

Поддержка принятия управленческих решений в сфере жилищно-коммунального хозяйства

Е.Л. Кулида, Л.А. Панкова

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная задача информационно-аналитической поддержки принятия решений в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Предложен интерактивный алгоритм многокритериального ранжирования объектов на основе многомерной модели данных жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: поддержка принятия управленческих решений, жилищно-коммунальное хозяйство, многомерный анализ данных, методы многокритериального ранжирования альтернатив.

Введение

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) является одной из наиболее социально-значимых и в то же время проблемных отраслей российской экономики. Для преодоления кризиса отрасли актуально применение информационных технологий с целью обеспечения информационно-аналитической поддержки принятия обоснованных решений в сфере ЖКХ на основе объективной информации по отрасли и региону в целом [1].

Система управления ЖКХ имеет сложную иерархическую структуру, включающую множество предприятий и организаций, распределенных по большой территории и самостоятельно решающих проблемы информационного обеспечения. В настоящее время в системе управления ЖКХ нет единой системы классификации и кодирования информации, сбор данных не стандартизован и недостаточно автоматизирован. Данные для принятия решений поступают из разрозненных источников по телефону, по факсу, на бумажных носителях и т.д. Такие данные зачастую оказываются неточными, несогласованными, противоречивыми, сбор данных осуществляется не оператив-

но. В связи с этим первоочередной задачей для обеспечения информационно-аналитической поддержки принятия решений в сфере ЖКХ является создание хранилища данных для сбора, накопления и хранения интегрированной и консолидированной информации.

Современный уровень развития технических средств и современные информационные технологии позволяют:

- с помощью ETL-процессов извлекать разрозненные, разнотипные, пространственно распределенные данные, преобразовывать их к единому стандарту, очищать и загружать в хранилище данных;
- с помощью методов оперативной аналитической обработки готовить данные для анализа: структурировать, агрегировать, проводить необходимые вычисления и получать ответы на нерегламентированные (сформулированные на лету) запросы;
- с помощью методов интеллектуального анализа находить в накопленных данных ранее не известные, нетривиальные и практически полезные знания, необходимые для принятия качественных решений.

Для эффективного использования хранилища данных для информационно-аналитической

поддержки принятия решений основополагающими являются решения по выбору его структуры. Основой структуры хранилища данных является многомерная модель данных, обеспечивающая эффективность алгоритмов обработки и анализа данных. Таким образом, разработка структуры хранилища данных и разработка алгоритмов его использования должны идти параллельно.

В ходе принятия многих решений по оперативному управлению и планированию развития ЖКХ, таких как оценка деятельности, распределение ресурсов, выбор оптимальной стратегии и др., управляющие воздействия формируются в соответствии с оценками объектов ЖКХ по набору критериев. В этом случае существенной информационно-аналитической поддержкой принятия обоснованных решений является ранжирование объектов ЖКХ по набору критериев с учетом относительной важности критериев [2].

В статье описывается интерактивный алгоритм ранжирования объектов ЖКХ для поддержки принятия управленческих решений на основе многомерной модели данных и использования известных методов многокритериального ранжирования альтернатив.

1. Структура системы информационно-аналитической поддержки принятия решений

При создании систем анализа больших объемов данных используется архитектура «клиент-сервер»: на сервере создается хранилище данных, клиентские приложения используют запросы для доступа к данным (Рис. 1).

Получив запрос от клиента, сервер обрабатывает его, формирует ответ на основе имеющихся данных и передает его клиенту. Структура серверной части основана на многомерной модели данных состояния ЖКХ, которая определяет структуру хранилища данных, включающего реляционные и многомерные базы данных многоаспектной оперативной и исторической информации по состоянию ЖКХ. На основе многомерной модели данных реализуется доступ клиентских приложений к хранилищу данных в процессе информационно-

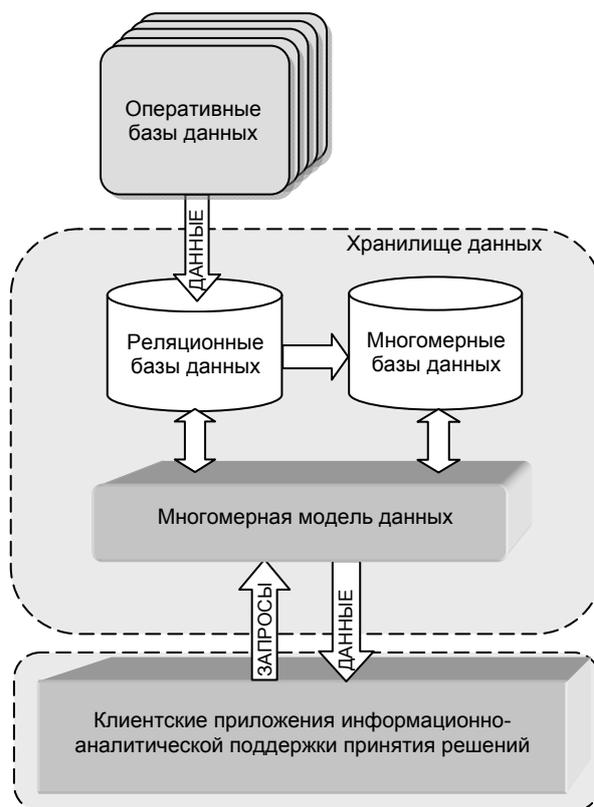


Рис. 1. Структура системы информационно-аналитической поддержки принятия решений

аналитической поддержки принятия решений. Реляционная база данных хранилища данных предназначена для получения данных из различных источников данных, их консолидации, свертки и хранения за многолетний период. Многомерная база данных хранилища предназначена для обеспечения эффективного многомерного анализа за счёт хранения агрегированной и структурированной информации в многомерных кубах.

Программное обеспечение серверной части основано на методах многомерного анализа многоаспектной информации, механизмах оперативной аналитической обработки данных.

Методы многомерного анализа данных обеспечивают:

- агрегацию данных до требуемого уровня по измерениям;
- добавление расчетных элементов в иерархию любого измерения;
- применение стандартного набора математических функций при создании расчетных элементов;

- динамическую детализацию ячеек таблицы в соответствии с выбранной иерархией классификатора;

- технологию оперативного вращения строк и столбцов многомерной таблицы с фиксацией требуемых;

- векторные операции расчета агрегированных значений логического пространства данных с использованием аддитивных и полуаддитивных функций агрегирования;

- создание кубов для различных аналитических приложений.

Программное обеспечение серверной части обеспечивает:

- загрузку данных из реляционного хранилища данных в многомерную базу данных хранилища данных (актуализацию данных);

- обработку (расчеты и агрегирование) запросов к многомерной базе данных и кэширование результатов выполнения запросов на стороне сервера;

- передачу результатов выполнения запросов пользователей в клиентские приложения;

- средства анализа исторических данных и прогнозирования.

Клиентские приложения реализуют интерактивные алгоритмы информационно-аналитической поддержки принятия решений на основе информации, получаемой в результате запросов к хранилищу данных, получения и распаковки ответов.

2. Многомерная модель данных состояния ЖКХ

Объектами управления в ЖКХ является совокупность организаций, предприятий, подразделений и служб городского хозяйства, производящих работы или оказывающих услуги, необходимые для поддержания жилищно-коммунального хозяйства в состоянии, определяемом соответствующими нормативно-правовыми актами. Объектами ЖКХ являются объекты жилищного фонда, территории жилых кварталов, дороги, инженерные коммуникации и т.д.

Управляющие воздействия выбираются (или разрабатываются) на основе мониторинга показателей текущего функционирования объектов и нормативно-правовой базы. Данные мониторинга поступают в хранилище данных по определен-

ному регламенту от различных служб инспекций – организаций, наделённых в соответствии с положениями об их деятельности полномочиями и ответственностью за сбор достоверной информации о функционировании объектов ЖКХ и своевременное представление её в заданном формате в систему управления ЖКХ.

При принятии решений обычно используются различного рода агрегированные данные (по времени, по территориальному признаку и др.). Например, ежедневные данные инспекций, используемые в оперативном управлении, обобщаются в еженедельные, ежемесячные, ежеквартальные в целом по районам при оценке эффективности деятельности управ районов. В различных задачах требуются различного рода агрегированные данные. Часто в задачах оценки объектов имеют значение не только текущие значения параметров, но и динамика их изменения. Многомерная модель данных включает не только агрегированные данные, но и вычисляемые элементы. Такие элементы не связаны напрямую с источником данных, а являются их производными.

Под многомерной моделью данных (ММД) мы понимаем четвёрку $\langle A, M, S, V \rangle$, где A – набор атрибутов, M – набор мер, S – набор связей, V – механизм расчётов.

Под атрибутами и мерами понимаются таблицы, между которыми могут быть установлены связи разных типов. Под связями понимаются отношения между данными. Установленные в ММД связи определяют её архитектуру.

Атрибут состоит из конечного набора элементов – объектов системы управления ЖКХ. Количество элементов атрибута называется размером атрибута. Связи между таблицами атрибутов позволяют структурировать наборы атрибутов и получать иерархии, называемые измерениями, отражающие иерархическую упорядоченность объектов системы управления ЖКХ. Структура измерения – дерево, корневой вершиной которого является ключевой атрибут. Размер измерения равен сумме размеров всех входящих в измерение атрибутов.

С помощью таблиц мер атрибутам сопоставляются фактические данные, характеризующие состояние атрибутов и подлежащие анализу. Строка таблицы мер содержит фактические

данные (меры) и набор значений атрибутов x_1, \dots, x_N измерений I_1, \dots, I_N . Набор измерений $\{I_1, \dots, I_N\}$ образует N -мерное пространство P_N , в котором измерения играют роль координатных осей, а всевозможные кортежи значений атрибутов – роль координат точек (ячеек) P_N . P_N дискретно и конечно. Меры, соответствующие значениям x_1, \dots, x_N набора измерений $\{I_1, \dots, I_N\}$, сопоставляются ячейке P_N с координатами (x_1, \dots, x_N) . Фактические данные сопоставляются лишь некоторым ячейкам пространства P_N . Для ячеек логического пространства, которым не сопоставлены фактические данные, значения определяются согласно механизму расчетов V , который определен в ММД. Многомерное пространство P_N , с сопоставленными его ячейкам значениями мер, образует куб данных ММД.

3. Интерактивный алгоритм ранжирования объектов

Принятие решений по оперативному управлению и планированию развития ЖКХ не может быть полностью автоматизировано даже при наличии объективных показателей в хранилище данных ЖКХ, структурированных для эффективного многомерного анализа, поскольку значимость показателей зависит от условий, при которых принимается решение, и определяется лицами, принимающими решения, с учетом различного рода политических, экономических, социальных, юридических и моральных факторов. Знания и субъективные предпочтения экспертов, необходимые для принятия обоснованных решений, выявляются в процессе диалога с системой информационно-аналитической поддержки принятия решений.

Интерактивный алгоритм ранжирования объектов для поддержки принятия управленческих решений в области ЖКХ состоит из 3 основных этапов.

1 этап. Формирование набора альтернатив и набора критериев для их оценки

1 шаг. Из предлагаемого системой набора атрибутов эксперт выбирает атрибут $A = \{a_1, \dots, a_m\}$, элементы которого необходимо ранжировать для принятия решения по управлению.

2 шаг. Система формирует набор измерений $\{I_1^A, \dots, I_N^A\}$, включающих атрибут A , и список кубов K_1, \dots, K_L , каждый из которых построен на многомерном пространстве, включающем какое-либо измерение из набора $\{I_1^A, \dots, I_N^A\}$.

3 шаг. Построение критериев оценки альтернатив.

Поясним процесс построения критериев по кубу ММД. Пусть куб K построен в многомерном пространстве измерений I_1, \dots, I_N, I^A , где $I^A \in \{I_1^A, \dots, I_N^A\}$, а на кортежах (x_1, \dots, x_N, a_i) определено множество мер $\{M_1, \dots, M_K\}$. Для каждого значения $a_i \in A$ по каждой мере M_k получаем наборы значений мер $V_{k,j}(a_i) = M_k(X_j, a_i)$, фиксируя наборы значений атрибутов $X_j = (x_1^j, \dots, x_N^j)$, $j = 1, \dots, J$, $J = R(I_1) * \dots * R(I_N)$, $R(I_n)$ – размер измерения I_n .

Из этого набора значений мер, характеризующих элементы атрибута, эксперт выбирает критерии, существенные для решаемой задачи в текущих условиях. С этой целью для каждого из кубов K_1, \dots, K_L эксперт должен указать подмножество интересующих его мер, а затем для каждой выбранной меры – существенные наборы значений атрибутов. Оценками по выбранным критериям являются значения соответствующих ячеек куба ММД.

2 этап. Снижение размерности задачи

Множество анализируемых объектов при решении конкретных задач принятия решений в области ЖКХ очень велико и труднообозримо. Поэтому для эффективного применения методов упорядочивания альтернатив по множеству критериев необходимо снизить размерность задачи (уменьшить число альтернатив). Это может быть достигнуто при помощи разбиения объектов на классы близких в определенном смысле объектов. Формализация отношения «близость» определяется экспертом в зависимости от конкретной решаемой задачи в процессе диалога с системой. Например, при оценке управ районов последние могут быть разбиты на классы близких по численности населения, протяженности дорог, объемам финансирования и др.; при планировании капи-

тального ремонта жилые дома разбиваются по степени физического износа, по доле городской собственности, по времени постройки, по типам постройки. Задача структуризации объектов решается средствами многомерного и интеллектуального анализа данных, причем возможны две постановки: задача кластеризации объектов на классы близких в смысле какой-либо выбранной метрики и задача классификации – отнесение объектов к одному из заранее определенных (набором значений параметров) классов. После разбиения объектов на классы в качестве альтернатив для ранжирования рассматриваются классы объектов, а оценками по критериям служат значения, агрегированные для этих классов объектов (суммарные, средние или другие, определяемые экспертом).

3 этап. Упорядочение классов объектов по набору критериев

Для упорядочения классов объектов применяются интерактивные методы многокритериального ранжирования альтернатив. Методы, применение которых наиболее оправданно при реализации информационно-аналитической поддержки принятия решений по оперативному управлению и планированию развития ЖКХ, и условия эффективного применения этих методов приводятся в Приложениях 1,2,3.

В случае необходимости используется итеративный процесс: после ранжирования классов объектов алгоритм применяется для разбиения классов на подклассы и упорядочения этих подклассов по набору критериев и т.д.

Заключение

В статье рассмотрена важная и социально значимая задача информационно-аналитической поддержки принятия решений в сфере ЖКХ. Решение этой задачи невозможно без использования современных информационных технологий, которые позволяют создавать хранилища данных на основе больших объемов накопленной, но разрозненной, не стандартизованной и не структурированной для анализа информации. Для разработки структуры хранилища данных необходимо знать, как предполагается в дальнейшем его использовать. В работе

предложен подход, при котором информация из хранилища данных на основе многомерной модели данных используется в ходе интерактивного алгоритма ранжирования объектов с целью поддержки принятия обоснованных решений. Эксперт с помощью системы выбирает набор объектов, формирует набор критериев для их оценки, отвечает на вопросы системы с целью выявления относительной важности критериев и применения известных методов для многокритериального ранжирования выбранных объектов.

Использование информационно-аналитической поддержки на основе хранилища данных позволит перейти на новый уровень управленческих решений по оперативному управлению и планированию развития ЖКХ, основанный на консолидированных интегрированных данных по отрасли и региону в целом, повысить оперативность и качество принимаемых решений.

Литература

1. Кулида Е.Л., Панкова Л.А. Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений в сфере жилищно-коммунального хозяйства. - Материалы 2-ой научной конференции «Автоматизация в промышленности», М.: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН. 2008, стр. 220-227.
2. Панкова Л.А., Пронина В. А. Информационно-аналитическая поддержка управления жилищно-коммунальным хозяйством (на примере планирования капитального ремонта), Проблемы управления, 2008, № 5.
3. Теория выбора и принятия решений: Учебное пособие / Главная редакция физико-математической литературы. М.: Наука, 1982.
4. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2006.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.

Приложение 1 Метод упорядочения альтернатив на основе функции полезности

В задачах упорядочения на основе функции полезности считается, что известна сравнительная полезность любых двух альтернатив x и y , отличающихся не более чем по двум координатам. Альтернативы представляют собой точки в многомерном пространстве R_N . Это значит, что известно, какое из трех соотношений

$$U(x) < U(y), U(x) = U(y) \text{ или } U(x) > U(y) \tag{1}$$

выполнено для любых двух альтернатив x и y , у которых все координаты, кроме каких-либо двух, совпадают. Известным это может стать только в результате сравнения этих альтернатив лицом, принимающим решения (ЛПР). Здесь $U(x)$ – функция полезности ЛПР.

Задача выбора на основе функции полезности состоит в нахождении на заданном множестве альтернатив Ω , содержащемся в R_N , точки x , максимизирующей функцию полезности $U(x)$. Обозначим $C(\Omega) = \{y \in R_N \mid U(y) \geq U(x)\}$ – её решение, т.е. множество всех точек, на которых $U(x)$ принимает максимальное значение. От традиционной задачи оптимизации она существенно отличается тем, что функция полезности в явном виде не известна. Она как бы "сидит в голове" у ЛПР. Предъявлять ЛПР имеет смысл лишь альтернативы, отличающиеся не более чем по двум координатам. При попытках сравнения двух произвольных альтернатив число ошибок заметно возрастает. Множество Ω предполагается конечным, а функции полезности обладают следующими двумя свойствами, которые выделяют их из всех функций, заданных на R_N .

- а) Функции полезности монотонно возрастают по всем переменным. Используя отношение Парето P , монотонность формально можно записать в виде:

$$xPy \rightarrow U(x) > U(y). \tag{2}$$

(Напомним, что xPy означает, что $x_i \geq y_i, i=1,2,\dots,n$ и хотя бы для одного индекса $j \in \{1,2,\dots,n\} x_j > y_j$).

- б) Существуют две первые производные функции полезности U :

$$u_r = \frac{\partial U(x)}{\partial x_r}, u_{rs} = \frac{\partial^2 U(x)}{\partial x_r \partial x_s}, (r,s=1,2,\dots,n).$$

Для решения задачи оптимизации функции полезности опишем алгоритмы, включающие диалоги с ЛПР как отдельные шаги и процедуры [3]. Вводится вспомогательная задача компенсации, состоящая в следующем. Пусть даны: альтернатива $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; индексы $r, s \in \{1, 2, \dots, n\}, r \neq s$; число $\Delta_r > 0$; точность $\varepsilon > 0$. Требуется найти с заданной точностью ε число $\Delta_s > 0$ такое, что

$$U(x) = U(x(\Delta_s)), \text{ где } x(\Delta_s) = (x_1, \dots, x_r - \Delta_r, \dots, x_s + \Delta_s, \dots, x_n).$$

Алгоритм 1. Решение задачи компенсации.

1. Положить $\Delta = \Delta_r$.
2. Положить $\Delta_s = \Delta$.
3. Предложить ЛПР сравнить полезности $U(x)$ и $U(x(\Delta_s))$. Если $U(x) = U(x(\Delta_s))$, перейти к шагу 8; если $U(x) > U(x(\Delta_s))$ – к шагу 4; если $U(x) < U(x(\Delta_s))$ – к шагу 5.
4. Положить $\Delta_s = \Delta_s + \Delta$ и перейти к шагу 3.
5. Положить $\Delta = \Delta/2$.
6. Если $\Delta < \varepsilon$, то перейти к шагу 8, в противном случае – к шагу 7.
7. Положить $\Delta_s = \Delta_s - \Delta$ и перейти к шагу 3.
8. Стоп. Текущее значение Δ_s и является приближённым решением задачи компенсации.

Воспользуемся алгоритмом 1 для решения задачи оптимизации функции полезности в важном частном случае – при двухэлементном множестве $\Omega = \{x, y\}$, где x и y – произвольные альтернативы из R_N .

Алгоритм 2. Нахождение лучшей альтернативы из двух альтернатив x и y , т.е. $C(x, y)$.

1. Найти p – число координат, по которым x отличается от y .
2. Если $p > 2$, перейти к шагу 3; в противном случае – к шагу 10.
3. Если xPy (превосходит по отношению Парето P), то перейти к шагу 8; если yPx – к шагу 9, в остальных случаях перейти к шагу 4.
4. Найти r и s такие, что $x_r > y_r$, $x_s < y_s$.
5. Положить $\Delta_r > x_r - y_r$.
6. Найти алгоритмом 1 компенсацию Δ_s для данных x , r , s и Δ_r .
7. Положить $x = x(\Delta_s)$ и перейти к шагу 1.
8. Положить $C(x, y) = x$ и перейти к шагу 11.
9. Положить $C(x, y) = y$ и перейти к шагу 11.
10. Найти $C(x, y)$, задав вопрос ЛПП (см. (1)).
11. Стоп.

Решение на шагах 8 и 9 находится с использованием (2).

Решение на шаге 10 обеспечивается тем, что при x и y , отличающихся не более чем по двум координатам, выбор может быть сделан ЛПП. Возможность выполнения шага 4 обеспечивается тем, что при обращении к нему точки x и y несравнимы по отношению Парето.

Алгоритм 2 основан на многократной замене текущей точки x точкой $x(\Delta_s)$, отличающейся от y по меньшему, чем x , числу координат.

Алгоритм 3. Построение $C(\Omega)$.

1. Задать бинарное отношение R_U на Ω , воспользовавшись для каждой пары (x, y) алгоритмом 2. Точнее: если $C(x, y) = x$, то положим $xR_U y$; если $C(x, y) = y$, то положим $yR_U x$.
2. Выделить множество Ω^{R_U} недоминируемых по R_U альтернатив, т.е. таких x , для которых неверно $yR_U x$ для всех $y \in \Omega$.

Для реализации алгоритма 3 необходимо сравнить все пары из Ω^2 . Однако при наложении дополнительных требований на функцию полезности U можно использовать эффективные градиентные алгоритмы. Обозначим градиент функции полезности $U(x)$ в точке x через \bar{V}_x :

$$\bar{V}_x = (u_1, \dots, u_n), \quad u_r = \frac{\partial U(x)}{\partial x_r}.$$

Направление вектора \bar{V}_x не изменяется, если все его компоненты разделить на одно и то же положительное число, например, на u_1 . Имеем

$$\bar{V}_x / u_1 = (1, u_2/u_1, \dots, u_n/u_1).$$

Зафиксируем точку $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и положим

$$\bar{x} = (x_1, \dots, x_r - \Delta_r, \dots, x_s + \Delta_s, \dots, x_n).$$

Тогда

$$\Delta U = U(\bar{x}) - U(x) \approx -u_r \Delta_r + u_s \Delta_s,$$

откуда при $\Delta U = 0$ получаем

$$u_r / u_s \approx \Delta_s / \Delta_r. \quad (3)$$

Для построения вектора \bar{V}_x^{-1} будем использовать приближенные равенства (3).

Алгоритм 4. Определение вектора \bar{V}_x^{-1} .

1. Задать достаточно малое Δ_1 и положить $r=1$, $\bar{V}_x^{-1}(1) = 1$ (1-ая компонента вектора \bar{V}_x^{-1}).
2. Положить $i=1$.
3. Положить $i=i+1$.
4. Найти алгоритмом 1 (при $r=1$, $s=i$) компенсацию Δ_i и положить $\bar{V}_x^{-1}(i) = \Delta_i / \Delta_1$.
5. Если $i < n$, перейти к шагу 3. В противном случае алгоритм прекращает работу.

Алгоритм 4 является вспомогательным. Он используется в качестве одного из шагов в алгоритме 5. Алгоритм 5 (описанный далее) основан на следующих утверждениях.

Утверждение 1. Пусть для любого $x \in R_N$ множество $C(x)$ выпукло, $x^1, x^2 \in R_N$ и $U(x^2) \geq U(x^1)$. Тогда $(\bar{V}_{x^1}, x^1) \leq (\bar{V}_{x^1}, x^2)$.

Утверждение 2. Пусть $(\bar{V}_{x^*}, x^*) = \max_{x \in \Omega} (\bar{V}_{x^*}, x)$. Тогда максимальное значение функции полезности на множестве Ω достигается в точке x^* .

Приведём алгоритм, позволяющий найти некоторое подмножество Y множества альтернатив Ω , содержащее оптимальные решения.

Алгоритм 5. Сужение исходного множества альтернатив Ω .

1. Положить $X = \Omega$.
2. Занумеровать элементы X и обозначить через N число точек в X .
3. Положить $i = 1$.
4. Положить $i = i + 1$.
5. Построить вектор \bar{V}_{x^i} алгоритмом 4.
6. Положить $Y = \{x \in X \mid (\bar{V}_{x^i}, x) \geq (\bar{V}_{x^i}, x^i)\}$.
7. Сравнить Y и X . Если $Y = X$, перейти к шагу 9, в противном случае – к шагу 8.
8. Положить $X = Y$ и перейти к шагу 2.
9. Сравнить i с n . Если $i = n$, перейти к шагу 10, в противном случае – к шагу 4.
10. Стоп. Решением является множество Y .

Алгоритм 5 позволяет при поиске решения задачи заменить Ω на множество Y , т. е. уменьшает число альтернатив. Для нахождения точного решения нужно воспользоваться алгоритмом 3 на множестве Y . При этом число попарных сравнений соответственно уменьшается.

Приложение 2 Метод аналитической иерархии

При подходах на основе функции полезности одни и те же значительные усилия лица (или группы лиц), принимающего решения, могут быть затрачены при большом и малом числе альтернатив. Не всегда такой подход является приемлемым. В случае небольшого числа заданных альтернатив представляется разумным направить усилия ЛППР на сравнение только заданных альтернатив [4]. Именно такая идея лежит в основе метода аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process – АНР) [5].

Постановка задачи, решаемой с помощью метода АНР, заключается обычно в следующем.

Дано: общая цель (или цели) решения задачи; N критериев оценки альтернатив; n альтернатив.

Требуется: выбрать наилучшую альтернативу (или упорядочить альтернативы).

Подход АНР состоит из совокупности этапов.

1. Первый этап заключается в структуризации задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цели-критерии-альтернативы.
2. На втором этапе ЛППР выполняет попарные сравнения элементов каждого уровня при помощи вербальной шкалы относительной важности. Результаты сравнений переводятся в числа в соответствии с заданной количественной шкалой.
3. Вычисляются коэффициенты важности для элементов каждого уровня. При этом проверяется согласованность суждений ЛППР.
4. Подсчитывается количественный индикатор качества каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива.

При сравнении элементов, принадлежащих одному уровню иерархии, ЛПР выражает свое мнение, используя одно из словесных определений. В матрицу сравнения заносится соответствующее этому словесному определению число. На нижнем уровне иерархической схемы сравниваются заданные альтернативы по каждому критерию отдельно.

Полученные матрицы сравнения позволяют рассчитать коэффициенты важности соответствующих элементов иерархического уровня. Для этого нужно вычислить векторы важности критериев, а затем пронормировать их. Для вычисления вектора важности критериев извлекается корень n -й степени (n – размерность матрицы сравнений) из произведений элементов каждой строки. Нормировка означает следующую операцию: вычисляется сумма S всех компонент вектора; каждая из «старых» компонент делится на сумму S . В результате сумма «новых» компонент равна 1.

Синтез полученных коэффициентов важности осуществляется по формуле $V_j = \sum_{i=1}^N w_i V_{ji}$, где V_j – показатель качества j -й альтернативы; w_i – вес i -го критерия; V_{ji} – важность j -й альтернативы по i -му критерию.

Альтернативы ранжируются в соответствии с показателем качества: ранг 1 приписывается j -й альтернативе с наибольшим значением V_j и т.д.

При заполнении матриц попарных сравнений человек может делать ошибки. Одной из возможных ошибок является нарушение транзитивности: из $a_{ij} > a_{jk}$ и $a_{jk} > a_{ks}$ может не следовать $a_{ij} > a_{ks}$ для элементов матрицы попарных сравнений. Возможны также нарушения согласованности численных суждений: $a_{ij} a_{jk} \neq a_{ik}$.

Для обнаружения несогласованности предложен подсчет индекса согласованности сравнений, осуществляемый по матрице парных сравнений.

Алгоритм проверки согласованности суждений ЛПР.

1. В матрице парных сравнений суммируются элементы каждого столбца.
2. Сумма элементов каждого столбца умножается на соответствующие нормализованные компоненты вектора весов, определенного из этой же матрицы.
3. Полученные числа суммируются, значение суммы обозначается как λ_{max} .
4. Находится индекс согласованности $L = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, где n – число сравниваемых элементов (размер матрицы).
5. Подсчитывается среднее значение индекса согласованности R для кососимметричных матриц (матриц, в которых $a_{ij} = 1/a_{ji}$ для всех i и j), заполненных случайным образом.
6. Вычисляется отношение согласованности: $T = L/R$.

При применении метода желательным считается уровень $T \leq 0,1$. Если значение T превышает этот уровень, рекомендуется провести сравнения заново.

Отметим, что метод АНР возник как эвристическое средство сравнения и выбора альтернатив. Хотя прилагаются усилия разработать аксиоматические основания метода, в большинстве публикаций он представлен как эвристический подход, апеллирующий к здравому смыслу пользователя. Следует отметить также, что подход АНР имеет большее число практических применений, чем другие многокритериальные методы.

Приложение 3 Метод ELECTRE

В конце 60-х годов группой французских ученых был предложен новый подход к проблеме принятия решений при многих критериях. В отечественной литературе [4] он известен как подход, направленный на разработку индексов попарного сравнения альтернатив (РИПСА). В настоящее время существует много методов принятия решений, принадлежащих к данному подходу. Из них наиболее известна группа методов ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite) – исклю-

чение и выбор, отражающие (буквально «переводящие») реальность. Как и метод аналитической иерархии, метод ELECTRE направлен на сравнение заданной группы многокритериальных альтернатив. Однако следует подчеркнуть методологическое отличие метода ELECTRE от метода АНР. В рамках метода АНР неявно предполагается, что основные предпочтения ЛПР уже, в основном, сформированы до применения метода принятия решений. Следовательно, эти предпочтения могут быть получены от ЛПР «одномоментно» – при сравнениях важности критериев и сравнении альтернатив по критериям. В отличие от этого при методах группы РИПСА (включающих ELECTRE) предполагается, что предпочтения ЛПР формируются при анализе проблемы, осуществляемом с помощью метода принятия решений. Следовательно, метод должен предъявлять ЛПР различные варианты решения проблемы в зависимости от тех или иных решающих правил. Эти правила формируются в виде индексов попарного сравнения альтернатив.

В методе ELECTRE принято различать два основных этапа.

1. Этап разработки, на котором строятся два индекса попарного сравнения альтернатив.
2. Этап исследования, на котором построенные индексы используются для ранжирования заданного множества альтернатив.

Индексы попарного сравнения альтернатив строятся на основе принципов конкорданса (согласия) и дискорданса (несогласия). В соответствии с этими принципами альтернатива x является, по крайней мере, не худшей, чем альтернатива y , если

- «достаточное большинство» критериев поддерживает это утверждение (принцип согласия);
- «возражения» по остальным критериям «не слишком сильны» (принцип малого несогласия).

Индексы согласия и несогласия строятся следующим образом. Каждому из N критериев ставится в соответствие целое число w_i , характеризующее важность критерия. Предполагается, что эти числа (обычно называемые весами критериев) могут быть заданы ЛПР.

Выдвигается гипотеза о превосходстве альтернативы x над альтернативой y . Множество I , состоящее из N критериев, разбивается на три подмножества:

I^+ – подмножество критериев, по которым x предпочтительнее y ;

I^- – подмножество критериев, по которым x равноценно y ;

I^0 – подмножество критериев, по которым y предпочтительнее x .

Определяется индекс согласия с гипотезой о превосходстве альтернативы x над альтернативой y :

$$C(x, y) = \sum_{i \in I^+ \cup I^-} w_i / \sum_{i=1}^N w_i .$$

Индекс несогласия $d(x, y)$ с гипотезой о превосходстве альтернативы x над альтернативой y определяется следующим образом:

$$d(x, y) = \max_{i \in I^0} \frac{F_i(x) - F_i(y)}{L_i} ,$$

где $F_i(x), F_i(y)$ - оценки альтернатив x и y по i -му критерию, L_i – длина шкалы i -го критерия.

Выбирается самый противоречивый критерий – критерий, по которому y в наибольшей степени превосходит x . Чтобы учесть возможную разницу длин шкал критериев, разность оценок y и x относят к длине соответствующей шкалы. Наилучшие и наихудшие значения не определяются только по рассматриваемым альтернативам, они выбираются на предварительном этапе, ещё до рассмотрения конкретных альтернатив, и отражают ситуацию «в целом». Альтернативы, выходящие за эти значения, обычно не существуют или не рассматриваются.

В методе ELECTRE задается бинарное отношение превосходства между уровнями согласия и несогласия. Если

$$C(x, y) \geq \alpha \ \& \ d(x, y) \leq \beta, \tag{4}$$

где α и β – заданные уровни согласия и несогласия, то альтернатива x объявляется превосходящей альтернативу y . Если же при этих уровнях сравнить альтернативы не удалось (т.е. хотя бы одно из неравенств (4) неверно), то они объявляются несравнимыми.

Отметим, что уровни коэффициентов согласия и несогласия, при которых альтернативы сравнимы, представляют собой инструмент анализа в руках ЛПП и аналитика. Задавая эти уровни (постепенно понижая требуемый уровень коэффициента согласия и повышая требуемый уровень коэффициента несогласия), они исследуют имеющееся множество альтернатив.

При заданных уровнях на множестве альтернатив выделяется ядро недоминируемых элементов (так названо множество мажорант по построенному отношению). При изменении уровней (уменьшении α и увеличении β) из данного ядра выделяется меньшее (содержащееся в предыдущем) ядро и т.д. Аналитик предлагает ЛПП целую серию возможных решений проблемы в виде различных ядер. В конечном итоге можно получить и одну лучшую альтернативу. При этом значения индексов согласия и несогласия характеризуют степень «насилия» над данными, при которых делается окончательный вывод.

Методы группы ELECTRE были предложены как эвристические, однако существует немало работ по их аксиоматическому обоснованию. Достоинством этой группы методов является поэтапность выявления предпочтений ЛПП в процессе назначения уровней согласия и несогласия и изучения ядер. Такой детальный анализ позволяет ЛПП сформировать свои предпочтения, определить компромиссы между критериями.

Кулида Елена Львовна. Старший научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Окончила Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова в 1978 году. Кандидат технических наук. Автор 39 печатных работ. Область научных интересов: компьютерные тренажерные комплексы и системы поддержки принятия решений, современные информационные технологии. E-mail: lenak@ipu.ru.

Панкова Людмила Александровна. Старший научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Окончила Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова в 1969 году. Кандидат технических наук. Автор 32 печатных работ. Область научных интересов: алгоритмы поддержки принятия решений, интеллектуальный анализ данных. E-mail: pankova@ipu.ru.