

Р.И. Мухаметьянова, Л.Р. Черняховская, Д.А. Ризванов

РАЗРАБОТКА БАЗЫ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
РЕШЕНИЙ В ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ  
ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТОМ

**Аннотация.** Эффективное распределение ресурсов предприятия между реализуемыми проектами в условиях ограничений, обусловленных внешней и внутренней средой предприятия, является сложной задачей, требующей применения развитого аналитического аппарата, включая методы системного анализа, онтологического анализа, методологии управления проектами и управления знаниями, методики реализации проекта. Разработка системы поддержки принятия управленческих решений позволяет повысить эффективность управления проектом на основе разработки моделей аналитической поддержки принятия решений для совершенствования процессов проектирования, производства оборудования и его последующей установки.

*Ключевые слова:* управление проектом, онтология, интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений, база правил, имитационная модель.

R.I. Mukhametianova, L.R. Chernyahovskaya, D.A. Rizvanov

DEVELOPMENT OF A BASE OF FUZZY RULES FOR DECISION SUPPORT  
IN A PROBLEM SITUATION IN PROJECT MANAGEMENT

**Abstract.** Efficient distribution of enterprise resources between ongoing projects under the constraints caused by the external and internal environment of the enterprise is a complex task that requires the use of complex analytical apparatus, including methods of system analysis, ontological analysis, project management and knowledge management methodology, project implementation methods. The development of a management decision support system makes it possible to increase the efficiency of project management based on the development of analytical decision support models to improve the processes of design, production of equipment and its subsequent installation.

*Keywords:* project management, ontology, intelligent management decision support, rule base, simulation model.

*Введение*

В современных условиях развития производственных систем увеличивается интерес к исследованию и разработке методов и моделей управления инновационной деятельностью предприятий для обеспечения эффективности результатов производства [1–3]. Исследования, направленные на модернизацию и ускоренное инновационное развитие производственных предприятий, являются актуальными, что подтверждается проведенным анализом исследований мирового уровня в рассматриваемой области.

*Этапы и правила поддержки развития предприятия*

Научное производственное предприятие «Амма» занимается проектированием, производством оборудования для проектов, расположенных в отдаленных районах с недостаточно развитой наземной транспортной инфраструктурой, которое эксплуатируется в нефтеперерабатывающей, газоперерабатывающей и нефтехимической отраслях.

**Мухаметьянова Регина Ильфатовна**

преподаватель кафедры технической кибернетики, Уфимский университет науки и технологий, город Уфа. Область научных интересов: интеллектуальная поддержка принятия решений, управление инновационными проектами. Автор более 15 опубликованных научных работ. SPIN-код: 3868-9128, AuthorID: 944071.

Электронный адрес: lequel@mail.ru

**Черняховская Лилия Рашитовна**

доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики, Уфимский университет науки и технологий, город Уфа. Сфера научных интересов: поддержка принятия решений, управление ресурсами, интеллектуальные агенты. Автор более 160 опубликованных научных работ. SPIN-код: 4657-0445, AuthorID: 141125.

Электронный адрес: lrgchern@mail.ru

**Ризванов Дмитрий Анварович**

доктор технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский университет науки и технологий, город Уфа. Область научных интересов: поддержка принятия решений, управление ресурсами, интеллектуальные агенты. Автор более 80 опубликованных научных работ. SPIN-код: 2326-6450, AuthorID: 156664.

Электронный адрес: ridmi@mail.ru

Для решения проблемы инновационного развития данного предприятия предлагается разработка комплекса моделей и методов активизации инновационных исследований на основе онтологического анализа, управления знаниями, а также интеллектуальной поддержки принятия решений в процессе реализации проектов.

На начальном этапе разработки такой системы в ходе исследования деятельности «Амма» были определены факторы, влияющие на реализацию проектов:

- $X_1$  – оборудование и технологии;
- $X_2$  – финансы;
- $X_3$  – ресурсы;
- $X_4$  – персонал;
- $X_5$  – документация.

Каждый из этих факторов был определен на пространстве признаков, значения которых подбираются из бизнес-планов и открытых источников, к примеру, портала Федеральной службы государственной статистики (колебания курсов валют, налоговые ставки) [4]. Таким образом, фактор  $X_1$  – оборудование и технологии – был определен в пространстве следующих признаков:  $x_1^1$  – автоматизация;  $x_1^2$  – трудоемкость;  $x_1^3$  – новизна;  $x_1^4$  – стоимость;  $x_1^5$  – необходимость дополнительной сертификации сотрудника.

Фактор  $X_2$  – финансы:  $x_2^1$  – несоответствие плановой и фактической стоимости;  $x_2^2$  – свободные денежные средства;  $x_2^3$  – кредитная история;  $x_2^4$  – курс рубля;  $x_2^5$  – ставка налогов.

Фактор  $X_3$  – ресурсы:  $x_3^1$  – стоимость;  $x_3^2$  – доступность;  $x_3^3$  – качество;  $x_3^4$  – технические характеристики;  $x_3^5$  – заменимость. Фактор  $X_4$  – персонал:  $x_4^1$  – профессиональные

Разработка базы нечетких правил поддержки принятия решений в проблемной ситуации ...

компетенции;  $x_4^2$  – опыт;  $x_4^3$  – образование;  $x_4^4$  – способность к обучению;  $x_4^5$  – социальные компетенции.

Фактор  $X_5$  – документация:  $x_5^1$  – наличие необходимой сертификации;  $x_5^2$  – соответствие производственных процессов нормам;  $x_5^3$  – порядок в бухгалтерии предприятия;  $x_5^4$  – подтверждение квалификации сотрудников;  $x_5^5$  – актуальность технической документации.

Для подтверждения значимости данных факторов проводилось экспертное голосование.

На следующем этапе была проведена нормализация полученных факторов и их фаззификация. Каждому фактору были поставлены в соответствие пять термов, каждому из которых, в свою очередь, соответствует четкий диапазон значений: Very low [0–0,19]; Low [0,2–0,39]; Middle [0,4–0,59]; High [0,6–0,79]; Very high [0,8–1].

Выходной фактор, сформированный на их основе посредством механизма логического вывода Такаги – Сугено – Канга, представляет собой обобщенный показатель эффективности проекта ( $Y$ ) [5]. Полученная Fuzzy Inference System (FIS) в дальнейшем встраивается в двухуровневую иерархическую систему управления, нижний уровень которой представлен подсистемой нечеткого вывода, а верхний уровень непосредственно решает задачу оценки обобщенного показателя на основе выходных данных подсистем нижнего уровня, включающих показатели эффективности проекта [6]:  $w_1$  – прирост прибыли;  $w_2$  – удельный вес бракованной продукции;  $w_3$  – количество заказчиков;  $w_4$  – степень обеспеченности работы с людьми.

Логический вывод в рамках FIS происходит на основе базы нечетких производственных правил в виде условных операторов типа ЕСЛИ – ТО, представляющих собой нечеткую импликацию [7]:

$$\text{if } PM \text{ is } A_{i1} \text{ and } QM \text{ is } A_{i2} \text{ and } RM \text{ is } A_{i3} \text{ then Effectis } B_i, \tag{1}$$

где  $A_i, B_i$  – лингвистические значения, идентифицируемые нечетким методом через соответствующие функции принадлежности  $\mu A(x_i)$  и  $\mu B(y)$  для переменных.

Для автоматизации обработки семантики понятий и отношений между ними используется онтологический подход к поддержке принятия решений, и онтология формально определена как [8]

$$O = \langle C, R, F \rangle, \tag{2}$$

где  $C$  – конечное множество концептов (понятий) предметной области;  $R$  – конечное множество отношений между концептами;  $F$  – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и отношениях.

Формирование правил принятия решений расширяет онтологическую модель и представляет средство формализации выявленных в предметной области логических закономерностей. Правила представляют множество Rule =  $\{R_i\}$ , где  $R_i$  –  $i$ -е правило,  $i = 1$ ; правила  $R_i \in Rule$  могут быть определены как [9]

$$S, a_i, U_i, \dots, a_n, U_n, P_j, \dots, P_m, b, U_b, S', \tag{3}$$

где  $S'$  – ситуация, возникающая в результате принятого решения;  $S$  – исходная проблемная ситуация;  $a_i \in A$  – предпосылки ПС;  $n \geq 1$ ;  $U_i \in U$  – требуемые оценки степени уве-

ренности в предпосылках;  $b$  – заключение с оценкой степени уверенности  $Ub$ ;  $P_j \in P$  – есть предикаты,  $m \geq 1$ .

Примеры исходных проблемных ситуаций в зависимости от факторов могут быть следующими: «излишнее перемещение по производственному цеху», «недостаточность собственных средств предприятия», «отсутствие оперативного реагирования на поломки оборудования», «некорректное оформление документации». Знания и опыт экспертов представлены в базе знаний в виде правил и прецедентов принятия решений в проблемных ситуациях. Некоторые ситуации не всегда предполагают наличия строго регламентированных процедур управления, и часто их решение основывается на анализе накопленных при решении подобных ситуаций знаний и опыта [3; 5].

Примеры правил, разработанных в онтологии поддержки принятия решений, приведены на Рисунке 1.

Формируемые на выходе базы правил рекомендации не являются истиной в последней инстанции; они представляют собой советы по выходу из проблемной ситуации, возникающей в ходе реализации проекта, сформированной на основе накопленного опыта и мнений экспертов. Ситуация, возникающая вследствие отказа или принятия рекомендаций, характеризуется неопределенностью [10; 11].

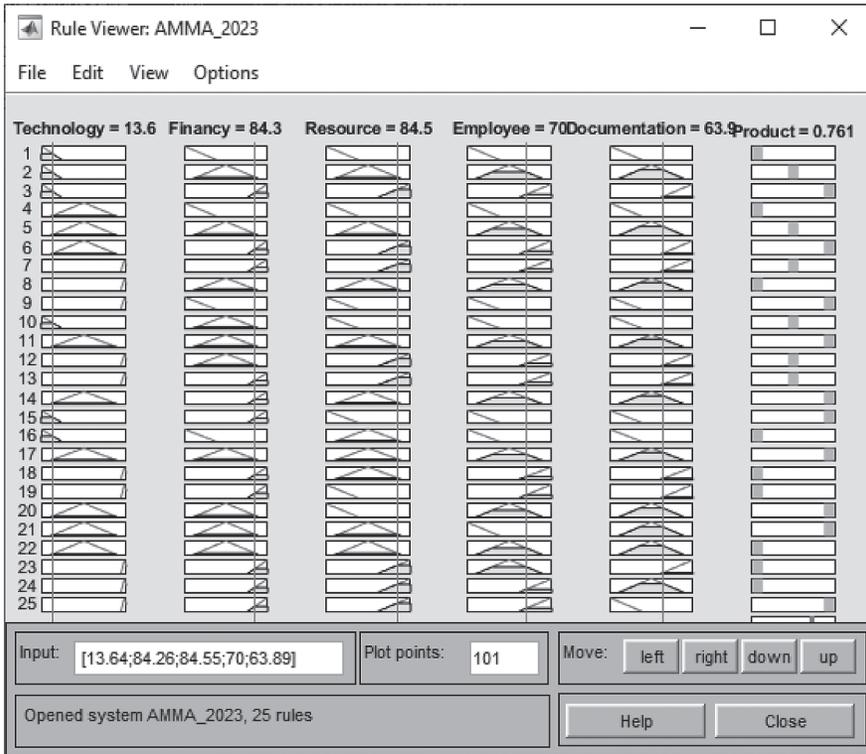
Применение теории нечетких множеств помогает оценить неопределенность знаний в предпосылках возникновения проблемной ситуации  $U_i$  путем вычисления функций принадлежности (см. Рисунок 2).



**Рисунок 1.** Формат правила, соответствующего предметной области

Источник: рисунок выполнен авторами.

Разработка базы нечетких правил поддержки принятия решений в проблемной ситуации ...



**Рисунок 2.** База знаний в виде правил и прецедентов принятия решений в проблемной ситуации  
*Источник:* рисунок выполнен авторами.

Основные трудности при использовании нечетких моделей рассмотренного типа связаны, как правило, с субъективностью определения их компонентов (нечетких высказываний, отношений, функций принадлежности, структуры базы нечетких правил и др.). Такая субъективность может привести к неадекватности моделируемой системы или процесса, что усложняет принятие обоснованных решений на основе этих моделей. Также к недостаткам нечетких продукционных моделей можно отнести отсутствие возможности автоматического приобретения знаний, то есть обучения и оптимизации параметров правил на основе экспериментальных данных.

С целью более глубокого понимания сущности рассматриваемого подхода к управлению качеством, а также механизмов функционирования предлагаемой системы поддержки принятия решений представляется естественным, что следующий этап исследования должен быть связан непосредственно с анализом взаимодействия рассмотренных элементов системы в процессе решения задач поддержки принятия решений.

#### *Выводы*

Семантическая целостность базы знаний обеспечивается использованием онтологии, позволяющей осуществить формализацию проблемной области посредством языка OWL DL на основе выделения классов объектов, их свойств и отношений между ними. Полнота, непротиворечивость, избыточность и непрерывность знаний обеспечиваются посредством создания логической модели онтологии, а корректность и адекватность

предлагаемых решений контролируются на основе их сопоставления с реально принимаемыми в конкретных проблемных ситуациях решениями, а также на основе оценки их эффективности.

Реальные задачи характеризуются неопределенностью, обусловленной недостаточностью, неполнотой и неточностью необходимой для принятия решений информации. Учет фактора неопределенности требует изменения подходов к поддержке принятия решений: изменяются формы представления исходных данных, используются специальные методы оперирования с нечеткой информацией, оптимизации и представления результатов. В контексте данного исследования для решения задач подобного типа предлагается использовать известный подход на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики.

#### *Заключение*

Современное развитие информационных технологий предоставляет новые возможности для автоматизации процедур, связанных с принятием решений. Так, использование систем поддержки принятия решений позволяет значительно ускорить процесс формирования решений и повысить их качество благодаря аналитическому обоснованию выбора альтернатив и применению экспертных знаний. Таким образом, автоматизация процедур принятия решений с помощью систем поддержки является важным направлением развития современных информационных технологий, способствующих оптимизации бизнес-процессов и повышению эффективности деятельности организаций. Кроме того, подобные системы снижают риск ошибок за счет уменьшения влияния человеческого фактора на последствия принятых необоснованных решений.

#### *Литература*

1. Инновационный менеджмент: учебное пособие / А.В. Барышева, К.В. Балдин, М.М. Ищенко, И.И. Передеряев. 3-е изд. М. : Дашков и К, 2017. 380 с. ISBN 978-5-394-01454-3.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб. : БХВ-Петербург, 2003. 719 с. ISBN 5941570872.
3. Прийма С.Н., Панин А.В. Использование компьютерных онтологий в качестве инструмента обеспечения прозрачности европейской и национальной структур квалификаций // Образовательные технологии и общество. 2013. Т. 16. № 3. С. 450–464. EDN RBREBJ.
4. Попов А.А. Системы поддержки принятия решений : учебно-методическое пособие. Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2008. 80 с. EDN XSDWFN.
5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург : Питер, 2000. 384 с. ISBN 5-272-00071-4.
6. Chernyakhovskaya L.R., Mukhametyanova R.I., Siroтина A.A. Improvement of the quality management system of industrial enterprises based on the use of corporate knowledge // Ontology of Designing. 2023. Vol. 13. No. 2 (48). P. 274–281. EDN SDSKTF. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-2-274-281
7. Gruber T. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // KR'91: Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (Cambridge, MA, USA, April 22–25, 1991). Cambridge : Morgan Kaufmann, 1991. P. 601–602.
8. Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies used for knowledge sharing // International Journal of Human-Computer Studies. 1995. Vol. 43. No. 5–6. Pp. 907–928. DOI: 10.1006/ijhc.1995.1081
9. Guarino N. Formal ontology in information systems // Proceedings of the First International Conference FOIS'98 (Trento, Italy, June 6–8, 1998). Amsterdam : IOS Press, 1998. Pp. 3–15.

Разработка базы нечетких правил поддержки принятия решений в проблемной ситуации ...

10. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzy Inference System // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1993. Vol. 23. No. 3. Pp. 665–685. DOI: 10.1109/21.256541
11. Keen P.G.W., Scott Morton M.S. Decision Support Systems: An organizational perspective. MA : Addison-Wesley Publishing Company, 1978, 264 p. ISBN 9780201036671.

### References

1. Barysheva A.V., Baldin K.V., Ishchenko M.M., Perederyaev I.I. (2017) *Innovatsionnyi menedzhment* [Innovative management] : Textbook. Moscow : Dashkov and K Publ., 380 p. ISBN 978-5-394-01454-3. (In Russian).
2. Leonenkov A.V. (2003) *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzYTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and FUZZYTECH]. St. Petersburg : BHV-Petersburg Publ. 719 p. ISBN 5941570872. (In Russian).
3. Priyma S.N., Panin A.V. (2013) Using computer ontologies as a tool for ensuring transparency of European and national qualifications structures. *Educational technologies and society*. Vol. 16. No. 3. Pp. 450–464 (In Russian).
4. Popov A.L. (2008) *Sistemy podderzhki prinyatiya reshenii* [Decision support systems: Educational method]. Ekaterinburg : Ural Federal University. 80 p. (In Russian).
5. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. (2000) *Bazy znaniy intellektual'nykh sistem* [Knowledge bases of intelligent systems]. St. Petersburg : Peter Publ. 384 p. ISBN 5-272-00071-4. (In Russian).
6. Chernyakhovskaya L.R., Mukhametyanova R.I., Sirotnina A.A. (2023) Improvement of the quality management system of industrial enterprises based on the use of corporate knowledge. *Ontology of Designing*. Vol. 13. No. 2 (48). Pp. 274–281. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-2-274-281
7. Gruber T. (1991) The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. In: *KR'91: Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning* (Cambridge, MA, USA, April 22–25, 1991). Cambridge : Morgan Kaufmann. Pp. 601–602.
8. Gruber T. (1995) Toward Principles for the Design of Ontologies used fo knowledge sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*. Vol. 43. No. 5–6. Pp. 907–928. DOI: 10.1006/ijhc.1995.1081
9. Guarino N. (1998) Formal ontology in information systems. In: *Proceedings of the First International Conference FOIS'98* (Trento, Italy, June 6–8, 1998). Amsterdam : IOS Press, 1998, Pp. 3–15.
10. Jang J.-S.R. (1993) ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol. 23. No. 3. Pp. 665–685. DOI: 10.1109/21.256541
11. Keen P.G.W., Scott Morton M.S. (1978) *Decision Support Systems: An organizational perspective*. MA : Addison-Wesley Publishing Company. 264 p. ISBN 9780201036671.