснованным путем решения многокритериальных задач в сложной обстановке с иерархическими структурами, включающими как осязаемые, так и неосязаемые факторы, чем подход, основанный на линейной логике. Применяя дедуктивную логику, исследователи проходят трудный путь построения тщательно осмысленных логических цепей только для того, чтобы в итоге, полагаясь на одну лишь интуицию, объединить различные умозаключения, полученные из этих дедуктивных посылок. Кроме того, подход, основанный на логических цепях, может не привести к наилучшему решению, так как в данном случае может быть потеряна возможность принятия компромиссов между факторами, лежащими в разных цепях логического мышления.

Иерархия является основным способом, с помощью которого исследователь может подразделить всю совокупность исследуемых данных на кластеры и подкластеры. Основной задачей МАИ является оценка высших уровней иерархии, исходя из взаимодействия различных уровней, а не из непосредственной зависимости от элементов на этих уровнях. Применение МАИ для определения влияния инновационных управляющих воздействий (автоматизированная обучающая среда; интерактивное сетевое взаимодействие; направляемая самостоятельная познавательная деятельность; выездная сессия; автоматизированный документооборот) на результат учебной деятельности и вклад влияния каждого управляющего воздействия на итоговый результат, позволит повысить качество подготовки специалистов. Основной задачей является оценка значимости рассматриваемых управляющих воздействий.

Процессы принятия решений в различных сферах деятельности во многом аналогичны. Поэтому необходим универсальный метод поддержки принятия решений, соответствующий естественному ходу человеческого мышления.

Часто экономические, медицинские, политические, социальные, управленческие проблемы имеют несколько вариантов решений. Зачастую, выбирая одно решение из множества возможных, лицо, принимающее решение, руководствуется только интуитивными представлениями. Вследствие этого принятие решения имеет неопределенный характер, что сказывается на качестве принимаемых решений.

С целью придания ясности процесс подготовки принятия решения на всех этапах сопровождается количественным выражением таких категорий как "предпочтительность", "важность", "желательность" и т.п.

Требуется каждой альтернативе поставить в соответствие приоритет (число) - получить рейтинг альтернатив. Причем чем более предпочтительна альтернатива по избранному критерию, тем больше ее приоритет.

Принятие решений основывается на величинах приоритетов.

Метод анализа иерархий - методологическая основа для решения задач выбора альтернатив посредством их многокритериального рейтингования.

Метод анализа иерархий вырос в настоящее время в обширный междисциплинарный раздел науки, имеющий строгие математические и психологические обоснования и многочисленные приложения.

Основное применение метода - поддержка принятия решений посредством иерархической композиции задачи и рейтингования альтернативных решений. Имея в виду это обстоятельство, перечислим возможности метода.

1) Метод позволяет провести анализ проблемы. При этом проблема принятия решения представляется в виде иерархически упорядоченных:

а) главной цели (главного критерия) рейтингования возможных решений;

б) нескольких групп (уровней) однотипных факторов, так или иначе влияющих на рейтинг;

в) группы возможных решений;

г) системы связей, указывающих на взаимное влияние факторов и решений. иерархия синтез операционный

Предполагается, так же, что для всех перечисленных "узлов" проблемы указаны их взаимные влияния друг на друга (связи друг с другом).

2) Метод позволяет провести сбор данных по проблеме.

В соответствие с результатами иерархической декомпозиции модель ситуации принятия решения имеет кластерную структуру. Набор возможных решений и все факторы, влияющие на приоритеты решений, разбиваются на относительно небольшие группы - кластеры. Разработанная в методе анализа иерархий процедура парных сравнений позволяет определить приоритеты объектов, входящих в каждый кластер. Для этого используется метод собственного вектора. Итак, сложная проблема сбора данных разбивается на ряд более простых, решающихся для кластеров.

3) Метод позволяет оценить противоречивость данных и минимизировать ее.

С этой целью в методе анализа иерархий разработаны процедуры согласования. В частности, имеется возможность определять наиболее противоречивые данные, что позволяет выявить наименее ясные участки проблемы и организовать более тщательное выборочное обдумывание проблемы.

4) Метод позволяет провести синтез проблемы принятия решения.

После того, как проведен анализ проблемы и собраны данные по всем кластерам, по специальному алгоритму рассчитывается итоговый рейтинг - набор приоритетов альтернативных решений. Свойства этого рейтинга позволяют осуществлять поддержку принятия решений. Например, принимается решение с наибольшим приоритетом. Кроме того, метод позволяет построить рейтинги для групп факторов, что позволяет оценивать важность каждого фактора.

5) Метод позволяет организовать обсуждение проблемы, способствует достижению консенсуса.

Мнения, возникающие при обсуждении проблемы принятия решения, сами могут в данной ситуации рассматриваться в качестве возможных решений. Поэтому метод анализа иерархии можно применить для определения важности учета мнения каждого участника обсуждения.

6) Метод позволяет оценить важность учета каждого решения и важность учета каждого фактора, влияющего на приоритеты решений.

В соответствии с формулировкой задачи принятия решения величина приоритета напрямую связана с оптимальностью решения. Поэтому решения с низкими приоритетами отвергаются как несущественные. Как отмечено выше, метод позволяет оценивать приоритеты факторов. Поэтому, если при исключении некоторого фактора приоритеты решений изменяются незначительно, такой фактор можно считать несущественным для рассматриваемой задачи.

7) Метод позволяет оценить устойчивость принимаемого решения.

Принимаемое решение можно считать обоснованным лишь при условии, что неточность данных или неточность структуры модели ситуации принятия решения не влияют существенно на рейтинг альтернативных решений.

Метод анализа иерархий имеет аналогии с различными теориями.

1. Метод анализа иерархий имеет аналогии с теорией вероятностей.

Приоритеты альтернатив (это положительные числа, их сумма равна единице) можно отождествить с вероятностями выбора альтернатив. Приоритеты факторов, влияющих на рейтинг альтернатив, можно считать вероятностями гипотез. При таком подходе способ вычисления приоритетов альтернатив аналогичен применению формулы полной вероятности.

При работе с моделями, учитывающими наличие обратных связей, можно установить многочисленные терминологические и идеологические соответствия между методом анализа иерархий и марковскими случайными процессами с дискретным набором состояний и дискретным временем (марковскими цепями).

2. Метод анализа иерархий имеет аналогии с теорией графов.

Структура ситуации принятия решения представляется в методе анализа иерархий в виде направленного графа. Узлами графа служат: альтернативы, главный критерий рейтингования альтернатив, факторы, влияющие на рейтинг альтернатив. Направленными дугами графа являются связи, указывающие на влияния одних узлов, на приоритеты других узлов.

3. Метод анализа иерархий имеет аналогии с теорией неотрицательных матриц.

Расчеты рейтингов, проводимые в методе анализа иерархий, математически основываются на методах расчетов собственных векторов для неотрицательных (и в частности, для стохастических) матриц.

4. Метод анализа иерархий имеет аналогии с экспертными системами.

Технологии принятия решения с помощью экспертных систем, основанных на байесовском способе логического вывода, являются частным случаем применения метода анализа иерархий.

5. Метод анализа иерархий имеет аналогии с идеологией искусственных нейронных сетей.

В частности, обратная задача в методе анализа иерархий по способу решения и проведение процедуры согласования аналогичны обучению нейронной сети.

6. Метод анализа иерархий имеет аналогии с синергетикой.

Модели, строящиеся в методе анализа иерархий, имеют кластерную структуру. Кластеры, по сути, являются элементарными иерархическими структурами. В пределах кластеров метод оперирует понятием вектора приоритетов. При соединении кластеров в систему рейтинг альтернатив конструируется на основе векторов приоритетов в отдельных кластерах. Сложные модели часто демонстрируют "голографический" эффект. Даже при удалении части структуры итоговый рейтинг в целом сохраняется.

**1.2 Применение метода анализа иерархий**

Рассмотрим применение метода Саати. Суть метода заключается в определении собственного вектора с наибольшим собственным значением на основе попарного сравнения исследуемых характеристик. Анализ значений собственного вектора матрицы, построенной на основе попарного сравнения исследуемых параметров, обеспечивает упорядочение приоритетов оцениваемых характеристик в группе параметров исследования.

Для применения метода Саати воспользуемся нормированной оценочной шкалой для ведения попарного сравнения характеристик в соответствии со следующим подходом. Обычно при построении численных предпочтений необходимо решить 2 задачи:

1) какой из двух попарно сравниваемых объектов более важен;

2) насколько сильна разница в важности исследуемых объектов, если воспользоваться некоторой заданной шкалой.

Рассмотрим математическую постановку задачи, предложенную Саати, которая применяется в исследованиях для анализа иерархии управляющих воздействий.

Если суждения таковы, что объекты имеют одинаковую относительную важность, то коэффициенты матрицы суждений = 1 (стоящие на главной диагонали).

После построения количественных суждений о парах в числовом выражении задача сводится к получению весовых коэффициентов, которые соответствовали бы зафиксированным суждениям экспертов. Для выявления количественных показателей при рассмотрении значимости различных суждений в методе анализа иерархий предлагается следующая шкала важности объектов: - объекты одинаково важны, до 9 - один объект абсолютно важнее другого.

Собственный вектор матрицы суждений обеспечивает упорядочение приоритетов, а собственное значение является мерой согласованности суждений. Таким образом, следующим шагом, после составления матрицы суждений, является вычисление вектора приоритетов.

Определив вектор приоритетов, можно найти главное собственное значение матрицы суждений, которое используется для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Отклонение от согласованности может быть выражено величиной индекса согласованности, который равен отношению разности.

Индекс согласованности сгенерированный случайным образом по шкале от 1 до 9 обратносимметричной матрицы с соответствующими обратными величинами элементов, называется случайным индексом. Среднее значение случайного индекса определяется по соответствующим таблицам по размерности матрицы суждений. Отношение случайного индекса к среднему случайному индексу для матрицы того же порядка называется отношением согласованности. Значение отношения согласованности меньшее, или равное 0.10 считается приемлемым для полученных результатов.

Таким образом, на основании метода анализа иерархий была сформирована матрица суждений, на основании которой были рассчитаны главное собственное значение, вектор приоритетов, индекс согласованности и отношение согласованности.

При реализации МАИ чаще всего оказывается выполненным строгое неравенство и компоненты вектора весов, найденные в соответствии с МАИ, "не согласуются" с данными, содержащимися в матрице парных сравнений в том смысле, что равенство чаще всего нарушается. Это приводит к определенной "модельной" ошибке при реализации МАИ, оценить которую возможным не представляется.

В соответствии с МАИ, для реализации метода необходимо осуществить следующие этапы.

Этап 1. Очертить проблему и определить, что необходимо узнать.

В качестве проблемы выступает выбор адекватного метода моделирования.

Этап 2. Построить иерархию, начиная с вершины (цели - с точки зрения управления), через промежуточные уровни (характеристики, от которых зависят последующие уровни) к самому нижнему уровню (который обычно является перечнем альтернатив).

Уникальность метода заключается в том, что он является одновременно и качественным и количественным. Будучи в основе качественным, т.к. используется информация о попарных качественных сравнениях по лингвистическим критериям, МАИ позволяет количественно оценить приоритеты альтернатив или иных элементов иерархии.

Суть метода кратко можно описать следующим образом. Саати нашел математически обоснованный способ оперирования суждениями. В результате стало возможным свести исследование даже очень сложных систем к последовательности попарных сравнений соответствующим образом определенных компонент. Это позволяет поднять метод экспертных оценок на более высокий логический уровень.

Прямое назначение метода - совместная работа экспертов, объединенных единой целью, по согласованию мнений относительно некой проблемы, позволяющая модифицировать суждения и объединять их рациональным образом. Результатами МАИ, как правило, являются, во-первых, установление иерархии целей, факторов, критериев, альтернатив и сценариев по обсуждаемой проблеме и, во-вторых, выявление приоритетов элементов каждого уровня иерархии.

В классическом понимании метод анализа иерархий предполагает активное обсуждение всех его этапов группой экспертов под руководством организатора, начиная с этапа установления целей исследования, уровней и критериев иерархии, альтернатив, и заканчивая обсуждением получаемых результатов с целью корректировки мнений.

В основе МАИ лежат следующие положения:

1) любая сложная проблема может быть подвергнута декомпозиции;

2) результат декомпозиции можно представить в виде иерархической системы наслаиваемых уровней, каждый из которых состоит из многих элементов (факторов);

3) качественные сравнения экспертами попарной значимости элементов на любом уровне иерархии (субъективные суждения) могут быть преобразованы в количественные соотношения между ними, при этом они будут отражать объективную реальность:

4) возможен синтез отношений между различными элементами и уровнями иерархии.

Метод может быть излишне громоздким для принятия решения в простых ситуациях, из-за того, что для сбора данных требуется провести много парных сравнений. Однако, если рассматривается масштабная проблема и цена последствия неправильного решения высока, требуется адекватный инструментарий. Метод анализа иерархий позволяет разбить сложную проблему на ряд простых, выявить противоречия.

В задачах принятия стратегических решений часто приходится опираться скорее на опыт и интуицию специалистов, нежели на имеющиеся объективные данные. В этом случае результаты, полученные методом анализа иерархий, могут быть более реалистичными, чем результаты, полученные другими методами.

Рейтинги возможных решений получаются на основе "прозрачных" принципов. Поэтому они могут быть более убедительными, чем информация для поддержки принятия решения, полученная с помощью моделей типа "черного ящика". В таких моделях входная информация о проблеме преобразуется в выходную информацию о принятии решения по "непрозрачным" принципам и структура ситуации принятия решения не раскрывается.

Метод анализа иерархий не требует упрощения структуры задачи, априорного отбрасывания некоторых признаков. Поэтому он эффективнее других аналитических инструментов позволяет учитывать влияние всевозможных факторов на выбор решения.

Составление структуры модели принятия решения может быть трудоемким процессом. Однако, если она составлена, то она может затем применяться многократно. Остается лишь корректировать эту структуру и наполнять ее данными. При этом решение типичных задач может быть поставлено на поток. Таким образом, применение метода становится более эффективным.

Перспективность применения метода анализа иерархий не в последнюю очередь обусловлена относительно простой технологией и несложной математикой.

**1.3 Преимущества и недостатки метода**

В рамках метода анализа иерархий нет общих правил для формирования структуры модели принятия решения. Это является отражением реальной ситуации принятия решения, поскольку всегда для одной и той же проблемы имеется целый спектр мнений. Метод позволяет учесть это обстоятельство с помощью построения дополнительной модели для согласования различных мнений, посредством определения их приоритетов. Таким образом, метод позволяет учитывать "человеческий фактор" при подготовке принятия решения. Это одно из важных достоинств данного метода перед другими методами принятия решений.

Формирование структуры модели принятия решения в методе анализа иерархий достаточно трудоемкий процесс. Однако в итоге удается получить детальное представление о том, как именно взаимодействуют факторы, влияющие на приоритеты альтернативных решений, и сами решения. Как именно формируются рейтинги возможных решений и рейтинги, отражающие важность факторов. Процедуры расчетов рейтингов в методе анализа иерархий достаточно просты (он не похож на "черный ящик"), что выгодно отличает данный метод от других методов принятия решений.

Сбор данных для поддержки принятия решения осуществляется главным образом с помощью процедуры парных сравнений. Результаты парных сравнений могут быть противоречивыми (Метод предоставляет большие возможности для выявления противоречий в данных.) При этом возникает необходимость пересмотра данных для минимизации противоречий. Процедура парных сравнений и процесс пересмотра результатов сравнений для минимизации противоречий часто являются трудоемкими. Однако в итоге лицо, принимающее решение, приобретает уверенность, что использующиеся данные являются вполне осмысленными.

В рамках метода анализа иерархий нет средств для проверки достоверности данных. Это важный недостаток, ограничивающий отчасти возможности применения метода. Однако метод применяется главным образом в тех случаях, когда в принципе не может быть объективных данных, а ведущими мотивами для принятия решения являются предпочтения людей. При этом процедура парных сравнений для сбора данных практически не имеет достойных альтернатив. Если сбор данных проведен с помощью опытных экспертов и в данных нет существенных противоречий, то качество таких данных признается удовлетворительным.

Схема применения метода совершенно не зависит от сферы деятельности, в которой принимается решение. Поэтому метод является универсальным, его применение позволяет организовать систему поддержки принятия решений.

Работа по подготовке принятия решений часто является слишком трудоемкой для одного человека. Модель, составленная с помощью метода анализа иерархий, всегда имеет кластерную структуру. Применение метода позволяет разбить большую задачу, на ряд малых самостоятельных задач. Благодаря этому для подготовки принятия решения можно привлечь экспертов, работающих независимо друг от друга над локальными задачами. Эксперты могут не знать ничего о характере принимаемого решения, что отчасти способствует сохранению. В частности, благодаря этому удается сохранить в тайне информацию о подготовке решения.

Метод дает только способ рейтингования альтернатив, но не имеет внутренних средств для интерпретации рейтингов, т.е. считается, что человек, принимающий решение, зная рейтинг возможных решений, должен в зависимости от ситуации сам сделать вывод.) Это следует признать недостатком метода.

Данный метод может служить надстройкой для других методов, призванных решать плохо формализованные задачи, где более адекватно подходят человеческие опыт и интуиция, нежели сложные математические расчеты. Метод дает удобные средства учета экспертной информации для решения различных задач.

Метод отражает естественный ход человеческого мышления и дает более общий подход, чем метод логических цепей. Он дает не только дает способ выявления наиболее предпочтительного решения, но и позволяет количественно выразить степень предпочтительности посредством рейтингования. Это способствует полному и адекватному выявлению предпочтений лица, принимающего решение. Кроме того, оценка меры противоречивости использованных данных позволяет установить степень доверия к полученному результату.

# ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ

**СЛОЖНЫХ ЭКСПЕРТИЗ**

## Основные понятия теории принятия решений

## Предмет теории принятия решений

Теория и методы принятия решений используются, как правило, когда имеется *не- определенность* – отсутствует полная информация о ситуации, явлении, модели объекта, а принятие решения связано с риском принятия ошибочного решения [1].

Под *принятием решений* понимают особый процесс человеческой деятельности, направленный на выбор наилучшего варианта из возможных действий [2].

При выборе решений главную роль играет анализ их последствий. Для подавляю- щего большинства решений, принимаемых человеком, последствия нельзя точно рассчи- тать и оценить. Человек может лишь предположить, что определенный вариант решения приведет к определенного результату. Такое предположение, конечно, может оказаться ошибочным, потому что далеко не всегда удается учесть все факторы, влияющие на ре- зультат принятого решения. Однако уступая компьютеру в скорости и точности вычисле- ний, человек обладает уникальным умением быстро оценивать обстановку, выделять главное и отбрасывать второстепенное, соизмерять противоречивые оценки, восполнять неопределенности своими догадками. В связи с этим возникает вопрос о средствах, кото- рые могут помочь человеку в принятии решений.

Принятие решения всегда предполагает выбор одного из возможных вариантов действий. Такие возможные варианты действий принято называть *альтернативами*. Со- ставление списка альтернатив или ограничений, выделяющих потенциально реализуемые альтернативы среди всевозможных – неотъемлемая часть формализации проблемы приня- тия решений.

Выбор решения из множества допустимых альтернатив осуществляется на основе регулярной процедуры. Поэтому необходимо выделить особенности методов и теории принятия решений, классификация которых использует следующие варианты неопреде- ленности [1].

1. Отсутствует информация о полной совокупности характеристик и оценок вариантов, а известен только дискретный ряд оценок в пространстве «варианты – условия», что означа- ет принятие решений, если задано дискретное множество оценок вариантов при различ- ных условиях. Для принятия решений в этой ситуации используется *метод системных матриц*, сущность которого состоит в применении различных алгоритмов обработки этих матриц, состоящих из оценок вариантов.
2. Заданы вероятностные или статистические характеристики явления, процесса, сово- купности. Требуется минимизировать вероятность неправильного решения. В подобной ситуации используются методы минимизации риска, причем модели риска строятся на ос- нове вероятных моделей случайных событий и функций от случайных аргументов.
3. Заданы графовые предпочтения между вариантами, что требует преобразования графа с целью линейного упорядочения, когда выбор решения тривиален. Для принятия реше- ний в данной ситуации используются методы комбинаторной аппроксимации.
4. Неопределенность задана в виде чисел и множеств, требуется создание адекватного исчисления нечетких чисел и множества для преобразования задачи принятия решений к задаче линейного упорядочения. К задачам с нечеткими переменными относятся задачи с лингвистическими переменными, для которых введены нечеткие числа.
5. Неопределенность задана вероятностью или статистически, а для принятия решений используется проверка вероятностно-статистических гипотез.

Основные методы теории принятия решений базируются на том или ином принци- пе обработки оценок, согласованном с техническим критерием выбора варианта.

В данной дипломной работе рассматривается метод системных матриц и различные алгоритмы их обработки.

## Экспертные оценки

Практический опыт использования методов системного анализа показал, что предпочтение, где это возможно, следует отдавать достаточно простым методам. Данные тезис относится и к *экспертным методам*.

Экспертные методы широко используются при определении коэффициентов относительной важности (КОВ) в деревьях взаимосвязей и, вообще, когда необходимо из указанного множества свойств и взаимосвязей отобрать лишь существенные, наиболее важные. Приходится также прибегать к помощи экспертов, чтобы проранжировать рассматриваемые свойства и взаимосвязи по степени их важности и существенности.

Следует отметить, что при анализе сложных систем некоторые из существенных свойств и взаимосвязей либо вообще не допускают количественного описания, либо не представляется возможным в рассматриваемый момент времени получить о них количественные данные. Поэтому в этих случаях необходимо с помощью экспертов получить информацию качественного характера, основанную на опыте и интуиции специалистов.

Под *экспертной оценкой* подразумевается группа методов, наиболее часто используемая в практике оценивания сложных систем на качественном уровне. При получении и обработке экспертных оценок применяются различные методы. К наиболее употребительным процедурам экспертных измерений относятся [3]:

1. ранжирование;
2. *парное сравнение*;
3. множественные сравнения;
4. непосредственные сравнения;
5. последовательное сравнение;
6. метод Терстоуна;
7. метод фон Неймана-Моргенштерна.

Целесообразность применения того или иного метода определяется характером анализируемой информации. Если оправданы лишь качественные оценки объектов по тем или иным качественным признакам, то используются методов ранжирования, парного и множественного сравнения.

Так как в данной работе рассматривается метод системных матриц, то в качестве алгоритма их обработки будет использован *метод парного сравнения* по причине того, что результаты сравнения всех пар объектов удобно представлять именно в виде матрицы.

## Критерии выбора решения

В современной теории принятия решений считается, что варианты решений харак- теризуются различными показателями привлекательности для лица, принимающего реше- ние. Эти показателями называют признаками, факторами, атрибутами или показателями качества. Все они служат критериями выбора решения. В подавляющем большинстве ре- альных задач имеется достаточно много критериев. Они могут быть зависимыми или не- зависимыми.

На сложность задач принятия решений влияет также число критериев. Использова- ние критериев выбора решения для оценки альтернатив требует определения градаций ве- личин критериев: лучших, худших и промежуточных оценок. Другими словами, суще- ствуют шкалы оценок по критериям. В принятии решений различают шкалы непрерывных и дискретных оценок, *шкалы количественных и качественных оценок* [4].

## Процесс принятия решения

Обычно в процессе принятия решения выделяют три этапа: поиск информации и постановка задачи, построение множества альтернатив и выбор лучшей альтернативы [2].

На первом этапе собирается вся доступная на момент принятия решения информа- ция: фактические данные, мнения экспертов, строятся математические модели, проводятся социологические опросы, определяются взгляды на проблему со стороны активных групп, влияющих на решение, формируются критерии выбора решения и т. д.

Второй этап связан с определением того, что можно, а чего нельзя делать в имею- щейся ситуации, т. е. с определением реализуемых вариантов решения.

Третий этап включает сравнение альтернатив и выбор наилучшего варианта реше-

ния.

Таким образом, процесс принятия решений сводится к решению следующих задач:

1. упорядочение альтернатив;
2. распределение альтернатив по классам решений;
3. выделение наилучшей альтернативы.

В том случае, когда выбор решения осуществляется по нескольким критериям, ос- новой при разработке инструментов поддержки принятия решений служат *методы орга- низации сложных экспертиз*.

## Системы поддержки принятия решений

Под *системами поддержки принятия решений* (СППР) понимаются интерактивно- автоматизированные системы, которые позволяют лицам, принимающим решение, ис- пользовать данные и знания объективного и субъективного характера для решения слабо структурированных (плохо формализованных) проблем [4].

Рассмотрим классификацию систем принятия решений по основным классифика- ционным признакам [5].

*По характеру поддержки решений* можно выделить два класса систем:

1. системы специального назначения, ориентированные на решение определенного клас- са задач;
2. универсальные системы, обеспечивающие возможность быстрой настройки на кон- кретную задачу синтеза или принятия решений.

Основная масса существующих систем соответствует второму классификационно- му признаку. *По характеру взаимодействия пользователя и системы* можно выделить три класса:

1. системы, инициатором диалога в которых является ЭВМ, а пользователь выступает в роли пассивного исполнителя;
2. системы, в которых пользователь активен и является инициатором диалога;
3. системы, характеризующиеся последовательной передачей управления от пользовате- ля к системе и наоборот.

Безусловно, системы второго класса представляют наибольший интерес, поскольку они дают пользователю полную свободу выбора действий. Однако реализация подобного способа взаимодействия в системах, предназначенных для пользователей- непрофессионалов, должна основываться на естественном языке общения.

Большинство разрабатываемых диалоговых систем относится к третьему классу. Принцип последовательной передачи управления позволяет пользователю взять управле- ние на определенном этапе в свои руки и тем самым как бы вмешаться в процесс решения задачи, изменив его в нужном направлении, путем задания параметров, выбора метода и т. п.

*По наличию и характеру базы данных в системе* различают:

1. системы, не предусматривающие каких-либо способов накопления и хранения ин- формации;
2. системы, имеющие базу данных или совокупность файлов для сбора, накопления и выдачи информации;
3. системы, имеющие развитые системы управления базами данных.

Все указанные системы могут быть использованы для накопления как объективной статистической, так и экспертной информации.

*По наличию интеллектуального компонента в системе* различают:

1. системы, не предусматривающие каких-либо способов накопления и обработки плохо формализуемых знаний;
2. системы, имеющие базы знаний, механизмы вывода и объяснения полученных реше- ний.

Появление технологии обработки знаний сделало возможным использование в рамках автоматизированных процедур богатого методического задела из области искус- ственного интеллекта. В области экономики и управления существует много задач, со- держащих как хорошо формализуемые процедуры, на которых применяются традицион- ные математические методы, так и плохо формализуемые процедуры, характеризующие творческие аспекты исследуемого процесса. Поэтому модель для решения подобных задач должна представлять собой симбиоз методов обработки знаний и традиционных матема- тических методов. Использование в системах принятия и синтеза экономико- управленческих решений теории искусственного интеллекта представляется особенно ак- туальным и перспективным. При интеллектуализации экономических информационных систем должны быть обеспечены:

1. возможность использования всех способов представления знаний (процедурного, продукционного, семантического);
2. реализация хранения и доступа к знаниям в рамках банка знаний;
3. *многокритериальный анализ альтернатив*;
4. построение заключений на основе количественного вывода о возможности сочетания реализаций составных частей системы, о значениях характеристик реализаций в нетипо- вых условиях функционирования и др.;
5. обработка не полностью определенной информации в ходе принятия, планирования и синтеза экономико-управленческих решений;
6. взаимодействие перечисленных процедур обоснования решений.

Можно выделить основные классы задач, на решение которых направлено создание СППР [4]:

1. оказание помощи лицу, принимающему решение (ЛПР), при анализе исходной ин- формации (оценке сложившейся обстановки и ограничений, накладываемых внешней сре- дой);
2. выявление и ранжирование приоритетов, учет неопределенности в оценках ЛПР и формирование его предпочтений;
3. генерация возможных решений (формирование списка альтернатив);
4. оценка возможных альтернатив, исходя из предпочтений ЛПР, и ограничение, накла- дываемое внешней средой;
5. анализ возможных последствий принимаемых решений;
6. выбор лучшего, с точки зрения ЛПР, возможного варианта.

Для систем поддержки принятия решений характерны следующие специфические особенности:

1. возможность ликвидировать разрыв между аналитиками и лицами, принимающими решения, поскольку их конечными пользователями являются именно специалисты, при- нимающие решения, а не технические специалисты;
2. использование экономико-математических методов и моделей для обоснования аль- тернатив (вариантов управленческих решений);
3. наличие базы данных;
4. представление информации в формате и терминологии, которые привычны ЛПР;
5. выборочное предоставление информации и минимальная ее избыточность.

В существующих в настоящее время СППР для анализа альтернатив и выработки предложений используются различные инструменты, которые можно разделить на не- сколько основных групп, таких как:

1. интеллектуальный анализ данных;
2. поиск знаний в базах данных;
3. рассуждение на основе прецедентов;

*4) системный анализ*;

1. эволюционные вычисления и генетические алгоритмы;
2. нейронные сети;
3. ситуационный анализ;
4. когнитивное моделирование и др.

Одним из наиболее проверенных временем, а также получившими широкое при- знание в научных кругах инструментом для принятия решений являются *методы систем- ного анализа*, два из которых будут подробно рассмотрены в пунктах 1.3 и 1.4 данной ра- боты.

Формализация методов анализа и генерации решений, их оценка и согласование являются достаточно сложной задачей. Ее решение стало возможным в связи с широким применением средств вычислительной техники и во многом зависит от возможностей технических программных средств, реализующих методы и способы интеллектуальной поддержки принимаемых решений.

## Методы поддержки принятия решений

Одной из проблем, встающих перед исследователями, начинающими свою работу, является выбор метода адекватного объекту исследования. Обычно выбор в таких случаях производится на основе субъективных предпочтений либо навязывается извне. Во всех этих случаях отсутствует ясное обоснование применения выбранной модели. Однако из- вестно, что именно постановочный этап является наиболее ответственным и чувствитель- ным к ошибкам, поэтому выбор метода моделирования и оценки изучаемой проблемы имеет большое значение.

В настоящее время существует множество классификаций методов принятия реше- ний, основанных на применении различных признаков. В таблице 1 приведена одна из возможных классификаций, признаками которой являются *содержание и тип получаемой экспертной информации* [1].

*Таблица 1 – Классификация методов принятия решений по содержанию и типу экспертной информации*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Содержание информации | Тип информации | Метод принятия решений |
| 1 | Экспертная информация не требуется |  | 1. Метод доминирования 2. Метод на основе глобальных критериев |
| 2 | Информация о предпочтениях на множестве критериев | 1. Качественная информация 2. Количественная оценка предпочтительно- сти критериев 3. Количественная ин- формация о замещениях | 1. Лексикографическое упорядочение 2. Сравнение разностей критериальных оценок 3. Методы свертки на иерархии критериев 4. Метод припасовывания 5. Методы «эффективность- стоимость» 6. Методы «порогов» 7. Методы идеальной точки 8. Методы кривых безразличия 9. Методы теории ценности |
| 3 | Информация о предпочтительности альтернатив | Оценка предпочтительно- сти парных сравнений | 1. Методы математического программирования 2. Линейная и нелинейная свертка при интерактивном способе определения ее пара- метров |
| 4 | Информация о предпочтениях на множестве критериев и о последствиях альтернатив | 1. Отсутствие информа- ции о предпочтениях 2. Количественная и/или интервальная информация о последствиях 3. Качественная инфор- мация о предпочтениях и количественная о послед- ствиях 4. Качественная (порядковая) информация о предпочтениях и последствиях 5. Количественная информация о предпочте- ниях и последствиях | 1. Методы с дискретизацией неопределенности 2. Стохастическое доминиро- вание 3. Методы принятия решений в условиях риска и неопреде- ленности на основе   глобальных критериев   1. *Метод анализа иерархий* 2. *Метод решающих матриц* 3. Методы теории нечетких множеств 4. Метод практического принятия решений 5. Методы выбора статисти- чески ненадежных решений 6. Методы кривых безразли- чия для принятия решений в условиях риска и неопределен- ности 7. Методы деревьев решений 8. Декомпозиционные мето- ды теории ожидаемой полезно- сти |

Используемый принцип классификации позволяет достаточно четко выделить че- тыре большие группы методов, причем три группы относятся к принятию решений в условиях определенности, а четвертая – к принятию решений в условиях неопределенно- сти.

Из множества известных методов и подходов к принятию решений наибольший интерес представляют те, которые дают возможность учитывать многокритериальность и неопределенность, а также позволяют осуществлять выбор решений из множеств альтер- натив различного типа при наличии критериев, имеющих разные типы шкал измерения (эти методы относятся к четвертой группе).

Стоит заметить, что среди методов, образующих четвертую группу, наиболее пер- спективными являются *декомпозиционные методы теории ожидаемой полезности, ме- тоды анализа иерархий* и *теории нечетких множеств*. Данный выбор определен тем, что эти методы в наибольшей степени удовлетворяют требованиям универсальности, учета многокритериальности выбора в условиях неопределенности из дискретного или непре- рывного множества альтернатив, простоты подготовки и переработки экспертной инфор- мации.

В свою очередь методы поддержки принятия решений в условиях неопределенно- сти при нескольких критериях можно классифицировать *по роли ЛПР* [6]:

1. методы поиска решения без участия ЛПР;
2. методы, использующие предпочтения ЛПР для построения правила выбора един- ственного или небольшого числа эффективных решений;
3. *интерактивные процедуры решения задачи с участием ЛПР*;
4. методы, основанные на аппроксимации паретовой границы и информирования ЛПР о ней в том или ином виде.

Методы первых двух групп основываются на построении решающего правила, т. е. правила нахождения одного или нескольких решений из допустимого множества. Отличие первой группы методов от остальных состоит в том, что в первой группе решающее пра- вило строится без участия ЛПР, а в методах других групп используется информация о предпочтениях ЛПР.

Далее в работе рассматриваются только два подхода к принятию решений в усло- виях неопределенности, а именно: подходы, основанные на методе парных сравнений Т. Саати (метод анализа иерархий) и методе решающих матриц Г. С. Поспелова. Данные методы входят в *совокупность методов организации сложных экспертиз*, которые разра- батывают для повышения объективности получения оценок путем использования основ- ной идеи системного анализа – расчленения большой первоначальной неопределенности проблемы на более обозримые составные части, лучше поддающиеся осмыслению [7]. Именно эти методы с одной стороны, имеют признанную теоретическую обоснованность, а с другой стороны, удовлетворят требованию универсальности.

## Метод анализа иерархий Т. Саати

При исследовании проектов, которые с трудом поддаются какому-либо анализу за счет большого количества факторов, способных повлиять на решение эксперта, качество принятого им решения во многом зависит от человеческих возможностей учесть весь ряд обстоятельств, а также оценить степень их влияния на изучаемую проблему.

Зачастую созданные модели работают не так, как предполагалось, что объясняется тем, что не учитываются некоторые существенные факторы. Для того чтобы разрабатыва- емая модель имитационного моделирования стала реалистичной, она должна включать в себя и позволять измерять все важные количественные и качественные факторы. Именно это и является основной задачей метода анализа иерархий (МАИ), при котором также до- пускаются различия во мнениях и конфликты, как это бывает в реальном мире [8].

Существенным преимуществом метода анализа иерархий над большинством суще- ствующих методов оценки альтернатив является четкое описание суждений экспертов и лиц, принимающих решения, а также ясное представление структуры проблемы: состав- ных элементов проблемы и взаимозависимостей между ними.

Сложность характеризуется большим числом взаимодействий между многими субъективными и объективными факторами различного типа и степени важности, а также между группами людей (субъектов общественного мнения) с различными целями и про- тиворечивыми интересами. Эти обстоятельства определяют вероятность выбора одной из альтернатив, которая приемлема для всех лишь с определенной степенью компромисса.

Метод анализа иерархий (МАИ) был предложен в конце 1970-х гг. американским математиком Т. Саати. Метод заключается в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и поэтапном установлении приоритетов оцениваемых компонент с использованием парных сравнений. МАИ включает в себя процедуры синтеза множе- ственных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений [8].

В основе МАИ лежат следующие положения [8]:

1. любая сложная проблема может быть подвергнута декомпозиции;
2. результат декомпозиции можно представить в виде иерархической системы наслаива- емых уровней, каждый из которых состоит из многих элементов;
3. качественные сравнения экспертами попарной значимости элементов на любом уровне иерархии могут быть преобразованы в количественные соотношения между ними, при этом они будут отражать объективную реальность;
4. возможен синтез отношений между различными уровнями и элементами иерархии.

Решение проблемы с помощью метода анализа иерархий – это процесс поэтапного установления приоритетов. Он включает следующие компоненты:

1. определение и выявление проблемы;
2. декомпозицию проблемы в иерархию задач;
3. выделение критериев оценки решения задач;
4. построение матриц парных сравнений критериев;
5. вычисление приоритетов;
6. синтез приоритетов;
7. проверка согласованности.

Реализация этих этапов в рамках метода анализа иерархий позволяет получить объ- ективные количественные оценки весомости всех элементов в структуре иерархии, свя- занной с поставленной проблемой. Рассмотрим каждый этап алгоритма подробнее.

## Определение и выявление проблемы

Решение любой проблемы или задачи связано с разрешением какого-либо противо- речия между состоянием исследуемого объекта и внешними требованиями к нему в изме- няющейся среде. Определение цели решения должно исходить из всестороннего изучения всех свойств объекта (проблемы), т. е. определения причины и следствий. Выделить про- блему из окружающей среды – это установить внутренние и внешние факторы, которые влияют на решение проблемы [9].

Цель решения проблемы формируется исходя из устранения причины. Определе- ние основной причины является сложной и системной задачей анализа. При формулиро- вании цели решения проблемы необходимо рассмотреть существующие предложения других людей и найти индивидуальный подход к постановке цели [10].

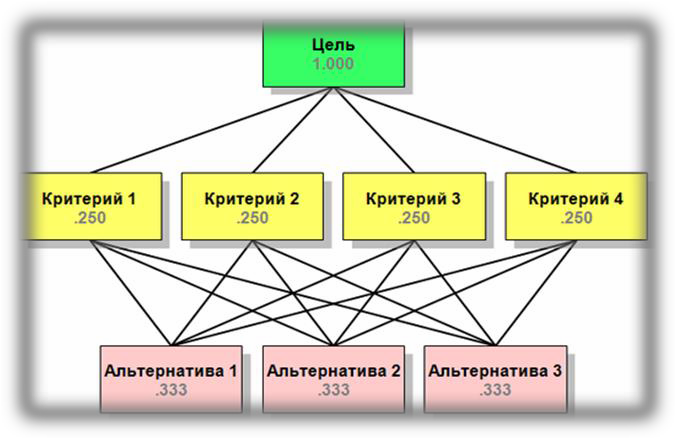
Метод анализа иерархий требует структурирования проблемы участниками реше- ния задачи принятия решений, т. е. необходимо рассмотреть задачу в соответствии с це- лью задачи, пониманием критериев и существующими вариантами выбора.

## Декомпозиция проблемы в иерархию задач

Очень часто при анализе интересующей структуры число входящих в нее элемен- тов и их взаимосвязей настолько велико, что превышает способность исследователя вос- принимать информацию в полном объеме. В таких случаях система делится на подсисте- мы, подвергается декомпозиции и представляется в виде иерархии задач.

Согласно Т.Саати, *иерархия* есть определенный тип системы, основанный на пред-

положении о том, что элементы си- стемы могут группироваться в не- связанные множества. Элементы каждой группы находятся под влия- нием элементов некоторой вполне определенной группы и, в свою очередь, оказывают влияние на эле- менты другой группы [8]. Иными словами иерархия возникает при определении соподчинения одного уровня функционирования системы другому, а, следовательно, пробле- ма может рассматриваться как сово- купность многофакторных решений в зависимости от разных аспектов исследования.



*Рисунок 1 – Структура иерархии*

Декомпозиция проблемы в

общем виде осуществляется на трех уровнях (рис. 1).

*Первый уровень* – это цель, те свойства изучаемого явления, которые необходимо получить в результате проведения экспертизы. *Второй уровень* декомпозиции – это кри- терии, которые позволяют оценить соответствие получаемых частных решений заданной цели. *Третий уровень* – это альтернативные решения, имеющиеся у экспертов, в выборе которых и заключается основная задача экспертов. На данном уровне ведется решение частных задач в соответствии с выбранными методами решения. Полученные результаты в дальнейшем сравниваются в виде суждений и ранжируются в соответствие с выбранным приоритетом критериев оценки их влияния на главную цель. Также происходит синтез суждений всех экспертов, принимающих участие в оценке, и получение наилучшего ре- шения при заданных условиях.

Каждый элемент иерархии функционально может принадлежать к нескольким дру- гим различным иерархиям. Элемент может являться управляющей компонентой на неко- тором уровне одной иерархии или может просто быть элементом, раскрывающим функ- ции нижнего или высшего порядка в другой иерархии.

Весь процесс построения иерархии постоянно подвергается проверке и переосмыс- лению на каждом из этапов проведения экспертизы, что позволяет проводить оценку ка- чества получаемого решения, до тех пор, пока не будет уверенности в том, что процесс охватил все важные характеристики, необходимые для представления и решения пробле- мы. Процесс может быть проведен над последовательностью иерархий. При этом резуль- таты, полученные в одной из них, используются в качестве входных данных при изучении следующих. Результаты решения могут быть представлены как графически, так и в таб- личном виде.

На рисунке 2 приведен общий вид иерархии, где – элементы иерархии,

– альтернативы.

21

22

2�

31

32

33

3�

𝑖2

𝑖1

𝑖�

…

…

…

…

…

…

…

…

…

�1

�1

�𝑝

𝐴1

𝐴2

…

𝐴�

*Рисунок 2 – Общий вид иерархии*

По окончании построения иерархии для каждой материнской вершины проводится оценка весовых коэффициентов, определяющих степень ее зависимости от влияющих на нее вершин более низкого уровня. При этом используется метод парных сравнений.

## Построение матрицы парных сравнений

После иерархического представления задачи устанавливаются приоритеты крите- риев и оценивается каждая из альтернатив. В МАИ элементы сравниваются попарно по отношению к их влиянию на общую для них характеристику, а именно: строится множе- ство матриц парных сравнений между уровнями иерархии. Для этого в иерархии выделя- ют элементы двух типов: элементы-«родители» и элементы-«потомки». Элементы-«потомки» воздействуют на соответствующие элементы вышестоящего уровня иерархии, являющиеся по отношению к первым элементами-«родителями». Элементами-

«родителями» могут являться элементы, принадлежащие любому иерархическому уров- ню, кроме последнего, на котором расположены, как правило, альтернативы [11].

Метод парных сравнений основан на оценке каждой альтернативы, ее важности для решения задач вышестоящего уровня. В матрицах элементы нижележащего уровня (аль- тернативы, варианты) сравниваются попарно по отношению к критериям, а критерии – по отношению к цели.

Матрица парных сравнений имеет квадратный вид и обладает свойством обратной симметрии. Квадратная матрица имеет собственные векторы и собственные значения. Например, пусть имеется ряд сравниваемых альтернатив и – соответ- ственно интенсивности их важности. Тогда матрица парных сравнений имеет вид:

*v* / *v*

*v* / *v*

...

*v* / *v*  1

*a* ... *a* 

1 1 1 2

1 *n*  

12 1*n* 

*v*2 / *v*1

*v*2 / *v*2

...

*v*2 / *vn* 

1/ *a*12

1 ...

*a*2*n* 

(1)

*A* 

...

...

...

...



...

...

...

... 



11



*vn* / *v*1

*vn* / *v*2

...





*v* / *v*

*n n* 



1/ *a*1*n*



1/ *a*2*n*



... 1 



Оценка компонентов может получаться различными способами. Но в методе Т. Саати рекомендуется специальная шкала от 1 до 9, в которой компонентам равной важ- ности ставится в соответствие единица, при умеренном превосходстве – 3, при суще- ственном превосходстве – 5, значительном превосходстве – 7, и очень сильном превос- ходстве – 9. Значения 2 ,4 ,6, 8 используются как промежуточные между двумя соседними

компонентами, получившими оценки 1, 3, 5, 7 соответственно. Относительная важность любого элемента, сравниваемого с самим собой, равна единице, т. е. диагональ матрицы состоит из единиц. При заполнении матрицы используется свойство обратной симметрии: симметричные клетки заполняются обратными величинами [11].

Шкала отношений представлена в таблице 2.

*Таблица 2 – Шкала отношений*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Степень значимости | Определение | Объяснение |
| 1 | Одинаковая значимость | Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели |
| 3 | Некоторое преоблада- ние значимости одного действия над другим (слабая значимость) | Существуют соображения в пользу предпочтения одного из действий, одна- ко эти соображения недостаточно убе- дительны |
| 5 | Существенная или сильная значимость | Имеются надежные данные или логиче- ские суждения для того, чтобы показать предпочтительность одного из действий |
| 7 | Очевидная или очень сильная значимость | Убедительное свидетельство в пользу одного действия перед другим |
| 9 | Абсолютная значи- мость | Свидетельства в пользу одного действия другому в высшей степени убедительны |
| 2, 4, 6, 8 | Промежуточные значе- ния между двумя со- седними суждениями | Ситуация, когда необходимо компро- миссное решение |
| Обратные величи- ны приведённых выше ненулевых величин | Если действию 𝑖 при  сравнении с действием  приписывается одно из определённых выше ненулевых чисел, то действию при сравне-  нии с действием 𝑖 при-  писывается обратное  значение | Если согласованность была постулиро- вана при получении *N* числовых значе- ний для образования матрицы |

Кроме того, в настоящее время для оценки компонентов используются и другие виды шкал, которые представлены в таблице 3 [12].

*Таблица 3 – Виды шкал*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Виды шкал | | | Вербальные оценки |
| Мягкая | Средняя | Жесткая |
| 1 | 1 | 1 | равнозначно |
| 1,25 | 1,5 | 1,5 | несколько лучше |
| 1,5 | 2 | 2,5 | лучше |
| 2 | 3 | 4 | значительно лучше |
| 3 | 5 | 6 | много лучше |
| 4 | 7 | 9 | подавляюще лучше |
| 5 | 9 | 12 | несравненно лучше |

При проведении процедуры оценивания необходимо учитывать, чтобы все сравни- ваемые элементы были равноценны. Для того чтобы численные сравнения были обосно- ванными, не следует сравнивать более чем 7-9 элементов. В этом случае малая погреш- ность в каждой относительной величине меняет ее не очень значительно. Если количество сравниваемых элементов, расположенных на одном уровне более 7-9, то необходимо про- водить иерархическую декомпозицию. Элементы группируются, и сравниваются классы из 7-9 элементов в каждом.

## Расчет локального вектора приоритетов

Получив совокупность матриц, можно принимать решение на основе их содержа- тельного анализа. Однако, кроме того желательно получить обобщенные оценки альтер- натив. Для этого можно применить различные способы усреднения. Саати предлагает ис- пользовать геометрическое усреднение и нормирование полученных обобщенных оценок. Пример такой процедуры приведен в таблице 4 [11].

*Таблица 4 – Расчет вектора локальных приоритетов – весов критериев*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Матрица | | | Вычисление оценок компонент собственного вектора по строкам | | | | Суммирование элементов столбцов и нормирование | Нормирование результатов для получения оце- нок вектора приоритетов |
|  | | |
|  |  |  |  | √ |  |  |  |  |
|  |  |  |  | √ |  |  |  |  |
| … | … | | | … | | | | … |
|  |  |  |  | √ |  |  |  |  |

(2)

[ ]

[

]

## Синтез приоритетов

После построения иерархии и определения величин парных субъективных сужде- ний следует этап, на котором иерархическая декомпозиция и относительные суждения объединяются для получения осмысленного решения многокритериальной задачи приня- тия решения.

Из групп парных сравнений формируется набор локальных критериев, которые вы- ражают относительное влияние элементов на элемент, расположенный на уровне выше.

Иерархический синтез используется для взвешивания собственных векторов мат- риц парных сравнений альтернатив весами критериев, имеющихся в иерархии, а также для вычисления суммы по всем соответствующим взвешенным компонентам собственных векторов нижележащего уровня иерархии.

Приоритеты синтезируются, начиная со второго уровня, вниз. Локальные приори- теты перемножаются на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздейству- ет элемент.

Для определения относительной ценности каждого элемента необходимо найти геометрическое среднее и с этой целью перемножить n элементы каждой строки и из по- лученного результата извлечь корни *n*-й степени.

√ . (3)

Полученные числа необходимо нормализовать. Для этого определяем нормирую-

щий множитель �

� , (4)

и каждое из чисел 𝑖 делим на �

(5)

�

В результате получаем вектор приоритетов

, (6)

где 1 означает, что вектор приоритетов относится к 1 уровню иерархии. Подобную про- цедуру проделываем для всех матриц парных сравнений.

## Согласованность приоритетов

В практических задачах количественная и транзитивная (порядковая) однородность (согласованность) нарушается, поскольку человеческие ощущения нельзя выразить точ- ной формулой. Для улучшения однородности в числовых суждениях, какая бы на ни была взята для сравнения *i*-го элемента с *j*-м, приписывается значение обрат-

ной величины, т. е. =

. Отсюда следует, что если один элемент в *а* раз предпочти-

тельнее другого, то последний только в

раз предпочтительнее первого.

При нарушении однородности ранг матрицы отличен от единицы, и она будет иметь несколько собственных значений. Однако при небольших отклонениях суждений от однородности одно из собственных значений будет существенно больше остальных и приблизительно равно порядку матрицы. Таким образом, для оценки однородности суж- дений эксперта необходимо использовать отклонение величины максимального собствен-

ного значения от порядка матрицы �.

Поскольку при такой, достаточно сложной, процедуре обработки оценок неизбеж-

ны приближенные вычисления корней (особенно при большом числе критериев), то для проверки согласованности полученных результатов предлагается умножить матрицу на нормированные оценки и получить меру оценки степени отклонения от согласованных оценок – индексы согласованности для каждой из матриц и иерархии в целом [11].

. (7)

Отклонение от согласованности выражается индексом согласованности

�

(8)

�

Для определения того, насколько точно индекс согласованности (ИС) отражает со-

гласованность суждений, его необходимо сравнить со случайным индексом согласованно- сти (СИ) – известным значением, зависящем от размера матрицы и определяемым по дан- ным в таблице 5.

*Таблица 5 – Индекс случайной согласованности*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Размер матрицы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Случайный индекс | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Оценки экспертов считаются согласованными, если значение отношения согласо- ванности ( меньше либо равно 0,1. Если необходимого уровня согласован- ности добиться не удалось, процедуру оценки требуется повторить.

Если для матрицы парных сравнений отношение однородности *ОС* > 0,1, то это свидетельствует о существенном нарушении логичности суждений, допущенном экспер- том при заполнении матрицы, поэтому эксперту предлагается пересмотреть данные, ис- пользованные для построения матрицы, чтобы улучшить однородность.

## Учет мнений нескольких экспертов

Для повышения степени объективности и качества процедуры принятия решений целесообразно учитывать мнения нескольких экспертов.

Для агрегирования мнений экспертов принимается среднегеометрическое, вычис- ляемое по следующему соотношению:

,

√

(9)

где

– агрегированная оценка элемента, принадлежащего *i*-ой строке и *j*-му столбцу

матрицы парных сравнений, � – число матриц парных сравнений, каждая из которых со-

ставлена одним экспертом.

Логичность критерия становится очевидной, если два равноценных эксперта ука- зывают при сравнении объектов соответственно оценки и *а*, что при вычислении аг- регированной оценки дает единицу и свидетельствует об эквивалентности сравниваемых объектов.

Осреднение суждений экспертов может быть осуществлено и на уровне собствен- ных векторов матрицы парных сравнений. При этом результаты будут эквиваленты тем, которые получен на уровне элементов матриц, если однородность составленных матриц достаточна и удовлетворяет условию *ОС* 0,1.

Расчет агрегированной оценки в случае привлечения � экспертов, имеющих раз-

личную значимость, осуществляется по формуле:

(10)

где

– оценка объекта, проведенная �-м экспертом с весовым коэффициентом , при

этом .

## Преимущества и недостатки метода анализа иерархий

Казалось бы, вопрос о возможностях использования метода анализа иерархий снят многолетней практикой его применения для решения самых различных прикладных мно- гокритериальных задач, однако и сегодня в научной литературе появляются публикации, подвергающие сомнению корректность положений в основе данного метода.

Нельзя не отметить ряд достоинств метода, который отличает его от других.

1. Метод позволяет учитывать *«человеческий фактор»* при подготовке принятия реше- ния. В рамках МАИ нет общих правил для формирования структуры модели принятия решения. Это является отражением реальной ситуации принятия решения, поскольку все- гда для одной и той же проблемы имеется целый спектр мнений. Метод позволяет учесть это обстоятельство с помощью построения дополнительной модели для согласования раз- личных мнений, посредством определения их приоритетов. Это одно из главных досто- инств данного метода перед другими.
2. *Простота метода*. Формирование структуры модели принятия решения в методе анализа иерархий достаточно трудоемкий процесс. Однако в итоге удается получить де- тальное представление о том, как именно взаимодействуют факторы, влияющие на прио- ритеты альтернативных решений, и сами решения. Процедуры расчетов рейтингов в мето- де анализа иерархий достаточно просты (он не похож на «черный ящик»), что выгодно отличает данный метод от других методов принятия решений.
3. *Контроль в процессе обработки данных.* Сбор данных для поддержки принятия ре- шения осуществляется главным образом с помощью процедуры парных сравнений. Ре- зультаты парных сравнений могут быть противоречивыми, но метод предоставляет боль- шие возможности для выявления противоречий в данных. При этом возникает необходи- мость пересмотра данных для минимизации противоречий. Процедура парных сравнений и процесс пересмотра результатов сравнений для минимизации противоречий часто явля- ются трудоемкими. Однако в итоге лицо, принимающее решение, приобретает уверен- ность, что использующиеся данные являются вполне осмысленными.
4. *Попарность сравнений*. Сравнение предметов по парам естественно с «человеческой» точки зрения. Отсутствие необходимости постоянно держать в поле зрения все факторы или, по крайней мере, группу однородных факторов, позволяет эксперту сконцентриро- вать внимание на конкретной проблеме. Вследствие этого следует ожидать более точных результатов.
5. *Расширение исходной матрицы*. В практике исследований систем нередко возникают ситуации, когда число влияющих факторов изменяется. Это происходит как вследствие цикличности природных процессов, так и вследствие изменения социально-значимых условий. Тогда приходится добавлять, уменьшать или заменять одни факторы другими. При использовании МАИ это приводит только к необходимости сравнения вновь возник- ших пар или же к вычеркиванию строк и столбцов матрицы парных сравнений, соответ- ствующих изъятым из рассмотрения факторов. Полученные результаты предыдущих опросов сохраняются, и полного обновления анкеты, как это происходит в других случа- ях, не требуется. С учетом того, что процедура МАИ, в сущности, сводится к поиску соб- ственного вектора соответствующей матрицы, принадлежащего максимальному собствен- ному значению, с «технической» точки зрения включение дополнительных факторов есть увеличение размерности соответствующего линейного пространства за счет добавления прямых слагаемых.
6. *Наличие вербально-числовой шкалы*. Обычные числовые шкалы не всегда удобны для сопоставления факторов, выражаемых в различных размерностях и понятиях. Особенно сложно сравнивать факторы, показателями которых, с одной стороны являются количе- ственные величины, а с другой – качественные. Так, наиболее часто используемая шкала Харрингтона «принимает на входе» только относительные количественные характеристи- ки, распределенные в интервале от 0 до 1. Вербально-числовые шкалы, одним из вариан-

тов которых является шкала Саати, как раз и призваны оценивать такие несоответствия показателей влияющих факторов [7].

1. *Независимость экспертов*. Модель, составленная с помощью метода анализа иерар- хий, всегда имеет кластерную структуру. Применение метода позволяет разбить большую задачу, на ряд малых самостоятельных задач. Благодаря этому для подготовки принятия решения можно привлечь экспертов, работающих независимо друг от друга над локаль- ными задачами. Эксперты могут не знать ничего о характере принимаемого решения. В частности, благодаря этому удается сохранить в тайне информацию о подготовке реше- ния.
2. *«Адаптируемость».* Данный метод может служить надстройкой для других методов, призванных решать плохо формализованные задачи, где более адекватно подходят чело- веческие опыт и интуиция, нежели сложные математические расчеты.
3. *Универсальность*. Схема применения метода совершенно не зависит от сферы дея- тельности, в которой принимается решение. Поэтому метод является универсальным, его применение позволяет организовать систему поддержки принятия решений.

Однако помимо достоинств, данный метод имеет и ряд недостатков. Возникает ряд вопросов при интерпретации получаемых результатов, и связаны они, прежде всего с кри- терием качества работы эксперта – с отношением согласованности. Кроме того приведем ряд других неблагоприятных особенностей метода.

1. *Достоверность результатов*. В рамках МАИ нет средств для проверки достоверно- сти данных. Это важный недостаток, ограничивающий отчасти возможности применения метода. Однако метод применяется, главным образом, в тех случаях, когда в принципе не может быть объективных данных, а ведущими мотивами для принятия решения являются предпочтения людей. При этом процедура парных сравнений для сбора данных практиче- ски не имеет достойных альтернатив. Если сбор данных проведен с помощью опытных экспертов и в данных нет существенных противоречий, то качество таких дан- ных признается удовлетворительным [8].
2. *Трудоемкость*. Работа по подготовке принятия решений часто является слишком тру- доемкой для одного человека. Метод дает только способ рейтингования альтернатив, но не имеет внутренних средств для интерпретации рейтингов, т. е. считается, что человек, принимающий решение, зная рейтинг возможных решений, должен в зависимости от си- туации сам сделать вывод.
3. *«Обратная» логика*. Критерии качества работы эксперта в большинстве своем – и от- ношение согласованности тоже – основываются на отклонении от некоей статистической характеристики, например математического ожидания. Как и все критерии, имеющие в основе статистический характер, отношение согласованности является формальным и в некоторых случаях приводит к трудно интерпретируемым результатам. Так, возможна си- туация, когда в результате опросов экспертов обнаруживается несколько случаев, когда весовые коэффициенты резко отличаются от большинства, а то и носят прямо противопо- ложный характер: те факторы, которым большинство придавали наибольшую значимость, эти эксперты оценивали как менее значимые и – наоборот. При усреднении результатов всех экспертов соответствующих заданному критерию, что обычно делают для получения обобщенных оценок, это приводит к смещению средних значений весовых коэффициен- тов.

Таким образом, можно сделать вывод об уникальности метода анализа иерархий. Уникальность метода заключается в том, что он является одновременно и качественным и количественным. Будучи в основе качественным, т. к. используется информация о попар- ных качественных сравнениях по лингвистическим критериям, МАИ позволяет количе- ственно оценить приоритеты альтернатив или иных элементов иерархии.

## Метод решающих матриц Г. С. Поспелова

Одним из методов расчленения проблемы с большой неопределенностью на под- проблемы с пошаговым получением

оценок является *метод решающих матриц Г. С. Поспелова.*

Данный метод применяется для реализации крупных дорогостоящих проектов, при создании, реконструк- ции предприятий или научно- исследовательских организаций, инве- стируемых государством, т. е. в ситуа- циях, для которых повышаются требо- вания к тщательности анализа факто- ров, влияющих на принятие решений.

Например, при создании слож- ных производственных комплексов,

*Рисунок 3 – Уровни анализируемой проблемы*

реализации крупных проектов необходимо определить влияние на проектируемый объект фундаментальных научно-исследовательских работ, чтобы запланировать эти работы, предусмотреть их финансирование и распределить средства между ними [11].

## 1.4.1 Этапы проведения анализа

Получить от экспертов объективные и достоверные оценки относительной значи- мости фундаментальных НИР для проектирования сложного объекта практически невоз- можно. В связи с этим процесс анализа проблемы согласно данному методу включает сле- дующие этапы [11]:

* 1. для того чтобы облегчить экспертам задачу оценки, сначала у них выясняется, какие

направления исследований могут быть полезны для создания комплекса и предлагается

определить относительные веса этих направлений *а а а* .

* 1. составляется план опытно-конструкторских работ для получения необходимых ре-

зультатов по названным направлениям и оценивается их вклад .

* 1. определяется перечень прикладных научных исследований и их относительные веса

*.*

* 1. оценивается относительная значимость фундаментальных НИР для прикладных

Таким образом, область работы экспертов представляется в виде нескольких уров-

ней (рис. 3). При этом относительные веса по всем уровням должны быть нормированы.

Для удобства опроса экспертов относительные веса определяются не в долях еди- ницы, а в процентах, и нормируются по отношению к 100

∑ (11)

Непосредственно экспертами оцениваются только относительная значимость

направлений, остальные относительные веса вычисляются. Эксперты оценивают вклад каждой альтернативы в реализацию элементов более высокого уровня, непосредственно предшествующего уровню данной альтернативы. Так, вклад ОКР в реализацию направле-

ния оцениваются некоторой величиной 𝑝 .

Относительные веса для каждой ОКР также нормированы

∑ 𝑝

(12)

Таким образом, строка решающей матрицы характеризует относительную значи-

мость *i-*й ОКР для реализации каждой из *j*-х подпроблем.

Оценив предварительно используя решающую матрицу 𝑝𝑖 , мож-

но получить относительные веса ОКР

∑ 𝑝

(13)

Аналогично, зная и оценив 𝑝� **|**, можно получить относительные веса приклад-

ных НИР

∑ 𝑝

(14)

контролируя условия нормирования

∑ 𝑝 и

∑

а затем и фундаментальных НИР

(15)

(16)

В результате при использовании

метода решающих матриц оценка относи- тельной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, что обеспе- чивает их большую достоверность при прочих равных условиях. Большая не- определенность, имевшая место в начале решения задачи, разделена на более «мел- кие», лучше поддающиеся оценке, в соот- ветствии с одной из основных идей си- стемного анализа. Схема задания приори- тетов с помощью данного метода пред- ставлена на рисунке 4.

Ввод 1, 2, 3,…, �

Ввод 𝑝𝑖

Вычисление

�

= ∑ 𝑝𝑖

𝑖=1

Ввод 𝑝 �

Используя метод решающих мат- риц и формируя многоуровневую струк- туру факторов, влияющих на создание и функционирование предприятий, можно провести более тщательный анализ отно- сительной значимости конкретных фак- торов нижнего уровня этой структуры для решения проблем проектирования и функционирования предприятия.

Вычисление

�

� = ∑ 𝑝 �

=1

Ввод 𝑝��

Вычисление

�

𝑦 = ∑ 𝑝��

�=1

*Рисунок 4 – Схема задания приоритетов с помощью метода решающих матриц*

## Обзор систем поддержки принятия решений

Сегодня рынок программного обеспечения заполнен системами, которые предна- значены для поддержки принятия решений в различных сферах человеческой деятельно- сти. Однако большинство из них адаптированы для работы в одной, строго определенной предметной области, имеют сложный интерфейс, а также, что немаловажно, дорогостоя- щую лицензию на использование.

Поэтому было решено разработать программный продукт, который без существен- ных затрат позволял бы организовывать эффективную работу лиц, связанных с осуществ- лением выбора в любой, ситуации, будь то оценка претендента на победу в конкурсе или же выбор наиболее приоритетного направления развития высшего учебного заведения в перспективе на несколько лет.

Для того чтобы убедиться в реальной необходимости создания подобной системы, рассмотрим наиболее распространенные на сегодняшний день программные продукты, реализующие МАИ, проанализировав их свойства, связанные с областью применения, уровнем функциональности и поддержкой удобного пользовательского интерфейса.

**Expert Choice.** Программа разработана более 25 лет назад в университете Дж. Вашингтона (США) Эрнестом Форман, известна по всему миру. Фирма Expert Choice является мировым лидером в области создания программных продуктов по реализации систем поддержки принятия решений. Данными продуктами пользуются более 100 веду- щих мировых фирм (IBM, General motors, Boing, AOL, NISA, GAO, IRS). Это программное обеспечение преподается более чем в 100 университетах и используется в 60 странах. В нашей стране также существует центр по подготовке специалистов по применению МАИ с помощью Expert Choice [13].

Система обладает следующими особенностями:

1. простой интерфейс для создания модели ввода суждений, не требующий никаких тео- ретических знаний о математических основах МАИ;
2. имеется возможность добавления комментариев и любых других данных к критериям, реализовано три режима парных сравнений: вербальный, числовой и графический;
3. существует возможность учета мнений нескольких экспертов, оценка работы отдель- ных экспертов, а также расчет степени согласованности их работы;
4. имеется большое количество настроек проекта;
5. существует возможность синхронного и асинхронного режима работы экспертов и т. д.

Однако, несмотря на огромное количество возможностей данной системы, а также ее неоспоримых достоинств, необходимо отметить одну достаточно весомую характери- стику – для работы с системой Expert Choice требуется покупка дорогостоящей лицензии, кроме того отсутствует русскоязычная версия программы.

**Decision Lens.** Данная программа является коммерческим продуктом для поддерж- ки принятия решений, используемым ведущими компаниями мира. Обеспечивает широ- кий инструментарий по работе с методом анализа иерархий, однако из недостатков можно отметить отсутствие демонстративной версии продукта, что не позволяет ознакомиться с ее возможностями более подробно [14].

**Император 3.1.** Стандартная версия программы обладает следующим функциона- лом [15]:

1. создание и редактирование графических схем ситуаций принятия решения;
2. сбор данных путем проведения парных сравнений в различных шкалах (возможен учет качественных предпочтений лица, принимающего решения);
3. поиск противоречий в сравнениях и средства для их минимизации;
4. расчет приоритетов альтернативных решений, комментирование всех этапов построе- ния иерархических моделей принятия решения;
5. работа с библиотеками, содержащими проекты с типичными моделями принятия ре- шений;
6. создание аналитических отчетов в формате MS Word;
7. сохранение и загрузка моделей в файле формата MS Excel;
8. синтез моделей ситуаций принятия решения из нескольких иерархических моделей. Профессиональная версия программы дополнительно обладает следующими возмож-

ностями:

1. сохранение данных, использующихся для расчета приоритетов решений, в проекты библиотеки и обмен данными между проектами,
2. создание сценариев проверки качества результатов моделирования;
3. сохранение сценариев в библиотеке проектов.

Однако данная система является коммерческим продуктом с весьма дорогостоящей лицензией на ее приобретение, причем стоимость лицензии варьируется в зависимости от уровня профессиональности необходимой версии.

**СППР «Выбор»** является аналитической системой, основанной на МАИ, возмож- ности которой позволяют [16]:

1. структурировать проблему;
2. построить набор альтернатив;
3. выделить характеризующие их факторы;
4. задать значимость этих факторов;
5. оценить альтернативы по каждому из факторов;
6. найти неточности и противоречия в суждениях лица принимающего решение ЛПР;
7. проранжировать альтернативы;
8. провести анализ решения и обосновать полученные результаты.

Данная система ориентирована на решение следующих *типовых* задач:

1. оценка качества организационных, проектных и конструкторских решений;
2. определение политики инвестиций в различных областях; задачи размещения (выбор места расположения вредных и опасных производств, пунктов обслуживания);
3. распределение ресурсов;
4. проведение анализа проблемы по методу «стоимость-эффективность»;
5. стратегическое планирование;
6. проектирование и выбор оборудования, товаров;
7. выбор профессии, места работы, подбор кадров.

Основными недостатками системы является невозможность организации работы групп экспертов, а также возможность использования программы только в платном режи- ме, путем покупки лицензии.

**Система MPRIORITY** создана российскими разработчиками Абакаровым А.Ш. и Сушковым Ю.А. в 2005 году. Среди достоинств системы можно отметить [17]:

1. возможность использования для нахождения наилучшего решения многокритериаль- ных задач различной направленности;
2. простой интерфейс;
3. возможность визуализации полученных итоговых результатов в виде диаграмм.

Однако данная система имеет больше недостатков, чем достоинств, среди которых немаловажное значение имеют следующие:

1. Использование шаблонов. На любом этапе алгоритма решения задачи может возник- нуть необходимость внесения изменений в структуру иерархической модели, или же необходимость изменения приоритетов любого уровня иерархии. MPRIORITY, как и большинство существующих на рынке программ, не поддерживают такой функции, а ра- ботает на заранее созданных шаблонах, с заранее определенным количеством уровней;
2. Отсутствует возможность работы нескольких экспертов, когда необходимо получить не только общую оценку, но и оценку отдельной интересующей нас группы респондентов. Например, при разработке иерархической модели, позволяющей оценивать силу перего- ворной позиции работника, в качестве экспертов были привлечены эксперты трех групп: исследователи, занимающиеся проблемами российского рынка труда; работодатели бюд- жетного сектора и работодатели коммерческого сектора, что позволило бы оценить важ- ность составляющих переговорных позиций для каждого сектора в отдельности. Система MPRIORITY такой функции не поддерживает.
3. При нарушении свойства транзитивности матриц парных сравнений, система выдает ошибку. Эксперт, который знаком с особенностями МАИ, вернется и скорректирует свои первоначальные показатели, а пользователь, который не является специалистом в области МАИ, окажется в тупике, т.к. интерфейс программы MPRIORITY адаптирован под «про- двинутого» эксперта, нет диалога с пользователем.
4. Одним из главных недостатков данной программы является довольно дорогостоящая лицензия.

**WinEXP+.** Данная программа является инструментальным средством для построе- ния систем экспертных оценок. Функциональные возможности системы обеспечивают [18]:

1. создание сложных и разветвленных иерархий;
2. создание и редактирование графических схем ситуаций принятия решения;
3. проведение парных сравнений;
4. вычисление приоритетов альтернативных решений;
5. сохранение иерархий в соответствующих файлах для дальнейшего использования;
6. прямое и обратное планирование. Достоинствами системы являются:
7. дружественный интерфейс, включающий интерактивную справку;
8. гибкие цветовые настройки системы;
9. возможность расширения системы;
10. простота и доступность при обучении пользователей.

**СППР «ОВИОНТ-АСМО»** решает две основные группы задач, а именно:

1. выбор наилучшего решения из множества возможных (оптимизация);
2. упорядочение возможных решений по предпочтительности (ранжирование). К достоинствам данной системы можно отнести следующие факты:
3. С данной программой могут работать разные пользователи, в базе знаний системы хранятся функции их предпочтений, что позволяет в схожих задачах сопоставлять реше- ния различных пользователей. Это равносильно получению экспертных суждений без непосредственного участия экспертов.
4. СППР может работать с процессами любой физической природы, т. е. она инвариант- на по отношению к предметной области. В частности, она апробировалась и использова- лась при решении следующих задач: оценка стратегических паритетов; выбор наилучшей системы спутниковой связи; ранжирование конкурсных проектов; оптимизация портфеля инвестиций и т. д.
5. С целью расширения возможностей системы и ее универсализации в СППР, помимо основного метода поддержки решений (на основе предпочтений пользователя), преду- смотрено использование традиционных формальных методов оптимизации и ранжирова- ния по векторному критерию. В данной версии реализован метод среднего взвешенного.
6. Система не требует от пользователя никакой специальной подготовки. Достаточно минимальных навыков общения с компьютером.

**СППР «Эксперт»***.* К особенностям данной системы можно отнести поддержку как числовых значений, так и субъективных вербальных предпочтений пользователя. Харак-

теризуется возможностью анализа данных на предмет согласованности и достоверности, кроме того предполагает исправление несогласованности.

Достоинствами данного приложения являются [19]:

1. удобный графический интерфейс;
2. инструменты для формализации проблемы, анализа результатов;
3. возможность составления подробных печатных отчетов;
4. библиотеки типовых иерархий для решения задач прогнозирования и управления в различных сферах деятельности;
5. специальные библиотеки решений типовых задач в области финансов, экономики, управлении персоналом, предприятием и т. п.

Главным недостатком системы является необходимость приобретения дорогостоя- щей лицензии.

Для сравнения программных продуктов, реализующих МАИ, между собой выде- лим несколько основных критериев:

К1 – вид распространения ПО;

К2 – возможность работать с явлением из любой предметной области; К3 – простота интерфейса;

К4 – возможность внесения изменений в иерархическую модель на любом этапе алгоритма;

К5 – возможность учета мнений нескольких экспертов; К6 – учет степени согласованности оценок экспертов;

К7 – использование разных шкал для задания уровня приоритетов; К8 – возможность выгрузки отчета в текстовые редакторы;

К9 – возможность учета как количественных, так и качественных показателей; К10 – расширяемость системы в плане используемых методов.

В таблице 6 приведен сравнительный анализ наиболее распространенных систем: по вышеприведенным критериям.

*Таблица 6 – Анализ систем, реализующих МАИ*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **К1** | **К2** | **К3** | **К4** | **К5** | **К6** | **К7** | **К8** | **К9** | **К10** |
| **Expert Choice** | Demo | + | + | - | + | +/- | - | - | - | - |
| **MPRIORITY** | Freeware | + | - | - | - | + | - | - | - | - |
| **СППР**  **«Выбор»** | Demo | - | + | - | - | + | - | + | - | - |
| **Император** | Demo | + | + | - | - | + | + | + | - | - |
| **WinEXP+** | Freeware | + | + | - | - | - | - | - | - | - |
| **СППР**  **«ОВИОНТ- АСМО»** | Demo | - | + | - | - | +/- | - | + | - | - |
| **СППР**  **«Эксперт»** | Demo | - | - | - | - | +/- | + | - | - | - |

Сравнительный анализ ряда систем, представленных в сводной Таблице 6, показал, что программным продуктом, наиболее удовлетворяющим заданным критериям, является система «Император». Однако недостатками этого продукта являются необходимость приобретения лицензии на использование, а также частичное несоответствие критериям К4, К5, К9 и К10, а именно: отсутствует возможность рассчитывать агрегированные оцен- ки групп экспертов, возможность внесения изменений в иерархическую модель на любом

этапе алгоритма, не предполагается учет, как количественных, так и качественных показа- телей оценки, а также возможность дальнейшего расширения системы в плане используе- мых инструментов для проведения экспертиз.

Что касается второго метода организации сложных экспертиз, а именно метода ре- шающих матриц Г.С. Поспелова, анализ рынка программного обеспечения показал, что подобные системы отсутствуют.

Таким образом, результаты проведенного анализа существующих на рынке систем по организации сложных экспертиз на основе методов системного анализа показали, что на данный момент существует необходимость разработки системы, которая бы решала проблемы, приведенные в таблице 7.

*Таблица 7 – Проблемы существующих аналогов разрабатываемой системы*

|  |  |
| --- | --- |
| **Проблема** | **Решение** |
| Универсальность области применения систе- мы | Создать универсальную систему, позволя- ющую решать задачи различных направле- ний |
| Возможность учета как количественных, так и качественных показателей | Реализовать возможность учета количе- ственных и качественных оценок рассмат- риваемой проблемы. |
| Поддержка удобного диалогового интерфейса адаптированного под метод анализа иерархий и метод решающих матриц с возможностью дальнейшего расширения списка используе- мых методов для проведения экспертиз | Диалоговый интерфейс «эксперт- компьютер», должен быть адаптирован под особенности используемых методов, что позволит повысить эффективность и, тем самым, улучшить качество принимаемых решений |
| Изменение структуры иерархической модели в процессе анализа | Реализовать функцию добавления и удале- ния любой вершины, в результате чего бу- дет происходить расчет приоритетов допол- нительных компонент и пересчет иерархи- ческого синтеза |
| Нарушение свойства обратной симметрично- сти при заполнении матриц парных сравне- ний | Создать «Мастер приоритетов», который автоматически будет заносить значения в ячейки матриц парных сравнений в обратно симметричном порядке, исходя из опроса эксперта, что снизит риск несогласованно- сти результата |
| Нарушение свойства транзитивности при за- полнении матриц парных сравнений | При превышении установленных пределов значения индекса согласованности система должна выводить сообщение о нарушении согласованности и предлагает эксперту пе- рейти на этап заполнения матрицы парных сравнения для данного уровня повторно |
| Получение информации со всех уровней иерархии | Возможность в любой момент получить ин- формацию о приоритете любой вершины иерархии |
| Получение обобщенных оценок различных групп экспертов | Реализовать возможность получения обоб- щенных оценок различных групп экспертов |
| Получение сводной итоговой отчетности о проведенной экспертизе в текстовом и гра- фическом виде | Реализовать возможность получения ре- зультатов работы системы в виде отчетов, экспортируемых в текстовые редакторы, а также в виде диаграмм в самой системе |

4. Разработка программы для решения поставленной задачи

Структура программы(функциональные модули), обоснование средств разработки(выбор языка, фреймворка), разработка интерфейса, тестирование и отладка программы(unit-тестирование).

Сказать, что основные модули выполнены полностью автономно, что позволит добавить их в другие программы, например сайт(точка роста).

5. Применение разработанной программы для решения задач

Пример, тестирование и отладка.

Продемонстрировать один или несколько живых примеров.

Перечислить несколько проблем в таком виде:

- проблема;

- альтернативы;

- эксперты.

Далее показать их оценки, в матрице парных сравнений. Показать компетентность, согласованность экспертов. Сказать что всё сохранено в базе и что осталось только пользователю сделать выбор. Перейти к следующей проблеме.

6. Выводы по работе

Подведение итогов по проделанной работе

1 Рассмотрение метода анализа иерархий

Метод Анализа Иерархий (МАИ, иногда МетАнИе) — математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение ([ЛПР](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%9F%D0%A0)), какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к её решению. Этот метод разработан американским математиком Томасом Саати, который написал о нем книги, разработал программные продукты и в течение 20 лет проводит симпозиумы ISAHP ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) International Symposium on Analytic Hierarchy Process). МАИ широко используется на практике и активно развивается учеными всего мира. В его основе наряду с [математикой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA) заложены и [психологические](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) аспекты. МАИ позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. Метод Анализа Иерархий используется во всем мире для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в [бизнесе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81), [промышленности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), [здравоохранении](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B4%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и [образовании](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5).

Для компьютерной поддержки МАИ существуют программные продукты, разработанные различными компаниями. Анализ проблемы принятия решений в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор. Эта структура отражает понимание проблемы лицом, принимающим решение. Каждый элемент иерархии может представлять различные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты как материальные, так и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки. Иными словами, анализ ситуации выбора решения в МАИ напоминает процедуры и методы аргументации, которые используются на интуитивном уровне. Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Безразмерные приоритеты позволяют обоснованно сравнивать разнородные факторы, что является отличительной особенностью МАИ. На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате которой вычисляются приоритеты альтернативных решений относительно главной цели. Лучшей считается альтернатива с максимальным значением приоритета [1].

* 1. Методика применения метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий содержит процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе субъективных суждений экспертов. Число суждений может измеряться дюжинами или даже сотнями. Математические вычисления для задач небольшой размерности можно выполнить вручную или с помощью калькулятора, однако гораздо удобнее использовать [программное обеспечение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) (ПО) для ввода и обработки суждений. Самый простой способ компьютерной поддержки — электронные таблицы, самое развитое ПО предусматривает применение специальных устройств для ввода суждений участниками процесса коллективного выбора. Порядок применения метода анализа иерархий[2]:

1. Построение качественной модели проблемы в виде иерархии, включающей цель, альтернативные варианты достижения цели и критерии для оценки качества альтернатив.
2. Определение приоритетов всех элементов иерархии с использованием метода парных сравнений.
3. Синтез глобальных приоритетов альтернатив путём линейной свертки приоритетов элементов на иерархии.
4. Проверка суждений на согласованность.
5. Принятие решения на основе полученных результатов.
   1. Определение иерархической структуры

Иерархическая структура — это графическое представление проблемы в виде перевернутого дерева, где каждый элемент, за исключением самого верхнего, зависит от одного или более выше расположенных элементов. Часто в различных организациях распределение полномочий, руководство и эффективные коммуникации между сотрудниками организованы в иерархической форме.

Иерархические структуры используются для лучшего понимания сложной реальности: мы раскладываем исследуемую проблему на составные части; затем разбиваем на составные части получившиеся элементы и т. д. На каждом шаге важно фокусировать внимание на понимании текущего элемента, временно абстрагируясь от всех прочих компонентов. При проведении подобного анализа приходит понимание всей сложности и многогранности исследуемого предмета.

В качестве примера можно привести иерархическую структуру, которая используется при обучении в [медицинских вузах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D0%B0). В рамках изучения анатомии отдельно рассматривается костно-мышечная система (которая включает такие элементы, как руки и их составляющие: мышцы и кости), сердечнососудистая система (и её множественные уровни), нервная система (и её компоненты и подсистемы) и т. д. Степень детализации доходит до клеточного и молекулярного уровня. В конце изучения приходит понимание системы организма в целом, а также осознание того, какую роль играет в нем занимает каждая часть. С помощью подобного иерархического структурирования студенты приобретают всесторонние знания об анатомии.

Аналогичным образом, когда мы решаем сложную проблему, мы можем использовать иерархию как инструмент для обработки и восприятия больших объемов информации. По мере проектирования этой структуры у нас формируется все более полное понимание проблемы.

* 1. Выводы по разделу

В данном разделе был рассмотрен метод анализа иерархий, а также методика его применения и определение иерархической структуры для данного метода.

1. Обзор существующих программ
   1. Система поддержки принятия решений «Выбор»

Система поддержки принятия решений (СППР) "Выбор" - аналитическая система, основанная на методе анализа иерархий (МАИ), является простым и удобным средством, которое поможет:

* структурировать проблему;
* построить набор альтернатив;
* выделить характеризующие их факторы;
* задать значимость этих факторов;
* оценить альтернативы по каждому из факторов;
* найти неточности и противоречия в суждениях лица принимающего решение;
* провести анализ решения и обосновать полученные результаты.

Система опирается на математически обоснованный метод анализа иерархий Томаса Саати.

СППР "Выбор" на основе МАИ может использоваться при решении следующих типовых задач:

* оценка качества организационных, проектных и конструкторских решений;
* определение политики инвестиций в различных областях; задачи размещения (выбор места расположения вредных и опасных производств, пунктов обслуживания);
* распределение ресурсов;
* проведение анализа проблемы по методу "стоимость-эффективность";
* стратегическое планирование;
* проектирование и выбор оборудования, товаров;
* выбор профессии, места работы, подбор кадров.

Данная программа разрабатывается Центром Изучения и Развития Информационных Технологий и Автоматизированных Систем(ЦИРИТАС)[4].

Операционная система – Microsoft Windows.

Язык интерфейса – русский.

* 1. Мыслитель

Мыслитель – простая программа помогающая принимать сложные решения. Программа Мыслительпоможет Вам выбрать один из нескольких альтернативных вариантов действий[5].

Данная программа имеет минимальный набор возможностей. В наличии лишь базовый функционал для применения метода анализа иерархий.

Операционная система – Microsoft Windows.

Язык интерфейса – русский.

* 1. MPRIORITY

|  |
| --- |
| Диалоговая система "MPRIORITY 1.0" (My Priority) предназначена для поддержки принятия решений в различных сферах человеческой деятельности. "MPRIORITY 1.0" может стать незаменимым помощником для руководителей фирм, подразделений, лабораторий, всем, кто желает или вынужден по роду своей деятельности принимать обоснованные рациональные решения[6].  Программная система базируется на зарекомендовавшем себя на практике Методе Анализа Иерархий (МАИ). Основное назначение метода — решение слабоструктурированных задач принятия решений.  В основе МАИ лежат используемые человеком в процессе познания декомпозиция и синтез, с помощью которых создается структура задачи принятия решения (ПР) — иерархия. В вершине иерархии в МАИ располагается основная цель, далее, на уровень ниже — подцели, и, наконец, на самом нижнем уровне — альтернативы, среди которых производится выбор или ранжирование. Для процесса парного взвешивания экспертом элементов иерархии в МАИ используется интуитивно обоснованная качественная шкала.  Систему "MPRIORITY" от своих аналогов отличает диалоговый интерфейс, адаптированный под особенности МАИ и восприятие пользователя. Программа содержит диалоговые средства, позволяющие получать наиболее полную информацию о проведенных попарных сравнениях и устранять возможные несогласованности в матрицах попарных сравнений.  Использование присутствущего в программной системе механизма шаблонов (шаблон — готовая иерархия для одной из задач принятия решений), позволяет пользователю адаптировать программную систему под область своей деятельности. |
| Перечислим примеры задач ПР для которых возможно применение "MPRIORITY": |
| 1) выбор руководителем фирмы будущего делового партнера;  2) рациональное распределение доходов предприятия по отраслям;  3) отбор лучших претендентов на рабочие места фирмы;  4) оценка работы персонала фирмы;  5) выбор программного обеспечения для нужд фирмы;  6) оценка культурных ценностей (картин, скульптур и т.д.);  7) выбор наилучшей стратегии;  8) выбор наилучшей конструкции (варианта) технического изделия;  9) покупка квартиры, дачи, участка, автомобиля;  10) выбор будущего учебного заведения для ребенка;  11) выбор будущего рабочего места.  Операционная система – Microsoft Windows.  Язык интерфейса – русский. |

* 1. Super Decisions

Зарубежное проприетарное программное обеспечение, разрабатываемое Creative Decisions Foundation. В программе реализован метод анализа иерархий, а также набор дополнительных возможностей, таких как экспорт результатов, сохранение истории, визуализация иерархии[7].

Операционная система – Microsoft Windows.

Язык интерфейса – английский.

* 1. MakeItRational

После прохождения тестов будет сформирован отчёт в формате HTML и сохранён в папке с исходным файлом.

Также является зарубежным проприетарным программным обеспечением, разрабатываемым компанией Transparent Choice. Программа вышла относительно недавно и активно развивается. Кроме метода анализа иерархий, в ней присутствует набор дополнительных возможностей, таких как экспорт результатов, сохранение истории, визуализация иерархии[8].

Операционная система – Microsoft Windows.

Язык интерфейса – английский.

* 1. PriEsT

PriEsT(Priority Estimation Tool) ещё один представитель зарубежного программного обеспечения. Имеются версии для десктопных и мобильных платформ. Также присутствуют дополнительные возможности такие как экспорт результатов, хранение истории, визуализация иерархии[9].

Операционная система – Microsoft Windows, Linux, OS X, Android, iOS.

Язык интерфейса – английский.

* 1. Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены шесть программ реализующих метод анализа иерархий. В следующем разделе будет проведено их сравнение.

3 Сравнение программ поддержки принятия решений

1. 1. Постановка критериев сравнения

Оценивать программы будем по определённым критериям, каждый критерий будет оцениваться в некоторое количество баллов. Программа с наибольшим количеством баллов будет лучшей из представленных.

Для сравнения программ зададим критерии:

1. Графический интерфейс пользователя(ГИП), 1 балл – есть, 0 - нет;
2. Русификация – наличие русифицированного интерфейса, 1 балл – есть, 0 - нет;
3. История – возможность хранить исходные данные опросов и их результаты, 1 балл – есть, 0 - нет;
4. Экспорт – возможность экспортирования данных в другие программы, например в форматах .txt, .csv, .xlsx и т.п., 1 балл – есть, 0 - нет;
5. Поддержка – состояние программы, поддерживается ли разработчиком, выпускаются ли новые версии, 1 балл – есть, 0 – нет;
6. Кроссплатформенность – возможность запуска в различных операционных системах. Определимся с основными платформами: десктопные операционные системы(Microsoft Windows, Linux, OS X), мобильные операционные системы(Android, iOS), веб-приложение(для исполнения программы требуется только веб-браузер). Баллы будут распределяться следующим образом: 0 – строгая привязка к одной конкретной операционной системе, 1 – или десктопная или мобильная платформа, 2 – и дескптопная и мобильная платформы, 3 – веб-приложение;
7. Лицензия – соглашение, по которому распространяется программа. На данный момент существует большое количество разнообразных лицензий, однако для нашей задачи выделим три основных группы: открытая(программа распространяется бесплатно и исходные коды открыты), свободная(программа распространяется бесплатно, но исходные коды недоступны), проприетарная(программа распространяется платно, исходные коды недоступные). Баллы будут распределяться следующим образом: 2 – открытая лицензия, 1 – свободная лицензия, 0 - проприетарная;
8. Информация об экспертах – возможность создания и хранения различной информации об экспертах(профили экспертов), 1 балл – есть, 0 – нет.
   1. Сравнительная таблица программ по критериям

Для проведения анализа сделаем сравнительную таблицу, куда занесём все критерии, а также программы, рассмотренные в предыдущем разделе.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Программа    Критерий | СППР «Выбор» | Мыслитель | MPRIORITY | Super Decisions | MakeItRational | PriEsT |
| ГИП | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Русификация | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| История | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Экспорт | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Поддержка | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Кроссплатформенность | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Лицензия | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Информация об экспертах | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Итоговый результат: | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 7 |

Рисунок 1 – Сравнительная таблица возможностей программ

* 1. Выводы по результатам сравнения

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы о соответствии возможностей программ поставленной задаче:

- русифицированный интерфейс присутствует лишь в трёх программах из шести;

- четыре из шести программ являются проприетарными и ни у одной не открыты исходные коды;

- ни одна из программ не позволяет хранить информацию об экспертах;

- лишь одна из программ является кроссплатформенной, остальные имеют строгую привязку к Microsoft Windows.

Таким образом для поставленной цели не подходит ни одна из программ, даже PriEsT, у которой был наивысший балл из всех. Что в свою очередь приводит к необходимости разработки собственной программы для решения поставленной задачи.

4 Постановка задачи на разработку программы поддержки принятия решений

Для достижения поставленной цели необходимо разработать программу в которой будут следующие возможности:

- графический интерфейс пользователя на русском языке;

- хранение информации об объекте сравнения;

- хранение информации об экспертах(профили экспертов);

- проведение опросов экспертов;

- экспорт информации в форматы .txt, .csv, .xlsx;

- формирование отчётов по результатам опросов;

- кроссплатформенность, т.е. программа будет выполнена как веб-приложение.

Это основной функционал и особенности программы.

В качестве дальнейшего потенциала для развития можно выделить следующие пункты:

- замер времени выставления оценок экспертами;

- представление оценок экспертов как нечёткие множества;

- визуализация иерархической структуры;

- создание серверной части приложения, для хранения данных, а также проведения онлайн-опросов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной научно-практической работы были некоторые программы поддержки принятия решений. Проведено сравнение их по заданным критериям. В ходе чего выяснилось, что ни одна из программ полностью не способна решить поставленную задачу.

На основе требований и проведённого анализа была поставлена задача на разработку системы поддержки принятия решений по указанным требованиям.

Таким образом, все цели научно-практической работы успешно достигнуты.

Точки роста перечислить

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Саати Томас Л. Принятие решений при обратных зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. /Науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. Изд. 4-е. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 360 с.

2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: Учебник. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 464 с.: ил.

3. Экспертное оценивание – Википедия – https://ru.wikipedia.org/wiki/ Экспертное\_оценивание – [Электронный ресурс] – Дата обращения 14.11.2016.

4. ЦИРИТАС – http://www.ciritas.ru/product.php?id=10#39 – [Электронный ресурс] – Дата обращения 12.11.2016.

5. Статьи Мыслитель – http://www.softkey.info/reviews/review15623.php – [Электронный ресурс] – Дата обращения 18.11.2017.

6. MPRIORITY 1.0 Анализ Иерархий – http://www.tomakechoice.com/ mpriority.html – [Электронный ресурс] – Дата обращения 18.11.2017.

7. Super Decisions Software – http://www.superdecisions.com/category /features/software/ – [Электронный ресурс] – Дата обращения 18.11.2017.

8. MakeItRational AHP – http://makeitrational.com/analytic-hierarchy-process/ahp-software – [Электронный ресурс] – Дата обращения 18.11.2017.

9. PriEsT AHP – https://sourceforge.net/projects/priority/ – [Электронный ресурс] – Дата обращения 18.11.2017.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Руководство системного программиста

Руководство пользователя

Код программы