



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ЗНАНИЙ

УДК 338.2:519.6

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНАЯ СЕЛЕКЦИЯ ПРОЕКТОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

В.А. ЛОМАЗОВ¹⁾
Д.С. ТРУБАВИН²⁾

¹⁾ Белгородская государственная
сельскохозяйственная академия

²⁾ ОАО «Лебединский ГОК»

e-mail: vlomazov@yandex.ru;
trubavin@list.ru

В статье предложен подход к построению информационных моделей проектов на основе лингвистического нечеткого описания некоторых модельных атрибутов, что позволило в большей степени учесть специфику горнодобывающей отрасли. Сформулирована задача селекции наиболее близких к оптимальному проектов из их конечной совокупности. Предложен критерий селекции.

Ключевые слова: проект, информационная модель, лингвистическая переменная, многокритериальная оптимизация, генетический алгоритм.

Горнодобывающая промышленность, являясь одной из наиболее развитых отраслей современной российской экономики, широко представлена в Белгородской области. Среди областей Центрального федерального округа в январе-июне 2010 года по объему отгруженных товаров и выполненных работ и услуг на душу населения Белгородская область заняла 2 место по добыче полезных ископаемых [1]. В последнее время в результате увеличения спроса на продукцию значительно улучшилось финансово-экономическое состояние предприятий горнодобывающего комплекса Белгородской области, активизировалась их инвестиционная деятельность, предприятия уже вышли на докризисный уровень производства. ОАО «Лебединский ГОК» приобретает новое современное оборудование, на обогатительной фабрике осуществляется замена мельниц на более производительные. Осуществляются капитальные работы, связанные с развитием карьера, отвалов и хвостохранилищ, а также инфраструктурные проекты в рамках подготовки к строительству третьей очереди цеха горячбрикетированного железа. ОАО «Стойленский ГОК» осуществляют пусконаладочные работы оборудования первого этапа четвертой секции обогатительной фабрики проектной мощностью 1,7 млн. тонн концентрата в год, а также ведется строительство объектов инфраструктуры для данной секции. В настоящее время компанией «ПитерГОРпроект» осуществляется разработка проекта по увеличению производственной мощности ОАО «Комбинат КМАруда» [2].



Проекты дальнейшего развития горнодобывающего комплекса Белгородской области требуют научного обоснования. Специфика горно-металлургической промышленности обуславливает особые требования к производственной деятельности предприятий. При анализе проектов в этой отрасли необходимо наряду с техническими, технологическими, организационными и экономическими аспектами уделять внимание экологическим, социальным, юридическим и многим другим вопросам, т.е. проводить комплексный анализ проектов. Такого рода анализ возможен только на основе общего системного подхода при широком использовании экспертных технологий и компьютерного моделирования. Таким образом, проблема разработки математических методов и инструментальных средств анализа проектов является актуальной. Вопросы экономического анализа проектов рассматривались ранее во многих работах (например, в [3-5]), однако в этих исследованиях не была учтена специфика горной добычи, требующего комплексного подхода и уделения особого внимания вопросам безопасности.

Рассмотрим в качестве информационной модели проекта кортеж:

$$M^o = \langle M^{o_1}, M^{o_2}, \dots, M^{o_n} \rangle, \tag{1}$$

где $M^{o_i} (i=1, \dots, n)$ – подкортежи вида:

$$M^{o_i} = \langle x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im} \rangle. \tag{2}$$

Группировка атрибутов информационной модели $x_{ij} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, m)$ по подкортежам соответствует выделению совокупностей требуемых ресурсов и других характеристик проекта, отражающих его определенные стороны (например, технические экономические социальные и пр. характеристики). Верхний индекс o показывает, что модель (1),(2) будет использована как начальное приближение для построения моделей проектов.

Традиционное представление информационной модели вида (1),(2) предполагает оценку значений атрибутов в сильных измерительных шкалах (шкале интервалов *Int* и шкале отношений *Rel*), что снижает общность ее применения, а также возможность использования экспертных знаний. Распируем модель (1),(2), добавив в подкортежи информационной модели M_i наряду с количественными характеристиками $x_{ij} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, m)$, еще и качественные характеристики $y_{ij} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$, определяемые в слабых (номинальной *Nom* и порядковой *Ord*) измерительных шкалах. Расширенная информационная модель будет иметь вид

$$M = \langle M_1, M_2, \dots, M_n \rangle, \tag{3}$$

где $M_i (i=1, \dots, n)$ подкортежи вида:

$$M_i = \langle x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}; y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik} \rangle. \tag{4}$$

Примерами качественных (измеряемых в слабых шкалах) характеристик являются определяемые экспертами инвестиционные или экологические риски с набором возможных значений: «очень высокие», «высокие», «средние», «низкие» и т.д.

Рассмотрим качественные переменные $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}$ как лингвистические (принимая значения в виде слов и выражений естественного языка) переменные, каждая из которых (например, y_{ij}) имеет свой набор дискретных расположенных по возрастанию (измеряемых в шкале *Rel*) значений, составляющий универсум Z_{ij} вида

$$Z_{ij} = \{z_{ij1}, z_{ij2}, \dots, z_{ij8}\} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k), \tag{5}$$

$z_{ij1} \leq z_{ij2} \leq \dots \leq z_{ij8}$ и свой набор лингвистических значений, образующих терм-множество

$$A_{ij} = \{a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijr}\} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k). \tag{6}$$

Набор семантических правил S_{ij} , задающих смысл каждого термина из терм-множества A_{ij} имеет вид:

$$S_{ij} = \{S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijr}\} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k). \tag{7}$$

Семантические правила $S_{ijt} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k; t=1, \dots, r)$ ставят в соответствие терминам a_{ijt} нечеткие множества A_{ijt} , определенные на базовых дискретных наборах значений Z_{ij} , т.е. представляют собой отображения $S_{ijt}: A_{ij} \rightarrow Fuzzy(Z_{ij}), (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$, где $Fuzzy(Z_{ij})$ – множество всех нечетких подмножеств Z_{ij} .



В соответствии с общей методологией теории лингвистического анализа [6] выделим из терм-множества A_{ij} базовое терм-множество $A^{B_{ij}}$, для которого потребуем выполнение следующих условий:

- условие нормальности: (обязательно существует хотя бы один элемент универсума Z_{ij} полностью совместимый с определяемым термом a_{ijt} , входящим в $A^{B_{ij}}$);
- условие выпуклости (элементы универсума Z_{ij} должны быть сгруппированы по совместимости с определяемым термом a_{ijt} , входящим в $A^{B_{ij}}$, так что, если рассматривать последовательность вложенных отрезков – подмножеств универсума, то чем отрезок "шире", тем он меньше совместим с a_{ijt});
- условие полноты (не должно существовать элементов универсума Z_{ij} абсолютного не совместимых ни с одним из термов, входящих в $A^{B_{ij}}$).
- условие непротиворечивости (не должно существовать элементов универсума Z_{ij} полностью совместимых более чем с одним из термов, входящих в $A^{B_{ij}}$).
- условие совместимости с границами (должны существовать термы полностью совместимые с границами универсума Z_{ij} ; в силу упорядоченности базового терм-множества $A^{B_{ij}}$, такие понятия являются первым и последним из термов)

Семантические правила $S^{B_{ij}}$, определяющие смысл базовых термов, полагаются полученными на основе экспертных заключений. Элементы дополнения $A_{ij} \setminus A^{B_{ij}}$ полагаются полученными из элементов базового терм-множества $A^{B_{ij}}$ при помощи применения синтаксических правил, порождающих названия вербальных (лингвистических) значений лингвистической переменной («очень», «примерно», «более менее» и т.д.). Семантические правила из множества $S_{ij} \setminus S^{B_{ij}}$ формулируются в виде совокупности частных правил трансляции с языка грамматики в язык алгебры нечетких множеств на основе применения операторов концентрирования, растяжения и контрастной интенсификации нечетких множеств, а также обычных операций над нечеткими множествами.

Таким образом, система соотношений (3)-(7) представляет собой расширенную информационную модель проекта, которая (в отличие от начальной модели (1),(2)) может содержать в составе своих атрибутов еще и величины, измеренные в слабых шкалах (в т.ч. и лингвистические переменные), что может служить более адекватному учету специфики горнорудной отрасли.

Введем понятие метрического расстояния между проектами. Возьмем в качестве метрики, соответствующие измеренным в шкале отношений атрибутам x^{*ij} и x^{**ij} двух проектов P^* и P^{**} :

$$d_{ij}(x^{*ij}, x^{**ij}) = \text{abs}(x^{*ij} - x^{**ij}) / \max(\text{abs}\{x_{ij}\}), \quad (8)$$

где $\max(\text{abs}\{x_{ij}\})$ – максимально возможное значение атрибута x_{ij} , выступающее в данном случае в качестве нормировочного коэффициента и применяемое для приведения метрики D_{ij} к безразмерному виду. Отметим, что использование в формуле (8) именно чебышевской метрики не является существенным и в качестве числителя правой части формулы (8) можно было бы взять и другое (например, евклидово и манхэттенское) метрическое расстояние.

Возьмем в качестве метрики, соответствующие измеренным в номинальной шкале атрибутам y^{*ij} и y^{**ij} двух проектов P^* и P^{**} выпуклую линейную комбинацию трех величин: расстояния между носителями, расстояния между ядрами и степени неравенства нечетких множеств, представляющих семантику лингвистических значений этих атрибутов, т.е.

$$D_{ij}(y^{*ij}, y^{**ij}) = \alpha_1 d_{ij}(\text{supp } A^{*ij}, \text{supp } A^{**ij}) / \max(\text{abs}\{z_{ij}\}) + \alpha_2 d_{ij}(\text{kern } A^{*ij}, \text{kern } A^{**ij}) / \max(\text{abs}\{z_{ij}\}) + \alpha_3 (1 - \mu(A^{*ij}, A^{**ij})), \quad (9)$$

где выражения:

$$d_{ij}(\text{supp } A^{*ij}, \text{supp } A^{**ij}) / \max(\text{abs}\{z_{ij}\}), \quad d_{ij}(\text{kern } A^{*ij}, \text{kern } A^{**ij}) / \max(\text{abs}\{z_{ij}\}),$$

представляют собой нормированные метрические расстояния между носителями и ядрами нечетких множеств A^{*ij} и A^{**ij} , соответствующих лингвистическим значе-



ниям S^*_{ij} и S^{**}_{ij} , а выражение $\mu(A^*_{ij}, A^{**}_{ij})$ обозначает степень нечеткого равенства нечетких множеств A^*_{ij} и A^{**}_{ij} ; величины $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ являются весовыми коэффициентами, для которых выполняются условие неотрицательности и условие нормировки: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \geq 0; \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$.

В соответствии с [7,8], рассмотрим следующую постановку задачи селекции проектов.

Пусть в результате решения задачи оптимального проектирования построен теоретический (возможно нереализуемый на практике) оптимальный (рациональный) проект P_{opt} , описываемый в рамках модели M совокупностью атрибутов $\langle x^{opt}_{ij}, y^{opt}_{ij} \rangle (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$. Требуется произвести отбор (селекцию) наиболее близких к оптимальному из имеющейся конечной совокупности проектов $\{P_1, P_2, \dots, P_q\}$.

Для решения полученной задачи воспользуемся построенными метриками. Рассматривая задачу селекции, как задачу многокритериальной минимизации расстояния между оптимальным проектом и имеющимися проектами (в качестве отдельных критериев полагаются расстояния между значениями атрибутов), для ее решения можно воспользоваться методами векторной оптимизации (например, такими как, лексикографический метод, метод главного критерия, метод последовательных уступок и др. [9]). Однако, в данном случае представляется целесообразным воспользоваться подходом, основанным на методе скалярного интегрального (аддитивного) критерия. Для этого экспертами определяются весовые коэффициенты β_{ij}, γ_{ij} , показывающие сравнительную важность отдельных критериев и удовлетворяющие условиям:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \beta_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \gamma_{ij} = 1, \beta_{ij}, \gamma_{ij} \geq 0, (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k).$$

Построенная (на основе введенных ранее метрических расстояний (8),(9)) целевая функция задачи скалярной оптимизации имеет вид:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \beta_{ij} d_{ij}(x_{ij}, x^{opt}_{ij}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \gamma_{ij} D_{ij}(y_{ij}, y^{opt}_{ij}).$$

В случае, когда совокупность подлежащих селекции проектов $\{P_1, P_2, \dots, P_q\}$ достаточно велика, целесообразно для нахождения решения задачи минимизации (к решению которой сводится селекция) вместо алгоритма перебора использовать эвристические эволюционные алгоритмы, например, генетический алгоритм [6]. При этом популяция проектов, получаемая на последней стадии алгоритма, как правило, содержит несколько близких к оптимальному решений, что является удобным, поскольку оставляет возможность окончательного выбора эксперту, возможно имеющему свои неформализуемые предпочтения.

Литература

1. Основные показатели работы добывающих, обрабатывающих и осуществляющих производство и распределение электроэнергии, газа и воды производств (19 августа 2010 г.).- <http://belg.gks.ru>.
2. Основные показатели экономического и социального развития Белгородской области за январь-июнь 2010 года (по данным Белгородстата).- <http://www.belregion.ru/region/economy>.
3. Лапыгин, Ю.Н. Управление проектами: от планирования до оценки эффективности/ Ю.Н. Лапыгин.- М.:Омега-Л, 2008. – 252 с.
4. Ким Хелдман Профессиональное управление проектами/Ким Хелдман. – М.: «Бинном», 2005. – 517 с.
5. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы М.: ПМСОФТ, 2007. – 140 с.
6. Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем/ Г. В. Рыбина.- М.: ФИС, 2010. – 432 с.



7. Ломазова, В.И. Формализация выбора математических моделей связанных полей при автоматизации исследований/ В.И. Ломазова, В.А. Ломазов // Информационные системы и технологии. – 2010, № 3.

8. Жилияков, Е.Г. Селекция аддитивных функциональных моделей сложных систем/Е.Г. Жилияков, В.И. Ломазова, В.А. Ломазов // Информационные системы и технологии.- 2010, № 6.

9. Микони, С. В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив / С. В. Микони. – СПб.: Лань, 2009.- 273 с.

INFORMATION MODELING AND COMPUTER SELECTION OF PROJECTS IN MINING INDUSTRY

V.A. LOMAZOV¹⁾
D.S. TRUBAVIN²⁾

¹⁾ *Belgorod State Agricultural Academy*

²⁾ *ОАО «Lebedinskiy GOK»*

e-mail: vlomazov@yandex.ru;
trubavin@list.ru

An approach for construction of project models on the base of linguistic fuzzy attribute description is suggested. It makes possible to take into account the specificity of mining. A problem of selection projects, the nearest to optimal one, is formulized. Criteria of the selection is suggested.

Key words: information modeling, linguistic variable, multicriterial optimization, genetic algorithm.