

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образова-  
ния  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине

«Компьютерная поддержка принятия решений»

Методические указания к выполнению лабораторных  
работ для студентов направления  
15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и произ-  
водств»

Ставрополь 2023

Целью освоения дисциплины является формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а так же: формирование у студентов системного представления о методах и способах принятия оптимальных решений; раскрытие сущности и обоснование необходимости использования в принятии решений компьютерных технологий; формирования у студентов понимания места данного предмета в структуре учебного плана направления с целью правильного использования полученных знаний для реализации на практике; познакомить студентов с компьютерными системами поддержки принятия управленческих решений, экспертными системами и автоматизированными системами экспертного оценивания.

Основными задачами является:

- обеспечить усвоение студентами практических навыков использования компьютерных средств для реализации различных решений средствами современных информационных технологий;
- изучить теоретические основы информационных технологий, используемых в управлении предприятием;
- изучить современные информационные технологии, применяемые при выработке решений при управлении современным предприятием и организацией или технологическими объектами и процессами;
- получить навыки работы с компьютерными системами поддержки управленческих решений.
- научить действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения;
- научить разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования.

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-8. Способен осуществлять анализ проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения, подготавливать отзывы и заключения по их оценке	ИД-1ОПК-8 Осуществляет анализ проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения.	Осуществляет анализ проектов стандартов, рационализаторских предложения и изобретения в области машиностроения
	ИД-2ОПК-8 Готовит рецензии на проекты стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения	Формирует рецензии на проекты стандартов, готовит рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
	ИД-3ОПК-8 Готовит отзывы и заключения по оценке проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения	Имеет опыт подготовки отзывов и заключений по оценке проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения
ОПК-12. Способен разрабатывать и оптимизировать ал-	ИД-1ОПК-12 Разрабатывает алгоритмы и современные цифровые системы	Демонстрирует знание алгоритмов и современных цифровых систем автома-

<p>горитмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования технологических процессов, создавать программы изготовления деталей и узлов различной сложности на станках с числовым программным управлением, проектировать алгоритмы функционирования гибких производственных систем</p>	<p>автоматизированного проектирования технологических процессов</p>	<p>тизированного проектирования технологических процессов</p>
	<p>ИД-2опк-12 Разрабатывает и оптимизирует алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования технологических процессов; создавать программы изготовления деталей и узлов различной сложности на станках с числовым программным управлением</p>	<p>Разрабатывает алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования технологических процессов. Оптимизирует алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования технологических процессов. Разрабатывает программы изготовления деталей и узлов различной сложности на станках с числовым программным управлением</p>
	<p>ИД-3опк-12 Разрабатывает алгоритмы функционирования гибких производственных систем</p>	<p>Проектирует алгоритмы функционирования гибких производственных систем</p>

## Содержание

Практическое занятие №1. Введение в компьютерную поддержку принятия решений.	5
Лабораторная работа № 1 "Исследование критериев для принятия решений в условиях неопределенности".	11
Практическое занятие №2. Структура КППР.	18
Лабораторная работа № 2 "Исследование критериев с сожалениями".	30
Практическое занятие №3. Общая схема принятия решений.	36
Лабораторная работа № 3 "Исследование критериев для принятия решений в условиях риска".	50
Практическое занятие №4. Классификация КППР.	56
Лабораторная работа № 4 "Синтез многокомпонентных критериев алгоритмом с линейными частными описаниями метода группового учета аргументов".	66
Лабораторная работа № 5 "Синтез многокомпонентных критериев алгоритмом с нелинейными частными описаниями метода группового учета аргументов".	75
Практическое занятие №5. Области применения КППР.	81
Лабораторная работа № 6 "Формализация конфликтных ситуаций с помощью теории игр".	95
Практическое занятие №6. Ситуационные системы.	109
Лабораторная работа № 7 "Решение матричных игр методом последовательного приближения цены игры".	127
Практическое занятие №7. Информационно–аналитические системы как разновидность КППР.	132
Лабораторная работа № 8 "Решение задач принятия решений с использованием векторных критериев".	133

# 1. ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНУЮ ПОДДЕРЖКУ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

## 1.1. Возникновение КППР. Принципы построения КППР.

До середины 60-х годов прошлого века создание больших информационных систем (ИС) было чрезвычайно дорогостоящим, поэтому первые ИС менеджмента (так называемые Management Information Systems – MIS) были созданы в эти годы лишь в достаточно больших компаниях. MIS предназначались для подготовки периодических структурированных отчетов для менеджеров.

В конце 60-х годов появляется новый тип ИС – модель-ориентированные КППР (Model-oriented Decision Support Systems – DSS) или системы управленческих решений (Management Decision Systems – MDS).

В 70-х годах были разработаны критерии проектирования КППР в менеджменте, а также аспекты создания КППР : анализ, проектирование, внедрение, оценка и разработка.

В 1981 г. Bonczek, Holsapple и Whinston создали теоретические основы проектирования КППР. Они выделили четыре необходимых компонента, присущих всем КППР:

1. *Языковая система* (Language System – LS) – КППР может принимать все сообщения;
2. *Система презентаций* (Presentation System – PS) – КППР может выдавать свои сообщения);
3. *Система знаний* (Knowledge System – KS) – все знания КППР сохраняет;
- 4) *Система обработки задач* (Problem-Processing System – PPS) – программный «механизм», который пытается распознать и решить задачу во время работы КППР .

В этом же году R. Sprague и E. Carlson описали, каким образом на практике можно построить КППР . Тогда же была разработана информационная система руководителя (Executive Information System – EIS) – компьютерная система, предназначенная для обеспечения текущей адекватной информации для поддержки принятия управленческих решений менеджером.

Появление в начале 80-х персональных компьютеров позволило автоматизировать ведение учета и обработку данных даже небольшим компаниям, не имеющим высококвалифицированного управленческого и технического персонала. Для этой категории потребителей программного обеспечения были созданы приложения нового, коммерческого типа, интегрирующие несколько разных функций и позволяющие нескольким частям приложения манипулировать единожды введенными данными.

Начиная с 1990-х, разрабатываются так называемые Data Warehouses – хранилища данных.

В 1993 г. Е. Коддом (E.F. Codd) для КППР специального вида был предложен термин OLAP (Online Analytical Processing) – оперативный анализ данных, онлайн-аналитическая обработка данных для поддержки принятия важных решений. Исходные данные для анализа представлены в виде многомерного куба, по которому можно получать нужные разрезы – отчёты. Выполнение операций над данными осуществляется OLAP-машиной. По способу хранения данных различают MOLAP, ROLAP и HOLAP. По месту размещения OLAP-машины различаются OLAP-клиенты и OLAP-серверы. OLAP-клиент производит построение многомерного куба и вычисления на клиентском ПК, а OLAP-сервер получает запрос, вычисляет и хранит агрегатные данные на сервере, выдавая только результаты.

В начале нового тысячелетия была создана КППР на основе Web.

27 октября 2005 года в Москве на Международной конференции «Информационные и телемедицинские технологии в охране здоровья» (ИТТНС 2005), А. Пастухов (Россия) представил КППР нового класса – PSTM (Personal Information Systems of Top Managers). Основным отличием PSTM от существующих КППР является построение системы для конкретного лица, принимающее решение, с предварительной логико-аналитической обработкой информации в автоматическом режиме и выводом информации на один экран.

**Система поддержки принятия решений (КППР)** – комплекс математических и эвристических методов и моделей, объединенных общей методикой формирования альтернатив управленческих решений в организационных системах, определения последствий реализации каждой альтернативы и обоснования выбора наиболее приемлемого управленческого решения.

Задачами КППР является поддержка менеджеров в их работе, особенно в принятии решений. КППР имеет тенденцию совмещать одновременно систему обработки данных и систему поддержки офиса. Они берут много данных из их основной базы данных путем рутинной обработки транзакций и результаты анализа преобразуют в такие данные, которые содержатся в отчетах, подготовленных системой поддержки офиса, например, обработкой текста (текстовый процессор).

**Задача принятия решений** – одна из самых распространенных в любой предметной области. Ее решение сводится к выбору одной или нескольких лучших альтернатив из некоторого набора. Для того чтобы сделать такой выбор, необходимо четко определить цель и критерии (показатели качества), по которым будет проводиться оценка некоторого набора

альтернативных вариантов. Выбор метода решения такой задачи зависит от количества и качества доступной информации. Данные, необходимые для осуществления обоснованного выбора, можно разделить на 4 категории: информация об альтернативных вариантах, информация о критериях выбора, информация о предпочтениях, информация об окружении задач.

## **1.2. Внедрение КППР на предприятиях. Проблемы внедрения КППР**

Сегодня положение дел в области применения КППР обстоит следующим образом:

1. Непрерывно увеличивается объем технологических предложений, требующих высоких инвестиций, и соответственно с усилением зависимости от внешних услуг (например, от поставщиков программного обеспечения). Внутрифирменные ассигнования на нужды информационных технологий (ИТ) растут опережающими темпами по сравнению с другими затратами предприятия.

2. Изменяется роль ИТ в хозяйственной деятельности многих предприятий. При выполнении внутрифирменных процессов функция ИТ перестала быть вспомогательной, превратившись в важнейшую составную часть продукта или производственных мощностей. Хозяйственные риски в настоящее время во многом определяются рисками в данной сфере. Реализация же современных высокопроизводительных организационных проектов (например, "виртуальных организаций" без жесткой привязки производственных участков к определенному месту), требует полного использования потенциала ИТ с помощью телекоммуникационных средств.

Можно выделить шесть заинтересованных групп, от которых зависит принятие решений в сфере ИТ:

- *высшее руководство*, которое должно управлять ИТ как стратегическим потенциалом предприятия;
- *специалисты*, занимающиеся поиском системных решений для оптимизации специальных функциональных задач;
- *менеджеры отдельных хозяйственных подразделений*, которые должны использовать ИТ в силу логики своей хозяйственной деятельности, чтобы удовлетворять запросы клиентов, снижать издержки и т.д.;
- *менеджеры служб бухгалтерско-финансового учета*, если таковые предусмотрены организационной структурой предприятия;
- *поставщики ИТ*, которые должны предлагать услуги в строгом соответствии с проблемными установками своих потребителей;
- *собственное информационно-технологическое подразделение*.

На некоторых предприятиях подобные группы интересов не получают признания. Высшее руководящее звено часто делегирует соответствующие полномочия группе руководителей, следя за выполнением нескольких заданных показателей. Сознательный отказ высшего менеджмента от своих обязанностей приводит к принятию малокомпетентных решений, постановке нереальных плановых задач. Отсутствует также должная мотивация в этой сфере.

**Предприятия решают вопросы внедрения КППР , используя два варианта:**

- Первый заключается в том, что фирма создает внутрифирменный информационно-технологический участок, который предлагает услуги и нефирменному рынку, доказывая тем самым возможность рентабельного использования своих мощностей.

- Чаще предприятия выбирают другой путь, когда большая часть собственного информационно-технологического персонала переводится в распоряжение вновь создаваемых дочерних компаний или совместных со специализированными информационно-технологическими партнерами предприятий, также самостоятельно выступающих на рынке. На материнском предприятии остается небольшая группа сотрудников, на которую возлагаются функции информационного менеджмента.

**Проблемы, возникающие при внедрении КППР :**

- повышение роли высшего менеджмента в управлении информационно-технологическим потенциалом;

- повышение знаний у высшего руководства фирмы в области ИТ, чтобы принимать компетентные решения, в частности в отношении инвестиций;

- более эффективная организация ИТ и использование ее в производстве новых товаров и услуг;

- делегирование функций в сфере ИТ отделам и другим подразделениям.

В связи с ростом значения ИТ в обеспечении успеха руководство должно в настоящее время найти ответы на следующие два вопроса:

1. Во-первых, нужно точно определить, какой вклад должна внести ИТ в процесс производства товаров и услуг. Внимания здесь заслуживают главным образом три аспекта:

- а) ИТ как функция обеспечения производственного процесса, например, в области коммуникаций или автоматизации производства, а также при генерации и передаче управленческих знаний и информации для управления хозяйственными операциями;

- б) ИТ как интегральная составная часть продукта;



в) ИТ как организационный инструмент для создания виртуальных форм предприятия.

2. Во-вторых, кто должен выполнять перечисленные и другие функции. На первый план выдвигается вопрос о координационном механизме для отдельных видов информационно-технологических услуг. Решение может быть найдено в использовании указанных выше специализированных внутрифирменных подразделений и вне фирменных филиалов. Возможно и промежуточное решение в виде создания стратегических альянсов между собственным подразделением и внешними партнерами. В двух последних случаях предприятие теряет прямой контроль над своим информационно-технологическим потенциалом. Следует отметить, что подобные услуги могут быть эффективны только при тесном сотрудничестве с их поставщиками. Общефирменный менеджмент должен искать пути устранения или компенсации слабых мест в своей работе.

### **1.3. Влияние внедрения КППР на управление предприятием**

**Влияние внедрения КППР на управление предприятием состоит в следующем:**

#### **1. Децентрализация и рост информационных потребностей**

Ориентация на максимальное сближение с клиентом потребовала от предприятий перехода к горизонтальным, децентрализованным структурам. Принятие решений в условиях децентрализации привело к резкому росту потребностей в информации относительно процесса производства товаров и услуг. Возникла необходимость в более подробном ознакомлении третьей стороны с состоянием дел в соответствующих хозяйственных областях. Сейчас проблема том, чтобы разработать такую технологию, с помощью которой можно было бы постоянно держать в курсе событий менеджеров и их партнеров, принимающих решения в условиях децентрализации.

#### **2. От обработки данных через информационные системы к управлению знаниями**

Уже давно ИТ применяют не только как средство обработки данных, но и извлечения информации для нужд пользователя. При этом следует продумать вопрос о коммерчески выгодных интерфейсах и сжатию внутрфирменной и внешней информации, а также о трансфере совместно используемых знаний между организационными подразделениями и партнерами по кооперации. Этому способствует широкое привлечение средств телекоммуникаций.

#### **3. Интеграция децентрализованных систем**

Сейчас информация на предприятиях обрабатывается в рамках самых разнообразных систем. Обеспечение их широкой доступности для всех сотрудников (а также внешних партнеров) и облегчение тем самым принятия творческих решений может стать важным фактором успеха для многих предприятий. Вместе с тем объединение по вертикали и горизонтали информационно-технологических систем необходимо высшему менеджменту для управления предприятиями в современных условиях.

#### **4. Прогнозирование путей развития информационных технологий**

Капиталовложения в ИТ сегодня влекут за собой многочисленные последствия. С одной стороны, они открывают определенные перспективы, а с другой – могут лишить предприятие некоторых возможностей в будущем из-за зависимостей, связанных с быстрыми технологическими изменениями. Поэтому решения о капиталовложениях в ИТ не должны приниматься, пока не получен ответ на вопрос, по какому пути пойдет развитие следующего поколения информационных технологий.

#### **5. Психологический фактор**

Естественно, что новая технология повышает производительность, помогает фирме добиться лучших хозяйственных результатов. Наряду с этим менеджеры должны знать о том, как мыслят и как работают люди, использующие новую технологию. Фирмам, которым это удастся лучше, могут надеяться на большую отдачу от средств, вложенных в ИТ.

#### **6. Проблема кооперации и коммуникации**

Изготовители информационной техники должны научиться делать предложения не только в узкоспециальных терминах, но и почувствовать себя на месте менеджера, который с помощью ИТ стремится добиться конкурентных преимуществ. Из-за взаимного непонимания между менеджерами и производителями возникают *проблемы кооперации и коммуникации*, к которым не готовы информационно-технологические отделы. Часто устанавливаются критерии, которые напрямую не связаны с успехом предприятия. Общие цели ставятся (если это имеет место) на крайне ограниченную временную перспективу. Управление реализацией общих проектов организуется очень плохо. Сферы компетенций и ответственности за решение задач распределяются нечетко.

# "ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ"

## 1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы с критериями для принятия решений в условиях неопределенности.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

### 2.1. Математические модели задач принятия решения

Любая математическая модель задачи принятия решения представляет собой формальное описание цели, средств и результатов, а также способа связи средств с результатами. Для формального описания средств и результатов можно задать два множества: множество  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , элементы которого в дальнейшем будем называть альтернативами, и множество  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ , элементы которого будем называть исходами. Альтернативы – это то, что выбирает лицо, принимающее решение (ЛПР), а исходы – то, к чему они приводят.

В задачах принятия решений с конечными множествами  $X$  и  $A$  существует несколько типов зависимости исходов от альтернатив:

1. Простейший тип связи альтернатив с исходами – каждая альтернатива приводит к единственному исходу. В этом случае имеется функциональная зависимость исходов от альтернатив.

2. Второй тип связи предполагает, что каждая альтернатива может привести к одному из нескольких исходов, каждый из которых имеет определенную вероятность появления. В этом случае имеет место стохастическая зависимость исходов от альтернатив.

3. Если каждая альтернатива может привести к одному из нескольких исходов, причем отсутствует даже стохастическая зависимость исходов от альтернатив, то это – третий тип связи альтернатив и исходов.

При этом полученный исход (состояние некоторой конкретной системы) определяется двумя факторами: выбором альтернативы, осуществляемым ЛПР, и состоянием внешней среды. Обозначим множество всех состояний внешней среды через  $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$ . Каждый исход  $a_{ij} \in A$  в силу сказанного есть функция двух аргументов:  $a_{ij} = F(x_i, y_j)$ , где  $x_i$  ( $x_i \in X$ ) – выбранная альтернатива;  $y_j$  ( $y_j \in Y$ ) – состояние внешней среды.

В первом случае говорят, что принятие решения происходит в условиях определенности, во втором – в условиях риска (стохастических условиях) и в третьем – в условиях неопределенности.

Информированность ЛПР о связи альтернатив с исходами может не совпадать с объективно существующей связью. Например, объективно зависимость исходов от альтернатив носит стохастический характер, но ЛПР не знает вероятностей наступления исходов при выборе каждой конкретной альтернативы, поэтому для ЛПР условия принятия решения надо квалифицировать как

условия неопределенности. Таким образом, указанная выше классификация связана с субъектом, принимающим решение.

Наглядно связи между альтернативами и исходами можно представить с помощью функции реализации  $F(x, y)$ . Эта функция сопоставляет каждой паре альтернатива – состояние среды определяемый ею исход. Если множество альтернатив и множество состояний среды конечны, то удобно представлять функцию реализации  $F$  в виде таблицы (табл. 1). Эта таблица для конкретных рассматриваемых задач определяет их все возможные решения, поэтому её часто называют матрицей решений. Эти решения (результаты, исходы) должны допускать количественную оценку, и мы будем для простоты отождествлять эти оценки с соответствующими исходами.

Рассмотрим матрицу решений при различной информированности ЛПР о возможностях появления тех или иных состояний среды.

1. ЛПР знает состояние внешней среды, тогда значение функции реализации зависит только от альтернативы, выбираемой ЛПР, т.е. получаем задачу принятия решения в условиях определенности. В этом случае таблица вырождается в один столбец, соответствующий состоянию среды на рассматриваемый момент времени.

Таблица 1

$F(x, y)$	$y_1$	...	$y_j$	...	$y_m$
$x_1$	$a_{11} = F(x_1, y_1)$	...	$a_{1j} = F(x_1, y_j)$	....	$a_{1m} = F(x_1, y_m)$
...	...	...	...	...	...
$x_i$	$a_{i1} = F(x_i, y_1)$	...	$a_{ij} = F(x_i, y_j)$	...	$a_{im} = F(x_i, y_m)$
...	...	...	...	...	...
$x_n$	$a_{n1} = F(x_n, y_1)$	...	$a_{nj} = F(x_n, y_j)$	...	$a_{nm} = F(x_n, y_m)$

$$q_j \quad \left( \sum_{j=1}^m q_j = 1 \right)$$

2. ЛПР знает вероятности появления каждого состояния  $y_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) внешней среды. В этом случае, если выбрана альтернатива  $x_i$ , то для каждого исхода  $a_k \in A$  можно найти вероятность  $p_k$  его наступления. Для этого нужно отметить в  $i$ -й строке табл. 1 все клетки, где стоит исход  $a_k$ , и просуммировать вероятности соответствующих столбцов. Таким образом, каждой альтернативе соответствует вероятностная мера на множестве исходов, следовательно, получаем задачу принятия решения в условиях риска.

3. ЛПР не располагает никакой дополнительной информацией о появлениях состояний внешней среды, т.е. он знает только табл. 1, следовательно, при выборе альтернативы  $x_i$  он знает лишь о возможности наступления одного из исходов, стоящих в  $i$ -й строке таблицы. Получаемый исход определяется двумя факторами: выбором альтернативы, осуществляемым лицом принимающим решение, и состоянием внешней среды. Принятие решения в этом случае осуществляется в условиях неопределенности.

## 2.2. Классические критерии принятия решений в условиях неопределенности

### 2.2.1. Максиминный критерий

Предположим, что мы не располагаем информацией о вероятностях появления состояний внешней среды. В этом случае основным подходом к принятию решений является введение гипотез о поведении среды. Принятие гипотезы позволяет для каждой альтернативы численно оценить связанные с ней последствия, а значит, и сравнить любые две альтернативы. Рассмотрим одну из важнейших гипотез такого типа, называемую гипотезой антагонизма. Она состоит в предположении, что среда ведёт себя наихудшим образом для ЛПР. После принятия этой гипотезы каждая альтернатива оценивается исходом, имеющим наихудшее числовое значение для этой альтернативы. Если матрица решений для рассматриваемой задачи принятия решений является матрицей выигрышей, то каждая альтернатива оценивается исходом, дающим наименьший выигрыш. Если матрица решений является матрицей проигрышей, то каждая альтернатива оценивается исходом, дающим наибольший проигрыш.

Будем рассматривать случай, когда матрица решений (табл. 1) является матрицей выигрышей и каждая альтернатива  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) оценивается исходом, дающим наименьший выигрыш:  $\min_j a_{ij}$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Лучшей альтернативой является та, у которой минимальный элемент наибольший. Формально это означает, что оптимальной альтернативой является  $i$ -я альтернатива, дающая экстремум выражению

$$K_{\text{мм}} = \max_i \min_j a_{ij}. \quad (1)$$

Такой принцип выбора решения называется принципом максимина, а альтернатива, на которой достигается экстремум в выражении (1) – максиминной. Само выражение (1) называют максиминным критерием.

Значение принципа максимина.

Во-первых, максиминный подход описывает очень распространенный случай поведения, при котором две стороны преследуют противоположные цели и, следовательно, могут рассматриваться как антагонисты.

Во-вторых, число  $\min_j a_{ij}$  представляет собой важную характеристику альтернативы  $x_i$  – является её гарантированным уровнем, т.е. если будет выбрана альтернатива  $x_i$ , то, что бы ни произошло во внешней среде, результат не может быть хуже, чем  $\min_j a_{ij}$ .

В-третьих,  $\max_i \min_j a_{ij}$  – это наибольший из гарантированных уровней. В силу этого принцип максимина называют также "принципом наибольшего гарантированного результата".

В-четвертых, максиминный критерий или максиминная оценка является единственной абсолютно надежной оценкой при принятии решений в условиях неопределенности.

Выбранные с помощью максиминного критерия альтернативы полностью исключают риск. Однако отсутствие риска может стоить больших потерь. Продемонстрируем это на примере следующей матрицы выигрышей (табл. 2).

Таблица 2

	$y_1$	$y_2$	$\min_j a_{ij}$	$\max_i \min_j a_{ij}$
$x_1$	0,9	90,0	0,9	
$x_2$	1,0	1,0	1,0	1,0

Альтернатива  $x_1$ , на первый взгляд, более разумна, однако максиминный критерий выбирает альтернативу  $x_2$ . При этом исключается наименьшее значение  $a_{11} = 0,9$ , реализующееся при состоянии внешней среды  $y_1$ , и гарантируется значение  $a_{21} = 1,0$ . Однако при состоянии внешней среды  $y_2$  теряется выигрыш  $a_{12} = 90$ , вместо которого получают  $a_{22} = 1,0$ , что на два порядка меньше.

Этот пример показывает, что в многочисленных практических ситуациях пессимизм максиминного критерия и отсутствие разумного риска могут оказаться очень невыгодными.

### 2.2.2. Критерий азартного игрока

Другая возможная гипотеза о поведении внешней среды – среда благоприятствует ЛПР. В этом случае каждая альтернатива характеризуется наиболее благоприятным исходом. При использовании матрицы выигрышей каждая альтернатива  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) оценивается исходом, дающим наибольший выигрыш:  $\max_j a_{ij}$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Лучшей альтернативой является та, у которой максимальный элемент наибольший. Формально это означает, что оптимальной альтернативой является  $i$ -я альтернатива, дающая экстремум выражению

$$K_{\text{ан}} = \max_i \max_j a_{ij}. \quad (2)$$

Таким образом, при использовании этого критерия делается ставка на наиболее выгодный случай, т.е. становятся на точку зрения азартного игрока.

### 2.2.3. Нейтральный критерий

Ещё одно возможное предположение о поведении внешней среды – среда нейтральна к ЛПР и, следовательно, все состояния среды появляются с одинаковой вероятностью. В этом случае выгодно выбрать альтернативу, которой соответствует максимальное среднее значение:

$$K_n = \max_i \left( \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \right). \quad (3)$$

Критерий (3) по используемой гипотезе получил название нейтрального критерия.

#### 2.2.4. Критерий Гурвица

В этом критерии предпринята попытка объединить достоинства критерия азартного игрока и максиминного критерия. В результате получен критерий более уравновешенный, чем критерий азартного игрока и менее пессимистичный, чем максиминный критерий:

$$K_{\Gamma} = cK_{mm} + (1-c)K_{ai} = \max_i (c \min_j a_{ij} + (1-c) \max_j a_{ij}), \quad (4)$$

где  $c$  – константа, удовлетворяющая условию  $0 \leq c \leq 1$ . При  $c = 1$  критерий Гурвица превращается в максиминный критерий, а при  $c = 0$  – в критерий азартного игрока. Не существует каких-либо простых рекомендаций по выбору величины константы  $c$ , поэтому в большинстве случаев полагают, что  $c = 0,5$ .

Пример 1. Обладание достоинствами двух критериев не делает критерий Гурвица безошибочным при решении любых задач. В качестве примера, подтверждающего это утверждение, рассмотрим выбор лучшей альтернативы для следующей функции реализации:

Таблица 3

	$y_1$	$y_2$	...	$y_{m-1}$	$y_m$
$x_1$	1000	1	...	1	1
$x_2$	999	999	...	999	0,99

Критерий Гурвица при любом весовом множителе  $c$  в рассматриваемой функции реализации выделяет в качестве лучшей альтернативы  $x_1$ , хотя любое ЛПР со "здоровым смыслом" выбрало бы альтернативу  $x_2$ .

#### 2.2.5. Критерий Гурвица модифицированный

Анализ примера 1 показывает, что неудовлетворительный выбор альтернативы  $x_1$  с помощью критерия Гурвица связан с тем, что в критерии не учи-

тывается среднее значение каждой альтернативы. Для преодоления этого недостатка рассматриваемого критерия предложен модифицированный критерий Гурвица:

$$K_{ГМ} = \max_{i \in I} (c \min_j a_{ij} + (1 - c) \max_j a_{ij}), \quad (5)$$

где  $i \in I$ , если  $K_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \geq K_{зад}$ , т. е. лучшая альтернатива выбирается только из тех альтернатив, у которых среднее арифметическое не хуже заданного значения.

### 2.2.6. Критерий произведений

Критерий произведений  $K_{пр}$  применим только к функциям реализации с положительными элементами. Определяется критерий соотношением

$$K_{пр} = \max_i \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad a_{ij} > 0; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Правило выбора лучшей альтернативы с помощью этого критерия формулируется так:

Матрица решений  $\|a_{ij}\|$  дополняется столбцом, элементами которого являются произведение всех чисел каждой из строк. Выбирается та альтернатива  $x_i$ , в строке которой находится наибольший элемент дополнительного столбца.

Если условие  $a_{ij} > 0$  нарушается, то тогда все элементы функции реализации увеличивают на некоторую константу  $a$  ( $a > |\min_{i,j} a_{ij}|$ ). Константу  $a$  часто определяют соотношением:

$$a = |\min_{i,j} a_{ij}| + 1.$$

## 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Для заданного варианта функции реализации, используя Excel, определите лучшие альтернативы с помощью критериев (1) – (6).

2. Предложите и обоснуйте свой уникальный критерий  $K_{студент}$  для принятия решений в условиях неопределенности.



3. Продемонстрируйте работоспособность Вашего критерия на заданной и предложенной Вами функциях реализации.

4. Исследуйте целесообразность применения критериев  $K_{мм}$ ,  $K_{аи}$ ,  $K_{н}$ ,  $K_{г}$ ,  $K_{пр}$ ,  $K_{студент}$  в условиях неопределенности для матрицы выигрышей путем 10-кратного случайного выбора состояний внешней среды и расчета среднего выигрыша при любых двух неравномерных законах распределения вероятностей появления состояний внешней среды. Ранжируйте критерии по величине среднего выигрыша для каждого из распределений.

5. Исследуйте целесообразность применения критериев  $K_{мм}$ ,  $K_{аи}$ ,  $K_{н}$ ,  $K_{г}$ ,  $K_{пр}$ ,  $K_{студент}$  в условиях, когда все состояния внешней среды появляются с одинаковой вероятностью. Упорядочите указанные критерии по величине среднего выигрыша при  $N$ -кратном случайном выборе состояний внешней среды. Исследуйте влияние величины  $N$  на упорядочение критериев.

6. Оформите отчет по лабораторной работе.

## 2. СТРУКТУРА КППР

### 2.1. Информационная технология поддержки принятия решений

Главной особенностью *информационной технологии поддержки принятия решений* является качественно новый метод организации взаимодействия человека и компьютера. Выработка решения, что является основной целью этой технологии, происходит в результате итерационного процесса (Рис. 1), в котором участвуют:

- система поддержки принятия решений в роли вычислительного звена и объекта управления;
- человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее полученный результат вычислений на компьютере.



Рис. 1. Информационная технология поддержки принятия решений как итерационный процесс

Окончание итерационного процесса происходит по воле человека. В этом случае можно говорить о способности информационной системы совместно с пользователем создавать новую информацию для принятия решений.

Дополнительно к этой особенности информационной технологии поддержки принятия решений можно указать еще ряд ее отличительных характеристик:

- ориентация на решение плохо структурированных задач;
- сочетание традиционных методов доступа и обработки компьютерных данных с возможностями математических моделей и методами решения задач на их основе;
- направленность на непрофессионального пользователя;
- высокая адаптивность, обеспечивающая возможность приспособляться к особенностям имеющегося технического и программного обеспечения, а также требованиям пользователя.

Информационная технология поддержки принятия решений может использоваться на любом уровне управления. Кроме того, решения, принимаемые на различных уровнях управления, часто должны координиро-

ваться. Поэтому важной функцией и систем, и технологий является координация лиц, принимающих решения, как на разных уровнях управления, так и на одном уровне.

В отличие от традиционных технологий есть несколько важных моментов, которые учитываются при создании КППР .

Первый, наверно, самый важный момент заключается в том, что информация, которая нужна для принятия решений – это не просто факты, которые надо выдавать человеку, принимающему решения, а факты, интерпретированные по цели деятельности этого человека. То есть один и тот же факт, разный для людей, имеющих разную целевую деятельность, интерпретируется по-разному. Поэтому в рассматриваемой системе все факты должны интерпретироваться по сферам деятельности.

Второй важный момент состоит в том, что в современных условиях эффективное управление представляет собой ценный ресурс организации, наряду с финансовыми, материальными, человеческими и другими ресурсами. Следовательно, повышение эффективности управленческой деятельности становится одним из направлений совершенствования деятельности предприятия в целом.

Трудности, возникающие при решении задачи автоматизированной поддержки управленческого труда, связаны с его спецификой. Управленческий труд отличается сложностью и многообразием, наличием большого числа форм и видов, многосторонними связями с различными явлениями и процессами. Это, прежде всего, труд творческий и интеллектуальный. На первый взгляд, большая его часть вообще не поддается какой-либо формализации. Поэтому автоматизация управленческой деятельности изначально связывалась только с автоматизацией некоторых вспомогательных, рутинных операций. Но современное состояние информационных компьютерных технологий, совершенствование технической платформы и появление принципиально новых классов программных продуктов привело в наши дни к изменению подходов к автоматизации управления производством.

При создании КППР учитывается ряд принципов:

1. Машина должна вычислять, рассчитывать варианты, а человек принимать решение.

2. Принцип Шоу: система должна быть такой, чтобы с ней мог работать даже неподготовленный пользователь.

3. Принцип "бюрократичности". Этот принцип связан с уменьшением потока информации, который должен доставляться человеку для принятия решения.

4. Принцип объектно-ориентированного моделирования при построении картины предметной области.

5. Принцип динамической структуры.
6. Принцип полноты информационного пространства.
7. Принцип интеграции информационного пространства.
8. Принцип децентрализации информационного хранилища.

Поскольку принципы противоречивы, нужно искать компромисс между каждым из этих принципов.

## 2.2. Основные компоненты КППР

В состав КППР входят компоненты (Рис. 2): источники данных, модель данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из системы управления базой данных (СУБД), системы управления базой моделей (СУБМ) и системы управления интерфейсом между пользователем и компьютером.

### 2.2.1. Источники данных

Рассмотрим источники данных и их особенности.

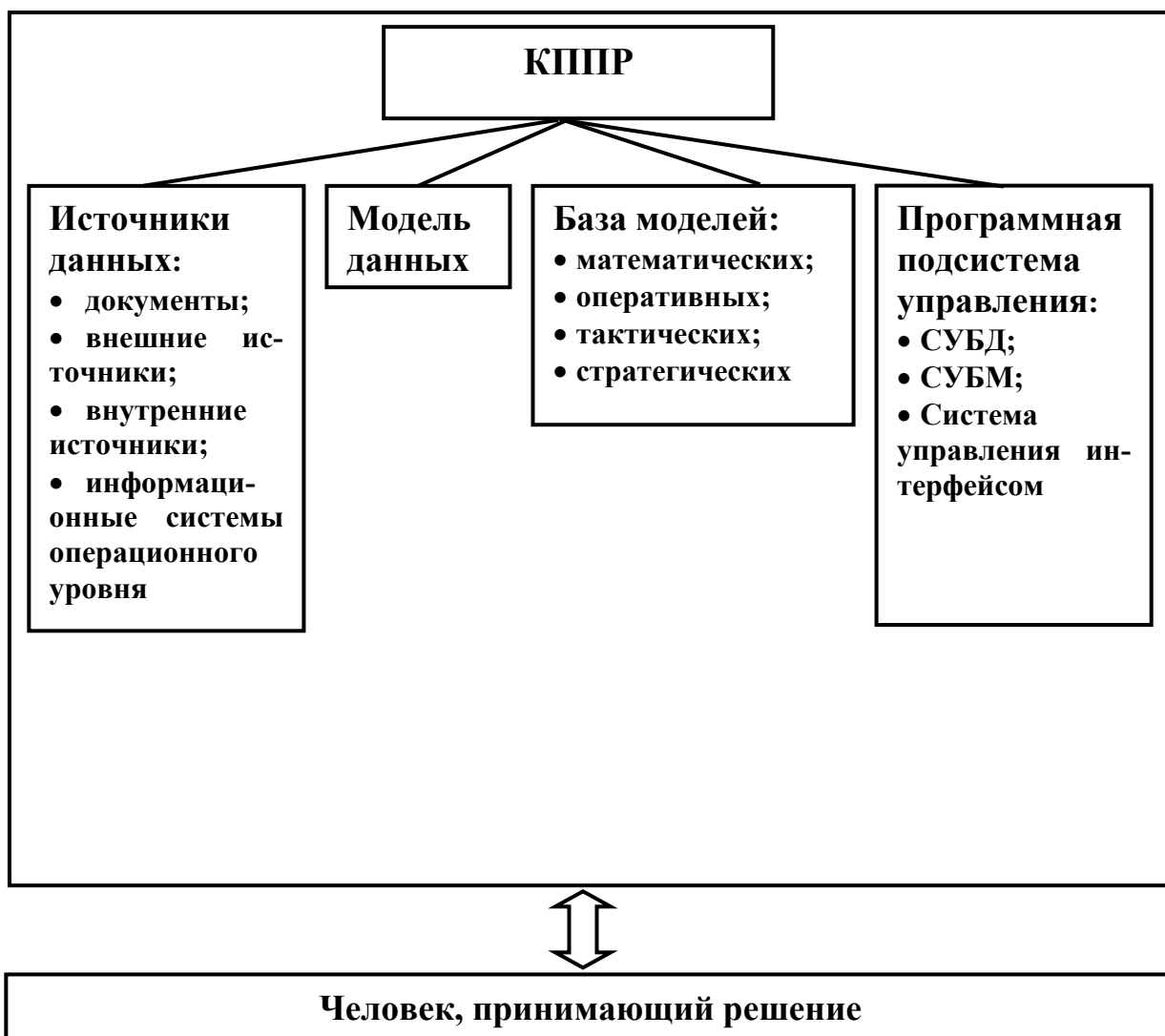


Рис. 2. Структура КППР

1. Часть данных поступает от информационной системы операционного уровня. Чтобы использовать их эффективно, эти данные должны быть предварительно обработаны. Для этого имеются две возможности:

- использовать для обработки данных об операциях фирмы систему управления базой данных, входящую в состав системы поддержки принятия решений;

- сделать обработку за пределами системы поддержки принятия решений, создав для этого специальную базу данных. Этот вариант более предпочтителен для фирм, производящих большое количество коммерческих операций. Обработанные данные об операциях фирмы образуют файлы, которые для повышения надежности и скорости доступа хранятся за пределами системы поддержки принятия решений.

2. Помимо данных об операциях фирмы для функционирования системы поддержки принятия решений требуются и другие внутренние данные, например данные о движении персонала, инженерные данные и т.п., которые должны быть своевременно собраны, введены и поддержаны.

3. Важное значение особенно для поддержки принятия решений на верхних уровнях управления, имеют данные из внешних источников. В числе необходимых внешних данных следует указать данные о конкурентах, национальной и мировой экономике. В отличие от внутренних данных внешние данные обычно приобретаются у специализирующихся на их сборе организаций.

4. В настоящее время широко исследуется вопрос о включении в базу данных еще одного источника данных — документов, включающих в себя записи, письма, контракты, приказы и т.п. Если содержание этих документов будет записано в памяти и затем обработано по некоторым ключевым характеристикам (поставщикам, потребителям, датам, видам услуг и др.), то система получит новый мощный источник информации.

### **2.2.2. Модель данных**

Модель данных современных КППР строится на основе пяти классов данных:

- источников данных;
- хранилища данных (в узком смысле);
- оперативного склада данных;
- витрины данных;
- метаданных.

#### **Хранилище данных**

*Хранилище данных* (в узком смысле) представляет собой предметно-ориентированную базу или совокупность БД, извлекаемых из источников, которые организованы по сегментам, отражающим конкретную предметную область бизнеса: производство, правило, детальные слабо агрегированные данные.

Определение понятия «хранилище данных» первым дал Уильям Инмон – это «предметно-ориентированная, интегрированная, неразрушаемая совокупность данных, предназначенная для поддержки принятия управленческих решений».

Источниками данных хранилища служат оперативные транзакционные системы, которые обслуживают повседневную учетную деятельность компании. Необходимость включения той или иной транзакционной системы в качестве источника определяется бизнес-требованиями к КППР. Исходя из этих же требований, в качестве источников данных, могут быть рассмотрены внешние системы, в том числе и Интернет. Детальные данные из источников могут либо напрямую поступать в хранилище, либо предварительно агрегироваться до требуемого уровня обобщения.

Построение полноценного корпоративного хранилища данных обычно выполняется в трехуровневой архитектуре.

**На первом уровне** расположены разнообразные источники данных – внутренние регистрирующие системы, справочные системы, внешние источники (данные информационных агентств, макроэкономические показатели).

**Второй уровень** содержит центральное хранилище, куда стекается информация от всех источников с первого уровня, и, возможно, оперативный склад данных, который не содержит исторических данных и выполняет две основные функции. Во-первых, он является источником аналитической информации для оперативного управления и, во-вторых, здесь подготавливаются данные для последующей загрузки в центральное хранилище. Под подготовкой данных понимают их преобразование и проведение определенных проверок. Наличие оперативного склада данных просто необходимо при различном регламенте поступления информации из источников.

**Третий уровень** представляет собой набор предметно-ориентированных витрин данных, источником информации для которых является центральное хранилище данных. Именно с витринами данных и работает большинство конечных пользователей.

Хранилище на самом верхнем уровне состоит, как правило, из трех подсистем:

- подсистемы загрузки данных;

- подсистемы обработки запросов и представления данных;
- подсистемы администрирования хранилища.

*Подсистема загрузки данных* – программное обеспечение (ПО), которое в соответствии с определенным регламентом извлекает данные из источников и приводит их к единому формату, определенному для хранилища. Данная подсистема отвечает за формализованную логическую согласованность, качество и интеграцию данных, которые загружаются из источников в оперативный склад данных.

Каждый источник данных требует разработки собственного загрузочного модуля. Каждый модуль должен решать два класса задач:

- начальной загрузки ретроспективных данных;
- регламентного пополнения хранилища данными из источников.

Данная подсистема также по регламенту извлекает детальные данные из оперативного склада, производит их агрегирование, консолидацию, трансформацию и помещает данные в хранилище и витрины данных. Именно в данной подсистеме должны быть определены все бизнес-модели консолидации данных по иерархическим измерениям и вычисления зависимых бизнес-показателей по независимым исходным данным.

*Подсистема обработки запросов и представления данных* – ПО, которое обеспечивает извлечение данных, их аналитическую обработку и представление конечным пользователям. Как правило, можно выделить три типа данного ПО:

1. Программное обеспечение регламентированной отчетности, которое характеризуется заранее predetermined запросами данных и их представлениями бизнес-пользователям. От данного ПО не требуется быстрого времени реакции. Из соображений стоимости эффективности для его реализации в наибольшей степени подходит технология ROLAP.

2. Программное обеспечение нерегламентированных запросов пользователей. Это ПО – основной способ общения бизнес-аналитиков с хранилищем, при котором каждый последующий запрос к данным и вид их представления определяются, как правило, результатами предыдущего запроса. Для приложений данного типа требуется высокая скорость обработки запросов (единицы секунд). Данное ПО реализуется технологией MOLAP и специальными инструментами построения сложных нерегламентированных запросов с интуитивно понятным для бизнес-аналитиков графическим интерфейсом.

3. Программное обеспечение добычи знаний, которое реализует сложные статистические алгоритмы и алгоритмы искусственного интеллекта, предназначенные для поиска скрытых в данных закономерностей,

представления этих закономерностей, представления этих закономерностей в виде моделей и многовариантного прогнозирования по ним развития ситуаций по схеме «Что если ...?».

*Подсистема администрирования хранилища – ПО*, связанное с поддержанием системы и обеспечением ее устойчивой работы и расширения. Можно выделить, по крайней мере, четыре класса задач, расширение которых должна обеспечивать данная подсистема:

К ведению данной подсистемы относятся все задачи,

1. Администрирование данных, которое включает в себя регулярное пополнение данных из источников, если необходимо, ручной ввод, сверка и корректировка данных в оперативном складе. Администрирование данных ведется, как правило, бизнес-пользователями, а ответственность распределяется по предметно-ориентированным сегментам.

2. Администрирование хранилища данных. В задачу администрирования хранилища входят все вопросы, связанные с поддержанием архитектуры хранилища, обеспечением его эффективной и бесперебойной работы, защитой и восстановлением данных после сбоев.

3. Администрирование доступа к данным обеспечивает сопровождение профилей пользователей, разграничение доступа к конфиденциальным данным, защиту информации от несанкционированного доступа.

4. Администрирование метаданных системы.

### **Оперативный склад данных**

*Оперативный склад данных (Operational Data Store- ODS)* – технологический элемент хранения данных в КППР, который служит буфером между транзакционными источниками данных и хранилищем. Данные прежде чем попасть в хранилище должны быть преобразованы в единые форматы, очищены, объединены и синхронизированы. Например, данные, необходимые для поддержки принятия решения, могут существовать в транзакционной системе более короткое время (часы, дни), чем период пополнения данных хранилища (дни, недели). Или семантически однородные данные поступают из транзакционных систем в разное время. В этом случае оперативный склад данных служит аккумулятором данных, поступающих от источников, перед их загрузкой в хранилище. В отличие от хранилища данных информация в складе данных может изменяться со временем в соответствии с изменениями, происходящими в источниках данных.

Оперативный склад данных создается как промежуточный буфер между оперативными системами и хранилищем данных. Эта конструкция, аналогичная конструкции хранилища данных. Идентичность опера-



тивного склада и хранилища данных состоит в их предметной ориентированности и хранении детальных данных. Отличие от хранилища данных состоит в том, что оперативный склад данных:

- имеет изменяемое содержимое,
- содержит только детальные данные,
- содержит текущие значения данных.

*Детальные данные* – это данные из оперативных и внешних систем, не подвергавшиеся операциям обобщения, суммирования, т.е. данные, не изменившие своей семантики. Из оперативных систем и внешних источников данные поступают в оперативный склад, проходя процессы трансформации.

Данные оперативного склада регулярно обновляются. Каждый раз, когда данные изменяются в оперативных системах и внешних источниках, соответствующие им данные из оперативного склада также должны быть изменены. Частота обновления оперативного склада зависит как от частоты обновления источников, так и от регламента загрузки данных в склад.

### **Витрины данных (Data mart)**

*Витрины данных* можно представить в виде логически или физически разделенных подмножеств хранилищ данных. Обычно они строятся для обслуживания нужд определенной группы пользователей.

Источником данных для витрин служат данные хранилища, которые, как правило, агрегируются и консолидируются по различным уровням иерархии. Детальные данные могут также помещаться в витрину или присутствовать в ней в виде ссылок на данные хранилища.

Функционально ориентированные витрины данных представляют собой структуры данных, обеспечивающие решение аналитических задач в конкретной функциональной области или подразделении компании, например управление прибыльностью, анализ рынков, анализ ресурсов и проч. Иногда эти структуры хранения данных называют также киосками данных.

Различные витрины данных содержат разные комбинации и выборки одних и тех же детализированных данных хранилища. Важно, что данные витрины поступают из центрального хранилища данных.

### **Метаданные**

*Метаданные* – это любые данные о данных. Метаданные играют важную роль в построении КППР. Одновременно это один из наиболее слож-

ных и недостаточно практически проработанных объектов. В общем случае можно выделить по крайней мере три аспекта метаданных, которые должны присутствовать в системе.

1. С точки зрения пользователей:

- метаданные для бизнес-аналитиков,
- метаданные для администраторов,
- метаданные для разработчиков.

2. С точки зрения предметных областей:

- структуры данных хранилища,
- модели бизнес-процессов,
- описания пользователей,
- технологические и пр.

3. С точки зрения функциональности системы:

- метаданные о процессах трансформации,
- метаданные по администрированию системы,
- метаданные о приложениях,
- метаданные о представлении данных пользователям.

В общем случае метаданные помещаются в централизованно управляемый *репозиторий*, в который включается информация о структуре данных хранилища, структурах данных, импортируемых из различных источников, о самих источниках, методах загрузки и агрегирования данных, сведения о средствах доступа, а также бизнес-правилах оценки и представления информации.

Присутствие трех перечисленных аспектов метаданных подразумевает, что, например, прикладные пользователи и разработчики системы будут иметь различное видение технологических аспектов трансформации данных из источников: прикладные пользователи – семантику, состав и периодичность пополнения хранилища данными из источника, разработчики – ER-диаграммы, правила трансформации и интерфейс доступа к данным источника.

### **2.2.2. База моделей**

Целью создания моделей являются описание и оптимизация некоторого объекта или процесса. Использование моделей обеспечивает проведение анализа в системах поддержки принятия решений. Модели, базируясь на математической интерпретации проблемы, при помощи определенных алгоритмов способствуют нахождению информации, полезной для принятия правильных решений.

Использование моделей в составе информационных систем началось с применения статистических методов и методов финансового анализа, которые реализовывались командами обычных алгоритмических языков.

Позже были созданы специальные языки, позволяющие моделировать ситуации типа "что будет, если ?" или "как сделать, чтобы?". Такие языки, созданные специально для построения моделей, дают возможность построения моделей определенного типа, обеспечивающих нахождение решения при гибком изменении переменных.

Существует множество типов моделей и способов их классификации, например, по цели использования, области возможных приложений, способу оценки переменных и т. п.

**По цели использования** модели подразделяются:

+ *оптимизационные*, связанные с нахождением точек минимума или максимума некоторых показателей (например, управляющие часто хотят знать, какие их действия ведут к максимизации прибыли или минимизации затрат),

+ *описательные*, описывающие поведение некоторой системы и не предназначенные для целей управления (оптимизации).

**По способу оценки** модели классифицируются:

+ *детерминистские*, использующие оценку переменных одним числом при конкретных значениях исходных данных,

+ *стохастические*, оценивающие переменные несколькими параметрами, так как исходные данные заданы вероятностными характеристиками.

Детерминистские модели более популярны, чем стохастические, потому что они менее дорогие, их легче строить и использовать. К тому же часто с их помощью получается вполне достаточная информация для принятия решения.

**По области возможных приложений** модели разбиваются:

+ *специализированные*, предназначенные для использования только одной системой,

+ *универсальные* – для использования несколькими системами.

Специализированные модели более дорогие, они обычно применяются для описания уникальных систем и обладают большей точностью.

В системах поддержки принятия решения база моделей состоит из стратегических, тактических и оперативных моделей, а также математических моделей в виде совокупности модельных блоков, модулей и процедур, используемых как элементы для их построения.

*Стратегические модели* используются на высших уровнях управления для установления целей организации, объемов ресурсов, необходимых для их достижения, а также политики приобретения и использования этих ресурсов. Они могут быть также полезны при выборе вариантов размещения предприятий, прогнозировании политики конкурентов.

Для стратегических моделей характерны: значительная широта охвата,

множество переменных, представление данных в сжатой агрегированной форме. Часто эти данные базируются на внешних источниках и могут иметь субъективный характер. Горизонт планирования в стратегических моделях, как правило, измеряется в годах. Эти модели обычно детерминистские, описательные, специализированные для использования на одной определенной фирме.

*Тактические модели* применяются управляющими среднего уровня для распределения и контроля использования имеющихся ресурсов. Среди возможных сфер их использования следует указать: финансовое планирование, планирование требований к работникам, планирование увеличения продаж, построение схем компоновки предприятий. Эти модели применимы обычно лишь к отдельным частям фирмы (например, к системе производства и сбыта) и могут также включать в себя агрегированные показатели. Временной горизонт, охватываемый тактическими моделями, — от одного месяца до двух лет. Здесь также могут потребоваться данные из внешних источников, но основное внимание при реализации данных моделей должно быть уделено внутренним данным фирмы. Обычно тактические модели реализуются как детерминистские, оптимизационные и универсальные.

*Оперативные модели* используются на низших уровнях управления для поддержки принятия оперативных решений с горизонтом, измеряемым днями и неделями. Возможные применения этих моделей включают в себя ведение дебиторских счетов и кредитных расчетов, календарное производственное планирование, управление запасами и т.д. Оперативные модели обычно используют для расчетов внутрифирменные данные. Они, как правило, детерминистские, оптимизационные и универсальные (т.е. могут быть использованы в различных организациях).

*Математические модели* состоят из совокупности модельных блоков, модулей и процедур, реализующих математические методы. Сюда могут входить процедуры линейного программирования, статистического анализа временных рядов, регрессионного анализа и т.п. — от простейших процедур до сложных пакетов прикладных программ. Модельные блоки, модули и процедуры могут использоваться как поодиночке, так и комплексно для построения и поддержания моделей.

Система управления базой моделей должна обладать следующими возможностями: создавать новые модели или изменять существующие, поддерживать и обновлять параметры моделей, манипулировать моделями.

### **Система управления интерфейсом**

Эффективность и гибкость информационной технологии во многом зависят от характеристик интерфейса системы поддержки принятия решений. Интерфейс определяет: язык пользователя; язык сообщений компьютера, организующий диалог на экране дисплея; знания пользователя.

*Язык пользователя* – это те действия, которые пользователь производит в отношении системы путем использования возможностей клавиатуры; электронных карандашей, пишущих на экране; джойстика; "мыши"; команд, подаваемых голосом, и т.п. Наиболее простой формой языка пользователя является создание форм входных и выходных документов. Получив входную форму (документ), пользователь заполняет его необходимыми данными и вводит в компьютер. Система поддержки принятия решений производит необходимый анализ и выдает результаты в виде выходного документа установленной формы.

Значительно возросла за последнее время популярность визуального интерфейса. С помощью манипулятора "мышь" пользователь выбирает представленные ему на экране в форме картинок объекты и команды, реализуя таким образом свои действия.

Управление компьютером при помощи человеческого голоса – самая простая и поэтому самая естественная форма языка пользователя. Она еще недостаточно разработана: существующие разработки требуют от пользователя серьезных ограничений: определенного набора слов и выражений; специальной надстройки, учитывающей особенности голоса пользователя; управления в виде дискретных команд, а не в виде обычной гладкой речи. Технология этого подхода интенсивно совершенствуется, и в ближайшем будущем можно ожидать появления систем поддержки принятия решений, использующих речевой ввод информации.

*Язык сообщений* – это то, что пользователь видит на экране дисплея (символы, графика, цвет), данные, полученные на принтере, звуковые выходные сигналы и т.п. Важным измерителем эффективности используемого интерфейса является выбранная форма диалога между пользователем и системой. В настоящее время наиболее распространены следующие формы диалога: запросно-ответный режим, командный режим, режим меню, режим заполнения пропусков в выражениях, предлагаемых компьютером.

Каждая форма в зависимости от типа задачи, особенностей пользователя и принимаемого решения может иметь свои достоинства и недостатки.

Долгое время единственной реализацией языка сообщений был отпечатанный или выведенный на экран дисплея *отчет* или *сообщение*. Теперь появилась новая возможность представления выходных данных – *машинная графика*. Она дает возможность создавать на экране и бумаге цветные

графические изображения в трехмерном виде, значительно повышать наглядность и интерпретируемость выходных данных.

За последние несколько лет стала широко применяться *мультипликация (анимация)*. Мультипликация оказывается особенно эффективной для интерпретации выходных данных систем поддержки принятия решений, связанных с моделированием физических систем и объектов.

В ближайшие годы следует ожидать использования в качестве языка сообщений человеческого голоса.

*Знания пользователя* — это то, что пользователь должен знать, работая с системой. К ним относятся не только план действий, находящийся в голове у пользователя, но и учебники, инструкции, справочные данные, выдаваемые компьютером.

Совершенствование интерфейса КППР определяется успехами в развитии каждого из трех указанных компонентов. Интерфейс должен обладать следующими возможностями:

- манипулировать различными формами диалога, изменяя их в процессе принятия решения по выбору пользователя;
- передавать данные системе различными способами;
- получать данные от различных устройств системы в различном формате;
- гибко поддерживать (оказывать помощь по запросу, подсказывать) знания пользователя.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 "ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ С СОЖАЛЕНИЯМИ"**

### **1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы с критериями с сожалениями для принятия решений в условиях неопределенности.

### **2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

#### **2.1. Критерии с сожалениями для принятия решений в условиях неопределенности**

##### **2.1.1. Критерий Сэвиджа (или критерий минимаксных сожалений)**

Критерий Сэвиджа определяется выражением

$$K_S = \min_i (\max_j (\max_i a_{ij} - a_{ij})). \quad (1)$$

Для понимания этого критерия величины  $d_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$  можно трактовать как дополнительные выигрыши (или как сожаления, что упущены выигрыши). Эти выигрыши были бы получены, если бы при состоянии внешней среды  $u_j$  вместо альтернатив  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) была выбрана альтернатива  $x_k$  ( $k \neq i$ ), для которой справедливо выражение  $a_{kj} = \max_i a_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Величины  $d_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$  можно трактовать и как штрафы, на которые наказывается ЛПР, выбирающее неоптимальные решения. Фактически исходная матрица выигрышей  $\|a_{ij}\|$  соотношением  $d_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$  преобразуется в матрицу  $\|d_{ij}\|$  возможных дополнительных выигрышей или матрицу сожалений, или матрицу штрафов за неправильные решения. При принятии решений в условиях неопределенности и предположении, что среда враждебна, каждая альтернатива с помощью соотношения  $\max_j d_{ij} = \max_j (\max_i a_{ij} - a_{ij})$  характеризуется возможным максимальным штрафом или сожалением. Затем с помощью операции минимума выбирается альтернатива, минимизирующая негативные последствия при любых возможных состояниях внешней среды.

Пример 1. Пусть в процессе эксплуатации ЭВМ обнаружился сбой. Необходимо принять решение о дальнейшем функционировании ЭВМ. Возможны следующие варианты решений:

- x1 – полная проверка ЭВМ;
- x2 – минимальная проверка;
- x3 – отказ от проверки.

При этом ЭВМ может находиться в следующих состояниях:

- y1 – неисправностей нет, сбои были случайны;
- y2 – имеются незначительные неисправности, которые окажут незначительное влияние на дальнейшую эксплуатацию ЭВМ;
- y3 – имеются серьезные неисправности, которые исказят результаты счета и приведут к выходу из строя других блоков.

Результаты потерь в относительных единицах от остановки ЭВМ приведены в табл. 1. Они включают затраты на проверку и устранение неисправностей, а также затраты, связанные с потерями машинного времени из-за остановки машины.

Таблица 1

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\min_j a_{ij}$	$K_{MM}$
$x_1$	-20	-22	-40	-40	-40
$x_2$	-12	-23	-43	-43	
$x_3$	0	-24	-55	-55	

Используя соотношение  $d_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, 3}$ , где  $a_{ij}$  – элементы исходной матрицы (табл. 1), нетрудно определить элементы матрицы  $d_{ij}$  матрицы сожалений (табл. 2), а затем и значение критерия Сэвиджа, который выделяет вторую альтернативу в качестве лучшей.

Таблица 2

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\max_j d_{ij}$	$K_S$
$x_1$	20	0	0	20	
$x_2$	12	1	3	12	12
$x_3$	0	2	15	15	

Выбор альтернативы  $x_2$  при отсутствии неисправностей ЭВМ (т. е. при состоянии среды  $y_1$ ) приводит к потерям в 12 единиц по сравнению с альтернативой  $x_3$ . Если же дополнительные потери будут определяться при  $y_2$  или  $y_3$ , то при выборе альтернативы  $x_2$  по сравнению с альтернативой  $x_1$  они будут составлять соответственно одну и три единицы, а общие потери при этом составят соответственно 23 и 43 единицы.

Таким образом, если максимальный элемент столбца матрицы  $\|a_{ij}\|$  не равен нулю, то критерий Сэвиджа минимизирует дополнительные потери, не учитывая общий уровень потерь. Если во всех столбцах исходной матрицы максимальные потери равны нулю, то выбор лучшей альтернативы с помощью критерия Сэвиджа более или менее объективен. Но если уровень общих потерь велик, как во втором и третьем столбцах матрицы  $\|a_{ij}\|$ , где во втором столбце базовый уровень потерь в 22 раза больше дополнительных потерь при выборе альтернативы  $x_2$ , то применение критерия Сэвиджа может приводить к решениям, противоречащим "здравому смыслу". В рассматриваемом примере (см. табл. 1) при выборе альтернативы  $x_2$  максимальные потери могут составить 43 единицы, в то время как лучшая альтернатива  $x_1$  по максиминному критерию приводит к максимальным потерям только в 40 единиц.

Правило выбора лучшей альтернативы в соответствии с критерием Сэвиджа можно интерпретировать следующим образом. Строится новая матрица –



матрица сожалений  $D = \|d_{ij}\|$ . Элементы  $d_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ ) матрицы сожалений получают как разности  $d_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}$  между максимальным элементом  $j$ -го столбца исходной матрицы  $\|a_{ij}\|$  и элементом  $a_{ij}$ . Матрица сожалений дополняется еще одним столбцом  $\|d_{i(m+1)}\|$ , каждый элемент которого является максимальным элементом соответствующей строки матрицы сожалений. Выбирается та альтернатива  $x_i$ , которой соответствует минимальный элемент дополнительного столбца матрицы сожалений.

### 2.1.2. Нейтральный критерий на сожалениях

В критерии Сэвиджа в неявной форме предполагается, что среда враждебна к ЛПР. Однако среда может быть не только враждебной, но и благоклонной или нейтральной к ЛПР. В случае нейтральной среды имеем критерий который является аналогом нейтрального критерия для матрицы выигрышей.

$$K_{nc} = \min \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\max_i a_{ij} - a_{ij}), \quad (2)$$

### 2.1.3. Критерий субъективно-средних сожалений

Критерий Сэвиджа, минимизируя сожаления или дополнительные потери, не учитывает абсолютную величину элементов исходной матрицы решений  $\|a_{ij}\|$ , а это может приводить к оптимальности в сожалениях и большим общим потерям. В связи с этим был предложен критерий Кссс субъективно-средних сожалений, который, в какой-то мере, устранил недостаток критерия Сэвиджа за счет учета величин сумм элементов в столбцах матрицы  $\|a_{ij}\|$ :

$$K_{ссс} = \min_i \sum_{j=1}^m (\max_i a_{ij} - a_{ij}) p_j, \quad (3)$$

где  $p_j$  – субъективная вероятность состояния внешней среды  $u_j$ . Принимается равной отношению суммы элементов  $j$ -го столбца матрицы  $\|a_{ij}\|$ , к сумме всех элементов матрицы  $\|a_{ij}\|$ :

$$p_j = \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) / \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} \right), j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Пример 2. Выберем с помощью критерия субъективно-средних сожалений лучшую альтернативу для данных примера 1. Для этого вначале рассчитаем субъективные вероятности  $p_j$  по формуле (4), а затем с помощью выражения (3) определим лучшую альтернативу. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\sum_{j=1}^3 d_{ij} p_j$	$K_{\text{ссс}}$
	$p_1 = 0,134$	$p_2 = 0,289$	$p_3 = 0,577$		
$x_1$	20	0	0	2,680	2,680
$x_2$	12	1	3	3,628	
$x_3$	0	2	15	9,233	

Таким образом, учёт величин элементов  $a_{ij}$  исходной матрицы в субъективных вероятностях критерия  $K_{\text{ссс}}$  приводит к выбору иной альтернативы, чем критерий Сэвиджа.

#### 2.1.4. Критерий Хоменюка

В критерии Хоменюка, как и в критерии субъективно-средних сожалений, объективные вероятности о появлениях состояний внешней среды отсутствуют. Для учета влияния появления того или иного состояния среды вводятся субъективные вероятности с помощью матрицы сожалений

$$p_j = \left( \sum_{i=1}^n (\max_i a_{ij} - a_{ij}) \right) / \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\max_i a_{ij} - a_{ij}) \right), j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Сам критерий Хоменюка имеет вид

$$K_X = \max_i \sum_{j=1}^m a_{ij} p_j. \quad (6)$$

Таким образом, критерий Хоменюка, как и критерий субъективно-средних сожалений, в своем выражении использует и элементы матрицы решений  $\|a_{ij}\|$ , и элементы матрицы сожалений  $\|d_{ij}\|$ .

### 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Для заданного варианта функции реализации, используя Excel, определите лучшие альтернативы с помощью критериев (1) – (3), (6).

2. Предложите и обоснуйте свой уникальный критерий с сожалениями  $K_{\text{студент}}$  для принятия решений в условиях неопределенности.

3. Продемонстрируйте работоспособность Вашего критерия на заданной и предложенной Вами функциях реализации.

4. Исследуйте целесообразность применения критериев  $K_S$ ,  $K_{\text{НС}}$ ,  $K_{\text{ССС}}$ ,  $K_X$ ,  $K_{\text{ММ}}$ ,  $K_{\text{аи}}$ ,  $K_{\text{Н}}$ ,  $K_{\text{студент}}$  в условиях неопределенности для матрицы выигрышей путем 10-кратного случайного выбора состояний внешней среды и расчета среднего выигрыша при любых двух неравномерных законах распределения вероятностей появления состояний внешней среды. Упорядочите критерии по величине среднего выигрыша для каждого из распределений.

5. Исследуйте целесообразность применения критериев  $K_S$ ,  $K_{\text{НС}}$ ,  $K_{\text{ССС}}$ ,  $K_X$ ,  $K_{\text{ММ}}$ ,  $K_{\text{аи}}$ ,  $K_{\text{Н}}$ ,  $K_{\text{студент}}$  в условиях, когда все состояния внешней среды появляются с одинаковой вероятностью. Упорядочите указанные критерии по величине среднего выигрыша при N-кратном случайном выборе состояний внешней среды. Исследуйте влияние величины N на упорядочение критериев.

6. Оформите отчет по лабораторной работе.

### **3. ОБЩАЯ СХЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Общая схема процесса принятия решения включает следующие этапы:

#### **3.1. Предварительный анализ проблемы**

На этом этапе определяются:

- ✓ главные цели;
- ✓ уровни рассмотрения, элементы и структура процесса;
- ✓ подсистемы и используемые ими основные ресурсы, критерии качества функционирования подсистем;
- ✓ основные противоречия, узкие места и ограничения.

Основная задача этого этапа заключается в определении целей, которых необходимо достичь в процессе управления. Непосредственное участие в процессе формирования этих целей должен принимать руководитель.

Цели должны быть конкретными и выражаться измеримыми значениями, тем самым задаются показатели, которые будут впоследствии использоваться для выбора варианта управленческого решения и контроля реализации управляющих воздействий.

Под воздействием внутренних или внешних факторов или при получении дополнительной информации цели могут изменяться во времени. Таким образом, при формулировке целей управления важно учитывать как факторы взаимодействия (внутренние и внешние), так и временной аспект.

Для того, чтобы определить уровни рассмотрения, элементы и структуру процесса может быть использован, в частности, подход, предусматривающий декомпозицию главной цели до того уровня детализации, когда для нижнего уровня иерархии целей можно сформулировать критерии, позволяющие адекватно описать степень достижения целей при принятии той или иной альтернативы (Рис. 3).

Например, главная цель фирмы – выбор варианта внедрения КППР с целью повышения рентабельности фирмы.

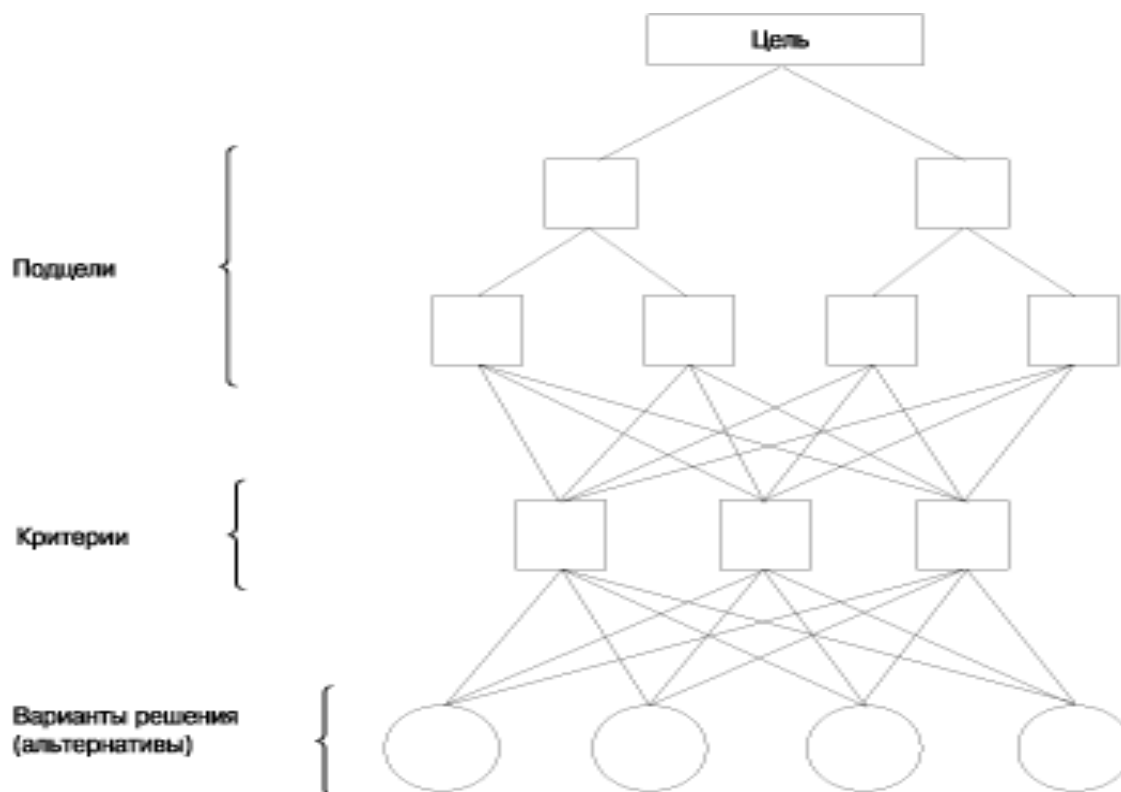


Рис.3. Декомпозиция целей

Критериями оценки вариантов могут выступать, например, затраты на внедрение, способность поддерживать решения, возможность адаптации к другим видам деятельности фирмы, возможность защиты информации, время реакции на запрос, надежность оборудования и пр. Наборы значений этих критериев используются для описания исходов альтернативных вариантов решений (в дальнейшем, «альтернатив»). Для решения таких сложных проблем следует привлекать многих специалистов в разных областях знаний, что при использовании такого подхода весьма затруднительно.

Цели управления должны учитывать всю накопленную объективную и субъективную информацию, а также согласовываться с имеющимися возможностями и ресурсами. В качестве технологий на этом этапе могут использоваться методики SWOT-анализа (strengths and weaknesses, opportunities and threats – достоинства и недостатки, возможности и угрозы), сегментного анализа и т. д.

В случае если поставленные цели не согласуются с имеющимися ресурсами и возможностями, они могут оказаться недостижимыми. Это может выявиться на последующих этапах процесса поддержки принятия решения, что приведет к возврату на первый этап и уточнению и корректировке ранее поставленных целей и показателей.

### 3.2. Постановка задачи

Постановка конкретной задачи принятия решений (ЗПР) включает:

- ✓ формулировку задачи;
- ✓ определение типа задачи;
- ✓ выбор метода решения ЗПР;
- ✓ определение множества альтернатив и основных критериев для выбора из них наилучшей, согласование критериев.

Для решения задач широко применяются следующие методы:

**3.2.1. Генерация решений с помощью аналитических моделей.** К ним относится огромное число алгоритмов численных методов решения систем уравнений, статические методы, методы ситуационного моделирования. Однако проблема моделирования принимаемых решений существует. Есть области, где оно применяется очень успешно, но существуют области, в которых такое моделирование дает приближенные, а в некоторых случаях и просто неверные оценки.

Наиболее известны задачи линейного программирования, в которых максимизируемая функция  $F(X)$  является линейной, а ограничения  $A$  задаются линейными неравенствами.

**Пример.** Цех может производить стулья и столы. На производство стула идет 5 единиц материала, на производство стола – 20 единиц (футов красного дерева). Стул требует 10 человеко-часов, стол – 15. Имеется 400 единиц материала и 450 человеко-часов. Прибыль при производстве стула – 45 долларов США, при производстве стола – 80 долларов США. Сколько надо сделать стульев и столов, чтобы получить максимальную прибыль?

Обозначим:  $X_1$  – число изготовленных стульев,  $X_2$  – число сделанных столов. Задача оптимизации имеет вид:

$$\begin{aligned} 45 X_1 + 80 X_2 &\rightarrow \max, \\ 5 X_1 + 20 X_2 &\leq 400, \\ 10 X_1 + 15 X_2 &\leq 450, \\ X_1 &\geq 0, \\ X_2 &\geq 0. \end{aligned}$$

В первой строке выписана целевая функция – прибыль при выпуске  $X_1$  стульев и  $X_2$  столов. Ее требуется максимизировать, выбирая оптимальные значения переменных  $X_1$  и  $X_2$ . При этом должны быть выполнены ограничения по материалу (вторая строчка) – истрачено не более 400 футов красного дерева. А также и ограничения по труду (третья строчка) – затрачено не более 450 часов. Кроме того, нельзя забывать, что число столов и число стульев неотрицательны.

В четвертой и пятой строчках задачи и констатируется, что переменные неотрицательны.

Условия производственной задачи можно изобразить на координатной плоскости. Будем по горизонтальной оси абсцисс откладывать значения  $X_1$ , а по вертикальной оси ординат – значения  $X_2$ .

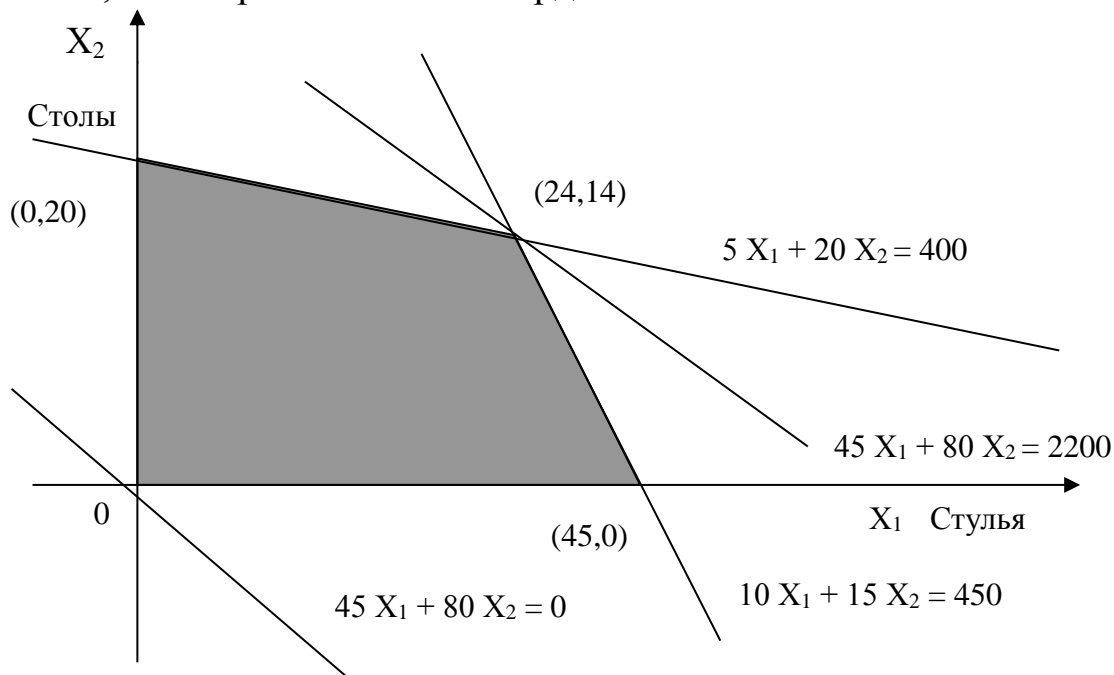


Рис.4. Основная идея линейного программирования

Таким образом, множество возможных значений объемов выпуска стульев и столов  $(X_1, X_2)$  представляет собой выпуклый четырехугольник, показанный на рис.4. Три его вершины очевидны — это  $(0,0)$ ,  $(45,0)$  и  $(0,20)$ . Четвертая — это пересечение двух прямых — границ треугольников на рис.1 и рис.2, т.е. решение системы уравнений

$$\begin{cases} 5X_1 + 20X_2 = 400, \\ 10X_1 + 15X_2 = 450. \end{cases}$$

Из первого уравнения:  $5X_1 = 400 - 20X_2$ ,  $X_1 = 80 - 4X_2$ . Подставляем во второе уравнение:  $10(80 - 4X_2) + 15X_2 = 800 - 40X_2 + 15X_2 = 800 - 25X_2 = 450$ , следовательно,  $25X_2 = 350$ ,  $X_2 = 14$ , откуда  $X_1 = 80 - 4 \times 14 = 80 - 56 = 24$ . Итак, четвертая вершина четырехугольника — это  $(24, 14)$ .

Основная идея линейного программирования состоит в том, что максимум достигается в вершинах многоугольника. Максимум целевой функции, равный 2200, достигается в вершине  $(24,14)$ .

Таким образом, оптимальный выпуск таков: 24 стула и 14 столов. При этом используется весь материал и все трудовые ресурсы, а прибыль равна 2200 долларам США.

### 3.2.2. Генерация решений с помощью экспертных систем

При решении ЗПР часто возникают проблемы, которые по различным причинам не могут быть формализованы и решены с применением разработанного в настоящее время математического аппарата. В этих случаях прибегают к услугам экспертов (системных аналитиков), чей опыт и интуиция помогают уменьшить сложность проблемы.

На работу эксперта оказывают влияние следующие факторы:

- ответственность за использование результатов экспертизы;
- знание того, что привлекаются и другие эксперты;
- наличие информационного контакта между экспертами;
- межличностные отношения экспертов (если между ними есть информационный контакт);
- личная заинтересованность эксперта в результатах оценки;
- личностные качества экспертов (самолюбие, конформизм, воля и др.).

Существуют различные методы математической обработки мнений экспертов. Экспертам предлагают оценить различные альтернативы либо одним, либо системой показателей. Кроме того им предлагают оценить степень важности каждого показателя (его "вес" или "вклад"). Самим экспертам также приписывается уровень компетентности, соответствующий его вкладу в результирующее мнение группы.

Экспертная система, используя знания, полученные от специалистов в данной предметной области, решает те же проблемы, экспертами в которых являются эти специалисты, с применением компьютера.

Необходимо особо подчеркнуть, что существует принципиальное различие в характере использования экспертных методов в экспертных системах и в поддержке принятия решений. Если в первом случае от экспертов требуется формализация способов принятия решений, то во втором, лишь само решение, как таковое.

### **3.2.3. Генерация решений на основе эвристических предпочтений лиц, принимающих решения**

**Использование когнитивных карт.** Процесс генерации решений, основанный на использовании когнитивных карт, можно подразделить на 3 последовательных этапа:

#### **1. Формирование и анализ когнитивной карты**

*Когнитивная карта* (карта познания) – это вид математической модели, представленной в виде графа и позволяющей описывать субъективное восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта, проблемы или функционирования системы. Теория графов предоставляет средства отображения структуры причинно-следственных связей: это *пути, циклы и концепты*.



Элементы изучаемой системы или объекта называются *концептами*. Концепты в графе представляются вершинами, причинно-следственные связи – направленными дугами, связывающими концепты (Рис. 5).

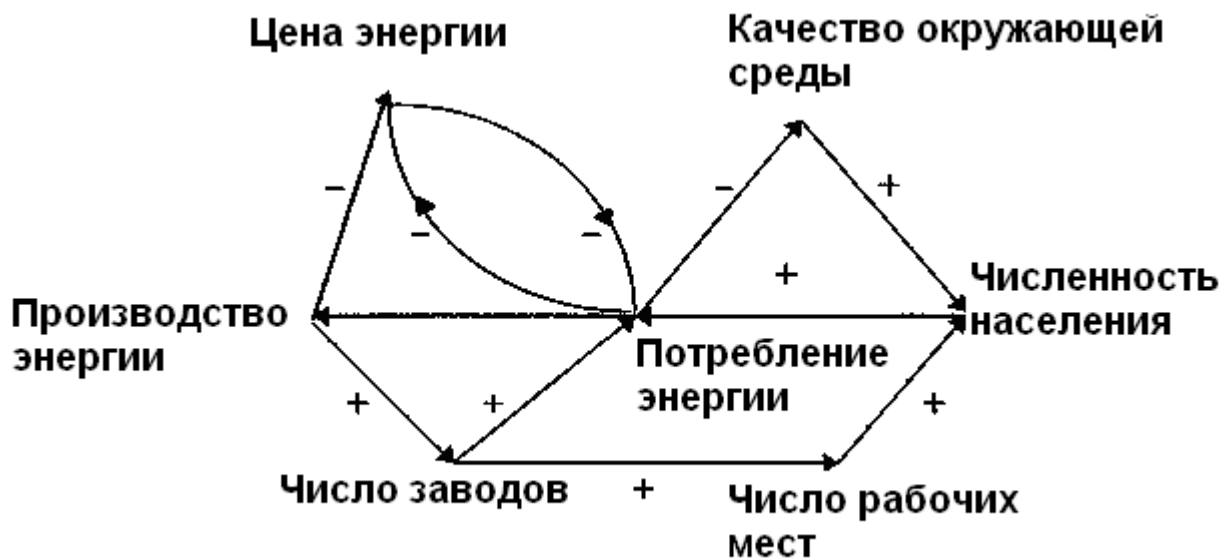


Рис.5. Когнитивная карта

Популярность когнитивных карт объясняется относительной легкостью представления причинных связей (отношений) между концептами и общей структуры изучаемого объекта.

Методы построения когнитивных карт должны отвечать следующим требованиям:

- они должны быть конструктивны и удобны;
- они не должны требовать от составителя когнитивной карты предварительной спецификации концептов;
- они должны быть тесно связаны с методами оценок результатов анализа так, чтобы в процессе принятия решений когнитивная карта могла служить советчиком и даже критиком ЛПР;
- они должны точно отражать представления ЛПР о концептах и отношениях между ними.

Существует несколько методов построения когнитивных карт:

1. На основе знаний и представлений ЛПР без привлечений экспертов и справочных материалов. Эффективность этого метода определяется квалификацией ЛПР.

2. На основе изучения документов. Этот метод имеет два преимущества: он удобен и позволяет использовать данные, которые использует сам ЛПР. Однако изучение документов экспертами - процесс достаточно трудоемкий.

3. На основе опросов группы экспертов. Преимущество этого метода в возможности агрегировать индивидуальные мнения и в базировании на большем диапазоне оценок, чем можно извлечь из изучаемых документов.

4. На открытых выборочных опросах. Этот метод может быть использован для построения сравниваемых когнитивных карт. Его достоинство заключается в предоставлении исследователю возможности вести активный диалог с источниками информации.

На этом этапе определяются основные факторы, влияющие на решение проблемы и их причинно-следственные связи. Систем поддержки принятия решений становится инструментом, облегчающим содержательный анализ этих связей, степень влияния различных факторов друг на друга и на систему в целом помогающим эксперту или ЛПР неформальными методами выработать решение на основе проведенного анализа.

Формирование когнитивной карты может стать также исходными данными для последующих этапов генерации решения.

При анализе когнитивной карты рассматривают отношения причинности, которые могут иметь различные значения: положительное, отрицательное и ноль. При положительном значении тех двух переменных, которые она связывает, изменения происходят в одном направлении (не обязательно со знаком плюс).

Поясним это часто используемым примером (см. рис. 5). Увеличение числа заводов вызывает рост потребления энергии, оно также значит, что сокращение числа заводов должно привести к уменьшению потребления энергии.

При отрицательном значении отношения причинности увеличение значения одной из переменных, связанных этим отношением, вызывает уменьшение значения другой (и наоборот), т.е. их изменения происходят в противоположных направлениях. Так, увеличение цены на энергию приводит к сокращению ее потребления и, соответственно, уменьшение цены – к увеличению потребления энергии. Нулевое отношение причинности показывает, что связи между двумя концептами нет.

**Вывод:** увеличение цены на энергию приводит к улучшению качества окружающей среды.

В случае применения когнитивной карты как средства поддержки принятия решения возникают три проблемы:

1. Проблема оценки решений. Если в когнитивной карте есть несколько переменных (концептов), определяющих различные варианты решений, естественно встает вопрос: какие переменные (т.е. решения) должны быть приняты и какие отброшены?

Естественно принять те решения, которые дают лучший положительный эффект и отбросить дающие отрицательный эффект.

2. Проблема предвидения последствий принятия решения:

а) Если значение некоторых переменных будет увеличено, а некоторых уменьшено, что произойдет со значением остальных переменных.

б) Каковы будут последствия изменения знака у одной из переменных?

с) Каковы будут последствия, если исключить некоторые переменные и ввести другие?

3. Объяснение результатов и принятие решения. Применение когнитивных карт, как правило, требует для принятия решения дополнительного анализа и интерпретации.

## **2. Создание базы знаний экспертной системы**

После того, как на основе когнитивного анализа выработаны предложения или приняты решения о выполнении определенного набора действий (операций), в базу данных экспертной системы (или нескольких экспертных систем) записываются условия, при которых могут быть выполнены эти действия и детали и выполнения в соответствии с создавшимися условиями. На основе этой информации, записанной в базе знаний, экспертная система в соответствии с конкретной обстановкой, генерирует решение о порядке выполнения операций (действий).

## **3. Сценарий – последовательность действий, предпринимаемых для достижения цели**

КППР рассматривая набор операций, полученный в результате когнитивного анализа или сформированных в экспертной системе как исходные данные, система поддержки принятия решений формирует возможные сценарии – последовательности выполнения таких операций (действий). Сценарии могут различаться не только последовательностью действий, но и составом.

Сценарий может быть создан и без формального выполнения двух ранее указанных этапов.

При создании КППР для различных приложений могут быть использованы либо один из этапов генерации решений, либо их различные комбинации

Генерацию возможных альтернатив решений можно реализовать следующими формальными методами:

- используя экспертные системы;
- путем комбинации различных операций, задаваемых экспертами или взятых из базы данных.

Экспертная система использует эвристические знания, получаемые от специалистов в данной предметной области. Для всех наиболее успешных применений экспертных систем характерна, по крайней мере, одна общая черта – они работают в одной ограниченной предметной области знаний.

Попытки расширить предметную область, даже в пределах одной области знаний (например, в медицине), в подавляющем большинстве случаев успеха не давали.

При возникновении нестандартной ситуации предлагается набор возможных действий (операций). Если такой набор не предусматривается заранее, он может быть создан экспертом. Лицо, принимающее решение, или эксперт должен указать возможную последовательность выполнения операций, а также отметить, какие операции могут выполняться параллельно. Эта информация хранится в базе данных вместе со списком операций. На основании этих данных, а также времени выполнения каждой операции могут порождаться возможные последовательности операций (варианты сценариев). Таким образом, порождаются все возможные сценарии, и в дальнейшем возникает задача выбора наилучшего.

Оценка возможных вариантов решений необходима для всех типов задач и типов систем. Она предшествует окончательному выбору решения. Для анализа альтернатив могут использоваться различные методы:

- традиционные (однокритериальные или балльные);
- многокритериальные;
- методы нечеткой логики.

### **3.2.4. Оценка вариантов решения по заданным критериям:**

**1. Традиционные методы оценки возможных решений.** В некоторых случаях можно дать оценку каждого варианта решения, например, в баллах. Однако очень часто однозначно оценить предложенные варианты не удается.

**2. Многокритериальные оценки.** Оценка варианта решения (сценария, программы) по многим критериям означает, что имеется более чем один показатель качества принимаемого решения и невозможно свести эти показатели естественным образом к одному. В данном случае могут применяться методы, основанные на различных принципах, например:

**1. Принцип свертки критериев.** Применяется при "оптимизации" многих критериев одним координирующим центром (задача многокритериальной оптимизации). Для каждого из критериев (целевых функций)  $f_1(x), \dots, f_n(x)$  экспертным путем назначаются "веса" (числа)

$$\alpha_1, \dots, \alpha_n : \quad \alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1;$$

причем  $\alpha_i$  показывает "важность или значимость" критерия  $f_i$ . Далее решение  $x^*$  из множества допустимых решений  $X$  выбирается так, чтобы максимизировать (или минимизировать) свертку критериев:

$$\max_{x \in X} \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(x^*)$$

**2. Принцип минимакса.** Применяется при столкновении интересов противоборствующих сторон (антагонистический конфликт). Каждое ЛПР сначала для каждой своей стратегии (альтернативы) вычисляет "гарантированный" результат, затем окончательно выбирает ту стратегию, для которой этот результат наибольший по сравнению с другими его стратегиями. Такое действие не дает ЛПР "максимального выигрыша", однако является единственно разумным принципом оптимальности в условиях антагонистического конфликта. В частности, исключен всякий риск.

**3. Принцип равновесия по Нэшу.** Это обобщение принципа минимакса, когда во взаимодействии участвуют много сторон, преследующий каждый свою цель (прямого противостояния нет). Пусть число ЛПР (участников неантагонистического конфликта) есть  $n$ . Набор выбранных стратегий (ситуация)  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  называется равновесным, если одностороннее отклонение любого ЛПР от этой ситуации может привести разве лишь к уменьшению его же "выигрыша". В ситуации равновесия по Нэшу участники не получают максимального "выигрыша", но они вынуждены придерживаться ее.

**4. Принцип оптимальности по Парето.** Данный принцип предполагает в качестве оптимальных те ситуации (наборы стратегий  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ), в которых улучшение "выигрыша" отдельного участника невозможно без ухудшения "выигрышей" остальных участников. Этот принцип предъявляет более слабые требования к понятию оптимальности, чем принцип равновесия по Нэшу. Поэтому Парето-оптимальные ситуации существуют почти всегда.

**3.2.5. Использование нечеткой логики для оценки возможных решений.** Необходимость применения нечеткой логики вызвана тем, что по мере роста сложности систем постоянно падает наша способность делать точные и в то же время значащие утверждения относительно их поведения, пока не будет достигнут порог, за которым точность и значимость становятся почти взаимоисключающими характеристиками.

После того как процедура оценки вариантов решений проведена, возможны три варианта:

- переход к согласованию критериев (если не удалось ранжировать варианты);
- переход к анализу последствий принятия решений (если предложенные варианты удовлетворяют экспертов или лиц, принимающих решения);

- если не найдено ни одного удовлетворительного решения, то производится уточнение постановки задачи, выявление дополнительных ресурсов, согласование целей с имеющимися ресурсами, ограничениями и т. д.

### **3.2.6. Согласование критериев оценки**

Для того чтобы процедура согласования реализовывалась эффективно, необходимо применять какие-то правила, по которым следует осуществлять поиск компромисса в случаях, когда оценки вариантов различаются. Эти правила можно разделить на две категории:

- "переговорные" – без использования вычислительной техники;
- человеко-машинные – опирающиеся на компьютерные процедуры.

Компьютерные процедуры, применяемые на практике для согласования критериев:

**1. Метод идеальной точки.** Точка называется идеальной, если она оптимальна сразу по всем критериям. Как правило, такой точки на практике не существует. Правилom поиска компромисса может быть минимизация расстояния до идеальной точки, что влечет за собой необходимость выработки правила определения этого расстояния.

**2. Метод уступок.** Сущность метода – нахождение компромисса, определяющего "плату" за потерю показателей по какому-либо критерию или части критериев за счет выигрыша по другому критерию или другим критериям.

**3. Метод согласования решения по главному критерию.** В некоторых случаях задачу с несколькими показателями качества удается свести к задаче с одним-единственным показателем. Этот показатель стремятся обратить в экстремум, а по остальным показателям вводят ограничения. Тогда проблема согласования сводится к нахождению компромисса по главному критерию и согласованию ограничений для всех остальных критериев.

**4. Метод согласования решения при лексикографическом упорядочении.** В тех случаях, когда может быть определена важность критериев, упорядочение можно проводить сначала по самому важному критерию, а если по этому критерию равными окажутся несколько вариантов, то проводится упорядочение по следующему по важности критерию и т. д.

**5. Метод согласования по функции или отношению предпочтения (полезности).** Формируется функция, отражающая предпочтение эксперта или лица, принимающего решение. Вычисляются значения функции предпочтения для альтернатив решения. В дальнейшем альтернативы ранжируются по значениям функции предпочтения.

### **3.3. Получение исходных данных**

При этом решаются следующие задачи:

- сбор и постоянное обновление информации о параметрах внешней среды и состоянии организации;
- хранение полученной информации, обеспечивающее возможность анализа предыстории;
- передача получаемой или хранимой информации для анализа и обработки;
- представление получаемой или хранимой информации в виде, удобном для обработки.

На этом этапе задача руководителя сводится к контролю полноты, актуальности и адекватности собираемой информации.

Большинство существующих в настоящее время систем сбора, хранения, передачи и представления информации базируется на двух технологиях – это телекоммуникации и базы данных.

*Системы оперативной обработки транзакций* (online transaction processing – OLTP) позволяют накапливать большие объемы данных, ежедневно поступающих, например, из пунктов продаж. Приложения OLTP, как правило, автоматизируют структурированные, повторяющиеся задачи обработки данных, такие как ввод заказов и банковские транзакции. Эти подробные, актуальные данные из различных независимых точек ввода объединяются в одном месте, и затем аналитики смогут извлечь из них значимую информацию. Агрегированные данные применяются для принятия каждодневных бизнес-решений.

### **3.4. Решение ЗПР**

На этом этапе производится математическая обработка исходной информации, ее уточнение и модификация в случае необходимости.

#### **3.4.1. Классификация задач принятия решений**

Задачи принятия решений можно разделить на *статические* и *динамические*. К статическим относятся задачи, которые не требуют многократного решения через короткие интервалы времени. К динамическим относятся ЗПР, которые возникают достаточно часто. Следовательно, итерационный характер процесса принятия решений можно считать закономерным, что подтверждает необходимость создания и использования эффективных систем компьютерной поддержки.

ЗПР отличаются большим многообразием, классифицировать их можно по различным признакам, характеризующим количество и качество доступной информации. В общем случае ЗПР можно представить следующим набором информации:

$\langle T, A, K, X, F, G, D \rangle$ ,

где  $T$  – постановка задачи (например, выбрать лучшую альтернативу или упорядочить весь набор);

$A$  – множество допустимых альтернативных вариантов;

$K$  – множество критериев выбора,  $X$  – множество методов измерения предпочтений (например, использование различных шкал);

$F$  – отображение множества допустимых альтернатив в множество критериальных оценок (исходы);

$G$  – система предпочтений эксперта;

$D$  – решающее правило.

Рассмотрим традиционные классификации:

1. **По виду отображения  $F$ .** Отображение может иметь детерминированный характер, вероятностный или неопределенный вид, в соответствии с которым задачи принятия решений можно разделить на задачи в условиях риска и в условиях неопределенности.

2. **Мощность множества  $K$ .** Множество критериев выбора может содержать один критерий или несколько. В соответствии с этим ЗПР можно разделить на задачи со скалярным критерием и задачи с векторным критерием (многокритериальное принятие решений)

3. **Тип системы  $G$ .** Предпочтения могут формироваться одним лицом или коллективом, в зависимости от этого ЗПР можно классифицировать на задачи индивидуального принятия решений и задачи коллективного принятия решений.

**Задачи принятия решений в условиях определенности.** К этому классу задач относятся задачи, для решения которых имеется достаточная и достоверная количественная информация. В этом случае применяются методы математического программирования, суть которых состоит в нахождении оптимальных решений на базе математической модели реального объекта. Основные условия применимости методов математического программирования следующие:

1. Задача хорошо формализована, то есть имеется адекватная математическая модель реального объекта.

2. Существует некоторая единственная целевая функция (критерий оптимизации), позволяющая судить о качестве рассматриваемых альтернативных вариантов.

3. Имеется возможность количественной оценки значений целевой функции.



4. Задача имеет определенные степени свободы (ресурсы оптимизации), то есть некоторые параметры функционирования системы, которые можно произвольно изменять в некоторых пределах для улучшения значений целевой функции.

**Задачи в условиях риска.** В тех случаях, когда возможные исходы можно описать с помощью некоторого вероятностного распределения, получаем ЗПР в условиях риска. Для построения распределения вероятностей необходимо либо иметь в распоряжении статистические данные, либо привлекать знания экспертов. Обычно для решения задач этого типа применяются методы теории одномерной или многомерной полезности. Эти задачи занимают промежуточное положение между задачами принятия решений в условиях неопределенности и определенности.

**Задачи в условиях неопределенности.** Эти задачи имеют место, когда информация, необходимая для принятия решений, является неточной, неполной, неколичественной, а формальные модели исследуемой системы слишком сложны, либо отсутствуют. В таких случаях для решения задачи обычно привлекаются знания экспертов. В отличие от подхода, принятого в экспертных системах, для решения ЗПР знания экспертов обычно выражены в виде некоторых количественных данных, называемых предпочтениями.

Обработка информации может оказаться достаточно трудоемкой, при этом может возникнуть необходимость совершения нескольких итераций и желание применить различные методы для решения задачи. Поэтому именно на этом этапе возникает потребность в компьютерной поддержке процесса принятия решения.

### **Анализ и интерпретация полученных результатов**

Полученные результаты могут оказаться неудовлетворительными и потребовать изменений в постановке ЗПР. В этом случае необходимо будет пройти заново весь путь. Решение ЗПР может занимать достаточно длительный промежуток времени, в течение которого окружение задачи может измениться и потребовать корректировок в постановке задачи, а также в исходных данных.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**  
**"ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**  
**В УСЛОВИЯХ РИСКА"**

**1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы с критериями для принятия решений в условиях риска.

**2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

**2.1. Принятие решений в условиях риска**

Математическая модель задачи принятия решения представляет собой формальное описание цели, средств, результатов, а также способа связи средств и результатов. Для формального описания средств и результатов задают множество  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  альтернатив и множество  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  исходов. Альтернативы – это то, что выбирает лицо, принимающее решение (ЛПР), а исходы – то, к чему они приводят.

В задачах принятия решений с конечными множествами  $X$  и  $A$  существует несколько типов зависимости исходов от альтернатив. В данной лабораторной работе рассматривается тип связи, который предполагает, что каждая альтернатива может привести к одному из нескольких исходов, каждый из которых имеет определенную вероятность появления. Эта вероятность определяется двумя факторами: выбором альтернативы, осуществляемым ЛПР, и состоянием внешней среды. Обозначим множество всех состояний внешней среды через  $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$ , тогда каждый исход  $a_{ij} \in A$  в силу сказанного есть функция двух аргументов:  $a_{ij} = F(x_i, y_j)$ , где  $x_i$  ( $x_i \in X$ ) – выбранная альтернатива;  $y_j$  ( $y_j \in Y$ ) – состояние внешней среды.

Функцию  $F(x, y)$  называют функцией реализации. Если множество альтернатив и множество состояний среды конечны, то удобно представлять функцию реализации  $F$  в виде таблицы (табл. 1). Эта таблица для конкретных рассматриваемых задач определяет все их возможные решения, поэтому её часто называют матрицей решений. Эти решения (исходы) должны допускать количественную оценку, и мы будем для простоты отождествлять эти количественные оценки с соответствующими исходами.

Рассмотрим матрицу решений для ситуаций, когда ЛПР знает вероятности  $q_j$  ( $\sum_{j=1}^m q_j = 1$ ) появления каждого состояния  $y_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) внешней среды. В этом случае, если выбрана альтернатива  $x_i$ , то для каждого исхода  $a_k \in A$  можно найти вероятность  $p_k$  его наступления. Для этого нужно отметить в  $i$ -й строке табл. 1 все клетки, где стоит исход  $a_k$ , и просуммировать вероятности соответ-

ствующих столбцов. Таким образом, каждой альтернативе соответствует вероятностная мера на множестве исходов; следовательно, получаем задачу принятия решения в стохастических условиях или в условиях риска.

Таблица 1

$F(x, y)$	$y_1$	...	$y_j$	...	$y_m$
$x_1$	$a_{11} = F(x_1, y_1)$	...	$a_{1j} = F(x_1, y_j)$	...	$a_{1m} = F(x_1, y_m)$
...	...	...	...	...	...
$x_i$	$a_{i1} = F(x_i, y_1)$	...	$a_{ij} = F(x_i, y_j)$	...	$a_{im} = F(x_i, y_m)$
...	...	...	...	...	...
$x_n$	$a_{n1} = F(x_n, y_1)$	...	$a_{nj} = F(x_n, y_j)$	...	$a_{nm} = F(x_n, y_m)$

## 2.2. Классические критерии принятия решений в условиях риска

### 2.2.1. Критерий Байеса – Лапласа

Критерий Байеса – Лапласа можно рассматривать как обобщение нейтрального критерия, который используется для принятия решений в условиях неопределенности в предположении, что среда нейтральна к ЛПР и, следовательно, все её состояния появляются с одинаковой вероятностью. В таких случаях целесообразно выбирать альтернативы, которым соответствует максимальное среднее значение:

$$K_H = \max_i \left( \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \right). \quad (1)$$

Если каждое состояние  $y_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) внешней среды появляется со своей вероятностью  $q_j$ , то среднее значение, соответствующее каждой альтернативе, необходимо вычислять с учетом этих вероятностей с помощью выражения для математического ожидания. В результате этого обобщения и получается соотношение для критерия Байеса – Лапласа:

$$K_{BL} = \max_i \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} q_j \right), \quad \sum_{j=1}^m q_j = 1. \quad (2)$$

Применение критерия Байеса – Лапласа предполагает выполнение следующих условий:

- точное знание вероятностей появления состояний внешней среды;

- независимости вероятностей появления состояний внешней среды от времени;
- реализацию решений (по крайней мере, теоретически) бесконечное число раз.

При выполнении этих условий критерий Байеса – Лапласа является абсолютно надежным критерием, исключаящим какой-либо риск. Нарушение указанных условий делает критерий Байеса – Лапласа рискованным.

### 2.2.2. Критерий Ходжа – Лемана

Критерий Байеса – Лапласа дает более оптимистичные прогнозы, чем максиминный критерий, однако он предполагает и более высокий уровень информированности, и многократные реализации.

Критерий Байеса – Лапласа надежен только тогда, когда точно известны вероятности появления состояний внешней среды, однако на практике точные цифры, как правило, отсутствуют. Это ослабляет доверие к критерию и заставляет обращаться к более надежному максиминному критерию, который гарантирует определенный минимум. Этот гарантированный минимум можно попытаться увеличить за счет использования взвешенной линейной комбинации рассматриваемых критериев:

$$K_{HL} = cK_{BL} + (1 - c)K_{MM} = \max_i \left( c \sum_{j=1}^m a_{ij} q_j + (1 - c) \min_j a_{ij} \right). \quad (3)$$

С помощью параметра  $c$  ( $0 \leq c \leq 1$ ), с одной стороны, выражается степень доверия к используемому распределению вероятности, а с другой – степень нежелательности появления очень малых значений. Если степень доверия велика и число реализаций принятого решения значительно, то акцентируется критерий KBL, в противном случае предпочтение отдается максиминному критерию. Поскольку числовая оценка степени доверия к используемому распределению вероятности и степени нежелательности появления малых значений обычно затруднена, то выбор параметра  $c$ , как правило, субъективен. Во многих случаях полагают, что  $c = 0,5$ . При  $c = 1$  критерий KHL переходит в критерий Байеса – Лапласа, а при  $c = 0$  превращается в максиминный критерий.

### 2.2.3. Критерий минимума дисперсии оценочного функционала

Критерий Ходжа – Лемана с помощью максиминного критерия в какой-то мере ограничивает появление отдельных решений с недопустимо малыми значениями даже при больших средних значениях, получаемых по критерию Байеса – Лапласа. Еще один способ ограничения малых значений – это ограничения

через величину дисперсии относительно среднего значения, получаемого с помощью критерия Байеса – Лапласа. Поскольку дисперсия  $D_i$   $i$ -й строки матрицы решений характеризует рассеивание элементов этой строки относительно её среднего значения, то чем меньше величина дисперсии, тем меньше вероятность наличия в строке и появления в качестве решений малых элементов  $a_{ij}$ .

Критерий минимума дисперсии оценочного функционала имеет вид

$$K_{MD} = \min_i D_i = \min_i \left( \sum_{j=1}^m \left( a_{ij} - \sum_{j=1}^m a_{ij} q_j \right)^2 q_j \right). \quad (4)$$

где  $q_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) – вероятности появления состояний внешней среды.

Критерий (4) в большинстве случаев применяется только как вспомогательный критерий, поскольку соотношение  $D_i < D_k$  может выполняться при условии

$$\sum_{j=1}^m a_{kj} q_j \gg \sum_{j=1}^m a_{ij} q_j.$$

Как вспомогательный критерий может применяться, например, к тем альтернативам, значения критерия Байеса – Лапласа которых больше некоторого наперед заданного значения, или к альтернативам, имеющим одинаковые или близкие значения критерия Байеса – Лапласа.

Известны модификации критерия, учитывающие разброс значений не относительно среднего, а относительно наибольшего значения, относительно наиболее вероятного значения.

#### 2.2.4. Критерий Гермейера

Критерий Гермейера определяется соотношением

$$K_{Гер} = \max_i \min_j a_{ij} q_j, \quad \sum_{j=1}^m q_j = 1. \quad (5)$$

В известном отношении критерий Гермейера является обобщением максиминного критерия. В случае равномерного распределения, когда  $q_j = 1/m$  ( $j = \overline{1, m}$ ) они становятся идентичными.

Критерий является надежным только в случае, когда точно известны вероятности появления состояний внешней среды и решение реализуется большое число раз. В противном случае использование критерия Гермейера может приводить к неоправданно большому риску.

#### 2.2.5. Критерий субъективно-средних сожалений и критерий Хомеюка

Имеются критерии, которые по форме совпадают с критерием Байеса – Лапласа, однако они используют не объективные, а субъективные вероятности и относятся к критериям принятия решений в условиях неопределенности. Одним из таких критериев является критерий субъективно-средних сожалений:

$$K_{\text{ССС}} = \min_i \sum_{j=1}^m (\max_i a_{ij} - a_{ij}) p_j, \quad (6)$$

где  $p_j$  – субъективная вероятность состояния  $u_j$  внешней среды. Принимается равной отношению суммы элементов  $j$ -го столбца матрицы  $\|a_{ij}\|$ , к сумме всех элементов матрицы  $\|a_{ij}\|$ :

$$p_j = \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) / \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} \right). \quad (7)$$

В критерии Хоменюка субъективные вероятности вводятся с помощью матрицы сожалений:

$$p_j = \left( \sum_{i=1}^n \max_i (a_{ij} - a_{ij}) \right) / \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\max_i a_{ij} - a_{ij}) \right). \quad (8)$$

Сам критерий Хоменюка по внешнему виду полностью совпадает с критерием Байеса – Лапласа:

$$K_X = \max_i \sum_{j=1}^m a_{ij} p_j. \quad (9)$$

### 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Для заданного варианта функции реализации, используя Excel, определите лучшие альтернативы с помощью критериев (2) – (6), (9).

2. Предложите и обоснуйте свой уникальный критерий  $K_{\text{студент}}$  для принятия решений в условиях риска.

3. Продемонстрируйте работоспособность Вашего критерия на заданной и предложенной Вами функциях реализации.

4. Исследуйте целесообразность применения критериев  $K_{BL}$ ,  $K_{HL}$ ,  $K_{MD}$ ,  $K_{Гер}$ ,  $K_{ССС}$ ,  $K_X$ ,  $K_{MM}$ ,  $K_{ai}$ ,  $K_N$ ,  $K_{\text{студент}}$  в условиях риска для матрицы выигрышей путем  $N$ -кратного случайного выбора состояний внешней среды. Исследуйте влияние величины  $N$  на упорядочение критериев по величине среднего выигрыша.

5. Исследуйте целесообразность применения критериев  $K_{BL}$ ,  $K_{HL}$ ,  $K_{MD}$ ,  $K_{Гер}$ ,  $K_{ССС}$ ,  $K_X$ ,  $K_{ММ}$ ,  $K_{аи}$ ,  $K_N$ ,  $K_{студент}$  в условиях, когда все состояния внешней среды появляются с одинаковой вероятностью при N-кратном случайном выборе состояний внешней среды. Упорядочите указанные критерии по величине среднего выигрыша при N-кратном случайном выборе состояний внешней среды. Исследуйте влияние величины N на упорядочение критериев.

4. Оформите отчет по лабораторной работе.

## 4. КЛАССИФИКАЦИЯ КППР

Компьютерная поддержка процесса принятия решений основана на формализации методов получения исходных и промежуточных оценок, даваемых ЛПР, и алгоритмизации самого процесса выработки решения и представляет собой итеративный процесс взаимодействия управленца и компьютера.

Программно компоненты структуры КППР в зависимости от сложности поставленных задач реализованы по-разному, поэтому на рынке программных продуктов предлагаются различные КППР. Все эти КППР можно классифицировать по различным признакам.

### 4.1. Классификация на уровне пользователя

На уровне пользователя Naettenschwiler (1999) делит КППР на пассивные, активные и кооперативные КППР.

*Пассивной КППР* называется система, которая помогает ЛПР в принятии решения, но не может вынести предложение, какое решение принять.

*Активная КППР* может сделать предложение, какое решение следует выбрать.

*Кооперативная КППР* позволяет ЛПР изменять, пополнять или улучшать решения, предлагаемые системой, посылая затем эти изменения в систему для проверки. Система изменяет, пополняет или улучшает эти решения и посылает их опять пользователю. Процесс продолжается до получения согласованного решения.

### 4.2. Классификация по функциональному наполнению интерфейса системы

В зависимости от функционального наполнения интерфейса системы выделяют два основных типа КППР: EIS и DSS.

*EIS (Execution Information System)* – информационные системы руководства предприятия. Эти системы ориентированы на неподготовленных пользователей, имеют упрощенный интерфейс, базовый набор предлагаемых возможностей, фиксированные формы представления информации. EIS-системы рисуют общую наглядную картину текущего состояния бизнес-показателей работы компании и тенденции их развития, с возможностью углубления рассматриваемой информации до уровня крупных объектов компании. Реальная отдача EIS-системы та, которую видит руководство компании от внедрения технологий КППР.

Для ИСП характерны следующие основные черты:

- отчеты, как правило, базируются на стандартных для организации запросах; число последних относительно невелико;



- ИСР представляет отчеты в максимально удобном виде, включающем, наряду с таблицами, деловую графику, мультимедийные возможности и т. п.;

- как правило, ИСР ориентированы на конкретный вертикальный рынок, например финансы, маркетинг, управление ресурсами.

*DSS (Decision Support System)* – полнофункциональные системы анализа и исследования данных, рассчитанные на подготовленных пользователей, имеющих знания как в части предметной области исследования, так и в части компьютерной грамотности.

Технологии этого типа строятся на принципах многомерного представления и анализа данных OLAP.

Такое деление систем на два типа не означает, что построение КППР всегда предполагает реализацию только одного из этих типов. EIS и DSS могут функционировать параллельно, разделяя общие данные и/или сервисы, предоставляя свою функциональность как высшему руководству, так и специалистам аналитических отделов компаний.

### **4.3. Классификация на концептуальном уровне**

На концептуальном уровне Power (2003) различает следующие КППР, управляемые:

- *сообщениями* (Communication-Driven DSS);
- *данными* (Data-Driven DSS);
- *документами* (Document-Driven DSS);
- *знаниями* (Knowledge-Driven DSS);
- *моделями* (Model-Driven DSS).

**КППР, управляемые моделями**, характеризуются в основном доступ и манипуляции с математическими моделями.

**Управляемая сообщениями КППР** (Communication-Driven DSS) (ранее групповая КППР - GDSS) поддерживает группу пользователей, работающих над выполнением общей задачи.

**КППР, управляемые данными** (Data-Driven DSS) или **КППР, ориентированные на работу с данными** (Data-oriented DSS), в основном ориентируются на доступ и манипуляции с данными.

**КППР, управляемые документами** (Document-Driven DSS), управляют, осуществляют поиск и манипулируют неструктурированной информацией, заданной в различных форматах.

Наконец, **КППР, управляемые знаниями** (Knowledge-Driven DSS), обеспечивают решение задач в виде фактов, правил, процедур.

На техническом уровне Power (1997) различает КППР всего предприятия и настольную.

**КППР всего предприятия** подключена к большим хранилищам информации и обслуживает многих менеджеров предприятия.

**Настольная КППР** – это малая система, обслуживающая лишь один компьютер пользователя.

#### **4.4. Классификация по архитектуре**

На сегодняшний день можно выделить четыре наиболее популярных типа архитектур КППР :

1. Функциональная КППР .
2. Независимые витрины данных.
3. Двухуровневое хранилище данных.
4. Трехуровневое хранилище данных.

#### **4.5. Классификация в зависимости от вида данных, с которыми работают КППР**

В зависимости от вида данных, с которыми эти системы работают, КППР условно можно разделить на оперативные и стратегические.

*Оперативные КППР* предназначены для немедленного реагирования на изменения текущей ситуации в управлении финансово-хозяйственными процессами компании. КППР этого типа получили название *Информационных Систем Руководства* (Executive Information Systems, ИСР).

Для ИСР характерны следующие основные черты:

- отчеты, как правило, базируются на стандартных для организации запросах; число последних относительно невелико;
- ИСР представляет отчеты в максимально удобном виде, включающем, наряду с таблицами, деловую графику, мультимедийные возможности и т. п.;
- как правило, ИСР ориентированы на конкретный вертикальный рынок, например финансы, маркетинг, управление ресурсами.

*Стратегические КППР* ориентированы на анализ значительных объемов разнородной информации, поиск наиболее рациональных вариантов развития бизнеса компании с учетом влияния различных факторов, предполагают глубокую проработку данных. Неотъемлемым компонентом КППР этого уровня являются правила принятия решений, которые на основе агрегированных данных дают возможность менеджерам компании обосновывать свои решения, использовать факторы устойчивого роста бизнеса компании и снижать риски. Технологии этого типа строятся на принципах многомерного представления и анализа данных (OLAP).

По критерию режима анализа данных информационно-аналитические системы (ИАС) подразделяются на две категории:

- 1) *статические* (включающие predetermined набор сценариев обработки данных и составления отчетов); в эту категорию входят ИСР;

2) *динамические* (поддерживающие построение и выполнение нерегламентированных запросов и формирование отчетов произвольной формы).

*Динамические КППР*, напротив, ориентированы на обработку нерегламентированных, неожиданных (*ad hoc*) запросов аналитиков к данным. Наиболее глубоко требования к таким системам рассмотрел E. F. Codd, положив начало концепции оперативной аналитической обработки данных – OLAP.

В основе концепции оперативной аналитической обработки (OLAP) лежит многомерное представление данных. По Кодду, многомерное концептуальное представление (*multi-dimensional conceptual view*) является наиболее естественным взглядом управляющего персонала на объект управления. Оно представляет собой множественную перспективу, состоящую из нескольких независимых измерений, вдоль которых могут быть проанализированы определенные совокупности данных. Одновременный анализ по нескольким измерениям данных определяется как многомерный анализ. Каждое измерение включает направления консолидации данных, состоящие из серии последовательных уровней обобщения, где каждый вышестоящий уровень соответствует большей степени агрегации данных по соответствующему измерению.

Клиент-серверная архитектура также является необходимым атрибутом технологии *data mining*. Такой подход предоставляется возможность выполнять наиболее трудоемкие процедуры обработки данных на высокопроизводительном сервере как разработчикам проектов, так и пользователям. На этом же сервере могут храниться и по запросам клиентов выполняться корпоративные проекты *data mining*.

Методы *data mining* распространены во многих организациях из-за того, что они могут сделать существенный вклад в увеличение доходов. Эти методы могут использоваться для управления взаимоотношениями с клиентами. Определяя характеристики клиентов, которые могут уйти к конкурентам, компания может предпринимать действия для их удержания, так как сохранить клиента всегда дешевле, чем приобрести нового.

Ключом к успешному применению методов *data mining* служит не просто выбор алгоритма, а мастерство человека, который проводит построение модели, и возможности программы проводить процесс моделирования. Информативность реализованного проекта *data mining* зависит от этих факторов в большей степени, чем от алгоритмов. Существуют две стороны успеха в поиске данных. Во-первых – это четкая и ясная формулировка задачи, которая подлежит решению. Во-вторых – это использова-

ние правильных данных. После выбора данных из всех доступных источников (или даже приобретения данных из внешних источников) необходимо их преобразовать или сгруппировать в определенном порядке.

Чем больше аналитик может «играть» с данными, строить моделей, оценивать результаты (то есть больше работать с данными за единицу времени), тем лучше может быть результат. Работа с данными становится более эффективной, когда возможна интеграция следующих компонентов: визуализация, графический инструментарий, средства формирования запросов, оперативная аналитическая обработка, которые позволяют понять данные и интерпретировать результаты, и, наконец, сами алгоритмы, которые строят модели.

**Интеллектуальный анализ данных (ИАД – Data Mining)** – это процесс поддержки принятия решений, основанный на поиске в данных скрытых закономерностей (шаблонов информации). При этом накопленные сведения автоматически обобщаются до информации, которая может быть охарактеризована как знания.

В общем случае процесс ИАД состоит из трёх стадий:

- 1) выявление закономерностей (свободный поиск);
- 2) использование выявленных закономерностей для предсказания неизвестных значений (прогностическое моделирование);
- 3) анализ исключений, предназначенный для выявления и толкования аномалий в найденных закономерностях.

OLAP и Data Mining – две составные части процесса поддержки принятия решений. Но сегодня большинство систем OLAP заостряет внимание только на обеспечении доступа к многомерным данным, а большинство средств ИАД, работающих в сфере закономерностей, имеют дело с одномерными перспективами данных. Эти два вида анализа должны быть тесно объединены, то есть системы OLAP должны фокусироваться не только на доступе, но и на поиске закономерностей. J. Han предложил простое название интеграции OLAP и Data Mining – "OLAP Mining".

На рынке программных продуктов наряду с мощными серверами многомерных баз данных и ROLAP-серверами предлагаются клиентские OLAP-серверы, предназначенные, главным образом, для работы с небольшими объемами данных и ориентированные на индивидуального пользователя. Подобные системы были названы настольными, или DOLAP-серверами (Desktop OLAP). В этом направлении работают фирмы Business Objects (Business Objects 5.0), Andyne (CubeCreator, PaBLO), Cognos, Brio Technology.

Лидером пока считается компания Cognos, поставляющая продукты PowerPlay, Impromptu и Scenario. PowerPlay – это настольный OLAP-сервер, для извлечения данных из реляционных баз данных (Paradox,

dBase, Clipper), "плоских" файлов и электронных таблиц (Microsoft Excel) используется генератор запросов и отчетов Impromptu. Затем специальный компонент, называемый Transformer, помещает извлеченные данные в клиентскую многомерную базу, которая называется PowerCube. Потребителям предоставляются широкие возможности по управлению PowerCube: передавать ее от пользователя к пользователю по запросу и принудительно, помещать на сервер для разделения доступа к ней или пересылать по электронной почте. Cognos постаралась сделать свой продукт максимально открытым: во-первых, PowerCube может быть помещен в реляционные базы Oracle, Informix, Sybase, MS SQL Server на платформах UNIX, HP/UX, Sun Solaris, IBM AIX, во-вторых, сам PowerPlay способен анализировать содержимое не только PowerCube, но и других многомерных баз данных.

Стоит отметить, что все эти фирмы объединяет стремление включить в свои продукты компоненты, предназначенные для Интеллектуального Анализа Данных (Data Mining, ИАД). Например, усилия Business Objects и Cognos направлены на подготовку окончательных версий компонентов Business Miner и Scenario, соответственно, предназначенных именно для ИАД.

#### **4.6. Классификация КППР по уровням**

**Системы начального уровня.** Системы начального уровня широко распространены среди предприятий небольшого размера, которые успешно используют их в своей повседневной деятельности. Отличительной чертой таких информационных систем является ограниченный охват бизнес-процессов предприятия.

Программные продукты данного класса могут сильно отличаться друг от друга по целевому назначению: сюда можно отнести как бухгалтерские, так и складские и торговые системы. Но, тем не менее, эти системы имеют много общих черт:

- невысокая требовательность к выделяемым ресурсам. Системы данного класса могут работать под управлением современных промышленных СУБД, однако могут эксплуатироваться и на небольших предприятиях. Количество возможных пользователей такой системы колеблется от 1 до нескольких десятков.

- подразумевается, что пользователь может приобрести, установить и начать эксплуатацию самостоятельно, однако разработчики стараются делать программы с как можно более широкими возможностями, что позволяет интегрировать такие системы с другими системами этого и более высокого классов.

**Системы среднего уровня.** Появление систем среднего уровня обусловлено потребностью в программном продукте с более широкими возможностями, нежели системы начального уровня. Таким образом, некоторые производители на основе современных способов и средств разработки создали готовые решения для довольно широкого круга потребностей предприятия. В состав таких систем обычно входят следующие подсистемы:

- бухгалтерский учет;
- управление производством;
- материально-техническое снабжение и сбыт;
- планирование;
- производство.

Несмотря на способность таких систем вести учет практически по всем направлениям деятельности предприятия, некоторые подсистемы реализованы в них в весьма усеченном виде. Тем не менее, количество различных параметров настройки у такой системы достигает значительного числа, что приводит потребителя к неспособности самостоятельно установить продукт. Зачастую, большую часть стоимости программного продукта среднего уровня составляют услуги по установке и настройке системы, сервисное обслуживание. Дороговизна таких систем делает их недоступными для небольших фирм.

Немаловажным минусом подобной системы является то, что успех внедрения системы среднего уровня во многом зависит от качества выполнения анализа деятельности предприятия.

**Системы высшего класса.** Современные версии систем высшего уровня обеспечивают планирование и управление всеми ресурсами организации. Количество различных параметров настроек достигает десятков тысяч. Однако одновременно возрастает и стоимость внедрения подобной системы.

Следует также учитывать следующий набор минусов, возникающих при введении в строй подобной системы:

- может потребоваться привлечение внешних консультантов, что приведет к значительному росту затрат;
- внедрение сложной системы зачастую требует некоторой реорганизации деятельности;
- необходимо наличие специального подразделения, которое бы перенастраивало систему под требования бизнеса.

С другой стороны, руководители организации и её персонал получают великолепный инструмент, позволяющий планировать и управлять производством.

#### 4.7. Классификация КППР по функциональным возможностям

В последнее время в России отмечается устойчивый интерес к компьютерным интегрированным системам, способным обеспечить эффективное управление предприятием.

К концу 80-х годов идея создания единой модели данных в рамках целого предприятия заинтересовала ряд международных промышленных компаний, которые искали способ упростить управление производственными процессами. Первым шагом в данном направлении стала разработка концепции **MRP** (Materials Resource Planning – планирование материальных ресурсов), рассматривавшей планирование материалов для производства. В ходе разработки концепции MRP американскими специалистами в области управления было замечено, что существует два типа материалов: с зависимым спросом (для выпуска десяти автомобилей нужно пятьдесят колес – не больше и не меньше и при этом к определенному сроку) и с независимым спросом (типичная ситуация с запасами для торговых предприятий).

Основная цель концепции MRP заключалась в минимизации издержек, связанных со складскими запасами (в том числе и на различных участках производства). В основе этой концепции лежит понятие ВОМ (Bill Of Material - спецификация изделия, ответственность за которую возложена на конструкторский отдел), отражающее зависимость спроса на сырье, полуфабрикаты и другие продукты от плана выпуска готовой продукции. При этом очень важную роль играет время, для учета которого необходимо иметь четкое представление о технологической цепочке выпуска продукции, то есть знать, какова последовательность и длительность операций. На основании плана выпуска продукции, ВОМ и технологической цепочки осуществляется расчет потребности в материалах к конкретным срокам.

Однако у концепции MRP есть серьезный недостаток. Дело в том, что при расчете в рамках этой концепции потребности в материалах не учитываются ни имеющиеся производственные мощности, ни их загрузка, ни стоимость рабочей силы. Этот недостаток был исправлен в концепции MRPII (Manufacturing Resource Planning – планирование производственных ресурсов). MRPII позволяла учитывать и планировать все производственные ресурсы предприятия – сырье, материалы, оборудование, персонал и т.д.

По мере развития концепции MRPII к ней постепенно добавлялись возможности учета остальных затрат предприятия. Так появилась концепция **ERP** (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предпри-

ятия), называемая иногда также планированием ресурсов в масштабе предприятия (Enterprise-wide Resource Planning). В основе ERP лежит принцип создания единого хранилища данных (репозитария), содержащего всю деловую информацию, накопленную организацией в процессе ведения бизнеса, в частности финансовую информацию, данные, связанные с производством, управлением персоналом, и любые другие данные. Наличие репозитария избавляет от необходимости передавать данные от приложения к приложению. Кроме того, любая часть информации, которой располагает данная организация, становится одновременно доступной для всех работников, обладающих соответствующими полномочиями.

Концепция ERP нашла широкое применение, поскольку планирование ресурсов позволяло сократить время выпуска продукции, снизить уровень товарно-материальных запасов, а также улучшить обратную связь с потребителем при одновременном сокращении административного аппарата. Стандарт ERP позволил объединить все ресурсы предприятия и повысить эффективность управления ими.

В настоящее время практически все современные западные системы управления производством базируются на концепции ERP и отвечают ее рекомендациям. Эти рекомендации вырабатываются американской общественной организацией APICS, объединяющей производителей, консультантов в области управления производством, а также разработчиков ПО.

Самый новый из стандартов систем управления предприятиями – **CSRP** (Customer Synchronized Resource Planning) – помимо всего прочего охватывает и взаимодействие с клиентами, оформление заказов и технических заданий, поддержка заказчика на местах и т.д. Таким образом, если стандарты MRP, MRPII и ERP ориентированы на внутреннюю организацию предприятия, то стандарт CSRP включает в себя полный цикл – от проектирования будущего изделия, с учетом требований заказчика, до гарантийного и сервисного обслуживания после продажи. Суть концепции CSRP главным образом состоит в том, чтобы интегрировать заказчика (клиента, покупателя) в систему управления предприятием. Согласно данной концепции не отдел сбыта, а непосредственно сам покупатель размещает заказ на изготовление продукции, сам отвечает за правильность его исполнения и при необходимости отслеживает соблюдение сроков производства и поставки. При этом само предприятие может очень четко отслеживать тенденции спроса на его продукцию.

#### **4.8. Классификация КППР по уровню распределенности**



**Сосредоточенные КППР .** Сосредоточенные КППР включают в себя одну экспертную систему, установленную на одной вычислительной машине, помогая одному ЛПР (или небольшой группе специалистов) оценивать обстановку и принимать решения.

Типы сосредоточенных КППР :

1. Система, состоящая из одного узла и принимающая решения в автоматическом режиме. Такая система включает в себя ЭВМ, систему автоматического и/или ручного ввода информации и средства представления решения (возможно стандартное устройство вывода). Примером такой системы может быть система тушения пожара на каком-нибудь особо опасном объекте.

2 КППР , в которой решение принимает специалист, работая с системой в интерактивном режиме. Система может включать в себя экспертные системы, моделирующие программы, средства оценки принятых решений и т.д. Такой системой может быть система поддержки принятия решений при управлении подвижным объектом, когда пилоту или командиру корабля предлагаются варианты решений, и он реализует один из вариантов.

**2. Распределенные КППР .** Распределенные вычислительные системы могут быть распределены пространственно и/или функционально. Пространственно и функционально распределенные КППР состоят из локальных КППР , расположенных в связанных между собой узлах вычислительной сети, каждый из которых может независимо решать свои частные задачи, но для решения общей проблемы ни одна из них не обладает достаточными знаниями, информацией и ресурсами (или некоторыми из этих составляющих). Общую проблему они могут решать только сообща, объединяя свои локальные возможности и согласовывая принятые частные решения. Функционально распределенные системы состоят из нескольких экспертных систем (или КППР ), связанных между собой информационно.

Распределенные системы получили в настоящее время все более широкое распространение по следующим причинам:

1. Бурное развитие технологии производства вычислительной техники позволяет объединить большое число достаточно мощных и относительно недорогих ПК в единую сеть, способную выполнять асинхронные параллельные вычисления и эффективно обмениваться информацией.

Необходимо отметить, что стратегия развития вычислительной техники 90-х годов ориентирована в основном на сетевые вычислительные структуры, в которых задачи решаются не централизованно, а распределенно.

2. Многие предметные области, в которых используются КППР, распределены по своей природе. Некоторые из них распределены функционально (как, например, многие системы медицинской диагностики), другие распределены как пространственно, так и функционально (как, например, системы автоматизации проектирования сложных технических объектов).

3. Пространственно и функционально распределенные системы облегчают обмен информацией и принятие согласованных решений группами специалистов, совместно работающих над решением одной задачи, и/или группами экспертных систем, управляющих сложным техническим объектом.

4. Наконец, принцип модульного построения и использования систем также хорошо реализуется в распределенных системах поддержки принятия решений. Возможность создавать системы для решения сложных проблем из относительно простых и автономных программно-аппаратных модулей позволяет их легче создавать, отлаживать и эксплуатировать.

Таким образом, распределенный подход поддержки принятия решений целесообразно использовать либо когда лица, принимающие решения, пространственно распределены, либо когда процесс принятия решений связан с высокой степенью функциональной специализации и, конечно, когда имеют место оба эти случая.

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

### **"СИНТЕЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КРИТЕРИЕВ АЛГОРИТМОМ С ЛИНЕЙНЫМИ ЧАСТНЫМИ ОПИСАНИЯМИ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ"**

#### **1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы с алгоритмом с линейными частными описаниями метода группового учета аргументов при синтезе многокомпонентных критериев принятия решений в условиях неопределенности.

#### **2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

##### **2.1. Синтез многокомпонентных критериев**

Оценка многих ситуаций или объектов реального мира не может быть выполнена с помощью одно- или двухкомпонентных классических критериев

принятия решений, поскольку эти объекты или ситуации оцениваются по десяткам или даже сотням различных показателей. В подобных случаях для принятия решений используются критерии вида

$$K = \sum_{i=1}^n a_i K_i \quad (1)$$

где  $a_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – весовые коэффициенты;  $K_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – простейшие одно- или двухкомпонентные критерии.

Для получения критериев вида (1) могут использоваться различные методы и алгоритмы. Рассмотрим один из них – алгоритм с линейными частными описаниями эвристического метода самоорганизации математических моделей (или метода группового учета аргументов (МГУА)), предназначенный для синтеза критериев вида (1). В этом алгоритме на первом этапе его работы в качестве простейших критериев или оценочных функций могут использоваться известные одно- или двухкомпонентные критерии:  $K_1^1, K_2^1, \dots, K_m^1$ , где верхний индекс указывает на то, что это критерии первого этапа или первого ряда селекции многокомпонентного критерия. При этом будем предполагать, что необходимо получить критерий  $K^*$ , с помощью которого можно будет классифицировать множества некоторых объектов на два класса, например, объекты, обладающие некоторыми определенными свойствами (первый класс), и объекты, не обладающие этими свойствами (второй класс). Для синтеза критерия будем использовать обучающее множество  $M$  объектов, для которых известна правильная классификация на два указанных класса  $M_1$  и  $M_2$ ,  $M_1 \cap M_2 = \emptyset$ ,  $M_1 \cup M_2 = M$ . Рассмотрим основные шаги алгоритма синтеза критерия  $K^*$ .

## 2.2. Алгоритм МГУА с линейными частными описаниями для синтеза критериев

Шаг 1. На первом ряду селекции множество  $K^1 = \{K_1^1, K_2^1, \dots, K_m^1\}$  простейших критериев используется для классификации объектов обучающегося множества  $M$  на два указанных класса  $M_1$  и  $M_2$ .

Шаг 2. Для каждого простейшего критерия множества  $K^1$  подсчитывается показатель качества  $n_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) работы критерия, например, число правильно проклассифицированных объектов обучающегося множества  $M$ .

Шаг 3. По показателям качества  $n_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) отбирается наперед заданное число  $r$  критериев  $\overline{K}_1^1, \overline{K}_2^1, \dots, \overline{K}_r^1$ , которые правильно выполнили классификацию наибольшего числа объектов из обучающегося множества  $M$ . Если хотя бы один из критериев правильно проклассифицировал все объекты множества  $M$ , то необходимый критерий найден, и работа алгоритма прекращается.

Шаг 4. Полученное множество критериев  $\overline{K}^1 = \{\overline{K}_1^1, \overline{K}_2^1, \dots, \overline{K}_r^1\}$  проверяют на возможность правильной классификации всех объектов множества  $M$ .

Если обнаруживаются элементы множества  $M$ , которые не могут быть правильно проклассифицированы отобранном множеством  $\bar{K}^1$  критериев, то в множество  $\bar{K}^1$  включаются дополнительные критерии, имеющие более низкие показатели качества, но позволяющие правильно классифицировать указанные элементы множества  $M$ .

Шаг 5. Критерии множества  $\bar{K}^1 = \{\bar{K}_1^1, \bar{K}_2^1, \dots, \bar{K}_r^1, \dots, \bar{K}_{r_1}^1\}$ ,  $r_1 \geq r$  пропускаются во второй ряд селекции (или второй этап работы алгоритма) и с их помощью синтезируется множество  $K^2$  двучленных критериев вида

$$\begin{aligned}
 K_q^2 &= c_i \bar{K}_1^1 + (1 - c_i) \bar{K}_2^1, \quad q = \overline{1, l}, \quad i = \overline{1, l}, \\
 K_q^2 &= c_i \bar{K}_1^1 + (1 - c_i) \bar{K}_3^1, \quad q = \overline{l+1, 2l}, \quad i = \overline{1, l}, \\
 &\dots\dots\dots \\
 K_q^2 &= c_i \bar{K}_1^1 + (1 - c_i) \bar{K}_{r_1}^1, \quad q = \overline{(r_1 - 2)l + 1, (r_1 - 1)l}, \quad i = \overline{1, l}, \\
 &\dots\dots\dots \\
 K_q^2 &= c_i \bar{K}_2^1 + (1 - c_i) \bar{K}_3^1, \quad q = \overline{(r_1 - 1)l + 1, r_1 l}, \quad i = \overline{1, l}, \\
 &\dots\dots\dots \\
 K_q^2 &= c_i \bar{K}_{r_1 - 1}^1 + (1 - c_i) \bar{K}_{r_1}^1, \quad q = \overline{(C_{r_1}^2 - 1)l + 1, C_{r_1}^2 l}, \quad i = \overline{1, l},
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $c_i$  ( $i = \overline{1, l}$ ) – положительные константы, удовлетворяющие условиям:  $0 < c_i < 1$ ,  $c_i \neq c_j$ , если  $i \neq j$ ;  $C_{r_1}^2$  – число сочетаний из  $r_1$  по 2.

Шаг 6. Каждый критерий из множества  $K^2 = \{K_1^2, K_2^2, \dots, K_d^2\}$ , где  $d = lC_{r_1}^2$ , используется для классификации объектов обучающегося множества  $M$  на два указанных класса  $M1$  и  $M2$ . При этом для каждого критерия из множества  $K^2$  подсчитывается показатель качества  $n_j$  ( $j = \overline{1, d}$ ) работы критерия.

Шаг 7. По показателям качества  $n_j$  ( $j = \overline{1, d}$ ) отбирается наперед заданное число  $r$  лучших критериев  $\bar{K}_1^2, \bar{K}_2^2, \dots, \bar{K}_r^2$ , которые правильно выполнили классификацию наибольшего числа объектов из обучающего множества  $M$ . Если один или несколько лучших критериев правильно выполнили классификацию всех объектов обучающего множества  $M$ , то цель синтеза критериев достигнута, и работа алгоритма по получению новых критериев прекращается.

Шаг 8. Полученное множество критериев  $\bar{K}^2 = \{\bar{K}_1^2, \bar{K}_2^2, \dots, \bar{K}_r^2\}$  проверяют на возможность правильной классификации всех объектов обучающего множества  $M$ . Если обнаруживаются элементы множества  $M$ , которые не могут

быть правильно проклассифицированы отобранном множеством  $\bar{K}^2$  критериев, то множество  $\bar{K}^2$  расширяют  $\bar{K}^2 = \{\bar{K}_1^2, \bar{K}_2^2, \dots, \bar{K}_r^2, \dots, \bar{K}_{r_2}^2\}$ ,  $r_2 > r$ , включая в него дополнительные критерии текущего или первого ряда селекции, имеющие более низкие показатели качества, но позволяющие правильно классифицировать указанные элементы множества М.

Шаг 9. Критерии множества  $\bar{K}^2$  пропускаются в третий ряд селекции, где синтезируется множество  $K^3$  критериев вида

$$K_q^3 = c_i \bar{K}_1^2 + (1 - c_i) \bar{K}_2^2, \quad q = \bar{1}, l, \quad i = \bar{1}, l,$$

$$K_q^3 = c_i \bar{K}_1^2 + (1 - c_i) \bar{K}_3^2, \quad q = \overline{l+1}, 2l, \quad i = \bar{1}, l,$$

..... (3)

$$K_q^3 = c_i \bar{K}_{r_2-1}^2 + (1 - c_i) \bar{K}_{r_2}^2, \quad q = \overline{(C_{r_2}^2 - 1)l + 1}, C_{r_2}^2 l, \quad i = \bar{1}, l,$$

где  $c_i$  ( $i = \bar{1}, l$ ) – положительные константы, удовлетворяющие условиям:  $0 < c_i < 1$ ,  $c_i \neq c_j$ , если  $i \neq j$ .

Процесс синтеза, оценки и селекции критериев продолжается до тех пор, пока не будет получен критерий, правильно выполняющий классификацию элементов множества М, или не будут выполняться другие условия окончания работы алгоритма, например, по числу рядов селекции, по отсутствию улучшения показателей качества лучших критериев текущего ряда селекции по сравнению с показателями критериев одного или нескольких предшествующих рядов селекции и т.д.

Рассмотрим в качестве примера синтез критерия для функции реализации, содержащей 8 альтернатив и 7 состояний внешней среды и приведенной ниже в табл. 1. В примере в качестве обучающего множества М используется множество альтернатив  $\{x_1, x_2, \dots, x_8\}$ . Множество М разделено на два подмножества: лучших альтернатив  $M_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_7\}$  и худших альтернатив  $M_2 = \{x_2, x_3, x_6, x_8\}$ . Требуется с помощью обучающего множества М синтезировать критерий, позволяющий правильно классифицировать альтернативы, относящиеся к тем же классам, что и альтернативы обучающего множества.

Таб-

лица 1

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$K_{mm}$	$K_{ан}$	$K_{н}$	$K_S$	$K_{пр}$	$K_1^2$	$K_2^2$
$x_1$	3	7	8	9	10	11	12	3	12	8,57	6	$2,00 \cdot 10^6$	10,28	7,00
$x_2$	2	3	7	8	4	5	12	2	12	5,86	8	$0,81 \cdot 10^5$	8,93	6,04

$x_3$	8	6	5	10	6	7	8	5	10	7,14	7	$0,81 \cdot 10^5$	8,57	5,04
$x_4$	7	5	5	3	10	13	6	3	13	7,00	9	$0,41 \cdot 10^6$	10,00	6,70
$x_5$	4	10	11	12	9	8	7	4	12	8,71	5	$2,66 \cdot 10^6$	10,35	7,33
$x_6$	8	2	12	1	12	11	6	1	12	7,43	11	$0,15 \cdot 10^6$	9,71	6,07
$x_7$	9	3	11	11	10	9	10	3	11	9,00	7	$2,94 \cdot 10^6$	10,00	6,97
$x_8$	5	6	5	11	7	11	10	5	11	7,86	7	$1,27 \cdot 10^6$	9,43	6,13
$n_j$	–	–	–	–	–	–	–	4	2	4	2	4	8	8

Используем вначале для классификации альтернатив классические критерии: максиминный (4), азартного игрока (5), нейтральный (6), Сэвиджа (7) и критерий произведений (8):

$$K_{\text{мм}} = \max_i \min_j a_{ij}; \quad (4)$$

$$K_{\text{аи}} = \max_i \max_j a_{ij}; \quad (5)$$

$$K_{\text{н}} = \max_i \left( \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \right); \quad (6)$$

$$K_{\text{с}} = \min_i (\max_j (\max_i a_{ij} - a_{ij})); \quad (7)$$

$$K_{\text{пр}} = \max_i \left( \prod_{j=1}^m a_{ij} \right), \quad (8)$$

где  $a_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ) – элементы функции реализации;  $n$  – число строк функции реализации;  $m$  – число столбцов функции реализации.

Результаты применения критериев приведены в табл. 1. Анализ таблицы показывает, что максиминный критерий в число трех лучших альтернатив включает альтернативы  $x_3$ ,  $x_8$  и  $x_5$ , имеющие более высокие показатели по критерию ( $K_{\text{мм}} \geq 4$ ). На четвертое место в подмножестве  $M_1$  претендует сразу три альтернативы:  $x_1$ ,  $x_4$  и  $x_7$ , все имеющие одинаковое значение критерия ( $K_{\text{мм}} = 3$ ) и входящие в обучающее подмножество  $M_1$  множества  $M$ . В связи с этим можно принять, что максиминный критерий разделил множество  $M$  на следующие два подмножества:  $M_{1\text{мм}} = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_7, x_8\}$ ,  $M_{2\text{мм}} = \{x_2, x_6\}$ .

В множество лучших альтернатив правильно включены альтернативы  $x_1, x_4, x_5, x_7$  и ошибочно –  $x_3, x_8$ .

Показатель качества  $n_j$  работы любого критерия  $K_j$  можно определить следующим образом:

$$n_j = n_1 - n_2, \quad (9)$$

где  $n_1, n_2$  – соответственно число правильно и неправильно проклассифицированных альтернатив.

Чем больше величина  $n_j$ , тем лучше критерий  $K_j$  классифицирует альтернативы обучающего множества  $M$ . Отметим, что как показатели качества работы критериев могут использоваться и каждый отдельный одночлен правой части выражения (9).

Максиминный критерий при классификации альтернатив сделал только две ошибки, поэтому по соотношению (9) имеем:  $n_{\text{мм}} = 6 - 2 = 4$ .

Аналогичным образом получены показатели качества работы и остальных критериев, эти показатели приведены в последней строке табл. 1. Анализ показателей качества работы критериев показывает, что ни один из примененных критериев не решает правильно задачу разделения множества альтернатив на два заданных подмножества. В связи с этим выполним синтез двухкомпонентных критериев. Формально с помощью соотношений (3) будут получены следующие критерии:

$$K_q^2 = c_i K_{\text{мм}} + (1 - c_i) K_{\text{ан}}, \quad q = \overline{1, l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (10)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{мм}} + (1 - c_i) K_{\text{н}}, \quad q = \overline{l+1, 2l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (11)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{мм}} + (1 - c_i) K_{\text{с}}, \quad q = \overline{2l+1, 3l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (12)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{мм}} + (1 - c_i) K_{\text{пр}}, \quad q = \overline{3l+1, 4l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (13)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{ан}} + (1 - c_i) K_{\text{н}}, \quad q = \overline{4l+1, 5l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (14)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{ан}} + (1 - c_i) K_{\text{с}}, \quad q = \overline{5l+1, 6l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (15)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{ан}} + (1 - c_i) K_{\text{пр}}, \quad q = \overline{6l+1, 7l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (16)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{н}} + (1 - c_i) K_{\text{с}}, \quad q = \overline{7l+1, 8l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (17)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{н}} + (1 - c_i) K_{\text{пр}}, \quad q = \overline{8l+1, 9l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (18)$$

$$K_q^2 = c_i K_{\text{с}} + (1 - c_i) K_{\text{пр}}, \quad q = \overline{9l+1, 10l}, \quad i = \overline{1, l}. \quad (19)$$

Критерии (12), (15), (17), (19), в которые одним из компонентов входит критерий Сэвиджа, использовать непосредственно затруднительно, так как в критерии Сэвиджа последняя операция  $\min$  выделяет минимальный элемент, а в остальных критериях последняя операция  $\max$  выделяет максимальный элемент из чисел, характеризующих альтернативы. В этом случае ни минимальная, ни максимальная или взвешенная сумма числовых значений критериев не гарантирует правильного выбора альтернативы. В связи с этим необходимо каким-либо образом изменить в одном из компонентов последнюю операцию на противоположную, чтобы оба слагаемых составного критерия или минимизировались, или максимизировались. Естественно, что при этом упорядочивание альтернатив с помощью преобразованного критерия должно остаться таким же, как и у исходного. Преобразуем критерий Сэвиджа к виду:

$$K_S^* = \max_i \left( \max_{i,j} d_{ij} - K_S \right), \quad (20)$$

где  $d_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ) – элементы матрицы сожалений.

Для рассматриваемого примера элементы матрицы сожалений приведены в табл. 2. В двух последних столбцах таблицы приведены и результаты работы критериев  $K_S$ ,  $K_S^*$ , которые подтверждают идентичность ранжирования ими альтернатив.

Таблица 2

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$K_S$	$K_S^*$
$x_1$	6	3	4	3	2	2	0	6	5
$x_2$	7	7	5	4	8	8	0	8	3
$x_3$	1	4	7	2	6	6	4	7	4
$x_4$	2	5	7	9	2	0	6	9	2
$x_5$	5	0	1	0	3	5	5	5	6
$x_6$	1	8	0	11	0	2	6	11	0
$x_7$	0	7	1	1	2	4	2	7	4
$x_8$	4	4	7	1	5	2	2	7	4
$n_j$	–	–	–	–	–	–	–	2	2

Для оценки альтернатив рассматриваемого примера не имеет смысла непосредственно использовать и критерии (13), (16), (18), (19), содержащие в качестве компонент критериев произведений. Анализ данных табл. 1 показывает, что числовые значения, характеризующие альтернативы и получаемые с



помощью критерия произведений, на 4 – 6 порядков больше числовых значений, получаемых с помощью других критериев. В связи с этим критерий произведений в соотношениях (13), (16), (18), (19) необходимо использовать с весовым коэффициентом  $c_{пр} \cong 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$ .

Таким образом, для синтеза двухкомпонентных критериев должны использоваться следующие выражения:

$$K_q^2 = c_i K_{мм} + (1 - c_i) K_{ан}, \quad q = \overline{1, l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (21)$$

$$K_q^2 = c_i K_{мм} + (1 - c_i) K_{н}, \quad q = \overline{l+1, 2l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (22)$$

$$K_q^2 = c_i K_{мм} + (1 - c_i) K_S^*, \quad q = \overline{2l+1, 3l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (23)$$

$$K_q^2 = c_i K_{мм} + (1 - c_i) c_{пр} K_{пр}, \quad q = \overline{3l+1, 4l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (24)$$

$$K_q^2 = c_i K_{ан} + (1 - c_i) K_{н}, \quad q = \overline{4l+1, 5l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (25)$$

$$K_q^2 = c_i K_{ан} + (1 - c_i) K_S^*, \quad q = \overline{5l+1, 6l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (26)$$

$$K_q^2 = c_i K_{ан} + (1 - c_i) c_{пр} K_{пр}, \quad q = \overline{6l+1, 7l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (27)$$

$$K_q^2 = c_i K_{н} + (1 - c_i) K_S^*, \quad q = \overline{7l+1, 8l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (28)$$

$$K_q^2 = c_i K_{н} + (1 - c_i) c_{пр} K_{пр}, \quad q = \overline{8l+1, 9l}, \quad i = \overline{1, l}, \quad (29)$$

$$K_q^2 = c_i K_S^* + (1 - c_i) c_{пр} K_{пр}, \quad q = \overline{9l+1, 10l}, \quad i = \overline{1, l}. \quad (30)$$

В табл. 1 в двух последних столбцах приведены результаты успешной классификации множества альтернатив с помощью критерия (25) при  $c_i = 0,5$  и критерия (27) при  $c_i = 0,5; c_{пр} = 10^{-6}$ .

### 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Задайтесь функцией реализации размерами не менее, чем  $8 \times 7$ , где восемь альтернатив рассматриваются как обучающее множество М. Отнесите половину альтернатив к подмножеству М1 лучших альтернатив, а оставшиеся – к подмножеству М2 таким образом, чтобы не менее семи однокомпонентных критериев не могли правильно классифицировать заданное множество альтернатив. (В качестве исходных данных можно использовать и данные табл. 1, добавив в нее дополнительные строки или (и) столбцы.)

2. Синтезируйте, используя Excel и выражения (21) – (30), на втором ряду селекции не менее 10 – 15 двухкомпонентных критериев и оцените их качество работы.

3. Синтезируйте, используя Excel, на третьем ряду селекции не менее 5 – 10 критериев и оцените их качество работы. Синтез критериев можно прекращать только в случае, когда получен хотя бы один критерий, решающий поставленную задачу.

4. Оформите отчет по лабораторной работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

# "СИНТЕЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КРИТЕРИЕВ АЛГОРИТМОМ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЧАСТНЫМИ ОПИСАНИЯМИ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ"

## 1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы с алгоритмом с нелинейными частными описаниями метода группового учета аргументов при синтезе многокомпонентных критериев принятия решений в условиях неопределенности.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

### 2.1. Синтез многокомпонентных критериев

Оценка многих ситуаций или объектов реального мира не может быть выполнена не только с помощью одно- или двухкомпонентных классических критериев принятия решений, но и с помощью взвешенной линейной комбинации  $n$  таких критериев:  $K = \sum_{i=1}^n a_i K_i$ , где  $a_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – весовые коэффициенты;  $K_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – простейшие однокомпонентные или двухкомпонентные критерии. В подобных случаях для принятия решений используются более сложные критерии вида:

$$K = \sum_{j=1}^n a_j K_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{jk} K_j K_k + \dots, \quad (1)$$

где  $a_j, a_{jk}$  ( $j, k = \overline{1, n}$ ) – весовые коэффициенты;  $K_q$  ( $q = \overline{1, n}$ ) – простейшие одно- или двухкомпонентные критерии.

Для получения критериев вида (1) могут использоваться разные методы и алгоритмы. Рассмотрим один из них – алгоритм с нелинейными частными описаниями метода группового учета аргументов (МГУА)). В этом алгоритме на первом этапе его работы в качестве простейших критериев могут использоваться известные критерии:  $K_1^1, K_2^1, \dots, K_m^1$ , где верхний индекс указывает на то, что это критерии первого этапа или первого ряда селекции многокомпонентного критерия. При этом будем предполагать, что необходимо получить критерий  $K^*$ , с помощью которого можно будет классифицировать множества некоторых объектов на два класса, например, объекты, обладающие некоторыми определенными свойствами (первый класс), и объекты, не обладающие этими свойствами (второй класс). Для синтеза критерия будем использовать обучающее множество  $M$  объектов, для которых известна правильная классификация на два указанных класса  $M_1$  и  $M_2$ ,  $M_1 \cap M_2 = \emptyset$ ,  $M_1 \cup M_2 = M$ . Рассмотрим основные шаги алгоритма синтеза критерия  $K^*$ .



где  $c_i$  ( $i = \overline{1, l}$ ) – положительные константы, удовлетворяющие условиям:  
 $0 < c_i < 1$ ,  $c_i \neq c_j$ , если  $i \neq j$ ;  $C_{r_1}^2$  – число сочетаний из  $r_1$  по 2.

Шаг 6. Каждый критерий из множества  $K^2 = \{K_1^2, K_2^2, \dots, K_d^2\}$ , где  $d = lC_{r_1}^2$ , используется для классификации объектов обучающегося множества М на два указанных класса М1 и М2. При этом для каждого критерия из множества  $K^2$  подсчитывается показатель качества  $n_j$  ( $j = \overline{1, d}$ ) работы критерия.

Шаг 7. По показателям качества  $n_j$  ( $j = \overline{1, d}$ ) отбирается наперед заданное число  $r$  лучших критериев  $\overline{K}_1^2, \overline{K}_2^2, \dots, \overline{K}_r^2$ , которые правильно выполнили классификацию наибольшего числа объектов из обучающего множества М. Если один или несколько лучших критериев правильно выполнили классификацию всех объектов обучающего множества М, то цель синтеза критериев достигнута, и работа алгоритма по получению новых критериев прекращается.

Шаг 8. Полученное множество критериев  $\overline{K}^2 = \{\overline{K}_1^2, \overline{K}_2^2, \dots, \overline{K}_r^2\}$  проверяют на возможность правильной классификации всех объектов обучающего множества М. Если обнаруживаются элементы множества М, которые не могут быть правильно проклассифицированы отобранным множеством  $\overline{K}^2$  критериев, то множество  $\overline{K}^2$  расширяют  $\overline{K}^2 = \{\overline{K}_1^2, \overline{K}_2^2, \dots, \overline{K}_r^2, \dots, \overline{K}_{r_2}^2\}$ ,  $r_2 > r$ , включая в него дополнительные критерии текущего или первого ряда селекции, имеющие более низкие показатели качества, но позволяющие правильно классифицировать указанные элементы множества М.

Шаг 9. Критерии множества  $\overline{K}^2 = \{\overline{K}_1^2, \overline{K}_2^2, \dots, \overline{K}_r^2, \dots, \overline{K}_{r_2}^2\}$ ,  $r_2 \geq r$  пропускаются в третий ряд селекции, где синтезируется множество  $K^3$  критериев вида:

$$K_q^3 = c_{1i}^q \overline{K}_1^2 + c_{2i}^q \overline{K}_2^2 + c_{3i}^q \overline{K}_1^2 \overline{K}_2^2, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{1, l}, \quad i = \overline{1, l},$$

$$K_q^3 = c_{1i}^q \overline{K}_1^2 + c_{2i}^q \overline{K}_3^2 + c_{3i}^q \overline{K}_1^2 \overline{K}_3^2, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{\overline{l+1}, 2l}, \quad i = \overline{1, l};$$

(3)

$$K_q^3 = c_{1i}^q \overline{K}_{r_2-1}^2 + c_{2i}^q \overline{K}_{r_2}^2 + c_{3i}^q \overline{K}_{r_2-1}^2 \overline{K}_{r_2}^2, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{(C_{r_2}^2 - 1)l + 1, C_{r_2}^2 l}, \quad i = \overline{1, l},$$

где  $c_{1i}^q, c_{2i}^q, c_{3i}^q$  ( $i = \overline{1, l}$ ) – положительные константы, удовлетворяющие условию:  $0 < c_{1i}^q, c_{2i}^q, c_{3i}^q < 1$ .

Процесс синтеза, оценки и селекции критериев продолжается до тех пор, пока не будет получен критерий, правильно выполняющий классификацию элементов множества М, или не будут выполняться другие условия окончания работы алгоритма, например, по числу рядов селекции, по отсутствию улучше-

ния показателей качества лучших критериев текущего ряда селекции по сравнению с показателями критериев одного или нескольких предшествующих рядов селекции и т.д.

Рассмотрим в качестве примера синтез критерия для функции реализации, содержащей 8 альтернатив и 7 состояний внешней среды и приведенной в табл. 1.

Таблица 1

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$K_{mm}$	$K_{an}$	$K_n$	$K_S$	$K_{пр}$	$K_1^2$	$K_2^2$
$x_1$	3	7	8	9	10	11	12	3	12	8,57	6	$2,00 \cdot 10^6$	10,28	7,00
$x_2$	2	3	7	8	4	5	12	2	12	5,86	8	$0,81 \cdot 10^5$	8,93	6,04
$x_3$	8	6	5	10	6	7	8	5	10	7,14	7	$0,81 \cdot 10^5$	8,57	5,04
$x_4$	7	5	5	3	10	13	6	3	13	7,00	9	$0,41 \cdot 10^6$	10,00	6,70
$x_5$	4	10	11	12	9	8	7	4	12	8,71	5	$2,66 \cdot 10^6$	10,35	7,33
$x_6$	8	2	12	1	12	11	6	1	12	7,43	11	$0,15 \cdot 10^6$	9,71	6,07
$x_7$	9	3	11	11	10	9	10	3	11	9,00	7	$2,94 \cdot 10^6$	10,00	6,97
$x_8$	5	6	5	11	7	11	10	5	11	7,86	7	$1,27 \cdot 10^6$	9,43	6,13
$n_j$	–	–	–	–	–	–	–	4	2	4	2	4	8	8

В примере в качестве обучающего множества  $M$  используется множество альтернатив  $\{x_1, x_2, \dots, x_8\}$ . Множество  $M$  разделено на два подмножества: лучших альтернатив  $M_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_7\}$  и худших альтернатив  $M_2 = \{x_2, x_3, x_6, x_8\}$ . Требуется с помощью обучающего множества  $M$  синтезировать критерий, позволяющий правильно классифицировать альтернативы, относящиеся к тем же классам, что и альтернативы обучающего множества.

Используем вначале для классификации альтернатив классические критерии: максиминный, азартного игрока, нейтральный, Сэвиджа и критерий произведений.

Показатель качества  $n_j$  работы любого критерия  $K_j$  определим как в предыдущей лабораторной работе:

$$n_j = n_1 - n_2,$$

где  $n_1, n_2$  – соответственно число правильно и неправильно проклассифицированных альтернатив.

Анализ показателей качества работы критериев (см. табл. 1) показывает, что ни один из примененных критериев не решает правильно задачу разделения множества альтернатив на два заданных подмножества. В связи с этим выполним синтез трехкомпонентных критериев с помощью соотношений (3) алгоритма МГУА с нелинейными частными описаниями. В результате будут получены следующие критерии:

$$\begin{aligned}
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_{MM}^1 + c_{2i}^q K_H^1 + c_{3i}^q K_{MM}^1 K_H^1, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{l+1, 2l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_{MM}^1 + c_{2i}^q K_S^{*1} + c_{3i}^q K_{MM}^1 K_S^{*1}, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{2l+1, 3l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_{MM}^1 + c_{2i}^q c_{np} K_{np}^1 + c_{3i}^q c_{np} K_{MM}^1 K_{np}^1, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{3l+1, 4l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_{ai}^1 + c_{2i}^q K_H^1 + c_{3i}^q K_{ai}^1 K_H^1, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{4l+1, 5l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_{ai}^1 + c_{2i}^q K_S^{*1} + c_{3i}^q K_{ai}^1 K_S^{*1}, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{5l+1, 6l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_{ai}^1 + c_{2i}^q c_{np} K_{np}^1 + c_{3i}^q c_{np} K_{ai}^1 K_{np}^1, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{6l+1, 7l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_H^1 + c_{2i}^q K_S^{*1} + c_{3i}^q K_H^1 K_S^{*1}, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{7l+1, 8l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_H^1 + c_{2i}^q c_{np} K_{np}^1 + c_{3i}^q c_{np} K_H^1 K_{np}^1, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{8l+1, 9l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^2 &= c_{1i}^q K_S^{*1} + c_{2i}^q c_{np} K_{np}^1 + c_{3i}^q c_{np} K_S^{*1} K_{np}^1, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{9l+1, 10l}, \quad i = \overline{1, l}.
 \end{aligned}$$

В зависимости от выбранных коэффициентов  $c_{1i}^q, c_{2i}^q, c_{3i}^q$  ( $q = \overline{1, 10l}, i = \overline{1, l}$ ) необходимый критерий может быть получен или на втором, или на дальнейших рядах селекции. Критерии третьего ряда селекции несложно получить с помощью соотношений (3), а для получения критериев на более высоких рядах селекции необходимо использовать соотношения (4):

$$\begin{aligned}
 K_q^{k+1} &= c_{1i}^q \overline{K}_1^k + c_{2i}^q \overline{K}_2^k + c_{3i}^q \overline{K}_1^k \overline{K}_2^k, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{1, l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 K_q^{k+1} &= c_{1i}^q \overline{K}_1^k + c_{2i}^q \overline{K}_3^k + c_{3i}^q \overline{K}_1^k \overline{K}_3^k, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{l+1, 2l}, \quad i = \overline{1, l}; \\
 &\dots\dots\dots (4) \\
 K_q^{k+1} &= c_{1i}^q \overline{K}_{r_2-1}^k + c_{2i}^q \overline{K}_{r_2}^k + c_{3i}^q \overline{K}_{r_2-1}^k \overline{K}_{r_2}^k, \quad c_{1i}^q + c_{2i}^q + c_{3i}^q = 1, \quad q = \overline{(C_{r_2}^2 - 1)l + 1, C_{r_2}^2 l}, \quad i = \overline{1, l},
 \end{aligned}$$

где  $k$  – константа, определяющая текущий ряд селекции;  $\overline{K}_j^k$  ( $j = \overline{1, r_2}$ ) – лучшие частные критерии  $k$ -го ряду селекции;  $r_2$  – число частных критериев, пропускаемых в  $(k+1)$ -й ряд селекции.

### 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Задайте функцию реализации размерами не менее, чем  $8 \times 7$ , где восемь альтернатив рассматриваются как обучающее множество  $M$ . Отнесите половину альтернатив к подмножеству  $M_1$  лучших альтернатив, а оставшиеся – к подмножеству  $M_2$  таким образом, чтобы не менее семи однокомпонентных критериев не могли правильно классифицировать заданное множество альтернатив. (В качестве исходных данных можно использовать и данные табл. 1, добавив в нее дополнительные строки или (и) столбцы.)

2. Синтезируйте, используя Excel и выражения (2), на втором ряду селекции не менее 10 – 15 трехкомпонентных критериев и оцените их качество работы.

3. Синтезируйте, используя Excel, на третьем ряду селекции не менее 5 – 10 критериев и оцените их качество работы. Синтез критериев можно прекращать только в случае, когда получен хотя бы один критерий, решающий поставленную задачу.

4. Оформите отчет по лабораторной работе.



## 5. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КППР

Задачи принятия решений чрезвычайно остро стоят перед:

- работниками управления;
- экономистами;
- финансистами;
- социологами;
- политиками;
- консультантами;
- оценщиками;
- работниками здравоохранения;
- военными;
- психологами;
- работниками социальной сферы;
- научными работниками,

Вот примеры решаемых ими типичных задач.

1. **Рейтинг клиентов** (какой из клиентов чаще покупает мои товары? кто из потенциальных клиентов является наиболее перспективным?).
  2. **Анализ рисков** (например: вложения в какой из рассматриваемых руководством банка проектов наименее рискованны?).
  3. **Распределение ресурсов.**
  4. **Планирование от достигнутого.**
  5. **Планирование желаемого будущего.**
  6. **Комбинированное планирование** для определения приоритетов деятельности, позволяющей сблизить результаты планирования от достигнутого и планирования желаемого будущего.
  7. **Выбор оптимальной стратегии.** Это может быть комплекс задач по планированию, анализу рисков, распределению ресурсов и т.д.
  8. **Анализ эффективность-стоимость.**
  9. **Принятие кадровых решений.**
  10. **Разрешение конфликтов.**
  11. **Поиск существенных факторов.** Рейтинг составлен. Отбрасываем некоторые факторы. Если рейтинг в принципе не изменился, то отброшенные факторы несущественны. Задача определения существенных факторов особенно актуальна при решении масштабных проблем и проблем стратегического планирования.
  12. **Диагностика** возможных сценариев развития ситуации.
  13. **Построение зависимостей.**
- Решение вышерассмотренных задач принятия решений применяется в различных предметных областях.

## **1. Телекоммуникации**

Телекоммуникационные компании используют КППР для подготовки и принятия комплекса решений, направленных на сохранение своих клиентов и минимизацию их оттока в другие компании. КППР позволяют компаниям более результативно проводить свои маркетинговые программы, вести более привлекательную тарификацию своих услуг.

Анализ записей с характеристиками вызовов позволяет выявлять категории клиентов с похожими стереотипами поведения, с тем, чтобы дифференцировано подходить к привлечению клиентов той или иной категории.

Есть категории клиентов, которые постоянно меняют провайдеров, реагируя на те или иные рекламные компании. КППР позволяют выявить наиболее характерные признаки «стабильных» клиентов, т.е. клиентов, длительное время остающихся верными одной компании, давая возможность ориентировать свою маркетинговую политику на удержание именно этой категории клиентов.

## **2. Банковское дело**

КППР используются для более качественного мониторинга различных аспектов банковской деятельности, таких как обслуживание кредитных карт, займов, инвестиций и так далее, что позволяет значительно повысить эффективность работы.

Выявление случаев мошенничества, оценка риска кредитования, прогнозирование изменений клиентуры – области применения КППР и методов добычи данных. Классификация клиентов, выделение групп клиентов со сходными потребностями позволяет проводить целенаправленную маркетинговую политику, предоставляя более привлекательные наборы услуг той или иной категории клиентов.

## **3. Управление финансами**

КППР в управлении финансами предназначены не только для предоставления пользователю возможности получения той или иной отчетной информации по планированию и исполнению бюджета, но и для предоставления возможности автоматизированного формирования оптимальных стратегий управления бюджетными ресурсами в виде готовых планов-графиков движения средств бюджета и всех сопутствующих отчетов.

КППР должна представлять собой общую операционную среду для моделирования объектов в условиях динамично меняющейся экономической ситуации. Наиболее общая форма построения автоматизированной системы поддержки решений приведена на рис. 6.



Рис. 6. Структура системы поддержки принятия управленческих решений

На основе данных используемая система учета позволяет строить всевозможные денежные потоки в моделируемом периоде времени, моделировать и рассчитывать любые финансовые показатели. Основное отличие между денежными потоками и рядами финансовых показателей состоит в том, что компоненты потока измеряются в денежных единицах, в то время как значения показателей могут иметь любую размерность. Операционная среда содержит базовые алгоритмы расчета, а также позволяет пользователю создавать собственные алгоритмы расчета денежных потоков и используемых показателей.

Из потока оперативной информации интегрируются только данные, необходимые для осуществления аналитических работ. Организация данных производится по предметному принципу для упрощения составления отчетов.

Время представляет собой неявную часть информации, хранящейся в системе поддержки принятия решений. В потоке оперативной информации данные всегда отражают состояние государственного долга на данный момент. В противоположность этому, информация, хранящаяся в системе поддержки принятия решений, поддерживает, кроме всего прочего, анализ тенденций развития ситуации. Поэтому в систему поддержки принятия решений загружаются элементы одной и той же информации, взятые в разные моменты времени, чтобы обеспечить возможность сравнения.

Репозиторий первичной информации, хранящейся в системе поддержки принятия решений, предусматривает ее загрузку, чтение, но не модификацию. Актуализация или обновление этой части системы поддержки принятия решений означает загрузку нового элемента информации в добавление к уже имеющейся.

Информация, загружаемая в КППР, интегрируется в целостную структуру, отвечающую потребностям аналитических работ. Специальные процедуры верификации информации обеспечивают минимизацию несоответствия между различными потоками оперативной информации. Информация структурируется по различным уровням детализации, чтобы обеспечивать необходимые пользователям типы запросов или отчетов.

Обычно предоставляются следующие уровни детализации:

- высокая степень агрегации сводных данных;
- небольшая степень агрегации сводных данных;
- текущая детальная информация;
- историческая и прежняя информация.

Все интересующие пользователя управленческие решения реализуются и представляются в модели состояния государственного долга (например, в терминах изменения остатков на тех или иных счетах выбранной системы учета). Для менее детализованной модели необходим "перевод" этих решений в денежные единицы, при более детализованном учете такая проблема исчезает.

Результаты принятия тех или иных управленческих решений можно отслеживать по изменениям остатков на счетах, по изменениям компонент денежных потоков (стандартных или запрограммированных пользователем) в будущем периоде и, кроме того, по изменению рассчитываемых финансовых показателей.

Таким образом, ключевым элементом интегрированной системы поддержки принятия решений по управлению государственным долгом является заложенная в основу системы модель управления.

Рассмотрим структуру и некоторые наиболее общие характеристики и свойства моделей управления государственным долгом. Одним из несомненных достоинств системы управления долгом является формирование наиболее благоприятного для пользователя (лица, принимающего управленческие решения) режима активной работы с моделью, который, с одной стороны, предполагает гибкую и проработанную систему изменения входящих данных для управления процессом вычисления, а с другой стороны - многогранные механизмы анализа полученного плана-решения. Структурная схема модели в самом общем виде представлена на рис. 7.



Рис. 7. Структурная схема модели формирования бюджетов субъекта РФ

В общем случае подготовка и разработка такой модели, а также ее инфраструктуры и методики применения позволяет получать следующие результаты:

1. Улучшение качества управляющих решений. Достаточно часто математические модели предписывают способы действия более рациональные по сравнению с теми, которые определяются на основе интуиции.

2. Улучшение качества координации между подразделениями администрации. Применение математических моделей нередко служило средством, помогающим "из беспорядка сделать порядок".

3. Улучшение качества контроля. Руководству хорошо известно, что непрерывный надзор за исполнением управляющих решений рутинного характера обходится очень дорого. Применение математических моделей позволяет определить стандартизированные и надежные процедуры контроля за текущей деятельностью и своевременного выявления нежелательных тенденций.

4. Создание более совершенных систем. Подготовка модели, описывающей процесс генерации и исполнения бюджета региона, позволит выявить слабые места действующей практики бюджетного процесса и одновременно прояснит пути решения вскрытых в результате исследования проблем.

Концепция разработанных моделей формирования и исполнения бюджета рассчитана на пользователя, не имеющего специальной подготовки в области математического программирования, опыта работы с предлагаемыми в рамках информационной системы математическими средствами обработки данных и анализа. В рамках разработки соответствующего математического и аналитического аппарата была разработана общая методология моделирования формирования и исполнения бюджета, система

понятий, механизмов взаимодействия, отражающих содержание концепции формирования и исполнения бюджета.

При построении информационных потоков системы управления формированием и исполнением бюджета было выделено два уровня принятия решений при осуществлении процесса управления государственным долгом: тактический и стратегический. Для каждого уровня сформулирована соответствующая модель (оперативная и стратегическая), разработаны схемы их совместного использования.

Разработанные модели адаптированы к действующим учетным базам данных долговых инструментов органов государственной власти России. В нашей статье мы не будем рассматривать свойства и характеристики стратегической модели, так как ее поведение в значительно большей степени, по сравнению с оперативной моделью, зависит от специфики долгосрочных целей, которые ставит перед собой администрация. В настоящее время не представляется возможным выделить общие элементы стратегических моделей, которые были бы применимы, например, для всех субъектов Российской Федерации.

При построении оперативной модели были определены основные ограничения и допущения, выработаны общие принципы проектирования моделей, описывающих процесс формирования и исполнения бюджета различных уровней власти, определены общие целевые функции для предлагаемых моделей.

Оперативная модель предназначена для формирования оптимальной структуры бюджета на краткосрочную перспективу. Таким образом, результатом применения модели является построенный оптимальный план формирования и исполнения бюджета государственного органа - исполнителя бюджета, удовлетворяющий действующим законодательным и нормативным ограничениям.

Оперативная модель формирования и исполнения бюджета предназначена, например, для сравнения путей решения проблемы минимизации расходов по заемным средствам при обязательном условии исполнения плановых заказов бюджета на осуществление привлечения финансовых средств на различных рынках заимствований. Модель может применяться в тех случаях, когда оптимальная политика в том или ином временном интервале не является очевидной.

Применение модели позволит делать оперативный прогноз с учетом условий в соответствии с макроэкономической ситуацией, тенденцией ее развития, и статистикой исполнения бюджета за предыдущие периоды.

В настоящее время сделана успешная попытка реализации такого подхода как с использованием оригинальных программных средств, так и с применением широко используемой СУБД, построенной на многомерной

модели – Oracle Express Server. Была установлена высокая инвариантность предлагаемого технического решения относительно специфики модели управления.

Подводя итоги, еще раз отметим, что открытые динамические оптимизационные модели формирования и исполнения бюджета, интегрированные в соответствующие информационные системы органов власти субъекта РФ, являются инструментами аналитического исследования управленческих решений, принятых исполнительными органами власти. При этом прикладное использование результатов решения модели требует адаптации ее с учетом особенностей рассматриваемого объекта, что объясняется спецификой законодательства, регулирующего его деятельность.

Применение оперативной модели формирования и исполнения бюджета обусловлено необходимостью проследить влияние динамики действующих законодательных, нормативных и рыночных ограничений на процесс формирования и исполнения бюджета.

Модель позволяет выявить альтернативы решения задачи и оценить результаты, к которым они приводят, а также дает возможность определить, какие данные необходимы для оценки имеющихся альтернатив. В итоге это обеспечивает получение обоснованных выводов.

#### 4. Финансовая диагностика предприятий

В диагностике предприятия существуют два основных объекта анализа:

- результаты деятельности предприятия за период и его состояние на текущий момент времени;
- основные бизнес-процессы предприятия (Рис. 8).



Рис. 8. Объекты диагностики предприятия

Определив основные объекты диагностики (*первое положение финансовой диагностики*), попытаемся связать финансовую диагностику с общим диагностическим процессом.

Представляется очевидным то, что нельзя ограничить инструментарий диагностики расчетом только финансовых показателей (*второе положение финансовой диагностики*).

Финансовые показатели должны появляться на конечной стадии диагностики. Следует не забывать, что диагностика не делается сама по себе – она служит целям управления. Анализировать следует не только бизнес-процессы обеспечивающие «финансовую функцию» предприятия, но и все основные бизнес-процессы, связанные с деятельностью предприятия.

Остановимся на структуре диагностики. Начнем с диагностики результатов деятельности и состояния предприятия. Финансовый инструментарий данной части диагностики весьма обширен, он включает в себя большое количество финансовых показателей (коэффициентов), которые зачастую дублируют друг друга, и не всегда очевидна необходимость использования тех или иных коэффициентов.

Представляется целесообразным сформулировать *третье положение финансовой диагностики* в виде *принципа разумной достаточности* использования методов финансового анализа. Суть принципа чрезвычайно проста – *для целей диагностики следует использовать только те показатели, которые являются информационной основой для принятия управленческих решений.*

Если говорить о практическом воплощении принципа разумной достаточности, то достаточно ограничиться набором средств финансовой диагностики, представленном на рис. 9.

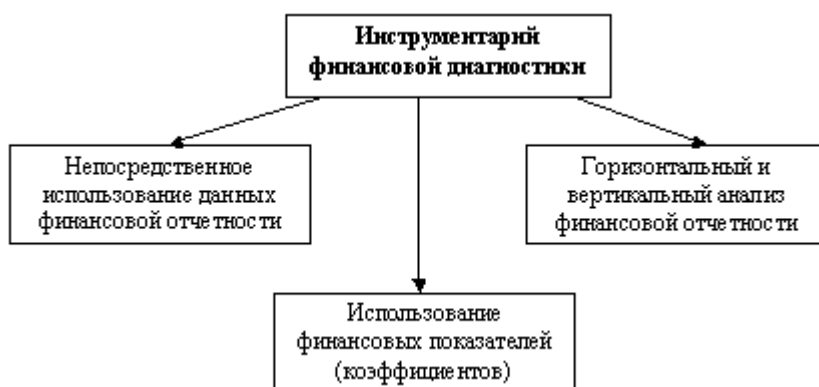


Рис. 9. Инструментарий финансовой диагностики

Остановимся коротко на содержании каждой из составляющих. *Непосредственное использование финансовой отчетности* является первым, но не основным шагом, финансовой диагностики. Прежде всего, подчеркнем разницу между понятиями «информация» и «данные». Данные в области финансового менеджмента обычно представляют собой набор каких-либо сведений, главным количественного характера, которые в той или иной манере характеризуют предприятие. Существенно то, что на основе этой слабо структурированной информации принципиально невозможно



произвести эффективную диагностику. Термин «информация» предполагает некоторую степень организации данных, причем порядок упорядочивания информации служит целям ее использования.

Первый этап структурного упорядочивания финансовых данных как раз и состоит в составлении финансовой отчетности, когда финансовые данные организуются по специальным форматам, образующим: баланс, отчет о прибылях и убытках, отчет о движении денежных средств. Можно ли произвести обстоятельный анализ предприятия с помощью этих данных? Принципиально, да. Но это может сделать только опытный финансист. Еще ранее было упомянуто, что конечным потребителем результатов диагностики является высшее руководство. Руководителю необходима некоторая более обобщенно представленная и лаконичная система данных. В то же время получить ответы на некоторые более уточняющие вопросы можно только на основании первичных финансовых отчетов. Какие же обобщающие данные можно извлечь непосредственно из финансовых отчетов. Это, во-первых, сумму основных и оборотных средств предприятия, величину его задолженностей и собственного капитала. Далее, отчет о прибыли предоставляет данные по величине операционной и чистой прибыли. И, наконец, результирующие денежные потоки от операционной, инвестиционной и финансовой деятельности из отчета о движении денежных средств.

*Вертикальный и горизонтальный анализ* финансовой отчетности является следующей стадией упорядочивания финансовой информации. Его содержание чрезвычайно просто. В горизонтальном анализе сопоставляются (в абсолютном и процентном соотношении) основные статьи баланса, отчета о прибыли и отчета о движении денежных средств. В вертикальном анализе все данные финансовых отчетов представляются в относительном (процентном) выражении.

*Четвертое положение финансовой диагностики* можно сформулировать как *принцип сравнимости*. Суть этого принципа состоит в том, что сами по себе финансовые показатели являются бесполезными для принятия решения, если менеджер не сопоставляет их с каким-то другими данными, имеющими отношение к объекту диагностики. Существует два вида показателей для сопоставления:

- показатели данного предприятия за предшествующие периоды времени,
- аналогичные показатели других предприятий, принадлежащих той же отрасли, (обычно предприятий-конкурентов).

Данное положение символизирует прагматическую простоту основной цели диагностики – по результатам диагностики следует сделать по возможности два вывода:

1. Как изменилось состояние предприятия по сравнению с предыдущими периодами – ухудшилось или улучшилось?

2. Насколько успешно наше предприятие работает по сравнению с конкурентами.

Как правило, единственным источником сравнения является значение какого-либо показателя предприятия за прошедший период времени. Наблюдая позитивную (т.е. направленную на улучшение) динамику какого-либо показателя предприятия его менеджмент делает выводы о том, что предприятие работает успешно. В то же время, негативная динамика заставляет искать слабые места деятельности.

Третий инструментарий (см. рис. 9) финансовой диагностики – это традиционный набор финансовых коэффициентов, Ratio Analysis, как часто говорят западные финансовые аналитики. Целесообразно упорядочить финансовые показатели по признаку операционной деятельности как главного фокуса предприятия с учетом рыночной ориентации. Этот несколько туманный на первый взгляд признак иллюстрируется рис. 10. Суть предлагаемого подхода состоит в том, что основным показателем результативности предприятия признан показатель прибыльности собственного капитала (обычно обозначается *ROE*). Таким образом, на первое место ставится интерес собственника. Данный показатель обеспечивается, главным образом, двумя факторами: *прибыльностью продаж* (этот показатель принадлежит группе показателей операционной деятельности) и *оборачиваемостью активов* (группа показателей эффективности использования активов). В самом деле, каждый предприниматель понимает, что высокую отдачу от использования вложенных средств можно обеспечить высокой «маржей продаж» и/или высокой оборачиваемостью оборотных средств. Оценка показателей ликвидности является неотъемлемой частью диагностической процедуры. Их назначение состоит в том, чтобы предостеречь менеджмент предприятия от излишнего увеличения оборачиваемости. «Помни об угрозе банкротства» - говорят эти показатели. Наконец, отдачу от использования вложенных собственником средств можно увеличить за счет использования долгосрочных заемных ресурсов. Эту часть деятельности компании (она называется финансовой) характеризует группа показателей структуры капитала.



Рис. 10. Структура финансовых показателей предприятия

В том случае, когда предприятие является акционерным обществом открытого типа и когда существует развитый рынок ценных бумаг, имеет смысл анализировать так называемые «рыночные показатели» типа прибыль на одну акцию, коэффициент дивидендных выплат и т.п.

После определения структуры финансовых показателей возникает вопрос о временном аспекте диагностики, т.е. когда и в каком объеме производить диагностику предприятия. Данное положение может быть характеризовано с помощью *пятого положения финансовой диагностики – принципа временной согласованности* финансовой диагностики. Согласно этому принципу диагностика предприятия должна проводиться согласно определенному временному регламенту. Наиболее привлекательной с практической точки зрения представляется следующий регламент диагностики:

- один раз в году (в период подготовки годового отчета) производится фундаментальная диагностика, предполагающая использование всего диагностического инструментария, представленного на рис. 11;
- ежемесячно производится оценка ограниченного количество показателей по результатам текущего месяца (обычно это делается в первых числах последующего месяца).

Последняя процедура носит название «мониторинга» деятельности предприятия. В процессе мониторинга осуществляется контроль показателей, которые характеризуют оперативные результаты деятельности. В частности, в состав показателей мониторинга не имеет смысл вводить показатель прибыльности активов или собственного капитала. Данный показатель является интегральным, он формируется в течение всего года. В то же время в состав показателей мониторинга следует обязательно включить показатель валовой прибыльности (отношение валовой прибыли к выручке). Эту характеристику следует «мониторить» как можно чаще, чтобы

вовремя обнаружить негативную тенденцию ухудшения операционной эффективности предприятия.

В качестве *шестого положения финансовой диагностики* выступает *принцип законченности*, суть которого состоит в том, что когда рассчитаны все финансовые коэффициенты, сделан горизонтальный и вертикальный анализ финансовой отчетности и описаны ее особенности характерные для анализируемого периода, необходимо сделать выводы, ради которых, собственно, и были выполнены все указанные выше работы. Представление таких выводов должно быть лаконичным и конструктивным, т.е. направленным на поиск путей улучшения деятельности компании. В качестве такого представления может быть рекомендован формат так называемого SWOT-анализа. Все множество факторов деятельности компании группируется по четырем областям:

- S (Strengths) – сильные стороны деятельности предприятия;
- W (Weaknesses) – слабые стороны деятельности предприятия;
- O (Opportunities) – возможности предприятия, позволяющие ему улучшить свое положение;
- T (Threats) – угрозы (опасности), с которыми может столкнуться предприятие на пути улучшения своей деятельности.

В рамках каждой группы необходимо сформулировать несколько (не более десяти) лаконичных утверждений – выводов по результатам диагностики. Эти утверждения должны быть связаны с какими-либо показателями или свойствами предприятия. Например, «за текущий период ухудшились показатели оборачиваемости, о чем свидетельствует увеличение длины финансового цикла», или «показатели маржинальной прибыли стабильны». Важно различать сферы ответственности отмеченных выше групп. Первые две «отвечают» за текущее состояние предприятия, в то время как две другие связаны с прогнозом состояния предприятия на ближайшую перспективу.

Прагматическая целесообразность SWOT-анализа заключается в том, что он делает попытку конструктивного улучшения результативности деятельности предприятия. На основе этих основных позиций SWOT-анализа менеджмент предприятия должен сформулировать рекомендации по основным направлениям улучшения деятельности. Только тогда процесс диагностики можно считать законченным.

## **5. Страхование**

Набор применений КППР в страховом бизнесе можно назвать классическим – это выявление потенциальных случаев мошенничества, анализ риска, классификация клиентов.

Обнаружение определенных стереотипов в заявлениях о выплате страхового возмещения, в случае больших сумм, позволяет сократить число случаев мошенничества в будущем.

Анализируя характерные признаки случаев выплат по страховым обязательствам, страховые компании могут уменьшить свои потери. Полученные данные приведут, например, к пересмотру системы скидок для клиентов, подпадающих под выявленные признаки.

Классификация клиентов дает возможность выявить наиболее выгодные категории клиентов, чтобы точнее ориентировать существующий набор услуг и вводить новые услуги.

Маркетинг данных – это другая область, в которой активно применяются технологии data mining. Определяя круг кандидатов для рассылки целевой рекламы с помощью методов data mining можно увеличить продажи, при этом уменьшив расходы на проведение такой рекламы.

## **6. Розничная торговля**

Торговые компании используют технологии КППР для решения таких задач, как планирование закупок и хранения, анализ совместных покупок, поиск шаблонов поведения во времени.

Анализ данных о количестве покупок и наличии товара на складе в течение некоторого периода времени позволяет планировать закупку товаров, например, в ответ на сезонные колебания спроса на товар.

Часто, покупая какой либо товар покупатель приобретает вместе с ним и другой товар. Выявление групп таких товаров позволяет, например, помещать их на соседних полках, с тем, чтобы повысить вероятность их совместной покупки.

Поиск шаблонов поведения во времени дает ответ на вопрос «Если сегодня покупатель приобрел один товар, то через какое время он купит другой товар?». Например, приобретая фотоаппарат, покупатель, вероятно, в ближайшем будущем станет приобретать пленку, пользоваться услугами по проявке и печати.

## **7. Управление административно-территориальными образованиями**

Информационная система (ИС) управления любым административно-территориальным образованием (АТО) (городом, районом, областью) является трехуровневой' верхний уровень относится к управлению регионом в целом, на среднем уровне осуществляется управление различными сферами его жизнедеятельности, функцией нижнего уровня является сбор информации, необходимой для принятия решений на более высоких уровнях.

Большинство ИС АТО, создаваемых и предлагаемых на рынке в настоящее время, ориентированы на автоматизацию функций нижнего уровня. В их рамках создаются и заполняются реестры базовых объектов территории (физических и юридических лиц, земельных участков, недвижимости и т. д.), делаются попытки интеграции информационных ресурсов региона, находившихся в ведении различных организаций государственного и муниципального подчинения.

Для того, чтобы лица, принимающие решения (ЛПР) на первом и втором уровнях могли использовать собранную информацию, необходима ее аналитическая обработка.

В регионе должен быть создан базовый информационный слой - единое информационное пространство (технология его создания принципиально не важна), то есть ЛПР доступна любая информация о любом объекте в регионе, не являющаяся личной, коммерческой или государственной тайной. Тогда можно предложить следующую технологию создания многоуровневой системы поддержки принятия решения (КППР) для руководителей первого и второго уровней.

В настоящее время различными министерствами и ведомствами утверждены и в каждом регионе рассчитываются около 8000 различных показателей социально-экономического развития АТО, относящихся к различным сферам деятельности местных органов власти. Расчет осуществляется органами различного подчинения на основе принадлежащей каждому из этих органов неполной информации. В результате информация искажается и становится непригодной для использования при принятии решений. Фактически в настоящее время руководителями верхнего уровня используется не более сотой части этих показателей.

Предлагается осуществлять расчет показателей на основе достоверной информации из реестров базовых объектов территории, единой и доступной для всех – это надстройка первого уровня над базовым информационным слоем. На следующих уровнях предполагается производить расчет удельных показателей, анализ динамики показателей и прогнозирование их уровня, сравнение полученных данных с показателями других АТО, средними по региону, социальными нормами и т.д. При этом данные каждого нижнего уровня доступны на любом из вышестоящих уровней.

Поскольку состав показателей, способы их расчета, методики анализа изменяются достаточно часто, вследствие этого создаваемая система должна быть гибкой и иметь возможность настройки любого из уровней. В связи с этим требованием, возможна реализация каждого из уровней в виде конструктора. С помощью конструктора неквалифицированный пользователь, являющийся специалистом в своей области, мог бы изме-

нять состав показателей, задавая формулы для их расчета на основе имеющихся данных, изменять формы их взаимозависимостей и т. д. Кроме того, такая форма реализации дает возможность настройки программы с учетом особенностей конкретного региона.

Полученные данные необходимо использовать в процессе принятия решения. На начальном этапе развития системы предлагается в рамках автоматизированного рабочего места (АРМ) каждого руководителя предусмотреть возможность доступа к данным любого уровня КППР, кроме базового. Данные могут быть представлены как в текстовом виде, так и в виде бизнес-графики.

На основе полученных данных формулируются множество содержательных задач, которые могут быть решены, осуществляется их программная реализация в виде еще одного уровня СПЛР. Примером такой задачи может служить достаточно актуальная в настоящее время задача, решаемая руководителем финансового отдела администрации: поиск торговых организаций, недоплачивающих налоги в местный бюджет.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**

### **"ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ИГР"**

#### **1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы при формализации конфликтных ситуаций с помощью теории игр.

#### **2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

##### **2.1. Основные понятия и определения теории игр**

**Теория игр** – раздел математики, изучающий методы принятия решений в конфликтных ситуациях.

Игра – математическая модель конфликтной ситуации, в которой определены участники конфликта (игроки), их возможные действия (стратегии), получаемая ими информация, условия окончания игры и правила изменения заинтересованности каждого игрока.

Партия игры – случай разыгрывания игры некоторым конкретным образом от начала до конца.

В настоящее время нет общепризнанной классификации игр, но можно отметить несколько основных направлений, используемых для классификации

игр: число игроков и стратегий, характер взаимоотношения игроков, число ходов, характер и вид функций выигрышей и т.д.

В зависимости от числа игроков различают игры двух и  $n$  игроков. Наибольшее распространение получили игры двух игроков. Они наиболее исследованы и широко применяются на практике. Игры  $n$  игроков менее исследованы и применяются реже, поскольку их решение существенно сложнее, чем игр двух игроков, причем трудности решения игр возрастают с ростом числа игроков.

По числу стратегий все игры можно разделить на конечные и бесконечные. Игра называется конечной, если каждый из игроков имеет конечное число стратегий. В противном случае игра называется бесконечной.

По характеру взаимоотношения игроков различают коалиционные, кооперативные и бескоалиционные игры. Если в процессе игры игроки могут вступать в соглашения и образовывать коалиции, то такая игра называется коалиционной. Если коалиции определены заранее, то игры называются кооперативными. Если в процессе игры игроки не могут вступать в соглашения и образовывать коалиции, то такие игры называются бескоалиционными.

В зависимости от числа ходов игры делятся на одношаговые и многошаговые. Игра называется одношаговой, если каждый из игроков делает по одному шагу. Если хотя бы один из игроков делает более одного шага, то игра называется многошаговой.

По характеру выигрышей игры делят на игры с нулевой суммой и игры с ненулевой суммой. Если сумма выигрышей всех игроков в каждой партии равна нулю, то игра называется игрой с нулевой суммой. В такой игре сумма общего капитала всех игроков остается неизменной и в зависимости от исхода партии он перераспределяется между игроками. Таким образом, в играх с нулевой суммой выигрыши одних игроков оборачиваются потерями других игроков. В случае игры двух игроков их цели становятся диаметрально противоположными, поскольку выигрыш одного игрока равен проигрышу другого игрока. Такие игры двух игроков с нулевой суммой называют антагонистическими. Многие политические, военные и экономические ситуации математически можно описывать как игры с нулевой суммой.

В играх с ненулевой суммой общий капитал всех игроков меняется в процессе игры, поэтому все игроки могут быть в выигрыше. Примером таких игр могут быть игры, моделирующие взаимовыгодные торговые отношения между странами.

По виду функций выигрышей различают следующие виды игр: матричные, биматричные, выпуклые, непрерывные и т.д.



Матричная игра – это конечная одношаговая антагонистическая игра двух игроков, в которой выигрыши первого игрока задаются с помощью матрицы размерностью  $n \times m$ , где  $n$  – число строк и стратегий первого игрока;  $m$  – число столбцов и стратегий второго игрока. Каждой паре стратегий  $(i, j)$  соответственно первого и второго игроков поставлено в соответствие число  $a_{ij}$ , которое является выигрышем первого игрока за счет второго, если  $a_{ij} > 0$ . Если  $a_{ij} < 0$ , то при данной паре стратегий выигрывает второй игрок. Указанная матрица называется матрицей игры или платежной матрицей. Матричную игру с матрицей  $n \times m$  часто называют игрой  $n \times m$ .

Стратегии  $i$  и  $j$  ( $i \in \{1, 2, \dots, n\}, j \in \{1, 2, \dots, m\}$ ) соответственно первого и второго игроков часто называют чистыми стратегиями.

Решение матричной игры состоит в определении наилучшей или оптимальной стратегии для каждого из игроков. Поскольку выбор наилучшей стратегии каждым из игроков производится при отсутствии информации о действиях другого игрока, то можно дать следующее определение наилучшей или оптимальной стратегии, одного из основных понятий теории игр.

Стратегия игрока называется оптимальной, если ее применение обеспечивает игроку наибольший гарантированный выигрыш при любых возможных стратегиях другого игрока.

Исходя из этого определения, исследуем матрицу выигрышей  $A = \|a_{ij}\|$  первого игрока

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nm} \end{vmatrix}.$$

Если первый игрок выберет стратегию  $i$  ( $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ), то второй игрок будет стремиться к тому, чтобы выбором своей стратегии  $j$  ( $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ ) выигрыш первого игрока, а, следовательно, и свой проигрыш свести к минимуму:

$$\alpha_i = \min_j a_{ij}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Из минимальных элементов  $\alpha_i$  каждой строки формируется дополнительный столбец. Первый игрок будет стремиться найти такую стратегию  $i$ , при которой величина  $\alpha_i$  достигает максимального значения, поэтому он из этого столбца выделяет максимальный элемент:

$$\alpha = \max_i \alpha_i = \max_i \min_j a_{ij}.$$

Число  $\alpha$  называют нижней чистой ценой игры. Оно показывает, какой минимальный выигрыш может гарантировать себе первый игрок, придерживаясь своей максиминной стратегии.

Оптимальное поведение второго игрока состоит в том, что он с помощью своих стратегий должен максимально уменьшить выигрыш первого игрока, т.е. для каждой своей стратегии  $j$  он должен определить свой максимальный возможный проигрыш  $\beta_j = \max_i a_{ij}$ , сформировать из этих проигрышей дополнительную строку, а затем с помощью этой строки выбрать стратегию, при которой величина  $\beta_j$  минимальна:

$$\beta = \min_j \beta_j = \min_j \max_i a_{ij}.$$

Число  $\beta$  называется верхней чистой ценой игры. Оно показывает, что второй игрок за счет применения своей минимаксной стратегии может не допустить выигрыша первого игрока больше, чем  $\beta$ .

Таким образом, за счет оптимального применения своих чистых стратегий первый игрок может гарантировать себе выигрыш не меньше, чем  $\alpha$ , а второй игрок – что его проигрыш не будет больше, чем  $\beta$ .

Если в матричной игре  $A$  нижняя и верхняя чистые цены игры совпадают, то говорят, что матричная игра  $A$  имеет седловую точку в чистых стратегиях и чистую цену игры  $v = \alpha = \beta$ .

Седловой точкой в матричной игре  $A$  называется пара  $(i_0, j_0)$  чистых стратегий соответственно первого и второго игроков, при которых достигается равенство между верхней и нижней чистыми ценами игры  $\alpha = \beta$ .

Элемент  $a_{i_0 j_0}$  матрицы  $A$ , стоящий на пересечении строки  $i_0$  и столбца  $j_0$  называют седловой точкой матричной игры, а число  $v = a_{i_0 j_0}$  – чистой ценой игры.

Понятие седловой точки несет определенный смысл. Рассмотрим его. Если в матричной игре  $A$  имеется седловая точка  $(i_0, j_0)$  и один из игроков придерживается стратегии, соответствующей седловой точке, то у другого игрока нет лучшей стратегии, чем также придерживаться седловой точки. Действительно, если седловой точки придерживается первый игрок, а второй игрок хочет выбрать стратегию  $j \neq j_0$ , то поскольку по определению  $\beta$  элемент  $a_{i_0 j_0} = \min_j a_{i_0 j} \leq a_{i_0 j} \quad j = \overline{1, m}$ , т.е. является минимальным в дополнительной строке, то второй игрок не может уменьшить свой проигрыш, но может его увеличить. Если седловой точки придерживается второй игрок, а первый хочет изменить стратегию  $i_0$  на  $i \neq i_0$ , то поскольку по определению  $\alpha$  элемент  $a_{i_0 j_0} = \max_i a_{i j_0}$  и  $a_{i_0 j_0} \geq a_{i j_0} \quad i = \overline{1, n}$ , то первый игрок не сможет увеличить свой выигрыш за счет замены стратегии  $i_0$  на любую другую, но может уменьшить свой выигрыш, так как элемент  $a_{i_0 j_0}$  является максимальным элементом  $i_0$  дополнительного столбца. Таким образом, имеем

$$a_{ij_0} \leq a_{i_0 j_0} \leq a_{i_0 j},$$

где  $i, j$  – соответственно произвольные чистые стратегии первого и второго игроков;  $i_0, j_0$  – чистые стратегии первого и второго игроков, соответствующие седловой точке;  $a_{ij_0}$  – произвольный элемент столбца  $j_0$  матрицы  $A$ ;  $a_{i_0 j_0}$  – седловой элемент матричной игры;  $a_{i_0 j}$  – произвольный элемент строки  $i_0$  матрицы  $A$ .

Седловой элемент  $a_{i_0 j_0}$  является минимальным элементом строки  $i_0$  и максимальным элементом столбца  $j_0$ . Это свойство седлового элемента позволяет предложить простой алгоритм для определения седловых точек: последовательно в каждом столбце определяют максимальный элемент и проверяют, является ли он минимальным элементом в своей строке. Если проверяемый элемент удовлетворяет этому условию, то он и является седловым элементом, а соответствующая ему пара чистых стратегий образует седловую точку. Естественно, что поиск седловых точек можно осуществить и отыскивая в каждой строке минимальный элемент, а затем проверяя, является ли он максимальным в столбце.

Решением матричной игры  $A$  в чистых стратегиях называется пара чистых стратегий  $(i_0, j_0)$ , образующих седловую точку, и седловой элемент  $a_{i_0 j_0}$ .

Стратегии  $i_0, j_0$ , соответственно первого и второго игроков в матричной игре  $A$ , называют оптимальными чистыми стратегиями.

Если в матричной игре нет седловой точки в чистых стратегиях, то в этом случае  $\alpha \neq \beta$  и  $\alpha \leq \beta$  и получить решение матричной игры в чистых стратегиях не удастся. Можно только определить, что цена игры  $v$  находится между  $\alpha$  и  $\beta$ . Для поиска более точного решения матричной игры в подобных случаях необходимо применять методы, основанные не на чистых, а на смешанных стратегиях обоих игроков.

Биматричная игра – это конечная одношаговая бескоалиционная неантагонистическая игра двух игроков, в которой выигрыши каждого игрока задаются с помощью отдельной матрицы размерностью  $n \times m$ , где  $n$  – число строк и стратегий первого игрока;  $m$  – число столбцов и стратегий второго игрока.

Непрерывная игра – это бесконечная игра с непрерывными функциями выигрышей каждого из игроков, стратегиями которых обычно являются числа из определенного интервала. Если функции выигрышей в игре являются не только непрерывными, но и выпуклыми, то такая игра называется выпуклой.

## 2.2. Примеры игр

Рассмотрим несколько примеров формализации игровых или конфликтных ситуаций в виде игр.

Пример 1. Игроки  $A$  и  $B$  выбирают одну из двух сторон монеты и одновременно показывают друг другу. Если выбранные стороны монет совпали, т.е. обе монеты показываются гербом или решкой, то игрок  $A$  выигрывает монету игрока  $B$ . В противном случае игрок  $A$  проигрывает свою монету игроку  $B$ . Матрица игры может быть записана следующим образом:

Стратегии игроков		Игрок $B$	
		Решка	Герб
Игрок $A$	Решка	1	-1
	Герб	-1	1

В этой игре первые стратегии обоих игроков состоят в выборе и предъявлении решки, а вторые стратегии – в выборе и предъявлении герба. Если оба

игрока выбрали одинаковые стратегии, то выигрывает первый игрок, если игроки выбрали разные стратегии, то выигрывает второй игрок.

Пример 2. Формализация конфликтной ситуации между двумя фирмами в виде матричной игры.

Пусть на некотором рынке программного обеспечения действуют две сильные фирмы А и В, которые ведут разработку разнообразных программных продуктов параллельно. Разрабатываемые программные продукты могут получаться хорошего качества (Х) и не очень удачными (Н). Пусть в каждую свою разработку первоначально фирмы вкладывают по  $a$  единиц денежных средств. Предположим для простоты также, что вопрос пустить в продажу программный продукт или вложить в него дополнительные средства в размере  $b$  единиц денежных средств всегда первой решает фирма А. Если фирма А пускает в продажу свой программный продукт, то фирма В также это делает немедленно. При этом та фирма, которая имеет лучшее программное обеспечение, получает от продажи  $2a$  единиц денежных средств, а вторая фирма не получает ничего. Если же программное обеспечение одного качества (у обеих фирм хорошее или неудачное), то каждая из фирм покрывает свои расходы, получая по  $a$  единиц денежных средств за счет продажи своей продукции. Если фирма А не пускает в продажу свое программное обеспечение, а вкладывает в него дополнительные средства, то у фирмы В имеется в распоряжении две альтернативы:

– либо она отказывается от дальнейшей разработки и несет убытки в размере  $a$  единиц денежных средств, а фирма А после доработки своего программного обеспечения и продажи получает  $(2a + b)$  единиц денежных средств;

– либо фирма В вкладывает дополнительные средства в размере  $b$  единиц и пускает после этого товар в продажу, после чего и фирма А также вынуждена пустить свою разработку в продажу. Если у обеих фирм программные продукты одного качества, то фирмы окупают свои затраты на разработку, получая от продажи по  $(a + b)$  денежных единиц. Если же программные продукты разного качества, то фирма с лучшим программным обеспечением получает  $2(a + b)$  единиц денежных средств, а вторая фирма не получает ничего. Все действия фирм можно выразить табл. 1, где фирма А является первым игроком в матричной игре, а фирма В – вторым.

Легко видеть, что фирма А имеет 4 различные стратегические возможности. Первая из них – пустить в продажу, если у нее имеется хорошее программное обеспечение, и пустить в продажу не очень удачное программное обеспечение. Сокращенно это записывается как "продажа – продажа". Другие стратегические возможности фирмы А: "продажа – дополнительные средства", "до-

полнительные средства – продажа", "дополнительные средства – дополнительные средства". Аналогично и фирма В имеет 4 стратегии, которые подробно описаны в табл. 1.

Рассмотрим действия фирм, когда фирма А выбрала свою первую стратегию "продажа – продажа", а фирма В – свою первую стратегию "продажа, если продает фирма А ... – продажа, если продает фирма А ...". В случае, если обеими фирмами создано хорошее программное обеспечение (Х, Х), обе фирмы компенсируют свои расходы на разработку за счет продажи программных продуктов. То же происходит и в случае не очень удачных программных продуктов (Н, Н). В случае если фирма А имеет лучший программный продукт, чем фирма В (Х, Н), то она получает от продажи 2а единиц денежных средств, а фирма В несет убытки в размере "–а" единиц. В случае, если фирма В имеет лучший программный продукт (Н, Х), то она получает от продажи 2а единиц денежных средств, а фирма А несет убытки в размере "–а" единиц.

Таблица 1

Хорошее ПО		Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.
	Неудачное ПО	Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.
Продажа	Продажа	0	0	0	0

Продажа	Дополн. средства	$3a/4$	$2a/4$	$(a - b)/4$	$-b/4$
Дополн. средства	Продажа	$a/4$	$(a + b)/4$	0	$b/4$
Дополн. средства	Дополн. средства	$a$	$(3a + b)/4$	$(a - b)/4$	0

Будем считать, что вероятность появления любой из четырех описанных ситуаций равна 0,25, тогда средний выигрыш фирм при многократном повторении ситуации будет равен нулю:

$$a_{11} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25((-a + a) + (-a + a) + (-a + 2a) + (-a + 0)) = 0,$$

где  $3_{XX}$ ,  $3_{HH}$ ,  $3_{XH}$ ,  $3_{HX}$  – соответственно затраты фирмы А при создании программных продуктов качества (X, X), (H, H), (X, H), (H, X);

$\Pi_{XX}$ ,  $\Pi_{HH}$ ,  $\Pi_{XH}$ ,  $\Pi_{HX}$  – соответственно денежные средства фирмы А от продажи товара при создании программных продуктов качества (X, X), (H, H), (X, H), (H, X).

При расчете элементов  $a_{12}$ ,  $a_{13}$ ,  $a_{14}$  аналогично получаем, что  $a_{11} = a_{12} = a_{13} = a_{14} = 0$ . Рассмотрим расчет остальных элементов таблицы:

$$a_{21} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25((-a + a) + (-(a + b) + (2a + b)) + (-a + 2a) + (-(a + b) + (2a + b))) = 0,75a;$$

$$a_{22} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25((-a + a) + (-(a + b) + (a + b)) + (-a + 2a) + (-(a + b) + (2a + b))) = 0,5a;$$

$$a_{23} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25((-a + a) + (-(a + b) + (2a + b)) + (-a + 2a) + (-(a + b) + 0)) = 0,25(a - b);$$

$$a_{24} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25((-a + a) + (-(a + b) + (a + b)) + (-a + 2a) + (-(a + b) + 0)) = -0,25 b;$$

$$a_{31} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a + b) + (2a + b)) + (-a + a) + (-(a + b) + (2a + b)) + (-a + 0) = 0,25 a;$$

$$a_{32} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a + b) + (2a + b)) + (-a + a) + (-(a + b) + 2(a + b)) + (-a + 0) = \\ = 0,25(a + b);$$

$$a_{33} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a+b) + (a+b)) + (-a+a) + (-(a+b) + (2a+b)) + (-a+0) = 0;$$

$$a_{34} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a+b) + (a+b)) + (-a+a) + (-(a+b) + 2(a+b)) + (-a+0) = 0,25b;$$

$$a_{41} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a+b) + (2a+b)) + (-(a+b) + (2a+b)) + (-(a+b) + (2a+b)) + \\ + (-(a+b) + (2a+b)) = a;$$

$$a_{42} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a+b) + (2a+b)) + (-(a+b) + (a+b)) + (-(a+b) + 2(a+b)) + \\ + (-(a+b) + (2a+b)) = 0,25(3a+b);$$

$$a_{43} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a+b) + (a+b)) + (-(a+b) + (2a+b)) + (-(a+b) + (2a+b)) + \\ + (-(a+b) + 0) = 0,25(a-b);$$

$$a_{44} = 0,25((-3_{XX} + \Pi_{XX}) + (-3_{HH} + \Pi_{HH}) + (-3_{XH} + \Pi_{XH}) + (-3_{HX} + \Pi_{HX})) = \\ = 0,25(-(a+b) + (a+b)) + (-(a+b) + (a+b)) + (-(a+b) + 2(a+b)) + \\ + (-(a+b) + 0) = 0.$$

Для первого игрока матрица игры является матрицей выигрышей, поэтому анализ первой и третьей стратегий первого игрока показывает, что третья стратегия лучше первой стратегии.

Действительно, сравнивая элементы первой и третьей строк матрицы в соответствующих столбцах, имеем:

$$0 < a/4; 0 < (a+b)/4; 0 = 0; 0 < b/4.$$

Таким образом, только при третьей стратегии второго игрока первая и третья стратегии первого игрока равноценны. Во всех остальных случаях первая стратегия уступает третьей, поскольку в отличие от третьей стратегии она не приносит выигрышей первому игроку, т.е. применять первую стратегию первому игроку невыгодно.

Аналогично, четвертая стратегия первого игрока превосходит его вторую стратегию. Следовательно, и вторую стратегию первому игроку применять нет смысла.



Таким образом, число применяемых стратегий первого игрока уменьшается до двух, поэтому исходную матричную игру размерами  $4 \times 4$  можно преобразовать к игре размерами  $2 \times 4$  (табл. 2):

Таблица 2

Хорошее ПО		Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.
	Неудачное ПО	Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и отказ от дальнейших разработок, если фирма А вкладывает дополнительные средства.	Продажа, если продает фирма А, и вложение дополнительных средств, если фирма А вкладывает дополнительные средства.
Дополн. средства	Продажа	$a/4$	$(a + b)/4$	$0$	$b/4$
Дополн. средства	Дополн. средства	$a$	$(3a + b)/4$	$(a - b)/4$	$0$

Для второго игрока матрица игры является матрицей проигрышей, поэтому нетрудно видеть, что первая стратегия второго игрока хуже третьей стратегии, а вторая стратегия – четвертой, поскольку элементы соответственно третьего и четвертого столбцов матрицы меньше соответствующих элементов первого и второго столбцов, поэтому применять первую и вторую стратегию второму игроку нет смысла. Следовательно, решение рассматриваемой игры может быть сведено к решению матричной игры  $2 \times 2$ :

0	$b/4$
$(a - b)/4$	0

Пример 3. Игра Бореля. Игра Бореля предложена выдающимся французским математиком в 1921 году. В этой игре два игрока А, В выбирают по три неотрицательных числа, сумма которых равна единице, а именно:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1 \quad \text{и} \quad y_1 + y_2 + y_3 = 1,$$

и располагают их в определенном порядке. Игрок А или В выигрывает, если два выбранных ими числа больше соответствующих чисел противника.

Два обобщения игры Бореля

При первом обобщении игроки выбирают по  $n$  неотрицательных чисел, удовлетворяющих условиям

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad \sum_{i=1}^n y_i = 1, \quad (1)$$

и располагают их в определенном порядке, выигрывает игрок, у которого большее число чисел превосходит числа другого игрока.

При втором обобщении также выбираются по  $n$  неотрицательных чисел, удовлетворяющих условиям (1), но при этом выигрывает игрок, у которого больше сумма, определяемая выражениями:

$$S_A = \sum_{i=1}^n f(x_i), \quad S_B = \sum_{i=1}^n f(y_i),$$

где  $f$  – заданная функция.

Игра Бореля может стать игрой на разорение.

Играми на разорение называются многошаговые игры, в которых каждый игрок, начиная игру, имеет ограниченные ресурсы и с каждым шагом или партией ресурсы проигравшего игрока уменьшаются, например, на единицу, на цену игры или на значение, которое вычисляется каким-либо иным способом.

Игра на разорение может быть сформулирована как игра на выигрыш, если считать, что игроки начинают игру с нулевыми ресурсами, а затем на каждом шаге ресурсы выигравшего игрока увеличиваются на единицу или на цену сыгранной партии, или на значение, которое вычисляется каким-либо иным способом.

Пример 4. Игры Блотто. Игра Бореля нашла свое развитие в так называемых играх полковника Блотто – нарицательное имя участника многих иллюстративных игр, имеющих приложения в военной сфере. Рассмотрим пример одной из таких игр.

Два игрока А и В ведут борьбу на N независимых театрах взаимодействия (рынках сбыта, зонах военного конфликта и т.д.), обозначенных числами 1, 2, ..., N. Они должны распределить свои силы (ресурсы), соответственно F и G единиц по театрам взаимодействия, не зная схемы распределения противодействующего игрока. Платеж (то есть численная мера выигрыша игрока А или убытки игрока В) на i-ом театре выражается функцией  $P_i(x, y)$ , зависящей от i-го театра и соотношения ресурсов x и y, вложенных игроками в этот театр взаимодействия. Платеж игры в целом равен сумме платежей на отдельных театрах. Пусть борьба идет на двух театрах, и у А имеется 4 единицы средств, а у его противника – 3, которые нужно распределить между театрами. Платеж определен следующим образом. Игрок получает сумму своих затрат и затрат противника на театре, если он по вложениям превосходит противника, и получает свои затраты, если вложения равны или противник не вкладывал средств в этот театр действий. Если вложения игрока меньше, чем у его противника, то он не получает ничего. Общий платеж равен сумме платежей на обоих театрах действий. Результаты взаимодействия игроков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Стратегии	(3, 0)	(0, 3)	(2, 1)	(1, 2)
(4, 0)	(7, 0)	(4, 3)	(6, 1)	(5, 2)
(0, 4)	(4, 3)	(7, 0)	(5, 2)	(6, 1)
(3, 1)	(4, 3)	(3, 4)	(6, 1)	(4, 3)
(1, 3)	(3, 4)	(4, 3)	(4, 3)	(6, 1)
(2, 2)	(2, 5)	(2, 5)	(5, 2)	(5, 2)

За каждой клеточкой матрицы скрывается или окончание игры, как в случае одновременного применения первых или вторых стратегий обоими игроками, или продолжение игры с теми же (например, после применения стратегий (1, 2) или (2, 1)) либо другими ресурсами (например, после применения первым игроком первой стратегии, а вторым – четвертой). В последнем случае будет разыгрываться игра, приведенная в табл. 4.

Таблица 4

Стратегии	(2, 0)	(0, 2)	(1, 1)
(5, 0)	(7, 0)	(5, 2)	(6, 1)
(0, 5)	(5, 2)	(7, 0)	(6, 1)

(4, 1)	(7, 0)	(4, 3)	(6, 1)
(1, 4)	(4, 3)	(7, 0)	(6, 1)
(3, 2)	(7, 0)	(5, 2)	(7, 0)
(2, 3)	(5, 2)	(7, 0)	(7, 0)

В игре Блотто выигрывает тот, кто истощит ресурсы противника.

### 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Формализуйте конфликтную ситуацию в виде игры, где у каждого из игроков имеется не меньше четырех стратегий.
2. Исследуйте разработанную игру с целью определения её цены и оптимальных стратегий каждого из игроков.
3. Оформите отчет по лабораторной работе.

## 6. СИТУАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Ситуация системы есть оценка (анализ, обобщение) совокупности характеристик объектов и связей между ними, которые состоят из постоянных и причинно-следственных отношений, зависящих от произошедших событий и протекающих процессов.*

Обобщенное описание (отображение) системы с помощью ситуаций называется *ситуационной моделью (СМ)*. В связи с этим все ситуационные системы можно называть системами ситуационного моделирования (ССМ).

*Под ССМ понимается комплекс программных и аппаратных средств, которые позволяют хранить, отображать, симулировать (имитировать) или анализировать информацию на основе СМ.*

### 6.1. Классификация ситуационных систем

По назначению ССМ можно разделить на три основных класса: *системы ситуационного отображения информации (ССОИ), системы динамического моделирования ситуаций (СДМС) и аналитические ситуационные системы (АСС)* (Рис. 11). Необходимо отметить, что СДМС должна иметь возможность отображения СМ и, следовательно, может содержать ССОИ как одну из своих компонент. Однако для реализации СДМС не всегда требуется отображение СМ на экране коллективного пользования, эффективные алгоритмы декомпозиции модели, использование когнитивной графики и т.д.

ССОИ можно разделить на два подкласса: *ситуационные центры наблюдения (отображения — СЦО) и ССОИ с удаленным доступом (распределенные — РССОИ)*.

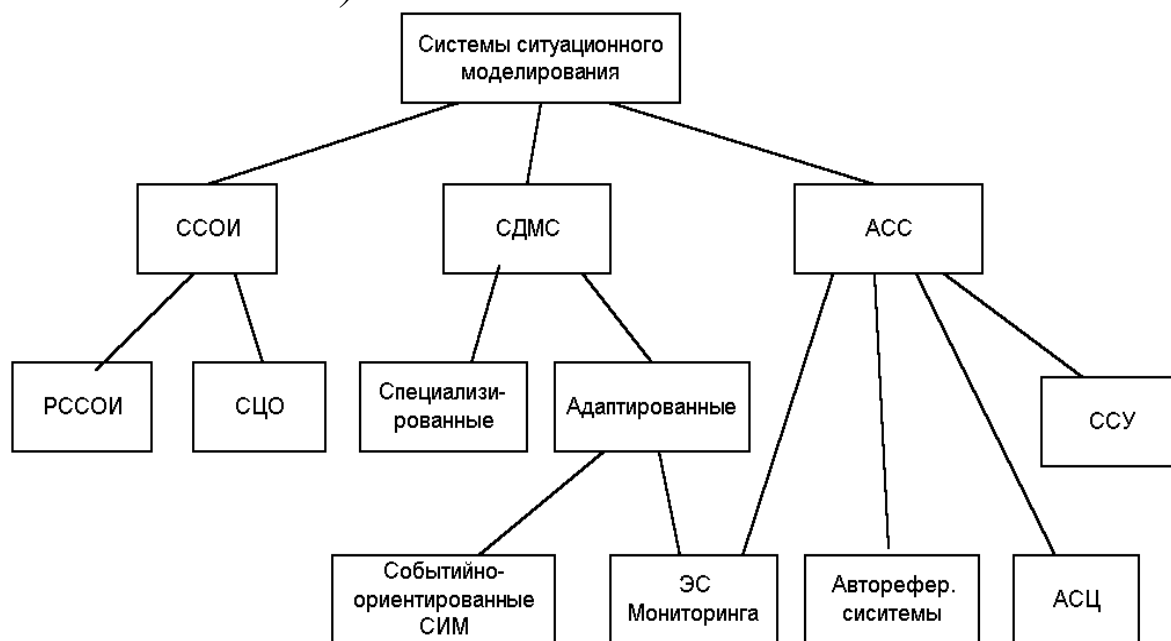


Рис. 11. Классификация ситуационных систем

РССОИ являются относительно новым классом систем и в настоящее время активно развиваются. Примером может служить автоматизированная полиграфическая система Agfa Delano. Она позволяет наблюдать за всеми этапами выполнения заказов на печатную продукцию. При этом используется Internet/Intranet технологии, дающие доступ к информации не только верхнему руководителю и менеджеру заказа, но и заказчику, и любому потенциальному клиенту. Эффективность отображения на небольших экранах достигается за счет развитых механизмов декомпозиции и специально разработанных когнитивных элементов (изображений, анимаций). В перспективе класс РССОИ может пополниться развитыми ERP-системами и АСУ ТП.

Большинство существующих ССОИ представляют собой СЦО. Области применения таких ССОИ весьма разнородны, их примерами являются: система отображения информации в центре управления космическими полетами; система наблюдения за космической обстановкой [Филиппович Ю., передовая радарная цифровая система анализа изображений ADRIES, предназначенная для автоматизации задач тактической разведки, оценки военной обстановки, опознавания целей и способная интерпретировать возможные военные ситуации по совокупности радиолокационных изображений, параметров обнаруженных состояний боевой техники, априорной топографической информации типа карт или баз данных о характеристиках местности и т.п.; система для опознавания военных кораблей по силуэту; системы специального назначения [Stuart, 1990; Vollmuth, 1991]; системы контроля за аппаратурой сотовой связи [Motorola, 2000] и др.

Типичными для ситуационных систем отображения информации являются задачи наблюдения на достаточно большом ареале земной поверхности; управления (навигации) динамическими объектами в указанных средах; наблюдение (управление) за сложными технологическими процессами (например, на атомных электростанциях); управление сложными транспортными узлами.

Основная задача СЦО — строить изображения ситуаций, возникающих в предметной области, на основе которых оперативный состав принимает управляющие решения в рамках определенных задач. СЦО характеризуются:

- необходимостью создавать информационные модели и изображения весьма сложных, комплексных, динамических ситуаций реального мира, представлять эти изображения оперативному составу;

- наличием оперативного состава (коллектива потребителей графической информации), решающего на основе представленной модели визуализации ситуации некоторую совокупность задач;
- расположением в ситуационных залах управления (наблюдения, навигации), построенных на основе мощной вычислительной среды и имеющих в большинстве случаев стационарный характер.

Специально разработанных СДМС в настоящее время практически не существует, поэтому вместо них адаптируют и используют другие классы систем. В связи с этим СДМС можно разделить на два класса: *специализированные* и *адаптированные*. Для динамического моделирования (имитации) ситуаций можно использовать два подхода: первый — задание исходных данных и последующий анализ возникающих ситуаций в ССОИ или АСС; второй – представление ситуаций, их взаимосвязей и очередности возникновения с помощью систем имитационного (динамического) моделирования. К адаптированным системам, реализующим первый подход, можно отнести *экспертные системы мониторинга (ЭС реального времени)*. Примером может служить ЭС GenSym G2, которая в своем составе имеет модуль генерации исходных данных. Для воплощения второго подхода лучше всего использовать событийно-ориентированные или комбинированные системы имитационного моделирования (PowerSim).

К АСС можно отнести *системы ситуационного управления (ССУ)*, некоторые *автореферирующие системы, аналитические ситуационные центры (АСЦ)* и *ЭС мониторинга*. ССУ реализуют принцип ситуационного управления, который кратко можно сформулировать так: количество состояний системы велико; число возможных решений и ситуаций ограничено; решение принимается в зависимости от ситуации; необходимо на основании исходных данных определить ситуацию и принять соответствующее решение

Не все автореферирующие программы можно считать аналитическими. Для этого они должны не только обобщать информацию, но и оценивать ее. Среди них можно выделить *статические, динамические* и *многопоточные* системы. Многопоточные приложения работают в реальном режиме времени и анализируют информацию из большого количества разнородных источников информации. По своим задачам и функциям они приближаются к ЭС реального времени.

АСЦ является системой оперативной аналитической обработки большого количества взаимосвязанной информации. На современном рынке представлен целый класс аналитических систем, но в отличие от ситуационных центров, эти системы позволяют анализировать небольшое количество связанных параметров.

## 6.2. Ситуационный центр

Когда ситуация хорошо статистически описывается, имеется большая история развития событий, а также возможность подключения опытных экспертов – создание КППР принципиальных сложностей не вызывает. На этой основе и развивается большинство зарубежных КППР .

У нас другая специфика – пока при создании российских КППР больше внимания уделяется программно-техническому и телекоммуникационному базису. Например, КППР , создаваемые для российских властных структур, как правило, ограничиваются разработкой средств коллективного отображения информации, формированием баз данных, созданием информационно-справочных и телекоммуникационных систем.

*Ситуационный центр (СЦ)* – это самая современная форма реализации КППР , основанная на технологиях моделирования и анализа ситуаций, предельно концентрированном (визуальном) представлении информации и обеспечивающая интегральное управление организацией, отраслью, регионом, страной на самом верхнем уровне.

С другой стороны, СЦ представляет собой информационно-аналитическую систему, позволяющую оценить реальное состояние объекта управления, уловить развитие внутренних и внешних тенденций, рассмотреть возможные последствия действий.

### 6.2.1. Виды обеспечения СЦ

Структура СЦ как информационно-аналитической системы включает различные виды обеспечения (программное, техническое, лингвистическое и т.д.). СЦ имеет четыре основных уровня: *научно-математический, инженерный, программный и технический*.

Научно-математический уровень представляет собой совокупность научных теорий, методов, алгоритмов, исследований и разработок, необходимых для реализации других уровней. Он позволяет обосновать целесообразность создания СЦ, определить эффективность его функционирования, интегрировать разнородные компоненты, осуществлять правильное и своевременное исправление ошибок.

Инженерный уровень представляет собой конкретные решения в выборе и разработке аппаратно-программных средств. Он включает в себя необходимые технологические и конструкторские расчеты, модели технических устройств и помещений, спецификации программ, алгоритмы работы и т.д.

Программный и технический уровни содержат соответствующее обеспечение, необходимое для реализации поставленных на верхних



уровнях задач и функций. Уровни включают в себя следующие обязательные компоненты:

- измерительная (сенсорная среда);
- информационная (ситуационная или имитационная) модель среды;
- среда информационной поддержки;
- среда аппаратной поддержки;
- среда визуализации;
- оперативный состав.

Под измерительной (или сенсорной) средой СЦ понимается совокупность аппаратно-программных средств, служащих для получения информации о состоянии проблемной среды. Это могут быть антенные системы, каналы связи, видео- и аудио-передачи, датчики и т.д. Главная задача измерительной среды – обеспечить адекватность информационной модели СЦ некоторому выбранному фрагменту реального мира.

*Информационная (ситуационная или имитационная) модель среды* представляет собой совокупность как минимум следующих компонентов: тематической составляющей, определяющей совокупность моделируемых понятий проблемной среды; пространственной составляющей, задающей пространственные отношения между объектами модели; графической составляющей, задающей отображение объектов модели в множество графических условных знаков (графических примитивов).

*Среда информационной поддержки* — это совокупность программ и информационных потоков, обеспечивающих функционирование информационной модели и среды визуализации СЦ. В первую очередь сюда входят ССМ, экспертные системы и системы имитационного моделирования. Характерной чертой любого СЦ является привязка ситуационной модели к местности, поэтому в состав могут входить геоинформационные системы. Для оценки развития ситуаций могут быть использованы системы прогнозирования на базе нейронных сетей и генетических алгоритмов. Эффективность представления графической и текстовой может достигаться за счет использования фрактальной и когнитивной графики.

*Среда аппаратной поддержки* – это совокупность технических вычислительных средств, обеспечивающих функционирование среды информационной поддержки СЦ: ЭВМ, оргтехника, сетевое оборудование и т.д.

*Среда визуализации* – это совокупность экранов коллективного и индивидуального пользования, обеспечивающих информационный и командный интерфейс между человеком оператором и аппаратно-программной средой СЦ.

*Оперативный состав* – это коллектив специалистов, имеющий собственную внутреннюю организационную структуру. Цель оперативного

состава — обеспечить решение совокупности штатных задач СЦ на основе анализа информационной модели ситуации реального мира, формируемой аппаратно-программной средой системы.

Для выполнения функций и задач СЦ необходимо реализовать следующие виды обеспечения:

- информационное;
- методическое;
- модельное (математическое);
- программное;
- техническое;
- организационное;
- информационной безопасности.

### **6.2.2. Полный цикл функционирования СЦ. Необходимость широкого применения СЦ**

Полный цикл функционирования СЦ обеспечивается следующими подсистемами:

- подсистемой сбора и обработки данных (подсистемой мониторинга);
  - конвертором данных;
  - хранилищем данных;
  - подсистемой обобщения данных, анализа и оценки обстановки;
  - подсистемой прогнозирования развития обстановки;
  - подсистемой визуализации;
  - подсистемой поддержки групповой деятельности аналитиков и экспертов;
  - подсистемой подготовки отчетов;
  - подсистемой обратной связи (доведения решений до исполнителей и контроля исполнения поручений);
    - аналитическим (информационным) порталом (интерфейсом ПО);
    - подсистемой администрирования;
    - инструментарием разработки специальных приложений.

Необходимость широкого применения СЦ в сложных организационно-технических системах диктуют:

- усложнение и расширение круга задач управления, решаемых руководителями высшего звена в политической, военной, финансово-экономической, социальной, экологической и других областях;
- повышение требований к оперативности и качеству принятия и реализации управленческих решений;
- высокая мера ответственности за принятое решение;

- потребность в долгосрочном и краткосрочном прогнозировании развития ситуации на всех направлениях деятельности руководства в различных условиях функционирования (наработка и проверка планов на типовые критические ситуации);
- возрастание требований к координации взаимодействия с внешними отечественными и зарубежными организациями и ведомствами;
- получение дополнительных преимуществ партнерами и конкурентами при широком комплексном использовании информационных, телекоммуникационных и аналитических возможностей современных аппаратно-программных вычислительных комплексов и телекоммуникационных средств;
- потребность в комплексном и оперативном применении высокоэффективных методов принятия решений ("мозговые атаки", деловые игры, методы типа сценариев, экспертные оценки, методы анализа иерархий, методы типа "дерево целей", морфологические методы), которые являются весьма ресурсоемкими по затратам (время, специалисты, объемы и скорости информационных потоков, финансовые средства);
- увеличение объемов и разнообразия способов представления информации;
- наличие распределенных источников разнородной (иногда противоречивой) информации с различной степенью достоверности, с различными системами управления данными и организации доступа к ним;
- наличие проблем с поиском и извлечением данных;
- наличие проблемы использования данных из устаревших систем хранения;
- потребность комплексирования информации (агрегирования данных) для оценки и прогнозирования ситуации;
- отсутствие у лиц принимающих решения необходимого ресурса времени для глубокого анализа многофакторной ситуации и выработки обоснованных решений;
- потребность в эффективном реагировании на быстрые изменения ситуации, особенно в кризисных случаях;
- возрастание цены принятия ошибочных управленческих решений;
- потребность оценки рисков (политических, экономических, экологических и т.п.) и угроз достижения поставленных целей, возникающих при различных вариантах развития ситуации или процесса с учетом возможных конфликтов;
- потребность принятия оптимальных и обоснованных решений в сложных условиях.

### 6.2.3. Концепция СЦ

Концепция СЦ базируется на следующих принципах его создания, эксплуатации и развития:

1. *Принцип первого руководителя.* Он требует наличия прямой заинтересованности и непосредственного участия первых руководителей соответствующего уровня.

2. *Принцип ключевых задач.* Заключается в том, что в первую очередь должны разрабатываться те задачи, нерешение которых наносит наибольший ущерб и решение которых не было возможно до сих пор по какой либо причине.

3. *Принцип оперативности.* Степень оперативности функционирования ЦСМ должна быть достаточной для эффективного решения стоящих перед ним задач.

4. *Принцип непрерывного развития* заключается в том, что система должна быть построена так, чтобы появление новых средств и само развитие системы не приводило к полной ее перестройке. В условиях роста сложности технических систем сроки их разработки весьма значительны. За время разработки и внедрения системы может измениться среда и задачи, решаемые руководителем. Чтобы создаваемая система могла эффективно функционировать в новых изменяющихся условиях, необходимо предусмотреть возможность ее непрерывного развития с целью адаптации к новым изменяющимся условиям.

5. *Принцип модульности* заключается в том, что система или подсистема должна быть построена из отдельных автономных модулей, модификация которых не должна приводить к нарушению работы всей системы, и каждый из которых может внедряться и функционировать отдельно.

6. *Принцип системного подхода* предполагает решение целого ряда задач методического, технического, экономического и организационного уровня:

- учет всех этапов жизненного цикла;
- учет истории и перспектив развития системы;
- всестороннее рассмотрение взаимодействия системы с внешней средой;
- рассмотрение взаимодействий внутри системы;
- рассмотрение взаимодействия между системой и ее элементной базой;
- учет возможности внесения изменений в техническое задание во время проектирования;
- сочетание принципов декомпозиции, композиции и иерархичности;

- правильное сочетание математических, эвристических и экспериментальных методов проектирования;

- необходимость учета ограничений в процессе проектирования.

7. *Принцип максимальной типизации проектных решений.* При разработке сложных технико-информационных систем целесообразно не только использовать, но и создавать перспективные типовые технические и программные средства, математические модели, пригодные для решения широкого круга прикладных задач.

8. *Принцип моделирования систем и подсистем.* Из-за высокой стоимости сложных технико-информационных систем при их проектировании должно широко использоваться математическое моделирование.

9. *Принцип функциональной надежности системы.* Он заключается в функциональной избыточности и использовании дублирующих функциональных каналов.

10. *Принцип активности системы.* Предусматривается активное взаимодействие со средой – сбор информации, контроль решений.

11. *Принцип разграничения доступа к информации.*

12. *Принцип адаптивности системы.* Система должна строиться с учетом возможного изменения внешнего окружения и информационных потребностей пользователей. Идеальная реализация этого принципа предусматривает способность системы к самообучению.

13. *Принцип максимальной унификации и стандартизации технических и программных средств.*

14. *Принцип централизованного хранения и распределенной обработки информации.* Этот принцип позволяет существенно повысить эффективность функционирования хранилищ информации и ее использования. Он облегчает задачу дальнейшего совершенствования и развития системы.

15. *Принцип минимизации ввода информации в систему и многократности ее использования.*

#### **6.2.4. Режимы работы СЦ**

СЦ может работать в следующих режимах:

а) наглядное отображение на экране текущей актуальной информации: из филиалов корпорации, информационных агентств, органов власти, с объектов управления и пр. (проблемный мониторинг);

б) запланированное заслушивание и обсуждение аналитических докладов по проблемным ситуациям для принятия соответствующих решений (плановое обсуждение проблем);

в) оперативное принятие и контроль исполнения решений по непредвиденным, кризисным, чрезвычайным проблемам с подключением групп экспертов (чрезвычайный режим).

В каждом из перечисленных режимов использование СЦ может быть локальным и, чаще, распределенным. В последнем случае СЦ состоит из территориально взаимосвязанных компонентов.

Для достижения поставленной перед СЦ цели необходимо реализовать следующие основные функции и задачи, вытекающие из процедуры принятия управленческих решений:

1. Выбор целей управления, выбор и обоснование критериев их достижения (т. е. оценки эффективности управления), критериев оценки рисков и достоверности данных. Определение ограничений, налагаемых на систему управления.

2. Мониторинг обстановки в различных сферах жизнедеятельности страны (региона), министерства (ведомства).

Систематический сбор первичных данных (информации), в соответствии с заданными критериями, из различных информационных источников:

- временное хранение первичных данных;
- обработка данных;
- устранение некорректностей и противоречивости, проверка адекватности и целостности данных;
- систематизация данных;
- конвертирование данных (оформление в виде структур, соответствующих хранилищу обработанных данных);
- хранение обработанных данных (накопление исторических данных);
- предоставление данных пользователям (подсистемам) с соответствующим интерфейсом и в соответствии с их запросами и правами доступа;
- сопровождение метаданных (хранение и предоставление информации о структуре и др. характеристиках используемых данных).

3. Выбор модели описания текущей обстановки.

4. Обобщение (агрегирование, комплексирование) данных (в соответствии с моделью описания обстановки).

5. Хранение обобщенных данных.

6. Отображение (визуализация с возможностью детализации), анализ и оценка текущей обстановки (обобщенных данных), например с помощью OLAP-средств или средств Data Mining.

7. Выбор моделей прогнозирования.

8. Прогнозирование развития обстановки без учета возмущающих воздействий (с помощью экстраполяционных и др. методов моделирования).

9. Оценка результатов прогнозирования обстановки, полученных без учета возмущающих воздействий.

10. Хранение результатов прогнозирования, полученных без учета возмущающих воздействий.

11. Выработка, при необходимости, вариантов возмущающих воздействий (т. е. сценариев управляющих воздействий с учетом возможной реализации ряда событий) и оценка их последствий (с помощью методов ситуационного (имитационного) моделирования).

12. Прогнозирование развития обстановки с учетом возмущающих воздействий (с помощью методов ситуационного (имитационного) моделирования).

13. Оценка результатов прогнозирования обстановки, полученных с учетом возмущающих воздействий, оценка эффективности (оптимальности) управляющих воздействий, выявление угроз (отрицательно влияющих возможных событий) и оценка рисков (вероятностей реализации прогнозов в зависимости от вероятностей реализации возможных событий). При оценке результатов прогнозирования учитываются ограничения, налагаемые на систему управления.

14. Раннее выявление, анализ и выработка вариантов действий в проблемных ситуациях и ситуациях с благоприятными возможностями, прогноз развития указанных ситуаций.

15. Хранение результатов прогнозирования, полученных с учетом возмущающих воздействий, и вариантов управляющих воздействий.

16. Оценка достоверности результатов прогнозирования для различных вариантов возмущающих воздействий.

17. Выбор наилучшего варианта управляющих воздействий с использованием критериев оценки эффективности управления, достоверности прогнозов, рисков и др. критериев.

18. Обобщение информации, выработка рекомендаций по возможным вариантам решений при заданных ограничениях, представление информации и рекомендаций (с использованием средств визуализации) руководителям для принятия управленческого решения (если необходимое решение не может быть принято, вследствие несоответствия критериям оценки эффективности управления, то возможно итерационное повторение вышеперечисленных этапов).

19. Планирование, координация и контроль реализации принятых решений.

20. Оценка результатов реализации принятых решений (если результаты не удовлетворительны, то возможно итерационное повторение представленного выше цикла функционирования).

В связи с тем, что процедура принятия управленческого решения может иметь итерационный характер с повторением определенных ее этапов, порядок осуществления СЦ своих функций также может циклически повторяться для соответствующего набора функций.

Имеются и дополнительные функции и задачи СЦ (непосредственно не связанные с этапами принятия решений).

1. Обеспечение внутренней информационной безопасности:

- авторизация и аутентификация пользователей;
- шифрование информации (использование PGP);
- работа с электронно-цифровой подписью;
- безопасная передача данных по сетям (использование SSL, firewall);

2. Визуализация (отображение) данных (с помощью средств деловой графики, многомерных представлений, трехмерной графики, векторных карт и др.).

3. Детализация отображения обстановки по запросу пользователей.

4. Поддержка совместной работы аналитиков, экспертов и руководителей по выработке управленческих решений.

5. Справочно-информационное обеспечение. Обеспечение доступа (в том числе и мобильного) к данным различных информационных систем страны (региона), министерства (ведомства).

6. Администрирование работы СЦ.

### **6.2.5. Оснащение ситуационного центра**

Важнейшим атрибутом СЦ является экран коллективного доступа, куда выводится ранее заготовленная информация. Экран позволяет аккумулировать образное мышление группы участников обсуждения проблемы. При этом должна быть предусмотрена режиссерская и оформительская работа, заключающаяся в визуальной подготовке материалов совещания и управлении представлением этих материалов в процессе проведения совещания.

Другим принципиальным атрибутом СЦ являются пользовательские интерфейсы – устройства взаимодействия информационно-моделирующих и технических средств ситуационной комнаты с участниками обсуждения проблемы: клавиатуры и дисплеи для каждого из участников.

Для СЦ разрабатываются и ведутся соответствующие базы данных, содержащие информацию по рассматриваемым проблемам. Базы данных могут наполняться по результатам мониторинга или формироваться при подготовке определенного вопроса. Сценарии и планы проведения совещания также сохраняются в базах данных.



Далее, должно быть предусмотрено оперативное телекоммуникационное взаимодействие лиц, находящихся в ситуационной комнате, с удаленными участниками, например, работающими в филиалах корпорации. Обобщение присылаемых внешними участниками данных должно осуществляться также по определенной методике (например, методике когнитивного моделирования или методике анализа иерархий).

Наиболее сложный атрибут ситуационной комнаты – это программное и методическое обеспечение. Для представления этой сложности можно назвать базовую цену программно-технических средств добычи и многомерной визуализации данных, предлагаемых зарубежными компаниями – это миллионы долл. В российских условиях закупка таких дорогих средств вряд ли целесообразна – корпорация может получить эффект от использования значительно менее дорогостоящей ситуационной комнаты.

#### **6.2.6. Базовые характеристики СЦ**

**Ситуационный центр** имеет пять базовых характеристик, отличающих его от других систем поддержки принятия решений для менеджеров более низкого ранга и тем более от систем сбора и регистрации корпоративной информации, которые принято называть системами управления предприятием:

1. **СЦ** предоставляет руководителю обобщенную информацию. Учетные данные сами по себе ничего не говорят первому лицу компании. Директор предприятия или владелец оптово-розничной сети, как правило, контролирует подчиненное ему хозяйство по 5–10 ключевым параметрам, таким, например, как размер складского запаса или торговая наценка. Эти параметры необходимо получить из того обилия голых цифр, которые поставляет система корпоративного управления. Анализ таких агрегированных данных позволяет руководителю выявить важные показатели развития компании – выделить лучшие группы товаров, лучшего поставщика, определить, насколько затоварен склад и т.д.

2. **СЦ** позволяет не только проанализировать статическую картину компании, но выявить тенденции ее развития, иначе говоря, дает руководителю средства прогнозирования. Существует порядка 200 различных алгоритмов прогноза, и при создании СЦ необходимо разрабатывать дополнительные механизмы, которые подскажут, сможет ли данный алгоритм работать в конкретной ситуации.

3. Главная «изюминка» ситуационного центра, которая и определила его название – это ситуационное (динамическое) моделирование или возможность получить ответ на вопрос «что будет, если». Прогнозирование

позволяет получить сценарий развития на основе анализа текущей ситуации (мы знаем, как сейчас растет прибыль и можем попытаться узнать, как она будет расти через полгода, если ничего не изменится). Моделирование позволяет вносить возмущение и определять возможные последствия: «что будет, если я сделаю так» или «что будет, если произойдет такое-то событие...». Моделирование означает наличие в буквальном смысле «рычажков» – на экране компьютера или зала ситуационного центра, с помощью которых руководитель может менять те или иные параметры и получать возможную модель состояния компании.

4. **СЦ** помогает руководителю выбрать оптимальное решение, даёт рекомендации по выбору одного из многих вариантов. Алгоритмы поиска наилучшего решения – это тяжелые вычислительные задачи, поэтому обычно проблема локализуется и ищется наилучшее решение для определенного набора условий. Для этого используются специальные методы из новых областей науки: *artificial life* и генетические алгоритмы. Здесь надо отметить один важный психологический момент – руководитель привык полагаться только на свою интуицию и уверен в правильности выбора. Он может вообще отказаться от системы, если она, не дай бог, укажет выход совсем в другой стороне. Поэтому алгоритмы оптимизации должны быть не только умными и быстрыми, но и иметь способность иногда подстраиваться под то, какого рода решения от них ждет руководитель.

5. **СЦ** дает возможность проводить оценку рисков, оценивая шансы реализации прогноза. Эти расчеты основываются на специальном разделе математики – актуарной математике.

СЦ могут работать в двух режимах: планового обсуждения проблемы и чрезвычайном.

**Режим планового обсуждения проблемы** предназначен для эффективной информационной поддержки сообщений и докладов по заранее подготовленному сценарию. Отличительной чертой работы СПР здесь является возможность реализации игровой обстановки, моделирования, высококачественного оформления материалов, телекоммуникационного и информационно-справочного обеспечения, позволяющих в процессе изложения обращаться за информацией в удаленные и локальные базы данных.

При подготовке обсуждения значительную сложность представляет предварительная подготовка сценариев демонстрации (предварительная режиссерская работа), поскольку всегда сложно спрогнозировать, как изменится ход обсуждения проблемы.

**Наиболее характерным и специфичным для СПР является чрезвычайный режим работы.** Для российской ментальности вообще, характеризуемой тем, что принятие решений зачастую осуществляется в «аваральной» ситуации, актуальность этого режима особенно выражена.

Предварительная подготовка материала и информации для принятия решений в чрезвычайном режиме сведена к минимуму, а состав информации необходимой для обсуждения непредвиденно возникшей проблемы определяется в процессе обсуждения. При чрезвычайном режиме использования СПР процесс принятия корпоративных решений носит кумулятивный характер: одномоментное (одновременное, сконцентрированное) представление руководителям наглядной информации, позволяет им принять решение на качественно более высоком уровне по сравнению с традиционными способами принятия решений.

Стоит заметить, что элементы чрезвычайного режима работы СПР могут возникнуть и при реализации режима планового обсуждения проблемы. Это вызвано естественным характером когнитивно-психологической организации умственной активности лиц, принимающих решения.

В процессе принятия решений группой лиц существенно влияние девиационных факторов, отклоняющих линию обсуждения от заранее подготовленного общего плана. Возникают новые альтернативы, за время обсуждения меняется информация, уточняются оценочные критерии важности той или иной ситуации, вводятся новые термины и определения, появляются новые трудности описания обстановки и др.

При чрезвычайном режиме работы СПР формирование сценария принятия решений практически совмещается с процессом принятия решения. Предварительно построенная модель оценки ситуации, как правило, отсутствует. Вместе с тем модель необходима, и ее надо построить оперативно на основании имеющейся «под рукой» информации. Из-за уникальности ситуации ограничена возможность использования исторических примеров. Противоречива логика происходящих событий, нет времени и возможности строить логическую или регрессионную модель. Однако некая классификация (категоризация) имеющейся и высказанной в процессе рассуждений экспертами «нелогичной» информации должна быть проведена, ситуация должна быть как-то быстро структурирована и представлена.

### **6.2.7. Классификация СЦ**

При классификации приводятся примеры центров, многие из которых подходят только под определение внешних СЦ, т.е. не имеющих в своем составе ССМ. Разделение систем на классы осуществляется на основании некоторых характеристик или критериев. Некоторые классификации взяты из цитируемых источников и частично дополнены. Ситуационные центры можно классифицировать:

1. По составу ССМ:  
— *СЦ наблюдения (отображения);*

— *аналитические СЦ*;

— *полнофункциональные СЦ*. Совмещают функции отображения, моделирования и анализа ситуаций.

2. По масштабу:

— *Стратегические СЦ*;

— *Оперативные СЦ*;

— *Персональные СЦ*.

Стратегический ситуационный центр решает сложные, масштабные, ответственные задачи, направленные на структурную и функциональную перестройку. Стратегические ситуационные центры настроены на объекты класса: отрасль, регион, крупное предприятие (холдинг), ведомство, сложный распределенный в пространстве процесс. Одним из примеров таких СЦ является центр стратегического моделирования IBS\_CSM.

Оперативный ситуационный центр решает задачи автоматической свертки оперативной информации в ситуационную модель, дающую первому лицу возможность оперировать “модулями” своего бизнеса в реальном масштабе времени. Оперативные ситуационные центры настроены на объекты класса: предприятие (компания), задача, процесс, кампания, проект, крупная акция, однородная функция значительных масштабов (например, обеспечение работоспособности ретрансляционного оборудования магистрали связи).

Персональный ситуационный центр решает задачу экспресс-оценки ситуации, оперативного доступа к управляемому объекту и поддерживающий возможность первого руководителя всегда “быть в курсе” независимо от времени, места (и даже в известном смысле состояния) управляющего субъекта. Персональные ситуационные центры в определенном смысле индифферентны по отношению к масштабам управляемого объекта, их задачи, функции и состав определяются скорее субъектом, решающим, какая информация ему понадобится.

3. По размещению:

— *стационарные СЦ*. Привязаны к конкретным помещениям, где происходит анализ ситуаций. Подавляющее большинство СЦ являются стационарными;

— *мобильные СЦ*. Разворачиваются на месте событий, в конкретном регионе. При локальном обсуждении можно использовать различные виды связи с интеллектуальными центрами и местными региональными структурами. Примером является Мобильный пункт управления для МЧС России;

— *виртуальные СЦ*. В будущем, при улучшении каналов связи, мобильность СЦ может быть достигнута на программном уровне. При этом возможно увеличение мобильности не только технических средств, но и

оперативного состава. Одним из прототипов такого СЦ может выступать виртуальная ситуационная комната для принятия решений в неопределенных и нестандартных ситуациях.

4. По степени детерминированности решаемых задач:

— *слабо детерминированные*. Детерминированность определяется степенью хаотичности ситуации, законченностью постановки задачи, информационной открытостью проблемы, стереотипностью обучающих примеров и прочими факторами. К задачам этого класса можно отнести стратегический и мотивационный контроллинг;

— *детерминированные*. К данному классу можно отнести задачи всеобъемлющего управленческого учета в системах корпоративного или государственного операционного контроллинга.;

— *сильно детерминированные*. К данному классу можно отнести некоторые задачи управления движением ракетой или регулирования распределения электроэнергии.

5. По целевой направленности:

— *СЦ контроля*. Основной задачей является наблюдение за состоянием сложного объекта или системы. Примером может служить ситуационная полиэкранная система информационной поддержки принятия решений для управления состоянием сложных, экологически опасных объектов и технологий;

— *СЦ управления*. Основной целью СЦ является постоянное и активное управление объектом (группой объектов). Примером могут служить АСЦ производственных предприятий;

— *Кризисные СЦ*. Активная работа СЦ осуществляется только при возникновении экстренных (кризисных) ситуаций. Примером является кризисный центр концерна "РосЭнергоАтом", ситуационно-кризисный центр Минатома;

— *СЦ обучения*. Целью работы является обучение оперативного и обслуживающего персонала, подготовка специалистов в области СЦ. В настоящее время создание таких СЦ только планируется;

— *Многоцелевой СЦ*. Сочетает в себе возможности различных СЦ. В этом случае можно говорить о режимах работы СЦ. Примерами являются СЦ Министерства природных ресурсов РФ, IBS Центр поддержки принятия решений.

6. По способу отображения ситуационной информации:

— *Коллективный*. Использование в СЦ только экрана коллективного пользования. Примером являются СЦ, которые используются для контроля состояния множества различных устройств, объединенных в одну сеть (например, ситуационные центры компаний сотовой связи). Основной задачей функционирования является контроль всех составляющих

элементов на высшем уровне и принятие решений в случае возникновения экстренных ситуаций;

— *Индивидуальный*. Использование в СЦ только индивидуальных экранов. Примером являются мобильные СЦ в боевых комплексах ПВО и ПРО, диспетчерские СЦ и распределенные ССОИ;

— *Коллективно-индивидуальный*. Использование в СЦ экранов различного типа. К этому классу относится СЦ управления космическими полетами.

7. По универсальности:

— *Специальные СЦ*. Подавляющее большинство СЦ не могут быть использованы в других предметных областях для решения новых задач;

— *Настраиваемые СЦ*. Программные и технические решения СЦ, предназначенные для широкого использования. Примером являются программные продукты "Триумф-Аналитика" фирмы Парус и ситуационная комната "Галактика". В будущем к этому классу будут относиться виртуальные СЦ.

Помимо предложенных классификационных признаков можно выделить следующие: *по степени автоматизации оценки ситуации, по количеству помещений, по количеству персонала, по необходимому времени принятия решения, по составу технических средств, по используемым технологиям, по уровню защиты, по предметной области.*

Ситуационные системы активно развиваются, создается большое количество СЦ, внедряются новые информационные технологии.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### "РЕШЕНИЕ МАТРИЧНЫХ ИГР МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ЦЕНЫ ИГРЫ"

#### 1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков работы при численном решении матричных игр.

#### 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

##### 2.1. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ МАТРИЧНЫХ ИГР МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ЦЕНЫ ИГРЫ

Решение матричных игр при размерах матриц  $n \times m$  больших или равных  $3 \times 3$  и отсутствии седловых точек в чистых стратегиях или возможности уменьшить размеры матрицы с помощью удаления доминируемых стратегий в общем случае возможно только с помощью численных методов. Рассмотрим

один из таких методов – метод последовательного приближения цены игры. В этом методе последовательно разыгрывается множество партий. В каждой партии оба игрока выбирают те стратегии, которые дают им наибольший суммарный выигрыш во всех партиях, включая текущую. После каждой партии вычисляется среднее значение выигрыша  $v_1$  в одной партии первого игрока, среднее значение проигрыша  $v_2$  в одной партии второго игрока и полусумма  $v_1$  и  $v_2$ , которая принимается за приближенное значение цены игры  $v$ :

$$v_1 = \frac{1}{N} \max(S_1^1, S_2^1, \dots, S_n^1); \quad (1)$$

$$v_2 = \frac{1}{N} \min(S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2); \quad (2)$$

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}, \quad (3)$$

где  $N$  – номер разыгрываемой партии;  $S_1^1, S_2^1, \dots, S_n^1$  – выигрыши первого игрока в  $N$  партиях соответственно при применении своих первой, второй, ...,  $n$ -й чистой стратегии;  $n$  – число чистых стратегий первого игрока;  $S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2$  – проигрыши второго игрока в  $N$  партиях соответственно при применении своих первой, второй, ...,  $m$ -й чистой стратегии;  $m$  – число чистых стратегий второго игрока.

Для определения оптимальных смешанных стратегий обоих игроков подсчитываются частоты применения каждой чистой стратегии. Эти частоты принимают за приближенные значения вероятностей применения соответствующих чистых стратегий в оптимальных смешанных стратегиях обоих игроков. Доказано, что при неограниченном увеличении числа партий средний выигрыш первого игрока и средний проигрыш второго игрока неограниченно стремятся к цене игры. Если решение матричной игры единственно, то приближенные значения смешанных стратегий обоих игроков неограниченно приближаются к их оптимальным смешанным стратегиям.

Объем вычислений в этом методе пропорционален сумме числа строк и столбцов исходной матрицы игры.

## 2.2. ПРИМЕР ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ

Рассмотрим пример решения игры. Пусть игра задана следующей матрицей

$$A = \begin{vmatrix} 50 & 15 & 20 \\ 25 & 40 & 30 \\ 10 & 30 & 60 \end{vmatrix}.$$

Применение любого численного метода для решения матричной игры необходимо начинать с определения нижней чистой цены игры  $\alpha$  и верхней чистой цены игры  $\beta$ . Это позволит избежать применения численных методов

решения матричных игр в тех случаях, когда решение может быть найдено в чистых стратегиях. В нашем случае имеем:

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = \max(15, 25, 10) = 25;$$

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} = \min(50, 40, 60) = 40.$$

Итак,  $\alpha \neq \beta$  и решение матричной игры необходимо искать численным методом. Предположим, что в первой партии второй игрок выбрал свою первую стратегию, тогда, если первый игрок выберет свою первую стратегию, то он выиграет 50, если вторую – 25, если третью – 10. Сведем полученные результаты в табл. 1. Из анализа колонки "Суммарный выигрыш первого игрока по стратегиям" следует, что первая стратегия первого игрока приносит ему наибольший выигрыш. Поэтому первый игрок и должен выбрать свою первую чистую стратегию (см. колонку "Стратегия первого игрока"). В этом случае, если второй игрок выбирает свою первую стратегию, то он проигрывает 50, если вторую – 15, если третью – 20. Наибольший выигрыш, который может получить первый игрок в первой партии, равен 50, поскольку

$$v_1 = (\max(S_1^1, S_2^1, S_3^1))/1 = \max(50, 25, 10) = 50.$$

Аналогично, получается наименьший возможный проигрыш второго игрока  $v_2 = (\min(S_1^2, S_2^2, S_3^2))/1 = \min(50, 15, 20) = 15$ .

Таблица 1

Номер партии $N$	Стратегия второго игрока	Суммарный выигрыш первого игрока по стратегиям			Стратегия первого игрока	Суммарный проигрыш второго игрока по стратегиям			Среднее значение выигрыша $v_1$ первого игрока	Среднее значение проигрыша $v_2$ второго игрока	Цена игры $v$
		$S_1^1$	$S_2^1$	$S_3^1$		$S_1^2$	$S_2^2$	$S_3^2$			
		1	2	3		1	2	3			
1	1	50	25	10	1	50	15	20	50	15	32,50
2	2	65	65	40	1	100	30	40	65/2	30/2	23,75
3	2	80	105	70	2	125	70	70	105/3	70/3	29,17
4	2	95	145	100	2	150	110	100	145/4	100/4	30,62
5	3	115	175	160	2	175	150	130	175/5	130/5	30,50
6	3	135	205	220	3	185	180	190	220/6	180/6	33,33
7	2	150	245	250	3	195	210	250	250/7	195/7	31,78
8	1	200	270	260	2	220	250	280	270/8	220/8	30,62
9	1	250	295	270	2	245	290	310	295/9	245/9	29,44
10	1	300	320	280	2	270	330	340	320/10	270/10	29,50
11	1	350	345	290	1	320	345	360	350/11	320/11	30,45
12	1	400	370	300	1	370	360	380	400/12	360/12	31,67
13	2	415	410	330	1	420	375	400	415/13	375/13	30,38
14	2	430	450	360	2	445	415	430	450/14	415/14	30,89
15	2	445	490	390	2	470	455	460	490/15	455/15	31,50
16	2	460	530	420	2	495	495	490	530/16	490/16	31,88
17	3	480	560	480	2	520	535	520	560/17	520/17	31,76
18	3	500	590	540	2	545	575	550	590/18	545/18	31,53
19	1	550	615	550	2	570	615	580	615/19	570/19	31,18



20	1	600	640	560	2	595	655	610	640/20	595/20	30,88
21	1	650	665	570	2	620	695	640	665/21	620/21	30,60
22	1	700	690	580	1	670	710	660	700/22	660/22	30,91
23	3	720	720	640	1	720	725	680	720/23	680/23	30,43
24	3	740	750	700	2	745	765	710	750/24	710/24	30,42
25	3	760	780	760	2	770	805	740	780/25	740/25	30,40

Зная  $v_1$  и  $v_2$ , по соотношению (3) несложно вычислить приближенное значение цены игры после первой партии:  $v = (50 + 15)/2 = 32,5$ . Поскольку лучший результат в первой партии второму игроку принесла вторая стратегия (проигрыш равен 15), то он ее и должен выбрать во второй партии. В этом случае применение первой стратегии первым игроком принесет ему выигрыш в 15 единиц, суммируя его с выигрышем, полученным с помощью этой же стратегии в первой партии, получаем 65. Применение первым игроком своей второй стратегии в текущей партии приносит ему выигрыш в 40 единиц и суммарный выигрыш в двух партиях – 65.

Аналогично, применение третьей стратегии первым игроком приносит ему выигрыш в текущей партии в 30 единиц и суммарный выигрыш в двух партиях – 40. Наибольший выигрыш в двух партиях первому игроку обеспечили сразу две стратегии: первая и вторая. В общем случае с точки зрения обеспечения устойчивости решения в следующей партии лучше выбирать ту стратегию, которая была в предшествующей партии. Поэтому во второй партии первый игрок применяет свою первую стратегию. Если в ответ на это второй игрок выбирает свою первую стратегию, то он проигрывает в текущей партии 50 и 100 в двух партиях, если выбирает вторую стратегию, то проигрывает во второй партии 15 и 30 в двух партиях, если выбирает третью стратегию, то соответственно проигрывает 20 и 40. Средний выигрыш первого игрока в двух партиях равен:  $v_1 = 65/2 = 32,5$ ; средний проигрыш второго игрока в двух партиях:  $v_2 = 30/2 = 15$ . Приближенное значение цены игры по результатам двух партий

$$v = (v_1 + v_2)/2 = (32,5 + 15)/2 = 23,75.$$

В третьей и последующих партиях процесс вычислений и заполнения таблицы происходит аналогично.

После 25-й партии имеем следующие приближенные значения цены игры и компоненты смешанных стратегий соответственно первого и второго игроков:

$$v = 30,40; \quad x = (0,280; 0,640; 0,080); \quad y = (0,400; 0,320; 0,280).$$

Сопоставление с точным решением этой матричной игры методом линейного программирования

$$(v = 30,77; \quad x = (0,314; 0,554; 0,132); \quad y = (0,409; 0,289; 0,302))$$

показывает удовлетворительную точность в определении цены игры и значительную погрешность в определении компонент смешанных стратегий обоих игроков. Эта погрешность объясняется тем, что в рассматриваемом численном методе применяемые игроками стратегии изменяются не после одной, двух или трех партий, а нерегулярно: восемь раз подряд в партиях с 14-й по 21-ю применялась стратегия два первым игроком; пять раз подряд – стратегия один второго игрока; в 18 партиях подряд не применялась третья стратегия первого игрока и т.д. Для того чтобы эта нерегулярность не оказывала существенного влияния на конечный результат, необходим расчет сотен партий. Действительно, если потребовать, чтобы погрешность  $\delta$  определения компонент смешанных стратегий не превышала, допустим, 0,01, а в последовательности партий наблюдаются  $m$ -кратные появления подряд одной из стратегий любого из игроков, то, в первом приближении, число партий  $N$  можно оценить следующим образом:

$$N \geq \frac{m}{\delta},$$

где  $m$  – наибольшая кратность появления подряд одной из стратегий любого из игроков.

При  $m = 8$ ,  $\delta = 0,01$  получаем, что число партий должно быть не менее 800.

Для точного определения цены игры в общем случае также необходимо большое число партий. Действительно, анализ последнего столбца таблицы показывает существенные колебания цены игры, которые уменьшаются при росте суммарного выигрыша первого игрока и проигрыша второго игрока.

### 3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Формализуйте конфликтную ситуацию в виде матричной игры при размерах матрицы не менее  $3 \times 3$  и отсутствии седловых точек в чистых стратегиях.

2. Разработайте алгоритм численного решения матричной игры методом последовательного приближения цены игры. Особое внимание обратите на условия останова вычислительного процесса.

3. Разработайте программу, реализующую алгоритм метода последовательного приближения цены игры.

4. Оформите отчет по лабораторной работе.

## **7. ИНФОРМАЦИОННО–АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК РАЗНОВИДНОСТЬ КППР**

В процессе своей деятельности промышленные предприятия, корпорации, ведомственные структуры, органы государственной власти и управления накопили большие объёмы информации. *Информационно-аналитические системы* являются разновидностью КППР . Основное их назначение – извлечение полезной аналитической информации, на основе которой можно выявлять скрытые тенденции, строить стратегию развития, находить новые решения.

В информационно-аналитических системах для анализа данных используют следующие основные методы:

- нейронные сети;
- деревья решений;
- индукцию правил;

Кроме этих методов существуют еще несколько дополнительных:

- системы рассуждения на основе аналогичных случаев;
- нечеткая логика;
- генетические алгоритмы;
- алгоритмы определения ассоциаций и последовательностей;
- анализ с избирательным действием;
- логическая регрессия;
- эволюционное программирование;
- визуализация данных.

Иногда применяется комбинация перечисленных методов.

В ИАС широко применяется технологии data mining и ИАД.

### **7.1. Рынок КППР**

На рынке КППР компании предлагают следующие виды услуг по созданию КППР :

- реализация пилотных проектов по КППР -системам, с целью демонстрации руководству заказчика качественного потенциала аналитических приложений;
- создание совместно с заказчиком полнофункциональных КППР - систем, включая хранилище данных и средства Business Intelligence;
- проектирование архитектуры хранилища данных, включая структуры хранения и процессы управления;
- создание «витрин данных» для выделенной предметной области;
- установка и настройка средств OLAP и Business Intelligence; их адаптация к требованиям заказчика;

- анализ инструментов статистического анализа и «добычи данных» для выбора программных продуктов под архитектуру и потребности заказчика;
- интеграция систем КППР в корпоративные интранет-сети заказчика;
- автоматизация электронного обмена аналитическими документами между пользователями хранилища;
- Разработка ИСП (EIS) под требуемую функциональность;
- услуги по интеграции баз данных в единую среду хранения информации;
- обучение специалистов Заказчика технологиям хранилищ данных и аналитических систем, а также работе с необходимыми программными продуктами;
- оказание консалтинговых услуг заказчику на всех стадиях проектирования и эксплуатации хранилищ данных и аналитических систем;
- комплексные проекты создания/модернизации вычислительной инфраструктуры, обеспечивающей функционирование КППР : решения любого масштаба, от локальных систем до систем масштаба предприятия/концерна/отрасли.

Такой широкий спектр услуг позволяет руководителю предприятия выбрать оптимальный вариант внедрения КППР .

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**

### **"РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНЫХ КРИТЕРИЕВ"**

#### **1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Приобретение и закрепление знаний, и получение практических навыков решения задач принятия решений с векторными критериями.

#### **2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

##### **2.1. Решение задач с векторными критериями**

Пусть задано множество объектов  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , каждый из которых оценивается векторным критерием с  $m$  компонентами  $K = (k_1, \dots, k_m)$ . Требуется с помощью критерия  $K$  из множества объектов  $X$  выделить лучший объект.

Для решения сформулированной задачи каждый из объектов множества  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  оценим с помощью компонент  $k_1, \dots, k_m$  векторного

критерия, и результаты этой оценки отобразим в табл. 1. Будем рассматривать после этого объекты  $x_1, \dots, x_n$  просто как наборы соответствующих им числовых значений показателей  $(k_1(x_1), \dots, k_m(x_1)), \dots, (k_1(x_n), \dots, k_m(x_n))$ , включающих в себя всю информацию об основных объектах. В результате такого перехода сравнение исходных объектов по критерию  $K$  сводится к сравнению строк табл. 1.

Таблица 1

	k1	...	kj	...	km
x1	k1(x1)	...	kj(x1)	...	km(x1)
.	.	...	.	...	.
.	.	...	.	...	.
.	.	...	.	...	.
xi	k1(xi)	...	kj(xi)	...	km(xi)
.	.	...	.	...	.
.	.	...	.	...	.
.	.	...	.	...	.
xn	k1(xn)	...	kj(xn)	...	km(xn)

Для выделения лучшего объекта с помощью табл. 1 необходим набор правил, позволяющий сравнивать любую пару объектов  $x_k, x_l \in X$  и устанавливать, является ли один из объектов предпочтительнее другого или нет. Такой набор правил называется системой решающих правил. Рассмотрим несколько типов, наиболее часто применяемых решающих правил. Однако вначале для упрощения последующего изложения (но без потери общности) положим, что используется такой векторный критерий  $K = (k_1, \dots, k_m)$ , что значение любого компонента  $k_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) в отношении каждого объекта  $x_i$  тем предпочтительнее (лучше), чем оно больше.

### 2.1.1. Правило абсолютного предпочтения

Объект  $x_k$  считается предпочтительнее объекта  $x_l$  тогда и только тогда, когда для всех компонент векторного критерия  $K = \{k_1, \dots, k_m\}$  выполняются соотношения

$$k_j(x_k) \geq k_j(x_l), \quad j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Таким образом, это решающее правило предполагает, что лучший объект не хуже другого объекта ни по одному компоненту векторного критерия.

Пример 1. Требуется из четырех мест работы А, В, С, D выбрать лучшее. При этом каждое место работы оценивается по четырем показателям  $k_1, k_2, k_3, k_4$ : величина зарплаты, длительность отпуска, время поездки на работу и перспектива будущего роста сотрудника (табл. 2).

Таблица 2

	Величина зарплаты, грн.	Длитель- ность от- пуска, дни	Время по- ездки на ра- боту, мин.	Перспек- тива роста
А	1800	30	20	Медленный рост
В	1400	30	30	Медленный рост
С	1200	48	40	Быстрый рост
Д	2400	24	10	Отсутствие роста

Непосредственно решить эту задачу, используя правило абсолютного предпочтения нельзя, поскольку для оценки мест работы используется один качественный показатель (перспектива роста) и один показатель (время поездки на работу), который не удовлетворяет предположению о том, что, чем его значение больше, тем альтернатива лучше. В связи с этим необходимо преобразовать исходную задачу. Для этого вместо показателя  $k_3$  (время поездки на работу) введем показатель экономии времени по сравнению со временем самой длительной поездки на работу:

$$k_3^* = 40 - k_3.$$

Вместо качественного показателя  $k_4$  введем количественный показатель  $k_4^*$  с помощью табл. 3.

С вектором показателей  $(k_1, k_2, k_3^*, k_4^*)$  табл. 2 преобразуется к новому виду (табл. 4).

Таблица 3

$k_4$	$k_4^*$
Отсутствие перспективы служебного роста сотрудника в будущем	0

Медленный служебный рост сотрудника в будущем	1
Средняя скорость служебного роста сотрудника в будущем	2
Быстрый рост по служебному положению сотрудника в будущем	3

Таблица 4

	$k_1$	$k_2$	$k_3^*$	$k_4^*$
A	1800	30	20	1
B	1400	30	10	1
C	1200	48	0	2
D	2400	24	30	0

В отношении альтернатив таблицы 4 соотношения (1) выполняются только для единственной пары мест работы А и В: место работы А предпочтительнее места работы В по показателям  $k_1$  и  $k_3^*$  и одинаково по показателям  $k_2$  и  $k_4^*$ . Для остальных пар альтернатив (мест работы) установить предпочтение с помощью правила абсолютного предпочтения не удаётся. Подобная ситуация наблюдается и при решении других задач с векторным критерием с помощью этого правила.

Основной недостаток правила абсолютного предпочтения состоит в узкой области его применимости, другими словами, оно является "слабым", поскольку применимо для решения относительно небольшого числа практических задач.

Важным достоинством правила абсолютного предпочтения является его транзитивность, то есть, если альтернатива А предпочтительнее альтернативы В ( $A > B$ ), которая, в свою очередь, предпочтительнее альтернативы С ( $B > C$ ), то альтернатива А предпочтительнее альтернативы С ( $A > C$ ).

### 2.1.2. Предпочтение по правилу большинства

Для получения более сильного правила, чем правило абсолютного предпочтения, положим, что альтернатива  $x_k$  предпочтительнее альтернативы  $x_l$ , если соотношения (1) выполняются не для всех показателей, а только для большинства. Если альтернатива  $x_k$  по части показателей предпочтительнее альтернативы  $x_l$  и по такому же числу показателей уступает ей, то альтернативы  $x_k$  и  $x_l$  считаются эквивалентными ( $x_k \approx x_l$

) или неразличимыми (одинаковыми). Применяя это правило к табл. 4, получим:

$$A > B, A \approx C, A \approx D, B \approx C, B \approx D, C \approx D.$$

Таким образом, по правилу большинства все альтернативы сравнимы между собой. Однако выбрать лучшую альтернативу в рассматриваемом примере с помощью этого правила не удаётся, поскольку нарушается отношение транзитивности:  $A \approx C, C \approx B$ , но  $A > B$ .

Такое нарушение транзитивности при определении предпочтения по правилу большинства иногда называют парадоксом голосования при применении правила большинства.

### 2.1.3. Выделение лучших объектов с помощью таблиц бальных оценок

Если в третьем столбце табл. 4 число 20 замерить на 2, 10 на 1 и 30 на 3, то формально по показателю  $k_3^*$  при использовании соотношений (1) остаётся прежнее предпочтение между анализируемыми альтернативами, а фактически, для человека, выбирающего место работы, ситуация изменилась, поскольку по третьему показателю все альтернативы стали одинаковыми. В связи с этим числовое задание показателей не всегда удобно. Часто лучше пользоваться не конкретными числовыми значениями в определённых единицах, а некоторыми более общими оценками, которые можно задать в абстрактных единицах или баллах. При этом для каждого показателя устанавливается определённое число уровней различия или градаций. В качестве низшего балла задают 0 или 1, а при переходе к следующему уровню значение показателя увеличивается на один балл.

Табл. 1, значения показателей в которой выражены в баллах, называют таблицей бальных оценок.

Рассмотрим пример использования таблицы бальных оценок для выделения лучших альтернатив.

Пример 2. Пусть требуется выявить предпочтение покупателя ПЭВМ среди моделей машин, обозначенных буквами: А, В, С, D, E, F, G. Оценки этих моделей приведены в табл. 5 по следующим шести показателям:

- $k_1$  – цена (семь градаций);
- $k_2$  – тактовая частота (четыре градации);
- $k_3$  – объем оперативной памяти (пять градаций);
- $k_4$  – объём памяти винчестера (пять градаций);
- $k_5$  – внешнее оформление (четыре градации);
- $k_6$  – надёжность (четыре градации).

Таблица 5



	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$
A	6	4	4	2	2	3
B	5	3	5	4	1	2
C	4	2	4	3	3	1
D	6	4	5	5	2	3
E	2	2	3	4	4	2
F	7	1	2	2	1	2
G	6	4	3	3	4	4

Введем следующее решающее правило: альтернатива X предпочтительнее альтернативы Y, если число показателей, по которым альтернатива X превосходит альтернативу Y, больше числа показателей, по которым она уступает альтернативе Y.

При данном решающем правиле отношение предпочтения между альтернативами табл. 5 определяется табл. 6.

Таблица 6

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	0	1	1	0
B	0	0	1	0	1	1	0
C	0	0	0	0	0	1	0
D	1	1	1	0	1	1	0
E	0	0	1	0	0	1	0
F	0	0	0	0	0	0	0
G	1	1	1	0	1	1	0

В табл. 6 единица на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца указывает на доминирование  $i$ -й альтернативы над  $j$ -й. Если на пересечениях  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца и  $j$ -й строки и  $i$ -го столбца находятся нули, то альтернативы эквивалентны.

Анализ данных табл. 6 показывает, что альтернативы D и G лучше всех остальных. По данному решающему правилу они равнозначны, так как альтернатива D превосходит альтернативу G по двум показателям ( $k_1$  и  $k_2$ ) и уступает ей также по двум показателям ( $k_5$  и  $k_6$ ), а по показателям  $k_1$  и  $k_2$  обе альтернативы имеют одинаковые значения.

#### 2.1.4. Сведения векторного критерия к скалярному

Пусть в табл. 1 альтернативы оцениваются по  $m$  количественным показателям  $k_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ), однако значимость каждого из показателей характеризуется весовым коэффициентом  $a_j$ , а каждая альтернатива  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) характеризуется взвешенной суммой

$$K(x_i) = \sum_{j=1}^m a_j k_j(x_i)$$

Решающее правило в этом случае может быть введено следующим образом: альтернатива  $x_k$  предпочтительнее альтернативы  $x_l$ , если  $K(x_k) > K(x_l)$ .

Это решающее правило является предельно сильным, поскольку оно приводит к числовой оценке каждой альтернативы и, следовательно, к отношению порядка  $\geq$  между альтернативами.

Недостаток этого решающего правила состоит в том, что с его помощью векторный критерий превращается в скалярный, хотя компоненты векторного критерия могут качественно отличаться друг от друга. Тем не менее, этот критерий широко применяется в технике.

### 2.1.5. Сведение многокритериальной задачи к поиску экстремума единственной цели в условиях ограничений

Это весьма рациональный и распространенный метод решения задач с векторным критерием. Чаще всего он применяется следующим образом. Последовательно оптимизируют одну из целей, рассматривая другие цели в качестве ограничений. В результате такой последовательной оптимизации при  $m$  компонентах векторного критерия может быть получено множество из  $m$  решений, выбор лучшего из которых в общем случае не является тривиальной задачей. Кроме того, при решении каждой оптимизационной задачи ограничения в общем случае сужают область поиска оптимума в большей или меньшей степени произвольно. Это нередко приводит к ситуации, когда действительно оптимальное решение найти не удаётся.

Пример 3. Решим задачу из примера 2 рассмотренным методом. Поскольку в этой задаче используется векторный критерий с шестью компонентами, то применение метода, сводящего многокритериальную задачу к поиску экстремумов по отдельным критериям в условиях ограничений, приводит к последовательному решению шести оптимизационных задач. При решении первой из шести задач ищутся альтернативы, оптимальные по первой компоненте  $k_1$  векторного критерия. По остальным пяти компонентам векторного критерия задаются ограничения. Пусть они будут следующими: по компонентам  $k_3$  и  $k_4$  выбираемые альтернативы не должны принимать двух наименьших значений (1 и 2), а по компонентам  $k_2, k_5, k_6$  – наименьших значений, т.е. должны выполняться условия

$$\begin{aligned} k_j(\cdot) &> 1, \quad j = 2, 5, 6; \\ k_j(\cdot) &> 2, \quad j = 3, 4. \end{aligned} \tag{2}$$

Если бы не было ограничений, то лучшей по первому критерию была бы альтернатива F, однако из-за нарушения ограничений (2) она выбрана быть не может. Сопоставление данных табл. 5 и ограничений (2) позволяет установить, что ограничениям удовлетворяют только альтернативы D, E и G. Поскольку  $k_1(D) = k_1(G) = 6$  и  $k_1(E) = 2$ , то лучшими и равноценными по критерию  $k_1$  являются альтернативы D и G.

При поиске оптимальных альтернатив по критерию  $k_2$  будем полагать, что ограничения по критериям  $k_3 - k_6$  остаются такими же, как и при решении первой задачи, а ограничение по первому критерию задаётся соотношением

$$k_1(\cdot) > 4. \quad (3)$$

Сопоставляя данные табл. 5 с ограничениями на значения других компонент векторного критерия, выделим альтернативы D и G, удовлетворяющие ограничениям (2) и (3). Поскольку  $k_2(D) = k_2(G) = 4$ , то обе альтернативы являются лучшими по критерию  $k_2$ .

Используя ограничения (2), (3), нетрудно определить оптимальные альтернативы по компонентам векторного критерия  $k_3 - k_6$ . В результате получим следующие множества оптимальных альтернатив для каждой из шести однокритериальных задач:

задача 1 (с оптимизацией по критерию $k_1$ )	{D, G};
задача 2 (с оптимизацией по критерию $k_2$ )	{D, G};
задача 3 (с оптимизацией по критерию $k_3$ )	{D};
задача 4 (с оптимизацией по критерию $k_4$ )	{D};
задача 5 (с оптимизацией по критерию $k_5$ )	{G};
задача 6 (с оптимизацией по критерию $k_6$ )	{G}.

Таким образом, в результате решения шести однокритериальных задач не удалось найти решения, оптимального ко всем компонентам векторного критерия. Однако число альтернатив, претендующих на оптимальное решение исходной задачи, уменьшилось до двух.

### 2.1.6 Лексикографический метод решения многокритериальных задач

Метод применим к задачам, в которых отдельные цели обладают разным весом и их удаётся расположить в определённом иерархическом порядке. В таких задачах на первом этапе оптимизации определяют множество решений, которые оптимизируют цель наивысшего ранга. Полученное множество D решений на втором этапе сужается при оптимизации второй по важности цели. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не

останется одно единственное решение. Если при оптимизации цели наименьшего ранга не удастся найти единственное решение, то из множества оставшихся решений делают субъективный выбор, либо вводят дополнительный критерий. Этот метод применяется достаточно широко, но предполагает иерархию целей.

Пример 4. Решим задачу из примера 2 рассмотренным методом в предположении, что необходимо купить компьютер с высоким быстродействием (цель наивысшего ранга), желательно недорогой (цель второго ранга), но надежный (цель третьего ранга) и с большим объемом оперативной памяти (цель четвертого ранга). Не мешало бы иметь достаточно большой объем винчестера (цель пятого ранга) и хорошее внешнее оформление (цель низшего ранга).

Из заданной иерархии целей следует, что для определения лучшего решения необходимо последовательно использовать компоненты векторного критерия  $k_2, k_1, k_6, k_3, k_4$  и  $k_5$ . Таким образом, для определения лучшей альтернативы необходимо последовательно решить шесть однокритериальных оптимизационных задачи.

При решении первой из шести оптимизационных задач ищутся альтернативы, оптимальные по компоненту  $k_2$  векторного критерия. Применение критерия  $k_2$  к данным табл. 5 позволяет установить, что лучшими и равноценными являются три альтернативы: А, D, G, – поскольку  $k_2(A) = k_2(D) = k_2(G) = 4$ . Следовательно, при решении следующей оптимизационной задачи будут оцениваться только эти три альтернативы.

Решение второй из шести оптимизационных задач не уменьшает число лучших альтернатив, поскольку  $k_1(A) = k_1(D) = k_1(G) = 6$ , то есть альтернативы А, D, G равноценны и по критерию  $k_1$ .

При решении третьей из шести оптимизационных задач среди альтернатив А, D, G ищутся альтернативы, оптимальные по компоненту  $k_6$  векторного критерия. Применение критерия  $k_6$  к данным табл. 5 позволяет установить, что лучшей и единственной является альтернатива G, поскольку  $k_6(A) = k_6(D) = 3$ , а  $k_6(G) = 4$ . Таким образом, применение лексикографического метода решения многокритериальной задачи в данном случае позволяет выделить единственное лучшее решение.

Подведём итоги рассмотрения методов решения задач с векторным критерием.

Для решения задач с векторным критерием необходимо задание некоторого решающего правила. Единственного универсального решаю-

щего правила не существует, однако имеется множество конкретных решающих правил. Выбор того или иного решающего правила зависит от содержательной постановки решаемой задачи и субъективных предпочтений лица, принимающего решения. Формализованных общепризнанных процедур выбора решающих правил в настоящее время не существует. Разработка таких процедур представляет собой сложную концептуальную проблему.

#### **4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

1. Формализуйте ситуацию выбора в виде задачи принятия решения с векторным критерием при размерах матрицы не менее чем  $8 \times 6$ .
2. Решите сформулированную задачу всеми описанными в методических указаниях методами.
3. Оформите отчет по лабораторной работе.