

Г. С. Малтугуева, Н. С. Малтугуева

## Задача экспертного оценивания сценариев при многовариантных расчетах

*Аннотация.* В работе предложена модель информационной системы для поддержки принятия решений, предназначенной для решения задачи экспертного оценивания сценариев при прогнозировании состояния атмосферного воздуха. Разрабатываемая программная система основана на модулях, реализующих различные методы группового многокритериального выбора и процедур голосования. Разработанный прототип был применен для конкретной задачи, возникшей при анализе результатов моделирования динамики примесей в атмосферном воздухе города.

*Ключевые слова и фразы:* теория принятия решений, групповой выбор, многокритериальный выбор, информационные системы и технологии, математическое моделирование.

### Введение

При решении ряда практических задач перед лицом, принимающим решение (ЛПР), возникает задача выбора альтернативы лучшей по совокупности критериев. Данная задача может быть решена как в индивидуальном порядке, так и с привлечением других людей — экспертов в различных предметных областях. К настоящему моменту времени в теории принятия решений разработано большое число методов и методик. В данной работе рассматривается задача поддержки специалиста, т.е. окончательное решение и вся ответственность остается на ЛПР.

Можно сказать, что эта работа является следствием совместного российско-монгольского проекта по моделированию распространения примесей в воздухе. В результате математического моделирования и проведения трудоемких расчетов по оценке состояния атмосферного

---

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 14-01-31321\_мол\_а, № 14-07-00222\_а).

© Г. С. Малтугуева, Н. С. Малтугуева, 2014

© Институт динамики систем и теории управления СО РАН, 2014

© Программные системы: теория и приложения, 2014

воздуха в городе были сформированы сценарии, в которых содержится перечень мероприятий по улучшению состояния атмосферного воздуха и данные о значениях показателей загрязнения в случае реализации данных мероприятий. Вся информация была передана лицу, принимающему решение, — представителю администрации города. Ему для принятия решения о реализации тех или иных мероприятий по улучшению состояния города необходимо было учесть не только результаты расчетов, но и другие факторы, которые сложно формализуемы и оценки по которым представимы в виде вербальных значений или ранжировок. При этом для оценки сценариев по дополнительным показателям необходимо привлекать экспертов из различных областей. Задача, полученная ЛПР, относится к классу задач группового многокритериального выбора, для решения которых разработано множество методов [1–6]. Поэтому, в работе предпринята попытка обобщить и систематизировать накопленный опыт.

## 1. Постановка задачи

Рассмотрим постановку задачи группового многокритериального выбора: лицом, принимающим решение, задано множество альтернатив (вариантов действия)  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ . В нашем случае каждый элемент данного множества представляет собой сценарий, в котором описан перечень мероприятий, направленных на улучшение состояния атмосферного воздуха в городе. Также ЛПР определяет множество критериев  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ , по которым требуется оценить все имеющиеся альтернативы. В качестве критериев могут выступать: цель (в нашем случае, снижение концентраций примесей в процентах), имеющиеся ограничения, параметры или характеристики альтернатив. Обозначим оценку альтернативы  $A_i$  по критерию  $C_j$  через  $f_{ij} = f_j(A_i)$ , она (оценка) может быть представлена в виде:

- числа (например,  $f_{ij} = 5,3$ );
- вербального описания (например,  $f_{ij} = \text{"удовлетворительно"}$ ).

Но возможно, что в ряде случаев эксперты затрудняются произвести непосредственное оценивание. Тогда предлагается высказывать мнение об альтернативах в виде упорядочений или ранжировок. Например,  $A_3 \succ A_1 \approx A_4 \succ A_2$ , где  $\succ$  — отношение строгого предпочтения,  $\approx$  — отношение эквивалентности.

В соответствии с выявленными критериями ЛПР определяет круг лиц (экспертов), способных выполнить экспертное оценивание, причем по одним и тем же параметрам (наиболее важным) оценки могут быть получены от нескольких экспертов. Существенно, что заранее не определена форма представления мнения эксперта, т.е. по каждому критерию оценки могут быть представлены в различной форме. Требуется обработать оценки всего коллектива экспертов относительно рассматриваемых альтернатив. В результате, лицу, принимающему решение, должна быть предъявлена ранжировка, на первом месте которой располагается наиболее предпочтительная альтернатива.

## 2. Метод решения

Для начала проведем анализ существующих методик и подходов к обработке экспертных оценок.

Наиболее известными можно назвать методы, использующие различные виды свертки. Аддитивная (линейная) свертка позволяет компенсировать низкие оценки по одному критерию высокими оценками по другим, т.е. в результате, наиболее предпочтительной может быть выбрана альтернатива, у которой не все оценки высокие. Мультипликативная свертка наоборот не допускает выбора альтернативы ни с одной низкой оценкой. Но, несмотря на широкую известность и распространенность, эти методы скрывают смысловую нагрузку критериев и используют исключительно количественные оценки, что не всегда удобно экспертам.

Метод анализа иерархий [7] также широко известен, его существенным недостатком является большое число парных сравнений, что затрудняет работу экспертов. Кроме того, в работах [8–10] ведется дискуссия о его корректности.

Методы вербального анализа [1, 4, 11] позволяют обрабатывать как качественные, так и количественные оценки. В связи с этим, они были более тщательно изучены и наибольший интерес вызвали методы группового многокритериального выбора, основанные на теории множеств. Для группового упорядочивания многопризнаковых объектов хорошо себя зарекомендовал метод АРАМИС. Кроме того, он легко может быть модифицирован или дополнен другими методами.

Процедуры голосования [1, 4, 6, 12] применяются для бесконфликтного решения задачи группового выбора. Известны методы Борда, Фишберна, Нансона, Коупленда, Шульце, КПП-метод. Они

позволяют обрабатывать экспертные оценки в виде упорядочений альтернатив, в том числе с указанием их эквивалентности. За основу здесь предлагается взять КПП-метод, т.к. в нем совместно используются различные процедуры голосования [12, 13].

Итак, для решения поставленной задачи предлагается следующий подход к обработке мнения экспертов, представленных как в виде оценок (качественных, количественных), так и в форме ранжировок альтернатив [14]:

- (1) формирование групп критериев, в которых мнения экспертов представлены в виде:
  - точных значений (количественные, качественные оценки);
  - ранжировок (упорядочение всех альтернатив);
- (2) агрегирование оценок по каждой группе критериев соответствующими методами:
  - метод АРАМИС для обобщения количественных и качественных оценок;
  - КПП-метод для экспертных оценок, представленных в виде ранжировок;
- (3) формирование окончательного решения (упорядочения альтернатив) с помощью метода АРАМИС.

### 3. Пример

В процессе работы над совместным российско-монгольским проектом [15] возникла задача выбора наилучшего сценария. Проект заключался в создании системы для мониторинга и прогнозирования состояния воздуха в г. Улан-Батор. Для этого была разработана и идентифицирована модель распространения примесей в атмосфере. Также был проведен сбор информации о планируемых мероприятиях по снижению загрязнения, на основе которых был сформирован ряд сценариев, для которых было спрогнозировано состояние атмосферного воздуха в городе. Используя полученную информацию по каждому сценарию, проведена апробация предложенного в данной работе подхода.

Монгольскими коллегами был составлен список возможных мероприятий:

- замена печного оборудования в юртах;
- использование населением нового топлива (прессованные блоки);

- использование более качественного угля, как в бытовых печах, так и на предприятиях теплоэнергетики;
- сокращение количества автотранспорта на улицах центральной части города.

На основе этих мероприятий был сформирован ряд сценариев (альтернатив). В данном примере рассмотрим следующие сценарии:

- $A_1$  — замена печного оборудования в юртах;
- $A_2$  — снижение количества автотранспорта в центральной части на 20%;
- $A_3$  — использование нового вида топлива в юртах;
- $A_4$  — использование нового вида топлива в юртах и ограничение на въезд транспорта в центр;
- $A_5$  — замена печей в юртах и использование более качественного угля в котельных;
- $A_6$  — замена печей в юртах и ограничение на въезд транспорта в центр;
- $A_7$  — ограничение на въезд транспорта в центр, замена печей в юртах и использование более качественного угля в котельных.

Далее для каждой альтернативы были проведены многовариантные расчеты, в результате которых были получены прогнозируемые концентрации примесей в атмосфере (рассматривались 4 вида примесей). Особенностью модели, применяемой для прогнозирования состояния воздуха, является то, что полученные концентрации имеют пространственную привязку, т.е. эксперт имеет возможность оценить, как состояние города в целом, так и по районам, выявить наиболее неблагоприятные.

Каждый сценарий оценивался по следующим критериям:

- $C_1$  — снижение валового выброса вредных примесей;
- $C_2$  — снижение средних концентраций вредных примесей в центральной части города;
- $C_3$  — снижение средних концентраций вредных примесей в районе ТЭЦ;
- $C_4$  — стоимость необходимого оборудования;
- $C_5$  — стоимость реализации;
- $C_6$  — срок реализации;
- $C_7$  — соответствие ограничениям на бюджет;
- $C_8$  — возможность привлечения инвесторов.

ТАБЛИЦА 1. Экспертные оценки сценариев

|           | $A_1$    | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$    | $A_6$    | $A_7$    |
|-----------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| $C_1$     | 5        | 6     | 3     | 8     | 11       | 11       | 15       |
| $C_2$     |          |       |       |       |          |          |          |
| $CO$      | 20       | 25    | 6     | 27    | 15       | 33       | 37       |
| $NO_2$    | 20       | 25    | 7     | 28    | 30       | 35       | 40       |
| $SO_2$    | 20       | 25    | 7     | 28    | 30       | 35       | 40       |
| $PM_{10}$ | 20       | 25    | 8     | 29    | 30       | 36       | 42       |
| $C_3$     |          |       |       |       |          |          |          |
| $CO$      | 23       | 24    | 6     | 18    | 19       | 25       | 34       |
| $NO_2$    | 23       | 24    | 8     | 19    | 25       | 26       | 36       |
| $SO_2$    | 23       | 24    | 8     | 19    | 25       | 26       | 36       |
| $PM_{10}$ | 23       | 24    | 9     | 20    | 25       | 29       | 38       |
| $C_4$     | 31.4     | 0     | 0     | 0     | 31.4     | 31.4     | 31.4     |
| $C_5$     | 10       | 1     | 6     | 7     | 16       | 11       | 17       |
| $C_6$     | 12       | 1     | 3     | 3     | 12       | 12       | 14       |
| $C_7$     | нет      | да    | да    | да    | нет      | нет      | нет      |
| $C_8$     | оч. выс. | низк. | выс.  | выс.  | оч. выс. | оч. выс. | оч. выс. |

Оценки каждого сценария приведены в таблице 1. Здесь снижение концентраций приведено в процентах, стоимость реализации и оборудования в млн. долл., срок реализации в месяцах.

Другой эксперт провел ранжировку альтернатив по каждому из представленных критериев:

- $C_1 : A_7 \succ A_4 \succ A_6 \succ A_3 \succ A_5 \succ A_2 \succ A_1$ ;  
 $C_2 : A_7 \succ A_4 \succ A_6 \succ A_3 \succ A_5 \succ A_2 \succ A_1$ ;  
 $C_3 : A_7 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_2 \succ A_1 \approx A_3 \approx A_6$ ;  
 $C_4 : A_2 \succ A_3 \approx A_4 \succ A_1 \approx A_6 \succ A_5 \succ A_7$ ;  
 $C_5 : A_2 \succ A_3 \approx A_4 \succ A_1 \approx A_6 \succ A_5 \succ A_7$ ;  
 $C_6 : A_2 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_1 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7$ ;  
 $C_7 : A_2 \succ A_3 \approx A_4 \succ A_1 \approx A_6 \succ A_5 \succ A_7$ ;  
 $C_8 : A_1 \approx A_3 \approx A_4 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7 \succ A_2$ .

После применения метода АРАМИС для агрегирования количественно-качественных получили ранжировку

$$A_2 \succ A_3 \approx A_4 \succ A_1 \approx A_5 \approx A_6 \succ A_7.$$

ТАБЛИЦА 2. Численные характеристики альтернатив

|                         | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$  | $A_4$  | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$  |
|-------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
| $d(\overline{A}; A_i)$  | 26    | 22    | 24     | 24     | 26    | 26    | 26     |
| $d(\underline{A}; A_i)$ | 24    | 28    | 28     | 28     | 24    | 24    | 22     |
| $L$                     | 0.52  | 0.44  | 0.4615 | 0.4615 | 0.52  | 0.52  | 0.5417 |

В таблице 2 представлены численные характеристики для каждой альтернативы,  $d(\overline{A}; A_i)$  — расстояние от текущей альтернативы до лучшей;  $d(\underline{A}; A_i)$  — расстояние от текущей альтернативы до худшей;  $L$  — относительная мера близости к лучшему варианту.

При применении КПП-метода для обработки ранжировок из рассмотрения последовательно исключались альтернативы:  $A_1$ ;  $A_2$ ;  $A_5$ ;  $A_3$ ;  $A_6$  и  $A_7$  (одновременно). Таким образом, сформирована ранжировка:  $A_4 \succ A_6 \approx A_7 \succ A_3 \succ A_5 \succ A_2 \succ A_1$ . После объединения двух ранжировок, полученных на предыдущем этапе, альтернативы можно расположить в следующем порядке

$$A_2 \succ A_4 \succ A_3 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7 \succ A_1.$$

Значит, наиболее предпочтительным для реализации является второй сценарий и для представителей администрации можно сформировать предложение: «разработать план ограничения въезда в центральную часть города не менее 20% транспортного потока».

Далее было проведено исследование этой же задачи, но с дополнительными критериями:

- $C_9$  — наличие квалифицированного персонала;
- $C_{10}$  — возможность переквалификации и создания новых рабочих мест;
- $C_{11}$  — риск задержки сроков реализации;
- $C_{12}$  — риск нереализации сценария в целом;
- $C_{13}$  — заинтересованность жителей.

По каждому дополнительному критерию от двух экспертов были получены оценки (таблица 3) и ранжировки:

$$C_9 : A_3 \succ A_2 \approx A_4 \approx A_7 \succ A_1 \approx A_5 \approx A_6,$$

$$C_{10} : A_1 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_2,$$

$$C_{11} : A_2 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_1 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7,$$

$$C_{12} : A_2 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_1 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7,$$

Таблица 3. Экспертные оценки сценариев по дополнительным критериям

|          | $A_1$ | $A_2$   | $A_3$    | $A_4$   | $A_5$    | $A_6$   | $A_7$    |
|----------|-------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| $C_9$    | дост. | п.дост. | дост.    | п.дост. | п.дост.  | п.дост. | недост.  |
| $C_{10}$ | низк. | невыс.  | низк.    | невыс.  | низк.    | невыс.  | сред.    |
| $C_{11}$ | низк. | низк.   | низк.    | низк.   | невыс.   | невыс.  | сред.    |
| $C_{12}$ | сред. | невыс.  | сред.    | сред.   | дов.выс. | сред.   | дов.выс. |
| $C_{13}$ | сред. | сред.   | дов.низ. | сред.   | сред.    | сред.   | сред.    |

$$C_{13} : A_1 \approx A_2 \approx A_3 \approx A_4 \approx A_5 \approx A_6 \approx A_7.$$

После применения предлагаемого подхода, получим следующее упорядочение:

$$A_2 \approx A_3 \succ A_4 \succ A_5 \approx A_6 \approx A_7 \succ A_1.$$

Таким образом, введение дополнительных критериев вывело на первое место наряду со второй альтернативой третью. Поэтому кроме разгрузки центральных автодорог можно предложить оказать содействие населению в использовании нового вида топлива.

#### 4. Модель информационной системы

С целью повышения эффективности решения поставленной задачи было предложено реализовать предложенный метод в виде системы поддержки принятия решений. На рис.1 приведена архитектура предлагаемой информационной системы.

В подсистеме ввода информации пользователю предлагается:

- внести названия рассматриваемых альтернатив;
- указать множество критериев;
- внести оценки по критериям, по каждому критерию существует возможность выбора вида оценки: качественная, количественная, ранжировка.

Подсистема обработки данных содержит два модуля, позволяющих выполнять непосредственную обработку введенной информации:

- для обработки количественных и вербальных оценок — метод АРАМИС, который также применяется для формирования окончательного решения;
- для обработки оценок, представленных в виде упорядочений — КПП-метод.



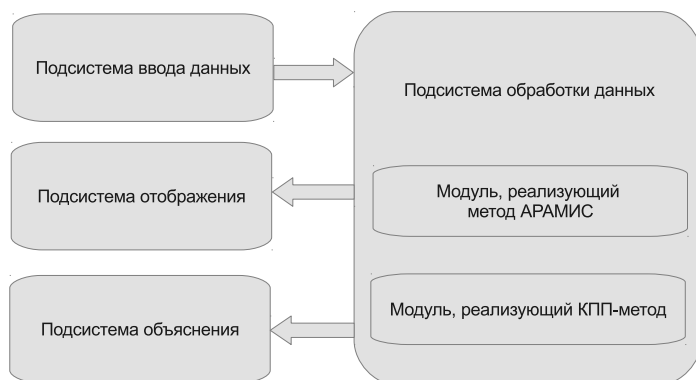


Рис. 1. Архитектура ИС

Подсистема отображения результатов предназначена для визуального представления результатов работы подсистемы обработки данных. Подсистема объяснения результатов позволяет формировать текст на естественном языке, содержащий полные наименования альтернатив и как промежуточные, так и окончательные результаты обработки входной информации. На сегодняшний день программно реализована подсистема обработки данных. Далее планируется реализовать и другие подсистемы информационной системы, предназначенной для поддержки принятия решений.

## 5. Заключение

Рассмотренный в работе подход позволяет обобщать экспертные оценки, представленные в виде оценок (количественных, качественных) и ранжировок альтернатив. На основе данного подхода предложена модель информационной системы, обеспечивающей поддержку лицу, принимающему решение.

## Список литературы

- [1] Ларичев О.И.. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000.— 295 с. ↑ 12, 13.
- [2] Черноуцкий И.Г.. Методы принятия решений. СПб.: ВХВ-Петербург, 2005.— 416 с. ↑ 12.
- [3] Лотов А.В., Поспелова И.И.. Многокритериальные задачи принятия решений. М.: МАКС Пресс, 2008.— 197 с. ↑ 12.
- [4] Петровский А.Б.. Теория принятия решений. М.: Издательский центр Академия, 2009.— 400 с. ↑ 12, 13.
- [5] Миркин Б.Г.. Проблема группового выбора. М.: Наука, 1974.— 258 с. ↑ 12.
- [6] Вольский В.И., Лезина З.М.. Голосование в малых группах. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1991.— 192 с. ↑ 12, 13.
- [7] Саати Т. Л.. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989.— 316 с. ↑ 13.
- [8] Подиновский В. В., Подиновская О. В.. *О некорректности метода анализа иерархий* // Проблемы управления, 2011, № 1, с. 8-13. ↑ 13.
- [9] Митихин В.Г.. *Об одном контрпримере для метода анализа иерархий* // Проблемы управления, 2012, № 3, с. 7-79. ↑ 13.
- [10] Подиновский В. В., Подиновская О. В.. *Еще раз о некорректности метода анализа иерархий* // Автоматика и телемеханика, 2012, № 4, с. 75-78. ↑ 13.
- [11] Петровский А.Б.. *Метод МАСКА для групповой экспертной классификации многопризнаковых объектов* // Доклады Академии наук, 2010. Т. 431, № 1, с. 27-31. ↑ 13.
- [12] Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю.. *Метод поддержки принятия решений в малых группах* // Вестник Бурятского государственного университета. Математика и информатика, 2012, № 1, с. 26-34. ↑ 13, 14.
- [13] Малтугуева Г.С., Орлова И.В.. *Подход к принятию управленческих решений коллективом* // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета, 2014, № 6, с. 35-40. ↑ 14.
- [14] Малтугуева Г.С., Малтугуева Н.С.. *Агрегирование экспертных оценок в задаче оценивания сценариев при прогнозировании состояния атмосферного воздуха в городе* // Сборник трудов VII Международного симпозиума Обобщенные по-становки и решения задач управления (GSSCP-2014), 2014, с. 119-124. ↑ 14.
- [15] Батурин В.А., Будням С., Малтугуева Н.С., Федоров Р.К.. *Оценка и моделирование загрязнения атмосферного воздуха в г.Улан-Батор* // Программные системы: теория и приложения, 2012. Т. 3, № 5, с. 81-91. ↑ 14.

*Об авторах:*



### **Галина Станиславовна Малтугуева**

Программист лаборатории "Информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности". Область научных интересов — теория принятия решений, групповой выбор, многокритериальный выбор, информационные системы и технологии, искусственный интеллект.

*e-mail:* [gama@icc.ru](mailto:gama@icc.ru)



### **Надежда Станиславовна Малтугуева**

Программист лаборатории "Системного анализа и вычислительных методов". Научные интересы: непрерывно-дискретные системы, условия оптимальности, численные методы решения задач оптимального управления, математическое моделирование.

*e-mail:* [malt-nadezhda@yandex.ru](mailto:malt-nadezhda@yandex.ru)

*Образец ссылки на эту публикацию:*

Г. С. Малтугуева, Н. С. Малтугуева. *Задача экспертного оценивания сценариев при многовариантных расчетах* // Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн. 2014. Т. 5, № 5(23), с. 11–21.

URL [http://psta.psir.ru/read/psta2014\\_5\\_11-21.pdf](http://psta.psir.ru/read/psta2014_5_11-21.pdf)

Galina Maltugueva, Nadezhda Maltugueva. *The expert evaluation problem for scenarios under multiple calculations.*

ABSTRACT. In this paper it's propose a model of decision support system. This model is designed to solve the group multi-criteria evaluation problem for scenarios in forecasting of atmospheric air. It uses different methods of multicriteria choice and voting procedures. Designed prototype was used for the practical task arising, which was obtained by analysis of the simulation results for air pollution in the city. (*in Russian*).

*Key Words and Phrases:* decision theory, group selection, multi-criteria selection, information systems and technology, mathematical modelling.