

Т М И Р Т Р А Н С П О Р Т А

5 2014

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО



**ФОРМИРОВАНИЕ
ЭКИПАЖЕЙ:
АНТИТЕЗА
МЕЙНСТРИМУ**



МИИТ и Ассоциация вузов транспорта расширяют сотрудничество с КСТП



В Екатеринбурге 4-5 сентября 2014 года состоялось двадцать третье по счету пленарное заседание Международной ассоциации «Координационный совет по транссибирским перевозкам».

С докладом по главному вопросу повестки дня выступил председатель КСТП, президент ОАО «РЖД» В. И. Якунин. Обсуждаемая тема: «Развитие Транссиба: интеграция в глобальную транспортную систему и обеспечение конкурентных евроазиатских перевозок».

Восточный регион, в который входят Транссиб и БАМ, сейчас имеет первостепенное значение в транспортной системе России. Он обладает огромным потенциалом. Увеличение транзитных перевозок по этим трассам между Европой и АТР на 1% способно прибавить в казну порядка \$5 млрд. Одновременно здесь и стимулы к развитию логистики портового сервиса, совершенствованию деятельности таможенных и пограничных служб, оптимизации документооборота международных грузовых операций (проекты «Транссиб за семь дней», «Электронный поезд»).

По словам Владимира Якунина, Транссиб должен специализироваться прежде всего на пассажирских и контейнерных перевозках, а БАМУ пред-

назначено быть основной грузовой, рабочей магистралью. С этой точки зрения на встрече в столице Среднего Урала особо отмечена важность кооперации российских железных дорог с предприятиями региона, которые непосредственно обеспечивают своей продукцией потребности транспортной отрасли.

В двухдневном заседании Координационного совета приняли участие свыше 200 делегатов из 25 стран, представители Минтранса РФ, железных дорог СНГ, Балтии, Европы и Азии, морских портов Германии, Латвии, Норвегии, Швеции, Китая.

Новыми постоянными членами КСТП приняты ООО «УВЗ-Логистик» и ООО «УГМК-Транс». В качестве ассоциированного члена утверждена Ассоциация вузов транспорта России.

При этом следует подчеркнуть, что в конце июля подписано соглашение о сотрудничестве между крупнейшим транспортным вузом страны Московским государственным университетом путей сообщения (МИИТ) и КСТП. Ожидаемое их более тесное партнерство призвано стать дополнительным ресурсом в повышении квалификации персонала компаний-участниц Координационного совета, в проведении научных исследований, посвященных модернизации Транссиба, реализации программ социально-экономического развития прилегающих к нему территорий.

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

5 2014
(54)

СОДЕРЖАНИЕ

Учредитель:

Московский
государственный
университет путей
сообщения (МИИТ)

Редакционный совет:

Б. А. Лёвин – доктор технических наук, профессор МИИТ – председатель совета

Б. В. Гусев – член-корреспондент РАН – заместитель председателя совета

В. И. Галахов – доктор технических наук, профессор МИИТ – ответственный секретарь совета

И. С. Беседин – кандидат технических наук

Ф. С. Гоманков – кандидат технических наук, профессор МИИТ

А. А. Горбунов – доктор политических наук, профессор МИИТ

Н. А. Духно – доктор юридических наук, профессор МИИТ

Д. Г. Евсеев – доктор технических наук, профессор МИИТ

Л. А. Карпов – кандидат технических наук, профессор МИИТ

В. И. Колесников – академик РАН, профессор Ростовского государственного университета путей сообщения

К. Л. Комаров – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного университета путей сообщения

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

В. П. Мальцев – доктор технических наук, профессор МИИТ

Л. Б. Миротин – доктор технических наук, профессор Московского автодорожного государственного технического университета (МАДИ)

Н. П. Терёшина – доктор экономических наук, профессор МИИТ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- Валерий КУРГАНОВ, Михаил ГРЯЗНОВ*
Структурное резервирование на автомобильном транспорте 6
- Андрей САВРУХИН, Алексей НЕКЛЮДОВ, Роман ЕФИМОВ*
Моделирование тепловых нагрузок цельнокатаных колёс 22
- Николай РУБИЧЕВ, Нурлан СЕЙДАХМЕТОВ*
Доверительные границы результатов измерений 38
- Александр ДЕМЬЯНОВ, Борис ПАВЛИЦКИЙ*
Взаимосвязи внешнего воздействия с адаптивной системой шкворневого узла 52

НАУКА И ТЕХНИКА

- Валерий ФЕОКТИСТОВ, Юрий ЧУВЕРИН, Ко Ко ХТЕТ*
Импульсно-резисторное регулирование тяговых электродвигателей 60
- Александр ЗОЛКИН, Артём ГАЛИУЛЛИН*
Преимущества электропневматического тормоза в грузовых поездах 66
- Александр ЗАМУХОВСКИЙ, Николай КВАШНИН, Айгуль ЖАНГАБЫЛОВА*
Контроль динамического воздействия экипажа на путь 72
- Оксана КОС*
Прогноз износа металлических мостовых пролетов 82
- Камиль СУБХАНВЕРДИЕВ*
Частично-неселективная система защиты контактной сети 90

ЭКОНОМИКА

- Олег МИХНЕНКО, Михаил ПОДКОПАЕВ, Кирилл РАЗУМОВСКИЙ*
Стратегическая конкурентоспособность транспортной компании 98
- Анна ПИСЬМЕННАЯ, Татьяна ЯРКОВСКАЯ*
Оценка интеллектуального капитала организации 106
- Вера БАГИНОВА, Лев ФЕДОРОВ, Сергей ЛЁВИН*
Логистический бизнес: гармония затрат и результата 112
- Сергей ЕФИМОВ*
Применимость RAB-регулирования в пассажирских тарифах 116

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –
главный редактор

В. И. ГАЛАХОВ –
первый заместитель
главного редактора

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –
заместитель
главного редактора

Л. А. БАРАНОВ
М. М. БОЛОТИН
В. Н. КОТУРАНОВ

Над номером
работали:

И. А. ГЛАЗОВ –
технический редактор

Т. Г. ИВАНОВА –
художественный редактор

Н. К. ОЛЕЙНИК –
технический редактор

М. В. МАСЛОВА –
английский перевод

Адрес редакции:
127994, г. Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Тел.: (495) 684 2877

Журнал выходит 6 раз в год.
Цена свободная.

Подписной индекс
в Каталоге Распечати
«Газеты, Журналы» – 80812;
в Каталоге научно-технической
информации «Распечати» –
60790.

Журнал зарегистрирован
в Министерстве Российской
Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций
20 декабря 2002 г.
Регистрационный номер
ПИ № 77–14165

Отпечатано в КМУ МКЖТ (МИИТ)
Тираж 1000 экз

Ознакомиться с содержанием
вышедших номеров «Мира
транспорта» и «Сойскателя» можно
на сайте научной электронной
библиотеки eLibrary.ru, а с условиями
публикаций в журналах –
на web-сайте Московского
государственного университета
путей сообщения (МИИТ) по адресу:
<http://www.miiit.ru>.

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования.

При перепечатке ссылка
на журнал «Мир транспорта»
обязательна.

© «Мир транспорта», 2014

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Александр ПОПОВ, Татьяна ПОПОВА

Преемственность при проектировании комплекса
технических средств 124

*Александр АНДРЕЙЧИКОВ, Дмитрий МАРКОВ,
Людмила АСТАШКИНА*

Интеллектуальная система для стратегических решений. 130

Константин РАЗГОВОРОВ

Аудит и аттестация дилерских станций
автотехобслуживания 146

Ганчимэг ЦАГААНБАНДИ

Новые подходы к стратегии управления в АО «УБЖД» 154

Михаил ИСАКОВ

Анализ эксплуатационных показателей полигонов 162

Надежда ЕВРЕЕНОВА

Моделирование функционирования транспортно-
пересадочного узла 170

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Станислав БЕЛИНСКИЙ

Экспериментальная оценка параметров электромагнитных
полей 178

Татьяна ДВОРНИКОВА

Электровозный кластер в большом городе: проблемы
экологической совместимости 192

Сергей ПАЛКИН, Валентин КОЗЫРЕВ

Презумпция соответствия техническим регламентам 202

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Валентин ВИНОГРАДОВ, Владимир НИКИТЕНКО,

Анна ПАУТКИНА

Сетевое взаимодействие «школа – дом физики» 210

Алексей МАЛИШЕВСКИЙ, Павел БРОВКИН, Евгений ВЛАСОВ

Оценка эффективности экипажей летательного аппарата. 216

Валентин ПОНОМАРЁВ, Владимир УЛЬЯНОВ

Обучение безопасности: координация и учет 230

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Николай ГРИГОРЬЕВ

Яркий луч впереди паровоза 236

Андрей РАППОПОРТ

Туризм на реактивной тяге 246

Татьяна БЕЛОГУРОВА

Войною прерванный путь 254

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Юрий ВЛАДИМИРОВ

«Музыка ракетных стартов» 266

Авторефераты диссертаций 270

Новые книги о транспорте 271

Интеллектуальная система для стратегических решений



Александр АНДРЕЙЧИКОВ
Alexander V. ANDREYCHIKOV

Дмитрий МАРКОВ
Dmitry S. MARKOV



Людмила АСТАШКИНА
Ludmila A. ASTASHKINA

Андрейчиков Александр Валентинович – доктор технических наук, профессор кафедры «Менеджмент качества» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Марков Дмитрий Сергеевич – студент МИИТ, Москва, Россия. Асташкина Людмила Александровна – студент МИИТ, Москва, Россия.

Авторы исходят из того, что инструменты подготовки управленческих решений приводятся сегодня теорией и практикой в соответствие с групповыми методами. В статье дается описание разработанной интеллектуальной системы для поддержки процедур принятия стратегических решений в условиях неопределенности и риска. Показано математическое ее ядро с использованием различных методов анализа, оценки отношений предпочтения на основе многокритериального выбора и заданного набора альтернатив. Система может быть применена для решения широкого спектра задач в области аналитического прогнозирования и планирования развития объектов транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: интеллектуальная система, прогноз, планирование, групповые методы, принятие решений, транспортная инфраструктура.

Существует множество компьютерных программ, реализующих те или иные методы принятия решений. Обзор программных продуктов показал (таблица 1), что одни из них более универсальны и позволяют производить оценку различными способами (Web-NIPRE, Logical Decisions и др.), в то время как другие являются программными оболочками и обеспечивают аналитика инструментарием для создания и оптимизации полноценных экспертных систем (FuzzyTECH). Однако интеграция таких средств поддержки принятия решений в контуры управления и информационные системы предприятия требует решения ряда проблем, которые обусловлены следующими факторами:

- преимущественно коллективным характером деятельности по принятию решений;
- асинхронностью протекания отдельных процессов при согласованиях;
- совместным использованием единых хранилищ данных информационной системы предприятия;
- дублированием информации и возникновением противоречий в базах данных и знаний различных методов принятия решений;

Прикладные программы и программные среды, автоматизирующие разработку и использование многокритериальных методов принятия решений

Продукт	Производитель	Область применения
FuziCalc	FuzWare	Программная среда, ориентированная на электронные таблицы и финансовые приложения. Реализует подход на основе нечетких множеств.
Fuzzy TECH	Inform Software	Программная среда для разработки систем нечеткого логического вывода.
Бизнес-прогноз	Тора – ИнфоЦентр (дистрибьютор)	Оценочные расчеты исходов управленческих решений, представленных в форме древовидных структур.
Logical Decisions	Logical Decisions	Многокритериальная оценка альтернатив методом анализа иерархий (МАИ) или многокритериальной теории полезности.
WINPRE	Helsinki University of Technology	Выбор альтернатив в условиях неполной информации методом деревьев решений и МАИ.
Web-HIPRE	Helsinki University of Technology	Пакет общего назначения (реализован в интернет-технологии), поддерживающий коллективное принятие решений методами SMART, МАИ, MAUT.
Super Decisions	Expert Choice, Inc.	Выбор альтернатив, распределение ресурсов, управление проектами в условиях взаимной зависимости критериев и альтернатив методом анализа сетей (MAC).
Expert Choice	Expert Choice, Inc.	Распределение ресурсов, управление проектами с помощью МАИ.
PRIME Decisions	Helsinki University of Technology	Оценка и выбор альтернатив при нечеткой исходной информации. Использует деревья решений.
ELECTRE III-TRI	University Paris-Dauphine	Многокритериальный выбор, ранжирование и классификация альтернатив методами ELECTRE.

• отсутствием опыта по выбору правильного средства поддержки принятия решений у пользователя.

Подавляющее большинство прикладных систем ориентировано на поддержку процесса индивидуального принятия решений. В то же время работа специалистов и лиц, принимающих решения, (ЛПР) в группах давно стала стандартом. При этом практика одновременного нахождения экспертов в больших группах постепенно заменяется асинхронным взаимодействием посредством сетевых технологий. Подобный вариант снимает ряд временных и пространственных ограничений, а в некоторых случаях экономит финансовые ресурсы компании. Инструменты теории принятия решений последовательно приводятся в соответствие с групповыми методами и рассчитаны на различные типы задач. Однако широкая доступность (в том числе среди неопытных пользователей) порождает проблему выбора оптимального набора математических методов и программных средств для реализации комплексной интеллектуальной системы поддержки принятия стратегических решений (СППР).

Математическое ядро такой системы предполагает применение определенных методов теории принятия решений.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СЕТЕЙ И ИЕРАРХИЙ

Оба обозначенных метода относятся к классу многокритериальных и применяемых в условиях неопределенности. Метод анализа сетей (MAC) является обобщением метода анализа иерархий (МАИ) для сетевых структур с обратными связями. Это позволяет действовать при взаимной зависимости критериев по предпочтению. МАИ может применяться, когда элементы модели независимы. Для рассматриваемых подходов характерно наглядное графическое представление проблемы выбора благодаря декомпозиции последней на компоненты (цель, политика, факторы, акторы, альтернативы и т. д.). Другим преимуществом становится способ выявления предпочтений посредством парных сравнений.

Реализация метода анализа сетей включает следующие основные шаги:

1. Построение сетевой структуры. Для этого элементы задачи принятия решений объединяются в кластеры, между которыми возможны произвольные связи. Формирование кластеров и связей считается неформальной процедурой и осуществляется экспертами и ЛПР на основе знаний о специфике решаемой задачи. Объединение элементов в кластеры помогает снизить



размерность модели и улучшить согласованность суждений. Сеть показывает влияние кластеров друг на друга в отношении некоторой глобальной цели, в качестве которой могут рассматриваться выгоды, издержки, возможности, риски и т. п.

2. Для сети строится бинарная матрица влияний:

$$B = \{b_{ij}\} = \begin{cases} 1, & \text{если } i \text{ зависит от } j \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Матрица B проверяется на транзитивность. При ее нарушениях следует скорректировать сеть. Для упорядочения сети используется матрица достижимости, которая получается путем возведения матрицы $(E+B)$ в целочисленные степени k до тех пор, пока не будет выполнено условие $(E+B)^k \equiv (E+B)^{k+1}$, где E – единичная матрица.

3. Определение приоритетов элементов кластеров. Элементы каждого кластера попарно сравниваются относительно каждого элемента влияющего на него кластера. При этом экспертами оценивается интенсивность влияния одних элементов на другие. Результаты сравнения заносятся в матрицы парных сравнений (МПС). Главные собственные векторы МПС интерпретируются как векторы приоритетов сравниваемых элементов.

4. На основании матрицы B и вычисленных векторов приоритетов элементов кластеров строится суперматрица сетевой задачи W . Ее столбцы формируются из главных собственных векторов МПС.

5. Определение приоритетов кластеров на основе парных сравнений. Сравнение кластеров осуществляется аналогично описанному в пункте 3, либо относительно единственной заданной цели, либо по множеству элементов специальной управляющей иерархии, которая детализирует главную цель (во втором случае формируется множество суперматриц для элементов управляющей иерархии).

6. Приведение суперматрицы (или нескольких) к стохастическому виду путем нормирования. Для этого приоритеты элементов кластеров умножаются на приоритеты кластеров.

7. Анализ структуры суперматрицы и выбор способа вычисления предельных приоритетов. Для стохастической примитивной

суперматрицы предельные приоритеты вычисляются как $W^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} W^k$.

8. Если главная цель детализирована иерархией, производится свертка полученных векторов приоритетов.

Вычисленные значения предельных приоритетов интерпретируются как вклад соответствующих элементов в главную цель на протяжении определенного срока прогнозирования (пока высказанные предпочтения не изменятся). Решение сетевых задач также позволяет подойти обоснованно к проблеме определения важности критериев в задачах выбора. В частности, сумма предельных приоритетов элементов кластера показывает степень совокупного влияния последнего (вклада в главную цель).

Очевидно, что результат анализа существенным образом зависит от достоверности и согласованности экспертных оценок. Поэтому этапы заполнения матриц парных сравнений элементов и кластеров являются ключевыми. В рассматриваемых подходах предусмотрены инструменты оценки однородности экспертных суждений.

При заполнении МПС эксперт отвечает на следующие вопросы: «Какой из двух сравниваемых элементов важнее или имеет большее воздействие?», «Какой из двух сравниваемых элементов более вероятен?», «Какой из двух сравниваемых элементов предпочтительнее?», «Какова эта предпочтительность?»

Сопоставление критериев обычно предполагает сравнение их степени важности относительно цели исследования. Учитывается в том числе, какая из альтернатив более предпочтительна или более вероятна по тому или иному критерию, а также во сколько раз один объект предпочтительнее другого.

После заполнения каждой МПС осуществляются проверка транзитивности и однородности суждений и вычисление вектора приоритетов элементов – «потомков» относительно элемента – «родителя».

МЕТОД PRIME

Главная особенность метода (Preference Ratios In Multiattribute Evaluation – отношения предпочтения в многокритериаль-

ной оценке) состоит в том, что в отличие от МАИ или нечеткого логического вывода информация о предпочтениях может задаваться с помощью интервалов.

Иногда ЛПР не знает точных оценок собственных предпочтений или извлечение точных значений слишком осложнено и требует больших временных затрат. В таких ситуациях можно использовать неточные оценочные суждения в виде интервалов. С их помощью определяют веса критериев и уровни атрибутов альтернатив. После проведения анализа альтернативам назначаются не одиночные оценки, а их возможные диапазоны. Поиск наилучшего решения осуществляется посредством комплекса правил принятия решений или доминантного анализа. Неточные оценочные суждения вполне подходят и для группового принятия решений. Индивидуальные мнения различных акторов могут быть объединены за счет построения единых интервальных оценок из частных.

Характерными чертами метода PRIME считаются:

- использование разницы значений атрибутов для установления порядка предпочтения альтернатив;
- отказ от использования численных шкал измерения;
- представление отношений предпочтения ЛПР в виде точных и неточных оценок, а также прямое сравнение альтернатив относительно целей (holistic comparisons).

Рассмотрим основные положения метода.

Функция оценки аддитивного характера имеет вид:

$$V(x) = \sum_{i=1}^N w_i v_i^N(x_i) = \sum_{i=1}^N v_i(x_i),$$

где N – количество атрибутов в иерархии проблемы, x_i – значение атрибута X_i альтернативы, $v_i(x_i) = w_i^* v_i^N(x_i)$ – взвешенное нормализованное значение, соответствующее значению x_i .

Пусть x_i^* и x_i^0 обозначают наилучшее и наихудшее значения, полученные по атрибуту X_i . Для нормализованной функции оценки имеем:

$$\begin{cases} v_i^N(x_i^0) = 0 \\ v_i^N(x_i^*) = 1 \end{cases}$$

В предположении, что $v_i(x_i^0) = 0$, общая оценка может быть выражена в форме:

$$\begin{aligned} V(x) &= \sum_{i=1}^N v_i(x_i) = \\ &= \sum_{i=1}^N [v_i(x_i) - v_i(x_i^0)] \left[\frac{v_i(x_i) - v_i(x_i^0)}{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)} \right] = \\ &= \sum_{i=1}^N w_i v_i^N(x_i). \end{aligned}$$

Тогда становится возможным выразить веса атрибутов и нормализованную функцию оценки с помощью разности значений:

$$w_i = v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0),$$

$$v_i^N(x_i) = \frac{v_i(x_i) - v_i(x_i^0)}{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)} = \frac{v_i(x_i) - v_i(x_i^0)}{w_i}$$

При этом должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^N v_i(x_i^*) = \sum_{i=1}^N w_i = 1.$$

Полученных оценок разностей значений достаточно, чтобы обосновать выводы о предпочтениях ЛПР, приняв во внимание:

1. Порядковое ранжирование.

Предположим, что ЛПР отдает предпочтение x_i^j по сравнению с x_i^k . Из этого следует:

$$v_i(x_i^j) - v_i(x_i^k) > 0.$$

То есть ранжирование порождает ряд линейных ограничений в отношении односторонних оценочных функций атрибутов.

2. Определение соотношений разностей значений (количественное ранжирование).

Пусть L и U – нижний и верхний пределы отношения разностей значений:

$$L \leq \frac{v(x_j) - v(x_k)}{v(x_l) - v(x_m)} \leq U.$$

Из чего следует:

$$\begin{cases} -v(x_j)v(x_k) + L(v(x_l) - v(x_m)) \leq 0 \\ v(x_j) - v(x_k) - U(v(x_l) - v(x_m)) \leq 0 \end{cases}$$

3. Прямое сравнение альтернатив относительно целей (holistic comparisons).

В сравнениях такого вида приемы порядкового и количественного ранжирования применяются к оценочным функциям целей. Например, если ЛПР, рассматривая



цель o_i , отдаст предпочтение значению x^1 по сравнению с x^2 , это свидетельствует о том, что:

$$v_{oi}(x_{oi}^1) - v_{oi}(x_{oi}^2) > 0,$$

где v_{oi} – функция общей оценки относительно цели o_i , а x_{oi}^i – значение альтернативы $i \in \{1, 2\}$ относительно цели o_i .

РАНЖИРОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВ

Для корректировки оценочной функции могут также использоваться результаты прямого сравнения. Например, путем соотнесения $v_i(x_i^j)$ с наилучшим и наихудшим значениями x_i^* и x_i^0 :

$$L \leq \frac{v_i(x_i^j) - v_i(x_i^0)}{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)} \leq U.$$

Веса атрибутов традиционно определяются с помощью метода SWING. Его алгоритм включает два этапа:

1. Одному из атрибутов с максимальной степенью важности присваивается оценка 100 баллов.

2. Остальные атрибуты поочередно сравниваются с наиболее важным. По результатам каждому из них назначается диапазон значений важности $[L, U]$.

Полученные предположения экспертов о диапазонах важности порождают неравенства:

$$\frac{L}{100} \leq \frac{w_i}{w_{ref}} \leq \frac{U}{100} \Leftrightarrow \frac{L}{100} \leq \frac{v_i(x_i^j) - v_i(x_i^0)}{v_{ref}(x_i^*) - v_{ref}(x_i^0)} \leq \frac{U}{100}.$$

На последнем этапе анализа методом PRIME осуществляется синтез приоритетов альтернатив. Посредством решения задачи линейного программирования из сформированных экспертами неравенств получают:

1. Интервальные оценки альтернатив.

$$V(x) \in \left[\min \sum_{i=1}^N v_i(x_i), \max \sum_{i=1}^N v_i(x_i) \right].$$

2. Интервалы весов атрибутов.

$$w_i \in \left[\min \{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)\}, \max \{v_i(x_i^*) - v_i(x_i^0)\} \right].$$

3. Структуры предпочтений.

Различают абсолютное и парное доминирование. Альтернатива x^j предпочтительнее

альтернативы x^k в смысле абсолютного доминирования, если интервалы их значений не пересекаются. То есть наименьшее значение x^j превосходит максимальное значение x^k :

$$\min \sum_{i=1}^N v_i(x_i^j) > \max \sum_{i=1}^N v_i(x_i^k).$$

Альтернатива x^j предпочтительнее альтернативы x^k в смысле парного доминирования, если:

$$\begin{aligned} \max(V(x^k) - V(x^j)) < 0 &\Leftrightarrow \\ \max \left(\sum_{i=1}^N v_i(x_i^k) - \sum_{i=1}^N v_i(x_i^j) \right) &= \\ = \max \left(\sum_{i=1}^N w_i (v_i^N(x_i^k) - v_i^N(x_i^j)) \right) &< 0. \end{aligned}$$

Другими словами, для любого фиксированного множества весов w_i нормализованное (взвешенное) наименьшее значение альтернативы x^k больше, чем максимальное нормализованное (взвешенное) значение x^j . Следует заметить, что парное доминирование менее строгое, чем абсолютное. Кроме того, парное для x^k и x^j стоит проверить только, если $\max(V(x^j)) > \max(V(x^k)) \geq \min(V(x^j)) > \min(V(x^k))$.

Если первое неравенство не выполняется, то независимо от дальнейших уточнений в модели предпочтений, оценка альтернативы x^j не может превысить значение x^k . Когда не выполняется второе неравенство, то x^j доминирует над x^k абсолютно. Наконец, если не выполняется последнее неравенство, то существуют такие значения весов $w_i, i=1, \dots, N$, при которых значение x^k больше, чем значение x^j . Следовательно, ситуация доминирования может наступить или исключаться полностью в зависимости от интервалов оценок, когда условие не выполняется.

4. Результаты применения логических правил.

Правило *maximax* выявляет альтернативу с максимально возможным значением, *maximin* – с наибольшей нижней границей оценки. Правило *minimax regret* находит альтернативу, для которой величина максимально возможной потери значимости (а следовательно, и ошибки выбора ее как доминирующей) минимальна:

$$\max_{j,j^*k} \left[\max \left(\sum_{i=1}^N v_i(x_i^j) - \sum_{i=1}^N v_i(x_i^{j^*}) \right) \right].$$

Правило *центральных значений* выявляет альтернативу с максимальным средним значением интервала оценки.

Таким образом, метод PRIME имеет сильное математическое обоснование. Имитационные или статистические средства не используются. Вывод на основе логических правил позволяет определять недоминируемые альтернативы даже в ситуациях, когда другие методы, основанные на отношениях предпочтения, бессильны.

МЕТОДЫ СЕМЕЙСТВА ELECTRE

Семейство ориентировано на решение задач многокритериального выбора с заданным набором альтернатив. Эти методы основаны на относительном определении уровня качества альтернатив по критериям, т. е. качество альтернатив по многим критериям представляется не в виде некоторой обобщенной количественной оценки, а на основе выявления условий превосходства одной альтернативы над другой.

Традиционная постановка задачи принятия решений имеет следующий вид. Заданы n критериев, шкалы измерения качества альтернатив по этим критериям (обычно количественные), веса критериев (как правило, целые числа), конечный набор альтернатив и их оценки по критериям.

Введем следующие обозначения: $A = \{A_j, A_{j^*}\}$ – множество альтернатив; $I = \{K_1, \dots, K_n\}$ – множество критериев, по которым может быть оценена каждая альтернатива $A_j \in A$. Множество I можно разделить на три подмножества (класса):

$I^+(A_j, A_{j^*})$ – подмножество критериев, по которым A_j предпочтительнее, чем A_{j^*} ;

$I^-(A_j, A_{j^*})$ – подмножество критериев, по которым A_j равноценно A_{j^*} ;

$I^*(A_j, A_{j^*})$ – подмножество критериев, по которым A_j предпочтительнее, чем A_{j^*} .

Предположим, что можно определить относительную важность каждого из данных подмножеств, которая характеризуется тремя числами: $P^+(A_j, A_{j^*})$, $P^-(A_j, A_{j^*})$, $P^*(A_j, A_{j^*})$.

Введем некоторый порог c и будем считать, что вариант A_j превосходит A_{j^*} , если выполняется условие

$$c [P^+(A_j, A_{j^*}), P^-(A_j, A_{j^*}), P^*(A_j, A_{j^*})] \geq c. \quad (1)$$

Левая часть этого неравенства называется индексом согласия, правая – порогом несогласия.

В методе ELECTRE-I индекс согласия определяется в виде суммы

$$P^+(A_j, A_{j^*}) + P^-(A_j, A_{j^*}) \text{ или в виде } (P^+(A_j, A_{j^*}) + P^-(A_j, A_{j^*})) / (P^+(A_j, A_{j^*}) + P^-(A_j, A_{j^*})) \geq c. \quad (2)$$

Чтобы исключить ситуацию, когда одновременно выполняются $A_j R A_{j^*}$ и $A_{j^*} R A_j$ (где R – бинарное отношение превосходства (предпочтения), определенное на множестве альтернатив A), вместо условия (2) можно использовать условие

$$P^-(A_j, A_{j^*}) / P^+(A_j, A_{j^*}) \geq c. \quad (3)$$

Таким образом, условие (2) рекомендуется применять, когда число совпадающих оценок у различных вариантов относительно мало по сравнению с n , в противном случае целесообразно условие (3).

В методе ELECTRE-II используется описанный подход и условие (3). Для практических расчетов по методам ELECTRE-I и ELECTRE-II можно взять выражение:

$$P^*(A_i, A_j) = \sum_{i \in I^*(A_i, A_j)} p_i, \quad (4)$$

где $*$ – любой символ из множества $\{+, =, -\}$; p_i – вес, представляющий важность i -го критерия из множества I .

Условие (1) является необходимым, но недостаточным для установления отношения превосходства в паре (A_j, A_{j^*}) . Поэтому применяется индекс несогласия:

$$d(A_j, A_{j^*}) \leq d,$$

где d – пороговое значение индекса. Индексированное условие учитывает значения разностей между оценками качества альтернатив по определенному критерию. И индекс рассчитывается по формуле:

$$d(A_i, A_j) = \max_{k \in I^*(A_i, A_j)} \frac{I_{A_i}^k - I_{A_j}^k}{L_k}, \quad (5)$$

где $I_{A_i}^k$, $I_{A_j}^k$ – оценки альтернатив A_i и A_j критерию k ; L_k – значение максимальной градации шкалы (ее длины), используемой для измерения критерия.

Отсюда отношение предпочтения для альтернатив A_i и A_j определяется следующим образом: $A_i R A_j$, если $c [P^+(A_i, A_j), P^-(A_i, A_j), P^*(A_i, A_j)] \geq c$ и $d(A_i, A_j) \leq d$.





Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы поддержки принятия решений предприятия.

Методы группы ELECTRE предполагают выделение ядра на множестве исходных вариантов (альтернатив) A , все элементы которого несравнимы между собой (т. е. образуют множество Парето), а любой вариант, не вошедший в ядро, доминируется хотя бы одним его элементом. Сужение ядра может быть достигнуто увеличением порогового значения индекса согласия s и уменьшением порога индекса несогласия d . Следует заметить, что при наличии Парето-оптимальной альтернативы (которая по всем критериям не хуже других

альтернатив и хотя бы по одному лучше) образуется ядро, содержащее единственный элемент, поскольку такая альтернатива доминирует над всеми остальными.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СППР

Структура СППР приведена на рис. 1. База данных (БД) системы содержит общее описание проблемы, иерархические и сетевые структуры критериев, результаты опроса экспертов и их переписки, значения атрибутов альтернатив (полученные из информационной системы предприятия или

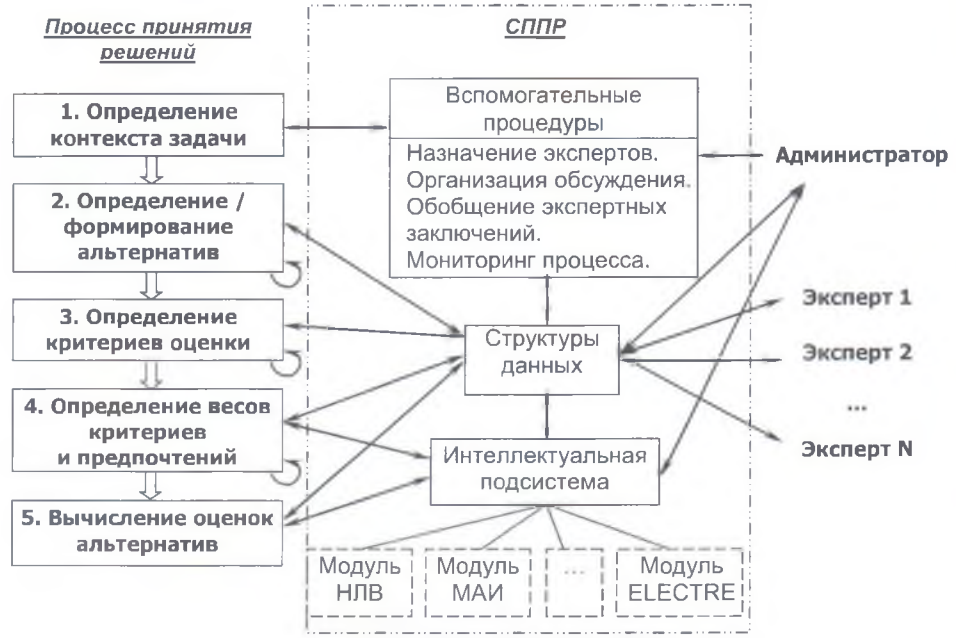


Рис. 2. Схема реализации процесса многокритериального принятия решений с помощью СППР.

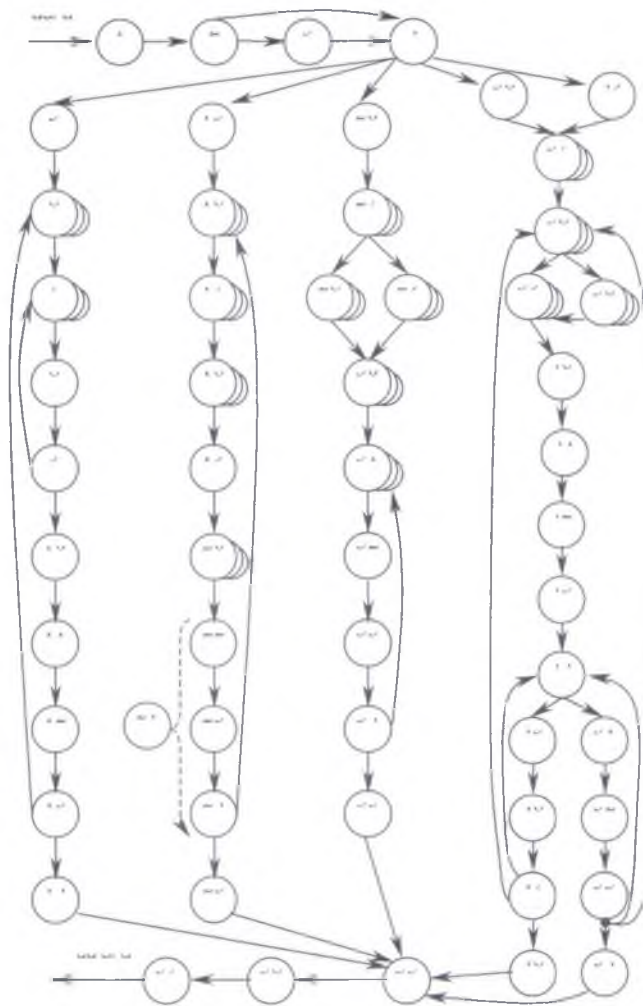


Рис. 3. Обобщенная функциональная модель СППР на основе многокритериальных методов принятия решений в условиях неопределенности.

введенные непосредственно администратором) и другую информацию. База знаний (БЗ) включает решенные различными методами практические задачи.

Подсистема управления БД и БЗ главным образом позволяет администратору организовывать и координировать подготовку решений. Через нее также осуществляется доступ экспертов в СППР. Использование паролей и разграничение прав доступа обеспечивают информационную безопасность.

Функцией БЗ является еще и осуществление с помощью логических выводов выбора наиболее оптимального метода принятия решений для той или иной ситуации. В соответствии с этим анализируются тип проблемы, структура и характер данных задачи, количество критериев, альтернатив и т. д. По желанию пользова-

теля оценка может проводиться несколькими доступными методами. В таком случае окончательный выбор (об использовании каких-то именно вариантов) остается за человеком.

Интеллектуальная подсистема берет исходную информацию из базы данных, обобщенную администратором, и добавляет к ней формализованные знания экспертов, хранимые в БЗ. Взаимодействие пользователей с СППР происходит посредством интерфейсных модулей.

Данные из контуров информационной системы предприятия поступают в автоматическом режиме или по запросу администратора. Они включают бухгалтерскую, финансовую, управленческую информацию текущего или прошедших периодов. На рис. 2 показана схема реализации процесса принятия решений в автоматизиро-



ванной СППР. На первом этапе администратор, получив запрос от пользователя, определяет группу экспертов, работающих над проблемой. Для них назначаются права доступа, пароли и последовательность опроса (если требуется).

На втором этапе определяется и уточняется перечень альтернатив. Эта процедура, равно как и следующие два этапа, выполняется итеративно, пока администратор не зафиксирует достижение консенсуса или нужного количества голосов.

Для агрегации коллективных оценок применяются различные принципы компромисса: эгалитаризма, утилитаризма, справедливого компромисса и т. д. Это требует меньших усилий и времени от участников процесса, чем при достижении консенсуса. Однако может и не снят конфликта целей или интересов. Администратор устраняет избыточность данных, например, если встречает абсолютно идентичные варианты голосования.

Определение перечня целей и критериев (третий этап), как правило, происходит быстрее. Предлагаемые критерии выражают точки зрения различных акторов (лиц, оказывающих влияние на процесс принятия решений). Поэтому включение максимального числа вариантов обеспечивает более полный охват проблемы. Дискуссии могут возникать по поводу избыточности атрибутов или слабой их репрезентативности. На этом этапе окончательно формируется профиль решаемой задачи, и интеллектуальная подсистема подбирает оптимальный метод оценки. После чего на четвертом этапе экспертам рассылаются стандартные анкеты и формы для ввода необходимой информации: итоговой конфигурации модели, весов критериев, степеней предпочтения альтернатив и т. д.

Итеративное выполнение четвертого этапа становится обязательным при плохой согласованности или неоднородности суждений. Если профессионализм экспертов сильно различается, их мнения могут корректироваться путем взвешивания оценок.

На пятом этапе, когда вся информация внесена в базы данных и знаний, осуществляется расчет оценок альтернатив выбранными методами. Пользовательские интерфейсы СППР должны поддерживать вывод результатов в удобном для ЛПР формате: текстовом или графическом.

ОБОБЩЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СППР


На рис. 3 она представлена в виде ориентированного графа. Каждая вершина соответствует логически законченной процедуре, реализуемой в виде самостоятельной подпрограммы. Ориентированные ребра графа показывают направление передачи информации и перехода от одной процедуры к другой. Возможны ситуации выбора (когда пользователь вызывает один из методов решения задачи) или ветвление процессов, связанное с проверкой логических условий.

Работа системы начинается с активизации интерфейсных модулей пользователей и вызова списков введенных ранее альтернатив, задач и методов. Выход возможен по мере логического завершения любого из этапов. Поддержка асинхронного взаимодействия участников процесса принятия решений позволяет продолжить работу над задачей в любое удобное время, если не превышен его лимит, установленный администратором. При этом предусматривается свой порядок основных процедур для каждого из применяемых методов. Место процедуры в графе определяется ее порядковым номером и в общем виде сводится к нескольким позициям:

1. Ввод/редактирование описаний альтернатив.
2. Ввод/редактирование целей и критериев задачи.
3. Автоматический выбор методов решения интеллектуальной подсистемой.
4. Выборка данных из информационной системы предприятия.

При завершении работы с программой реализуются:

1. Визуализация результатов оценки различными методами.
2. Печать отчетов.
3. Сохранение окружения задачи в БД и БЗ и выход из системы.

На рис. 3 вершины графа вида  означают процедуры ввода информации, которые могут выполняться многократно в зависимости от числа участников голосования. В узлах (6, 16, 27, 37) эксперты дополняют общие структуры моделей методов в соответствии со своими компетенциями (например, по функциональным областям). Возможна также совместная

работа с одной и той же областью проблемы. При создании иерархий, деревьев целей и т. п. с помощью интерфейса БД используются данные об альтернативах, введенные ранее.

Обратные переходы от последних процедур к начальным выполняются при необходимости уточнения модели. В методах МАС и МАИ матрицы парных сравнений корректируются повторно, если расчет индексов согласованности дал неудовлетворительный результат. Переход (9–7) активируется, когда после сравнения элементов требуется сравнить между собой их кластеры. Алгоритм процедуры (7) универсален, а тот или иной случай определяется посредством передачи соответствующих параметров.

В методе PRIME ветвление (27–28,29) означает выбор пользователями того или иного способа указания весов критериев. Возврат для уточнения суждений (34–31) происходит не к началу цепочки, а к этапу количественной оценки предпочтений. Выход из цикла происходит, когда степень возможной потери значимости становится приемлемой.

Методы ELECTRE в основном используют единые процедуры. Различаются последние этапы (45–47 и 51–53). В ELECTRE дополнительно описываются профили категорий (50). После этого назначение параметров предпочтения (39) производится в цикле согласно числу профилей. Возврат при калибровке модели может происходить к этапу определения весов критериев или определения уровня отсечения λ (в процедуре устранения нечеткости отношений предпочтений – 44).

При нечетком логическом выводе протоколирование хода рассуждений (21) происходит параллельно процедурам фазификации, собственно вывода и дефазификации (22–24).

Как показал анализ функциональной модели, четкое различие режимов приобретения знаний и консультаций получается только для класса методов ELECTRE и нечеткого логического вывода. В методах PRIME, МАС и МАИ представление новых альтернатив связано с дополнительным их сравнением относительно критериев ближайших уровней. Даже если число последних невелико, такая процедура относится

к режиму приобретения знаний и должна выполняться экспертами.

Устранить названную проблему допустимо двумя способами. Во-первых, эксперты могут провести оценку максимально большого числа альтернатив заранее. Но такой подход неприемлем в задачах мониторинга бизнес-процессов, так как количество потенциальных состояний системы бесконечно. Во-вторых, в МАС и МАИ можно применить метод стандартов, в котором выявляются типичные для большинства альтернатив уровни качества по заданным критериям (стандарты). Полученные в результате синтеза приоритеты стандартов ставятся в соответствие предлагаемым альтернативам. Тогда синтез значений качества последних осуществляется без дополнительного анализа. Такое решение нам видится наиболее перспективным.

Обеспечить поддержку режима консультаций в методе PRIME представляется возможным только при использовании функций полезности. Тогда верхнюю и нижнюю границы предпочтений алгоритм определит автоматически, без вмешательства пользователя. Очевидно, что такой подход допустим для атрибутов количественной природы. Сравнение качественных характеристик – прерогатива экспертов.

Отметим в заключение, что указанные ограничения актуальны лишь для неквалифицированных пользователей. Применение СППР экспертами не исключает любые методы и в любом случае существенно упрощает процесс принятия решений за счет полной или частичной автоматизации его этапов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райфа Г. Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределенности). – М.: Наука, 1990. – 562 с.
2. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. – 486 с.
3. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 306 с.
4. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: Основы стратегического инновационного менеджмента и маркетинга. – М.: Либроком, 2011. – 248 с.
5. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Стратегический менеджмент в инновационных организациях. Системный анализ и принятие решений. – М.: Инфра-М, 2013. – 396 с.

