
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.832.2: 004.023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ELECTRE В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

М.А. Кузнецов, Т.У.Н. Нгуен

Статья посвящается использованию методов ELECTRE и ELECTRE II, разработанных группой французских ученых во главе с профессором Б. Руа и направленных на решение многокритериальных задач без использования обобщенного показателя качества.

Ключевые слова: поддержка принятия решения, методы принятия решения, парное сравнение, доминирование Парето, множество Парето.

Key words: decision support, methods of decision support, pair wise comparison, Pareto dominance, the set of Pareto.

Методы ELECTRE принадлежат группе методов теории принятия решений, построенных на анализе доминирования альтернатив. Наиболее известным из методов доминирования (или методов выделения групп несравнимости) является метод поиска множества Парето. Основным недостатком метода Парето заключается в том, что в реальных условиях часто этот метод приводит к нахождению пустого множества. Противоположенный результат (множество включает слишком большое количество альтернатив) тоже не приводит к решению поставленной задачи [4]. Как правило, данный метод используют явно или неявно на первых шагах решения любых задач выбора альтернатив из предложенного множества.

Преимущество метода Парето-доминирования по сравнению с другими многокритериальными методами принятия решения состоит в хорошем теоретическом обосновании [1]. Кроме того, в этом методе не требуется численно оценивать критерии. Достаточно указать в парном попарном сравнении лишь превосходство одной альтернативы над другой (или их несравнимость). В ряде случаев это существенный плюс. Не нужно вводить шкалы для измерения показателя качества по любым критериям и, соответственно, обосновывать адекватность шкал, а также оценок альтернатив по ним.

Авторство методов группы ELECTRE принадлежит группе ученых под руководством Б. Руа. Аббревиатура означает «Elimination Et Choix Traduisant la Realite» и переводится на русский язык как «Исключение и выбор в условиях реальности», что достаточно точно определяет особенности методов. Они анализируют попарные оценки альтернатив как в методе Парето-доминирования. Однако особенность многокритериального парного сравнения позволяет ввести степень риска при принятии решения о превосходстве одной альтернативы над другой [4]. Рассмотрим основные пункты алгоритма поиска ELECTRE-доминирования [1]:

- выделяют альтернативы и критерии, влияющие на эффективность принимаемого решения. Для критериев определяют важность;

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- на основании покритериального сравнения двух альтернатив подсчитываются значения двух индексов: согласия и несогласия. Эти индексы определяют, соответственно, согласие и несогласие с гипотезой, что одна альтернатива превосходит другую. Индексы принимают значение в диапазоне от 0 до 1;

- задаются уровни согласия и несогласия, с которыми сравниваются подсчитанные индексы для каждой пары альтернатив. Если индекс согласия выше заданного уровня, а индекс несогласия – ниже, то одна из альтернатив превосходит другую. В противном случае альтернативы остаются несравнимы. Величина уровней позволяет управлять риском в задачах принятия решения. Чем выше уровень согласия и ниже уровень несогласия, тем менее рискованным является решение. При уровне согласия равным 1, а уровне несогласия – 0 выделяется множество Парето;

- из множества альтернатив удаляются худшие группы так же, как и в методе Парето-доминирования. Оставшиеся образуют первое ядро. Альтернативы, входящие в ядро, могут быть либо эквивалентными либо несравнимыми;

- вводятся более «слабые» значения уровней согласия и несогласия (меньший по значению уровень согласия и больший уровень несогласия). При этом выделяются ядра с меньшим количеством альтернатив. Смысл этого заключается в уменьшении количества несравнимых альтернатив за счет повышения риска принятия неправильного решения;

- итеративно выполняется 5 пункт до тех пор, пока последнее ядро не будет содержать одну альтернативу или же превысится уровень допустимого риска, который определяет индексы согласия и несогласия. Последовательность ядер определяет упорядоченность альтернатив по качеству решения.

Методы ELECTRE классифицируются по поколениям. Первое поколение (ELECTRE, или ELECTRE I) учитывает только превосходство или эквивалентность в парном покритериальном сравнении. Методы второго поколения (ELECTRE II) позволяют оценить степень отставания одного критериального показателя от другого при парном сравнении альтернатив [3].

Рассмотрим отличительные особенности методов. Пусть даны две альтернативы: A и B . Выдвигается гипотеза о превосходстве альтернативы A над альтернативой B . Множество I , состоящее из N критериев, разбивается на три подмножества:

- I^+ – подмножество критериев, по которым A предпочтительнее B ;
- $I^=$ – подмножество критериев, по которым A равноценно B ;
- I^- – подмножество критериев, по которым B предпочтительнее A .

Далее формулируется индекс согласия с гипотезой о превосходстве A над B .

Индекс согласия подсчитывается на основе весов критериев. Так, в методе ELECTRE I

этот индекс определяется как отношение суммы весов критериев подмножеств I^+ и $I^=$ к общей сумме весов [1]

$$C_{AB} = \frac{\sum_{i \in I^+, I^=} W_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (1)$$

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии № 2 (10) 2010

А в методе ELECTRE II индекс согласия определяется как отношение суммы весов критериев подмножеств I^+ к сумме весов критериев подмножеств I^- :

$$C_{AB} = \frac{\sum_{i \in I^+} W_i}{\sum_{i \in I^-} W_i} \quad (2)$$

Индекс несогласия d_{AB} с гипотезой о превосходстве A над B определяется на основе самого «противоречивого» критерия – критерия, по которому B в наибольшей степени превосходит A . Расчет его одинаков как в методе ELECTRE I, так и в методе ELECTRE II

Чтобы учесть возможную разницу длин шкал критериев, разность оценок B и A относят к длине наибольшей шкалы

$$d_{AB} = \max_{i \in I^-} \left| \frac{l_B^i - l_A^i}{L_i} \right|, \quad (3)$$

где l_A^i, l_B^i – оценки альтернатив A и B по i -му критерию; L_i – длина шкалы i -го критерия.

Укажем очевидные свойства индекса согласия:

- 1) $0 \leq C_{AB} \leq 1$;
- 2) $C_{AB} = 1$, если подмножество I^+ и I^- пусто;
- 3) C_{AB} сохраняет значение при замене одного критерия на несколько с тем же общим весом.

Приведем свойства индекса несогласия:

- 1) $0 \leq d_{AB} \leq 1$;
- 2) d_{AB} сохраняет значение при введении более детальной шкалы по i -му критерию при той же ее длине.

Введенные индексы используются при построении матриц индексов согласия и несогласия для заданных альтернатив.

В методе ELECTRE I бинарное отношение превосходства задается уровнями согласия и несогласия. Если $C_{AB} \geq C_1$ и $d_{AB} \leq d_1$, где C_1, d_1 – заданные уровни согласия и несогласия, то альтернатива A объявляется лучшей по сравнению с альтернативой B . Если же при этих уровнях сравнить альтернативы не удалось, то они объявляются несравнимыми.

Если оценки альтернатив в значительной степени противоречивы (по одним критериям одна намного лучше другой, а по другим – наоборот), то такие противоречия никак не компенсируются и такие альтернативы сравнивать нельзя. А если их все таки сравнивать, то риск принятия неверного решения будет выше [2].

Понятие несравнимости исключительно важно с практической точки зрения. Оно позволяет выявить альтернативы с «контрастными» оценками как заслуживающие специального изучения. Похожие идеи используются и в других методах семейства ELECTRE (например, ELECTRE III, который учитывает оценки альтернатив в виде нечеткого множества).

При заданных уровнях на множестве альтернатив выделяется ядро недоминируемых элементов, которые находятся либо в отношениях несравнимости, либо в отношениях эквивалентности. При изменении уровней из данного ядра выделяется меньшее ядро и так далее

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

[2]. Аналитик предлагает лицу, принимающему решение, целую серию возможных решений проблемы в виде различных ядер. В конечном итоге можно получить одну лучшую альтернативу. При этом значения индексов согласия и несогласия характеризуют степень «насилия» над данными, при которых делается окончательный вывод.

Использование отношения несравнимости позволяет выделить пары альтернатив с противоречивыми оценками, остановиться на ядре, выделение которого достаточно обоснованно с точки зрения имеющейся информации. Трудности при применении методов ELECTRE связаны с назначением весовых коэффициентов лицом, принимающим решения (ЛПР) [3]. В ряде случаев при выделении ядер могут возникнуть циклы.

Данный метод оценки лег в основу поиска наиболее выгодного поставщика при покупке компьютерного оборудования для лаборатории кафедры «ЭВМ и системы» Волгоградского государственного технического университета. Изучались компьютерные фирмы, существующие на волгоградском рынке. Приведем их названия в алфавитном порядке: «Арданта», «Логика», «Прайм», «Сканер», «Sunrise». Так как данная статья посвящена методике принятия решения, а не продвижению конкретных фирм на рынках, далее приводятся псевдонимы названий фирм.

На выбор фирм, занимающихся продажей компьютеров и комплектующих к ним, наиболее сильно влияют параметры, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Оценки по показателям фирм

Показатели конкурентоспособности	Оценка (в баллах)					Весовой параметр
	Фирма (А)	Фирма (В)	Фирма (С)	Фирма (D)	Фирма (Е)	
1) Квалификация персонала	19	19	14	19	19	13
2) Доступность информации о товаре	20	11	5	20	11	18
3) Стаж работы предприятия на рынке	13	10	10	6	16	7
4) Качество товара	20	20	15	20	18	20
5) Средняя цена товара	14	20	13	17	8	20
6) Доставка товара	17	10	7	17	10	16
7) Величина предприятия	20	13	11	16	16	10
8) Имидж предприятия	20	15	8	18	15	15
9) Сервисное обслуживание	18	16	16	18	16	12
10) Разнообразие выбора товара	20	20	10	20	13	19

Проведем оценку двумя методами: ELECTRE I и ELECTRE II – и сравним результаты. Оценку проведем на основании экспертных данных, выраженных по двадцатибалльной шкале (см. табл. 1).

Теперь будем рассчитывать индексы «согласия» и «несогласия». Для этого сначала необходимо сравнить оценки в баллах при различных конфигурациях фирм. Превосходящие факторы обозначим «+», равноценные «=», остальные «-». Результаты анализа сведены в табл. 2.

Учитывая данные табл. 2, подставляем в формулы 1, 2 и 3 соответствующие весовые параметры из табл. 1. Таким образом, рассчитываем индексы «согласия» и «несогласия» для каждого парного сравнения фирм.

Индексы «несогласия» рассчитываются по формуле 3 (причем длина шкалы $L = 20$).

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:

управление и высокие технологии № 2 (10) 2010

Расчет данного индекса одинаков как для ELECTRE I, так и для ELECTRE II. Причем максимальная сумма весов

$$\sum_{i=1}^N W_i = 150$$

Таблица 2

Парное сравнение фирм										
	Факторы конкурентоспособности									
	Квалификация персонала	Доступность информации о товаре	Стаж работы предприятия на рынке	Качество товара	Средняя цена	Доставка товара	Величина предприятия	Имидж предприятия	Сервисное обслуживание	Разнообразие выбора
AB	=	+	+	=	-	+	+	+	+	=
BA	=	-	-	=	+	-	-	-	-	=
AC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AD	=	=	+	=	-	=	+	+	=	=
DA	=	=	-	=	+	=	-	-	=	=
AE	=	+	-	+	+	+	+	+	+	+
EA	=	-	+	-	-	-	-	-	-	-
BC	+	+	=	+	+	+	+	+	=	+
CB	-	-	=	-	-	-	-	-	=	-
BD	=	-	+	=	+	-	-	-	-	=
DB	=	+	-	=	-	+	+	+	+	=
BE	=	=	-	+	+	=	-	=	=	+
EB	=	=	+	-	-	=	+	=	=	-
CD	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
DC	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
CE	-	-	-	-	+	-	-	-	=	-
EC	+	+	+	+	-	+	+	+	=	+
DE	=	+	-	+	+	+	=	+	+	+
ED	=	-	+	-	-	-	=	-	-	-

Теперь строим матрицы индексов «согласия» и «несогласия» для ELECTRE I и для ELECTRE II. При построении матрицы индексов «несогласия» выбирают максимальные показатели. Результаты приведены в табл. 3, 4 и 5.

В соответствии с правилами об индексах согласия и несогласия – в качестве пороговых значений для ELECTRE I зададим $c_1 = 0,126$ и $d_1 = 0,4$, а для ELECTRE II – $c_2 = 0,5$ и $d_2 = 0,4$ и таким образом найдем значения превосходства одной фирмы над другой (табл. 6 и 7).

Таблица 3

Матрица согласия (ELECTRE I)					
	A	B	C	D	E
A	–	0,8666667	1	0,8666667	0,9533333
B	0,48	–	1	0,5266667	0,8866667
C	0	0,1266667	–	0,0466667	0,2133333
D	0,7866667	0,82	0,9533333	–	0,9533333
E	0,1333333	0,6066667	0,8666667	0,2	–

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Таблица 4

Матрица несогласия (ELECTRE I и ELECTRE II)

	A	B	C	D	E
A	–	0,30	0,00	0,15	0,15
B	0,45	–	0,00	0,45	0,30
C	0,75	0,50	–	0,75	0,35
D	0,35	0,20	0,20	–	0,50
E	0,45	0,60	0,25	0,45	–

Таблица 5

Матрица согласия (ELECTRE II)

	A	B	C	D	E
A	–	0,67	1	0,56	0,73
B	0,2564103	–	0,82	0,3802817	0,705
C	0	0	–	0,048951	0,1694915
D	0,625	0,659	0,54	–	0,31
E	0,0538462	0,2881356	0,59	0,0583333	–

Таблица 6

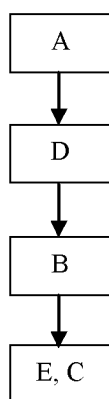
Таблица превосходства вариантов в ELECTRE I

	A	B	C	D	E
A	–	+	+	+	+
B	–	–	+	–	+
C	–	–	–	–	+
D	+	+	+	–	–
E	–	–	+	–	–

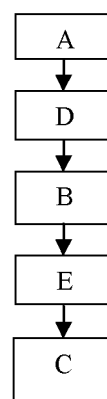
Таблица 7

Таблица превосходства вариантов в ELECTRE II

	A	B	C	D	E
A	–	+	+	+	+
B	–	–	+	–	+
C	–	–	–	–	–
D	+	+	+	–	–
E	–	–	+	–	–



а) ELECTRE I



б) ELECTRE II

Рис. Результаты ELECTRE-доминирования альтернатив

Из рисунка можно видеть, что методы ELECTRE I и ELECTRE II могут строить довольно четкое ранжирование альтернатив. Но в процессе расчета в методе ELECTRE II давались два уровня для индекса согласия: $\alpha_1 > \alpha_2$ и два уровня для индекса несогласия: $\mu_1 \leq \mu_2$. Поэтому результат выражен более четко. При этом, естественно, риск принятия неверного решения для второго уровня выше. Однако выделение в обоих случаях альтернативы А в доминирующую группу говорит о довольно устойчивом решении. Поставщик А предпочтительнее для сформулированных критериев.

Библиографический список

1. *Кини, Р. Л.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М. : Радио и связь, 1981. – 274 с.
2. *Ларичев, О. И.* Качественные методы принятия решений / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. – М. : Физматлит, 1996. – 167 с.
3. *Ларичев, О. И.* Многокритериальные методы принятия решений / О. И. Ларичев, С. В. Емельянов. – М. : Знание, 1985. – 32 с.
4. *Ларичев, О. И.* Теория и методы принятия решений / О. И. Ларичев. – М. : Логос, 2003. – 393 с.

УДК 539.193/.194;535/.33/34

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРОВ ДЕЙТЕРОЗАМЕЩЕННЫХ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

М.Д. Элькин, Е.А. Джалмухамбетова, М.Ф. Булатов

Предложенная ранее авторами методика построения структурно-динамических моделей полимеров на основе неэмпирических квантовых расчетов геометрии и параметров адиабатического потенциала модельных соединений апробирована на дейтерозамещенных полиакрилонитрилах.

Ключевые слова: полиакрилонитрил, колебательные спектры, структурные модели.
Key words: polyacrylonitrile, vibrational spectra, structure models.

Возможности неэмпирических квантовых методов в исследовании структуры и колебательных спектров полиакрилонитрила продемонстрированы нами в публикациях [2, 3]. На основании проведенного численного эксперимента над пятью модельными соединениями (по числу звеньев полимерной цепи) показано, что оптимизация геометрии достигается в случае двух возможных конформаций для соседних звеньев, а в колебательных спектрах можно выделить диапазон, интерпретация полос которого позволяет осуществлять идентификацию фрагмента NCCH звена полимера.

Учитывая, что внедрение металла (Me=Ni, Fe) в полиакрилонитрил приводит к образованию химической связи NMe и к существенному смещению сильных по интенсивности полос в ИК-спектрах образующегося металлополимера (диапазон 1800–2250 см⁻¹), возникает вопрос, важный как практически, так и теоретически, о возможностях привлечения методов колебательной спектроскопии для анализа технологического процесса получения металлополимера с определенными физическими свойствами, в частности, уникальной электропроводности.