На правах рукописи

Пилипенко Виктор Александрович

МЕТОДЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Специальность 05.13.10. «Управление в социальных и экономических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 2006

Работа выполнена на кафедре автоматизированных систем управления Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Рыков Александр Семенович

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, профессор
Елисов Лев Николаевич
– доктор технических наук, профессор
Щепкин Александр Васильевич

Ведущее предприятие: Институт системного анализа РАН

Защита диссертации состоится 3 ноября 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.132.10 в Исследовательском центре проблем качества подготовки специалистов Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета) по адресу: 105318, г. Москва, Измайловское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Исследовательского центра.

Автореферат разослан «29» сентября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент И.Б. Моргунов

Принято к исполнению 25/09/2006 Заказ № 568
Исполнено 25/09/2006 Тираж 100 экз.

ООО «11-й ФОРМАТ» ИНН 7726330900
Москва, Варшавское ш., 36
(495) 975-78-56
(495) 747-64-70
www.autoreferat.ru

использование в диалоговом режиме представлений ЛПР о качестве решений. Получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Предложена двухэтапная модель принятия решений в условиях статистической неопределенности при различных ситуациях априорной информированности ЛПР.

2. Для первого этапа принятия решений предложен диалоговый алгоритм снятия статистической неопределенности для разных ситуаций априорной информированности ЛПР, включающий комбинированный критерий и учитывающий степень доверия ЛПР к априорной информации.

3. Разработано иерархическое многокритериальное описание качества ИС в виде дерева критериев.

4. Предложен обобщенный диалоговый алгоритм решения многокритериальной задачи принятия решений при детерминированных и статистических критериях.

5. Разработанные алгоритмы показали свою работоспособность и эффективность при решении многокритериальных задач выбора лучшего варианта информационных систем.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Рыков А.С., Пилипенко В.А. Диалоговая система оценки значений критериев качества информационных систем. Труды IY международной конференции ”Идентификация систем и задачи управления” SICPRO’2005, Москва, CD, Институт проблем управления, Москва, 2005, с. 1665-1674
2. Рыков А.С., Пилипенко В.А. Многокритериальная оценка качества систем на основе детерминированных и статистических характеристик. Труды Y международной конференции ”Идентификация систем и задачи управления” SICPRO’06, Москва, CD, Институт проблем управления, Москва, 2006, с. 511-518
3. Рыков А.С., Пилипенко В.А. Многокритериальная оценка качества систем на основе детерминированных и статистических характеристик. Третья Международная конференция по проблемам управления, Институт проблем управления, Москва, 2006
4. Рыков А.С., Пилипенко В.А. Методы оценки качества информационных систем в условиях неопределенности. Системы управления и информационные технологии, № 3, 2006.

Соискатель В.А. Пилипенко

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Создание современных систем управления в производственных, финансовых, военных и других областях невозможно без использования информационных технологий, в частности, информационных систем (ИС), для обеспечения сбора, обработки, хранения и представления требуемой информации. Внедрение этих технологий и систем порождает проблемы, разрешение которых требует специальных практических расчетов. Сегодня на рынке информационных технологий предлагается богатый выбор технических средств и решений, способных удовлетворить функциональным требованиям заказчиков. Из них можно выбрать приемлемый вариант, руководствуясь логическими рассуждениями.

Данный выбор будет не всегда рациональным с точки зрения достижения всех целей функционирования проектируемой системы. Рациональное обеспечение качества современных систем немыслимо без применения моделей и методов, позволяющих оценивать, исследовать и оптимизировать процессы сбора хранения, обработки и представления информации. Задачу оценки качества и надежности вариантов систем приходится решать как на предпроектных стадиях создания систем, так и в процессе их создания и эксплуатации. На каждой стадии необходимо оценивать качество систем, соответствие замыслу, заданным или желаемым требованиям. Множественность вариантов реализации систем, разнообразие условий, в которых должны функционировать системы, оценка качества систем по нескольким критериям – все это усложняет решение задачи оценки и выбора наиболее эффективного варианта системы.

Значения критериев могут зависеть также и от внешних условий, в которых находится система, эти значения могут меняться при различных событиях. Совокупность таких событий, влияющих на значения характеристик качества систем, может интерпретироваться как состояния внешней среды. Эти состояния среды порождают неопределенность, так как заранее неизвестно, какие события произойдут и в каком состоянии и условиях будет находиться система. Неопределенность, заключающаяся в наличии нескольких различных величин оценки одного и того же критерия в зависимости от состояний среды, приводит к необходимости решения многокритериальной задачи оценки значений критериев качества и выбора наилучшего варианта системы в условиях неопределенности, трактуемой как статистическая.

Особенностью процессов принятия решений является учет наличия лица, принимающего решения (ЛПР), индивидуального или коллективного, которое стремится к достижению некоторых целей на основе своих предпочтений. Практика принятия решений

показывает, что наиболее предпочтительным считается решение, согласованное со структурой предпочтений ЛПР, а также с имеющейся у него информацией о задаче принятия решений. В этом случае необходимы процедуры, которые помогают ЛПР формализовать его предпочтения, а принятие решения сводится к сравнению существенных свойств решений и решению задачи выбора.

Важнейшая проблема при решении задач выбора, принятия решений связана с многокритериальностью, отсутствием одного признака, критерия, по которому можно упорядочить решения или выбрать лучшее. Основными способами преодоления многокритериальности являются привлечение ЛПР и решение задачи на основе его предпочтений.

Таким образом, существует необходимость в разработке специальных моделей и методов для решения многокритериальных задач выбора при неопределенности, ориентированных на активное участие ЛПР. Эти модели и методы должны быть ориентированы на нахождение компромиссного решения, удовлетворяющего в той или иной степени ЛПР.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что усовершенствование существующих и разработка новых моделей и методов поддержки принятия многокритериальных решений в условиях неопределенности являются важной и актуальной задачей.

Цель работы:

Исследование существующих подходов к решению проблем выбора и разработка новых моделей, методов и алгоритмов для поддержки процессов формирования и выбора сложных решений в условиях неопределенности.

Для достижения этой цели в диссертации были поставлены и решены следующие **задачи**:

1) Анализ существующих моделей и методов для поддержки процессов многокритериального выбора решений. Выделение основных видов задач выбора при неопределенности и методов их решения.

2) Разработка формальной модели многокритериального выбора решений при неопределенности.

3) Формирование критериев оценки качества решений и постановка задач выбора.

4) Разработка диалоговых алгоритмов решения многокритериальных задач выбора.

5) Исследование свойств и характеристик разработанных моделей, методов и алгоритмов при построении информационных систем. Оценка свойств получаемых решений.

Методы исследования. Для решения поставленных задач исследования были использованы математические методы теории принятия решений и многокритериальной оптимизации, системного анализа и исследования операций, математической статистики и теории статистических решений, методы экспертных оценок.

В Приложении приведены акты, подтверждающие эффективность внедрения разработанных в диссертации моделей и методов принятия решений, использование результатов в учебном процессе.

Таблица 2. Сводная таблица результатов оценки и сравнений систем по обобщенному критерию y_1

Локальные критерии	**Системы**				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
$y_{1,1}$	**част. избыт.**	**дост.**	**част. избыт.**	**недост.**	**недост.**
$y_{1,2}$	**част. избыт.**	**част. недост.**	**част. недост.**	**недост.**	**недост.**
$y_{1,3}$	**дост.**	**избыт.**	**дост.**	**дост.**	**дост.**
$y_{1,4}$	**дост.**	**избыт.**	**избыт.**	**недост.**	**недост.**
$y_{1,5}$	**дост.**	**дост.**	**дост.**	**недост.**	**недост.**
$y_{1,6}$	**избыт.**	**избыт.**	**дост.**	**недост.**	**недост.**
$y_{1,7}$	**избыт.**	**избыт.**	**дост.**	**недост.**	**недост.**
$y_{1,8}$	**дост.**	**избыт.**	**дост.**	**дост.**	**дост.**
$y_{1,9}$	**дост.**	**избыт.**	**дост.**	**дост.**	**дост.**
$y_{1,10}$	**избыт.**	**дост.**	**дост.**	**недост.**	**недост,.**
Заключение по обобщенному критерию y_1	**Относится к лучшим, не обладает недостатками. У системы x_2 выигрывает по $y_{1,1}$, $y_{1,2}$, $y_{1,10}$ и немного проигрывает по $y_{1,4}$, $y_{1,8}$, $y_{1,9}$. У системы x_3 выигрывает по $y_{1,2}$, $y_{1,6}$, $y_{1,7}$ и немного проигрывает по $y_{1,3}$, $y_{1,4}$**	**Относится к лучшим, обладает недостатком по $y_{1,2}$. У системы x_3 выигрывает по $y_{1,6}$, $y_{1,7}$, $y_{1,8}$, $y_{1,9}$ и немного проигрывает по $y_{1,1}$, $y_{1,3}$**	**Относится к лучшим, обладает недостатком по $y_{1,2}$**	**По большинству критериев проигрывает системам x_1, x_2, x_3**	**По большинству критериев проигрывает системам x_1, x_2, x_3**

Основные результаты и выводы

В диссертации предложены модели и алгоритмы многокритериальной оценки решений для статистических и детерминированных критериев, ориентированные на активное

	$y_{1,2,1,9}$, $\gamma_{1,2,1,9}=2$	2	2	1	4	4	2	2	2	2	2	
	$y_{1,2,1,10}$, $\gamma_{1,2,1,10}=3$	1	2	1	4	4	2	2	2	1	1	
	$y_{1,2,1,11}$, $\gamma_{1,2,1,11}=3$	1	2	1	4	4	3	3	3	1	1	
Частный критерий $y_{1,2,2}$, $\gamma_{1,2,2}=3$		1	3	1	4	4	3	2	2	1	1	**система x_1 - избыточна, система x_3 - достаточна, система x_2 - частично недостаточна, системы x_4, x_5 - недостаточны**
	$y_{1,2,2,1}$, $\gamma_{1,2,2,1}=3$	1	2	2	4	4	3	1	2	1	1	
	$y_{1,2,2,2}$, $\gamma_{1,2,2,2}=3$	1	2	1	4	4	3	2	3	1	1	
	$y_{1,2,2,3}$, $\gamma_{1,2,2,3}=3$	1	3	2	4	4	3	1	2	1	1	
	$y_{1,2,2,4}$, $\gamma_{1,2,2,4}=3$	1	3	2	4	4	3	1	2	1	1	
	$y_{1,2,2,5}$, $\gamma_{1,2,2,5}=3$	1	3	1	4	4	3	2	2	2	2	
Частный критерий $y_{1,2,3}$, $\gamma_{1,2,3}=3$		1	2	2	4	4	2	1	1	1	1	**система x_1 - достаточна, системы x_2, x_3, x_4, x_5 - недостаточны**
	$y_{1,2,3,1}$, $\gamma_{1,2,3,1}=3$	1	3	3	4	4	2	1	1	1	1	
	$y_{1,2,3,2}$, $\gamma_{1,2,3,2}=3$	1	3	2	4	4	2	1	1	1	1	

В таблице 2 представлен результат оценки и сравнений ИС по обобщенному критерию y_1 в шкале достаточности и приведено дескриптивное описание альтернатив по данному критерию.

По правилам алгоритма ЛПР провел оценку остальных критериев, агрегирование их оценок и выбор лучшего варианта системы.

Приведенные примеры показали эффективность диалоговых алгоритмов решения многокритериальных задач выбора лучшего варианта информационных систем.

На защиту выносятся:

1. Формализация задачи принятия решений в виде двухэтапной модели принятия решений в условиях статистической неопределенности при различных ситуациях априорной информированности ЛПР.
2. Диалоговый алгоритм снятия статистической неопределенности для разных ситуаций априорной информированности ЛПР, включающий комбинированный критерий и учитывающий степень доверия ЛПР к априорной информации.
3. Иерархическое многокритериальное описание качества ИС в виде дерева критериев.
4. Обобщенный диалоговый алгоритм решения многокритериальной задачи принятия решений при детерминированных и статистических критериях.

Научная новизна. Предложены модели и методы многокритериальной оценки решений в условиях статистической неопределенности, ориентированные на активное использование в диалоговом режиме представлений ЛПР об априорной информации и качестве решений, иерархическое многокритериальное описание качества ИС, диалоговые алгоритмы снятия статистической неопределенности и решения многокритериальной задачи выбора при детерминированных и статистических критериях.

Практическая значимость и результаты внедрения. Практическая значимость работы заключается в создании теоретической основы для построения систем поддержки принятия решений, в использовании ее результатов в деятельности организаций при принятии управленческих решений. Внедрение результатов диссертационного исследования позволило повысить эффективность и качество управленческих решений при разработке информационных систем.

Разработанные модели и методы реализованы, внедрены и используются в практике ОАО «Электромашина», НОУ «Центр Информационных Технологий и Менеджмента» и внедрены в учебный процесс.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на IY Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO’2005), Москва, 2005г.;
- на Y Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO’2006), Москва, 2006 г.;
- на Третьей Международной конференции по проблемам управления, Москва, 2006 г.;

- на семинарах на кафедре автоматизированных систем управления Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в четырех печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников из 122 наименований. Общий объем работы – 182 страницы, включая 50 таблиц, 2 рисунка.

Содержание работы

В **первой главе** рассмотрены известные формальные модели принятия решений, постановки многокритериальных задач принятия решений при определенности и неопределенности, характеристики приоритета критериев, способы нормализации критериев. Проведен обзор основных статистических критериев выбора решений при различных ситуациях априорной информированности ЛПР, описаны принципы оптимальности в задачах принятия решений.

Во **второй главе** рассматриваются многокритериальные модели и методы принятия решений в условиях статистической неопределенности.

Выделим особенности задачи оценки качества и выбора лучших проектов ИС как задачи принятия решений:

- малое число n альтернатив (проектов ИС) x_j, $j = 1,...,n$ (5 – 10 проектов);

- большое число m критериев y_i ($i = 1,..., m$), описывающих качество проектов (от 30 до 200 критериев), критерии структурируются в виде дерева критериев (далее будет описано это иерархическое дерево критериев и уточнена терминология - названия критериев разного уровня);

- шкалы z_i ($i = 1,..., m$), по которым оцениваются значения критериев, в основном дискретные с малым числом градаций (до 5-7);

- для непрерывных шкал легко перейти к дискретным с малым числом градаций, отражающим желательные и нежелательные значения критериев;

- субъект выбора - лицо, принимающее решения (ЛПР), может быть как индивидуальным, так и коллективным. Например, ЛПР - руководитель комиссии по приемке проектов ИС;

Таблица 1. Оценка систем по локальному критерию $y_{1,2}$

Критерий, индекс важности критерия	**Показатель, индекс важности показателя**	**Оценка по шкале: 1 - с учетом лучшего индустриального опыта, 2 - эффективная реализация, 3 - реализация создается в процессе выполнения договора, 4 - нет варианта реализации**					**Оценка достаточности значений оценок по шкале: 1 - недостаточно, 2 - достаточно, 3 – избыточно**					**Заключение по оценке систем по критерию $y_{1,2}$ с комментариями по оценке**
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
Локальный критерий $y_{1,2}$, $\gamma_{1,2} = 3$							**3**	**1**	**2**	**1**	**1**	***лучшая*** **система x_1, - частично избыточна (по $y_{1,2,1}$ и $y_{1,2,2}$), система x_3 - недостаточна (по $y_{1,2,3}$), система x_2 - недостаточна (по $y_{1,2,2}$, $y_{1,2,3}$), системы x_4, x_5 - недостаточны (по $y_{1,2,1}$, $y_{1,2,2}$, $y_{1,2,3}$)**
Частный критерий $y_{1,2,1}$, $\gamma_{1,2,1} = 3$		**1**	**2**	**1**	**4**	**4**	**2**	**2**	**2**	**1**	**1**	**системы x_1, x_2, x_3 - достаточны и частично избыточны, системы x_4, x_5 - недостаточны**
	$y_{1,2,1,1}$, $\gamma_{1,2,1,1} = 2$	**2**	**2**	**2**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**1**	**1**	
	$y_{1,2,1,2}$, $\gamma_{1,2,1,2} = 2$	**2**	**2**	**2**	**3**	**4**	**2**	**3**	**2**	**1**	**1**	
	$y_{1,2,1,3}$, $\gamma_{1,2,1,3} = 3$	**1**	**2**	**1**	**4**	**4**	**2**	**2**	**2**	**1**	**1**	
	$y_{1,2,1,4}$, $\gamma_{1,2,1,4} = 2$	**1**	**2**	**1**	**4**	**4**	**3**	**2**	**3**	**1**	**1**	
	$y_{1,2,1,5}$, $\gamma_{1,2,1,5} = 2$	**2**	**2**	**2**	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**1**	**2**	
	$y_{1,2,1,6}$, $\gamma_{1,2,1,6} = 3$	**1**	**2**	**2**	**4**	**4**	**2**	**2**	**2**	**1**	**1**	
	$y_{1,2,1,7}$, $\gamma_{1,2,1,7} = 3$	**1**	**2**	**2**	**4**	**4**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**	
	$y_{1,2,1,8}$, $\gamma_{1,2,1,8} = 3$	**1**	**2**	**1**	**3**	**3**	**3**	**2**	**3**	**1**	**1**	

разного уровня. Для каждого критерия экспертами определен индекс важности, оцененный в шкале со значениями: низкая важность, средняя важность, высокая важность.

Множество обобщенных критериев $Y = \{y_1, ..., y_5\}$ составили 5 критериев: функциональность, технические параметры, стоимость системы, методология внедрения, опыт работы в России. Каждый из этих критериев описывается критериями более низкого уровня.

Критерий y_1 - функциональность описывается 10 локальными критериями, которые в свою очередь описываются 14 частными критериями и 32 показателями, среди которых один статистический критерий.

Критерий y_2 - технические параметры описывается 8 локальными критериями, которые в свою очередь описываются 26 частными критериями, среди которых один статистический критерий.

Критерий y_3 - стоимость системы описывается 3 локальными критериями, которые в свою очередь описываются 14 частными критериями.

Критерий y_4 - методология внедрения описывается 3 локальными критериями, которые в свою очередь описываются 2 частными критериями, среди которых два статистических критериев.

Критерий y_5 - опыт работы в России описывается 6 локальными критериями, которые в свою очередь описываются 4 частными критериями.

Для статистических критериев в главе 2 осуществлен переход к детерминированным значениям.

Значения критериев были оценены экспертами и ЛПР, проводя анализ этих оценок, перевел их значения в шкалу достаточности со значениями: недостаточно, достаточно, избыточно.

ЛПР провел агрегацию оценок ИС по обобщенному критерию y_1 (функциональность) по правилам обобщенного диалогового алгоритма, перейдя от оценок критериев 4го уровня – показателей $y_{1,r,l,d}$, $d = 1, ..., m_{i,r,l}$ к оценкам критериев 3го уровня- частных критериев $y_{1,r,l}$, затем от оценок критериев 3го уровня к оценкам критериев 2го уровня - локальных критериев $y_{1,r}$, $r = 1, ..., m_i$ и, наконец, от оценок критериев 2го уровня к оценке критерия 1го уровня - обобщенного критерия y_1. В таблице 1 приведены результаты иллюстрирующие переход от оценок четвертого уровня к оценкам третьего и второго уровня для критерия $y_{1,2}$

- задача принятия решений может состоять в выборе одного или нескольких лучших проектов (альтернатив), окончательный выбор лучшего - за ЛПР.

В диссертации качество ИС описывается четырехуровневым иерархическим множеством критериев. Общая оценка качества вариантов ИС, которую можно называть критерием нулевого уровня, описывается множеством критериев 1го уровня - *обобщенными критериями* y_i, $i = 1, ..., m$, $Y = \{y_1, ..., y_m\}$. Обобщенные критерии y_i в свою очередь могут описываться критериями 2го уровня - *локальными критериями* $y_{i,r}$, $r = 1, ..., m_i$, $Y_i = \{y_{i,1}, ..., y_{i,m_i}\}$,. Далее часть из этих локальных критериев $y_{i,r}$ может описываться критериями 3го уровня - *частными критериями*, $y_{i,r,l}$, $l = 1, ..., m_{i,r}$, $Y_{i,r} = \{y_{i,r,1}, ..., y_{i,r,m_{i,r}}\}$. Завершает это описание критерии 4го уровня – *показатели* $y_{i,r,l,d}$, $d = 1, ..., m_{i,r,l}$, $Y_{i,r,l} = \{y_{i,r,l,1}, ..., y_{i,r,l,m_{i,r,l}}\}$, представляющие качество критериев 3го уровня $y_{i,r,l}$.

Проблемная ситуация многокритериального принятия решений при неопределенности формально представляется в виде следующей модели:

– существуют альтернативы x_k, $k = 1, ..., n$, которые образуют множество решений $X = \{x_1, ..., x_n\}$, одно из которых необходимо выбрать ЛПР;

- качество альтернатив описывается иерархическим множеством критериев $Y_i = \{y_{i,1}, ..., y_{i,m_i}\}$, $Y_{i,r} = \{y_{i,r,1}, ..., y_{i,r,m_{i,r}}\}$, $Y_{i,r,l} = \{y_{i,r,l,1}, ..., y_{i,r,l,m_{i,r,l}}\}$, среди которых есть как детерминированные так и статистические критерии;

– для каждого из статистических обобщенных критериев, например, $y_{i,r}$ существует множество состояний среды $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, $j = 1, ..., k_{i,r}$, ЛПР точно неизвестно в каком конкретном состоянии находится или будет находиться среда;

– на множествах решений $X = \{x_1, ..., x_n\}$ и состояний среды $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, $j = 1, ..., k_{i,r}$ статистический критерий $y_{i,r}$ описывается либо функцией полезности $U_{i,r} = \| u_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}) \|$, $x_k \in X$, $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, если ЛПР исходит из условия максимизации его значений, либо функцией потерь $V_{i,r} = \| v_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}) \|$, $x_k \in X$, $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, если ЛПР исходит из условия его минимизации.

При оценке качества альтернатив возможна одна из следующих *трех ситуаций априорной информированности ЛПР* о состояниях среды для статистического критерия $y_{i,r}$:

1. ЛПР известно априорное распределение вероятностей $p^{i,r} = \{p_1^{i,r}, ..., p_{k_{i,r}}^{i,r}\}$, определенное на множестве $A^{i,r} = \left\{ p^{i,r} : 0 \le p_j^{i,r} \le 1, \sum_{j=1}^{k_{i,r}} p_j^{i,r} = 1 \right\}$ на элементах $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, $j = 1,...,k_{i,r}$ состояний среды.

2. ЛПР известно, что среда активно противодействует его целям: среда стремится к выбору таких состояний $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, для которых в случае, если статистический критерий $y_{i,r}$ описывается функцией полезности $U_{i,r}$, то среда принимает состояние, обеспечивающее наименьшее значение функции полезности из множества своих максимально возможных (по решениям) значений. В случае, если статистический критерий $y_{i,r}$ описывается функцией потерь $V_{i,r}$, то среда принимает состояние, обеспечивающее наибольшее значение функции потерь из множества своих минимально возможных (по решениям) значений.

3. ЛПР имеет приблизительную априорную информацию о состояниях среды, являющуюся промежуточной между первой и второй ситуациями априорной информированности.

Требуется решить *задачу выбора – выделить лучшую альтернативу* $x_k \in X$.

Задача принятия решений состоит в выборе ЛПР наилучшего варианта $x_k \in X$ с помощью решения следующих задач:

- на первом этапе для каждого статистического критерия, например, $y_{i,r}$, представленного функцией полезности $U_{i,r} = \left\| u_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}) \right\|$ или функцией потерь $V_{i,r} = \left\| v_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}) \right\|$, $x_k \in X$, $k = 1,...,n$, $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, $j = 1,...,k_{i,r}$, конструируются критерии оценки качества статистического критерия $y_{i,r}(x_k)$;

– на втором этапе решается задача:

найти

$$F(x^*) = \max_{x_k \in X} F(x_k),$$

где $F(x_k) = F(y_1(x_k), ..., y_m(x_k))$ – функция качества, построенная на основе диалога с ЛПР (см. главу 3).

Важнейшей особенностью задачи является то, что при наличии статистических критериев, например, $y_{i,r}$ альтернативе $x_k \in X$ соответствует несколько точек в подпространстве критериев $Y_i = \{y_{i,1}, ..., y_{i,r}, ..., y_{i,m_i}\} = \{y_{i,1}, ..., u_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}), ..., y_{i,m_i}\}$, при разных $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, $j = 1,...,k_{i,r}$. Иными словами, выбор альтернативы не приводит к однозначному

- на основе оценок критериев 2го уровня - локальных критериев $y_{i,r}$, $r = 1,...,m_i$ ЛПР построить оценки критериев 1го уровня - обобщенных критериев y_i, $i = 1,...,m$ в шкале достаточности и привести дескриптивное описание альтернатив по критерию y_i, $i = 1,...,m$.

5. Анализ, сравнение альтернатив и выбор лучших по значениям обобщенных критериев $Y = \{y_1, ..., y_m\}$:

5.1. Проверка альтернатив на доминируемость по Парето и исключение худших.

5.2. Сравнение оставшихся альтернатив (попарное по обобщенным критериям):

- сведение оценок альтернатив в единую таблицу для удобства сравнения;
- попарное по каждому обобщенному критерию сравнение альтернатив;
- группировка оценок альтернатив по недостаткам и достоинствам;
- оценка взаимной компенсации достоинств и недостатков альтернатив и выделение лучших альтернатив;
- выбор ЛПР лучшей альтернативы.

В **четвертой главе** рассмотрен пример выбора лучшего варианта ИС демонстрирующий специфику и возможности предложенных моделей и алгоритмов для решения задач оценки и выбора лучших решений.

Предложенные ранее алгоритмы сведены в обобщенный диалоговый алгоритм оценки качества вариантов ИС и выбора лучших при детерминированных и статистических критериях. Была разработана диалоговая система выбора лучших вариантов ИС.

В качестве иллюстрации рассмотрен пример решения задачи выбора лучшего варианта информационной системы (ИС), варианта корпоративной системы управления предприятием, представляющим порт, на основе предложенного обобщенного диалогового алгоритма.

Было сформировано множество решений (вариантов ИС) $x_k \in X$, x_k, $k = 1,...,5$, где x_1 - система Baan, x_2 - система Oracle eBusiness Suite, x_3 - система R3, x_4 - система Галактика, x_5 - система Аксапта.

Специалисты-эксперты под руководством ЛПР разработали многоуровневое иерархическое описание качества вариантов ИС $Y = \{y_1, ..., y_m\}$, $Y_i = \{y_{i,1}, ..., y_{i,m_i}\}$, $Y_{i,r} = \{y_{i,r,1}, ..., y_{i,r,m_{i,r}}\}$, $Y_{i,r,l} = \{y_{i,r,l,1}, ..., y_{i,r,l,m_{i,r,l}}\}$, среди которых есть как детерминированные, так и статистические критерии. Общее качество ИС описывается 127 критериями

Сконструировано иерархическое многокритериальное описание качества ИС в виде дерева критериев, предложены шкалы для оценки критериев. Предложен диалоговый алгоритм многокритериального описания качества ИС и выбора лучших.

Диалоговый алгоритм оценки качества вариантов ИС и выбора лучших

1. Сформировать множество решений (вариантов ИС) $x_k \in X$, $k = 1,...,n$.

2. Разработка многокритериального описания свойств вариантов ИС. Сформировать иерархическое множество критериев $Y = \{y_1,...,y_m\}$, $Y_i = \{y_{i,1},...,y_{i,m_i}\}$, $Y_{i,r} = \{y_{i,r,1},...,y_{i,r,m_{i,r}}\}$, $Y_{i,r,l} = \{y_{i,r,l,1},...,y_{i,r,l,m_{i,r,l}}\}$, состоящего из детерминированных критериев. Построение

- критериев 1го уровня - обобщенных критериев y_i, $i = 1,...,m$;

- критериев 2го уровня - локальных критериев $y_{i,r}$, $r = 1,...,m_i$;

- критериев 3го уровня - частных критериев $y_{i,r,l}$, $l = 1,...,m_{i,r}$;

- критериев 4го уровня – показателей $y_{i,r,l,d}$, $d = 1,...,m_{i,r,l}$;

- построение (выбор) шкал для критериев;

- построение шкал индексов важности для критериев.

3. ЛПР оценить (при необходимости привлечь экспертов):

- значения критериев нижнего уровня $Y = \{y_1,...,y_m\}$, $Y_i = \{y_{i,1},...,y_{i,m_i}\}$, $Y_{i,r} = \{y_{i,r,1},...,y_{i,r,m_{i,r}}\}$, $Y_{i,r,l} = \{y_{i,r,l,1},...,y_{i,r,l,m_{i,r,l}}\}$ для $x_k \in X$ в исходных содержательных шкалах;

- индексы важности критериев.

4. Построение агрегированных обобщенных критериальных оценок $Y = \{y_1,...,y_m\}$ вариантов ИС $x_k \in X$:

- на основе оценок критериев 4го уровня – показателей $y_{i,r,l,d}$, $d = 1,...,m_{i,r,l}$ ЛПР построить оценки критериев 3го уровня - частных критериев $y_{i,r,l}$, $l = 1,...,m_{i,r}$ в шкале достаточности и привести дескриптивное описание альтернатив по критерию $y_{i,r,l}$;

- на основе оценок критериев 3го уровня - частных критериев $y_{i,r,l}$, $l = 1,...,m_{i,r}$ ЛПР построить оценки критериев 2го уровня - локальных критериев $y_{i,r}$, $r = 1,...,m_i$ в шкале достаточности и привести дескриптивное описание альтернатив по критерию $y_{i,r}$;

результату. Для критерия $y_{i,r}$ неизвестно, какова будет полезность альтернативы, ее величина зависит от выбора средой своего состояния.

Отсюда следует необходимость решения проблемы: оценить выбор альтернативы по одному критерию качества $y_{i,r}$, в зависимости от поведения среды, т. е. научиться сравнивать альтернативы по отдельному статистическому критерию. С помощью предлагаемого специально сконструированного критерия преодолевается неопределенность состояний среды и критериальное описание решений (альтернатив) становится детерминированным.

После того как удается оценить каждый критерий, избавившись от случайности или риска выбора, задача становится детерминированной и для ее решения можно применить методы многокритериального принятия решений при определенности. Предлагаемые варианты преодоления многокритериальности, построения функции качества $F(x_k)$ изложены в главе 3.

Формализуем предложенный подход к решению задачи в виде следующего алгоритма.

Обобщенный алгоритм решения задачи принятия решений в условиях неопределенности

1. Сформировать множество решений (вариантов ИС) $x_k \in X$, $k = 1,...,n$.

2. Сформировать иерархическое множество критериев $Y_i = \{y_{i,1},...,y_{i,m_i}\}$, $Y_{i,r} = \{y_{i,r,1},...,y_{i,r,m_{i,r}}\}$, $Y_{i,r,l} = \{y_{i,r,l,1},...,y_{i,r,l,m_{i,r,l}}\}$, среди которых есть как детерминированные, так и статистические критерии.

3. Для каждого из статистических критериев, например, $y_{i,r}$ сформировать множество состояний среды $s_j^{i,r} \in S_{i,r}$, $j = 1,...,k_{i,r}$.

4. Для $x_k \in X$ определить значения статистических критериев $y_{i,r}$ в виде функций полезности $U_{i,r} = \left\| u_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}) \right\|$ или функций потерь $V_{i,r} = \left\| v_{i,r}(x_k, s_j^{i,r}) \right\|$.

5. ЛПР для каждого статистического критерия $y_{i,r}$ оценить ситуацию априорной информированности, характеризующую поведение среды выбрать или сконструировать комбинированный критерий оценки качества решения, соответствующий ситуации априорной информированности.

6. С помощью комбинированных критериев определить значения статистических критериев $y_{i,r}$ при $x_k \in X$.

Предлагаемый комбинированный критерий имеет вид:

$$y_{i,r}(x_k,\beta,\lambda_1,\lambda_2)=(1-\beta)\,y_{Комб1,i,r}(p,x_k,\lambda_1)+\beta\,y_{Комб2,i,r}(x_k,\lambda_2),$$

для функции полезности

$$y_{Комб1,i,r}(p,x_k,\lambda_1)=(1-\lambda_1)\,y_{БЛ,i,r}(p,x_k)-\lambda_1\,y_{СК,i,r}(p,x_k),$$

для функции потерь

$$y_{Комб1,i,r}(p,x_k,\lambda_1)=(1-\lambda_1)\,y_{БЛ,i,r}(p,x_k)+\lambda_1\,y_{СК,i,r}(p,x_k),$$

где

$$y_{БЛ,i,r}(p,x_k)=B_{i,r}(p,x_k)=\sum_{j=1}^{k_{i,r}}p_j u_{i,r}(x_k,s_j^{i,r}),$$

$$y_{СК,i,r}(p,x_k)=\sigma_{i,r}(p,x_k)=\left[\sum_{j=1}^{k_{i,r}}\left(u_{i,r}(x_k,s_j^{i,r})-B_{i,r}(p,x_k)\right)^2 p_j\right]^{1/2},$$

$$y_{Комб2,i,r}(x_k,\lambda_2)=(\lambda_2\min_{s_j^{i,r}\in S_{i,r}}u_{i,r}(x_k,s_j^{i,r})+(1-\lambda_2)\max_{s_j^{i,r}\in S_{i,r}}u_{i,r}(x_k,s_j^{i,r})).$$

Детализация построения комбинированного критерия сформулирована в виде следующего диалогового алгоритма. Данный алгоритм детализирует действия пункта 5 обобщенного алгоритма и может быть встроен в него.

Диалоговый алгоритм снятия статистической неопределенности

5. ЛПР для каждого статистического критерия $y_{i,r}$ ЛПР оценить ситуацию априорной информированности, характеризующую поведение среды.

5.1. Если ЛПР классифицирует ситуацию априорной информированности как *первую*, то перейти к п. 5.2. Если ЛПР классифицирует ситуацию априорной информированности как *вторую*, то перейти к п. 5.4. Если ЛПР классифицирует ситуацию априорной информированности как *третью*, то перейти к п. 5.5.

5.2. ЛПР известны распределения вероятностей $p^{i,r}=\{p_1^{i,r},...,p_{k_{i,r}}^{i,r}\}$ состояний $s_j^{i,r}\in S_{i,r}$, $j=1,...,k_{i,r}$ среды, взять $\beta=0$, использовать комбинированный критерий

$$y_{i,r}(x_k,0,\lambda_1,\lambda_2)=y_{Комб1,i,r}(p,x_k,\lambda_1).$$

5.3. Выбор ЛПР величины λ_1. Для каждого из $x_k\in\{x_1,...,x_n\}$ вычислить значения критерия $y_{Комб1,i,r}(p,x_k,\lambda_1)$ при λ_1, изменяющемся от 0 до 1, например, при $\lambda_1=\{0.0, 0.1, ..., 1.0\}$. Затем ЛПР изучить полученные оценки и выбрать λ_1, соответствующее его представлению о качестве решения. Перейти к п. 5.7.

5.4. ЛПР предполагает активное противодействие среды целям принятия решений, взять $\beta=1$, использовать комбинированный критерий

- для функции полезности

$$y_{i,r}(x_k,\beta,\lambda_1,\lambda_2)=y_{Комб2,i,r}(x_k,1,1,1),$$

$$y_{Комб2,i,r}(x_k)=y_{Комб2,i,r}(x_k,1,1,1)=\min_{s_j^{i,r}\in S_{i,r}}u_{i,r}(x_k,s_j^{i,r}),$$

- для функции потерь

$$y_{i,r}(x_k,\beta,\lambda_1,\lambda_2)=y_{Комб2,i,r}(x_k,1,1,0),$$

$$y_{Комб2,i,r}(x_k)=y_{Комб2,i,r}(x_k,1,1,0)=\max_{s_j^{i,r}\in S_{i,r}}v_{i,r}(x_k,s_j^{i,r}).$$

Перейти к п. 5.7.

5.5. Использовать комбинированный критерий в полной форме:

$$y_{i,r}(x_k,\beta,\lambda_1,\lambda_2)=(1-\beta)\,y_{Комб1,i,r}(p,x_k,\lambda_1)+\beta\,y_{Комб2,i,r}(x_k,\lambda_2).$$

5.6. Выбрать величины β, λ_1, λ_2. Для каждого из $x_k\in\{x_1,...,x_n\}$ вычислить значения функции $y_{i,r}(x_k,\beta,\lambda_1,\lambda_2)$ при $\beta=\{0.0, 0.1, ..., 1.0\}$, $\lambda_1=\{0.0, 0.1, ..., 1.0\}$, $\lambda_2=\{0.0, 0.1, ..., 1.0\}$. Затем ЛПР изучить полученные оценки и выбрать β, λ_1, λ_2, соответствующие его представлению о качестве решения, склонности к риску и доверию к априорной информации.

5.7. Запомнить построенный комбинированный критерий $y_{i,r}(x_k)$. Перейти к п. 5.

В предложенном алгоритме рассмотрено преодоление неопределенности для критериев второго уровня $y_{i,r}$. Если статистическая неопределенность возникает на более низком или более высоком уровне, то использование описанных комбинированных критериев позволит избавиться от неопределенности и перевести критерий из статистических в детерминированные и решать многокритериальную задачу при определенности.

Работа алгоритма проиллюстрирована при решении многокритериальной задачи выбора лучшего варианта корпоративной системы управления предприятием. Для четырех статистических критериев осуществлен переход к детерминированным значениям.

В **третьей главе** рассмотрен подход к оценке решений в условиях определенности, использующий двухэтапную модель многокритериального иерархического принятия решений, рассматриваются алгоритмы многокритериальной оценки качества ИС в условиях определенности.