

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ОТБОРЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ ИХ УЛУЧШЕНИЯ

ГОЛЛАЙ А.В., ЛОГИНОВСКИЙ О.В.

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

**Аннотация.** Совершенствование технологических процессов промышленного предприятия является одной из стратегических задач системы управления. На практике доля успешных проектов остается незначительной, поэтому актуальным остается вопрос повышение доли таких проектов в общем числе проектов по улучшению производственной деятельности.

В статье описывается процесс отбора технологий, являющихся перспективными с точки зрения повышения их эффективности. Отбор строится с использованием математического аппарата теории нечетких множеств. В предлагаемой методике отбора используются классические критерии, которые подвергаются фазификации. После этого все математические преобразования выполняются на нечетких множествах. Окончательным результатом является ранжированный список технологических процессов предприятия, с высокой вероятностью успешной реализации проекта по улучшению данного процесса.

Несомненным преимуществом предлагаемой методологии является использование математического аппарата теории нечетких множеств, что позволяет проводить процесс отбора технологий в интуитивно понятных условиях, упрощает внедрение методологии в практику управления промышленными предприятиями.

**Ключевые слова:** индустриальные технологии, технологическое развитие, технологические процессы, принятие решений, нечеткие множества, функция принадлежности.

### Введение

Одной из важнейших задач проведения политики технико-технологического улучшения на промышленном предприятии является поиск перспективных технологий, на которых необходимо сосредоточить внимание инженеров с целью их улучшения.

Чаще всего данная задача решается посредством анализа предыдущего опыта работы предприятия. Исследуется один из критериев  $K_i$ :

- затраты на обслуживание,
- длительность процессов,
- время простоев,

– доля в себестоимости конечной продукции и т.д.

Далее проводится ранжирование по выбранному критерию, а данные визуализируются при помощи диаграммы Парето (рис.1).

В случае выбора нескольких критериев для определения технологии, требующей улучшения, можно использовать интегрированный показатель:

$$K = \sum_{i=1}^N \beta_i \cdot K_i, \quad (1)$$

где  $\beta_i$  – весовой коэффициент частного критерия  $K_i$ ,  $N$  – количество исследуемых технологий.

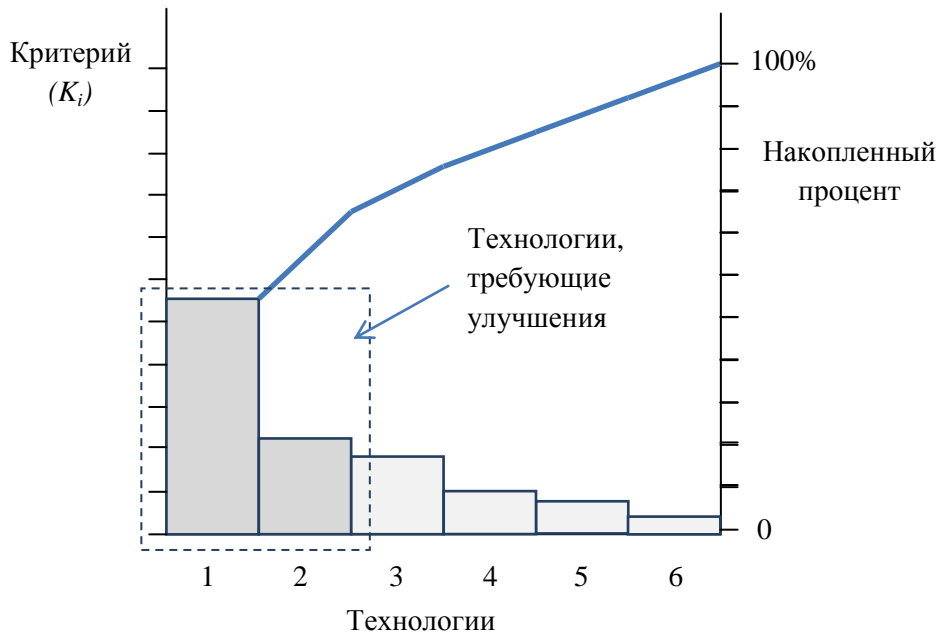


Рис. 1. Ранжирование технологий при помощи диаграммы Парето

### Актуальность

После определения «проблемного» звена в рамках используемой технологии, инициируется проект [1] по ее улучшению. Часто такие проекты могут закончиться неудачей, так как исследователям не удается получить решение, дающее существенные улучшения. Поэтому актуальной является задача повышения эффективности проводимого отбора для формирования портфеля проектов предприятия в области технологических улучшений и повышения доли успешных проектов.

### Кривая развития технологий

Известно, что любая техническая система, в том числе и технологические процессы, подчиняются закону развития по логистической кривой [13]. В момент своего появления (рис. 2, фаза I) технология обладает низкими характеристиками, далее, когда она начинает

приобретать большую популярность, множество исследователей способствуют ее существенному развитию (рис. 2, фаза II), при подходе к границам физических законов, на которых основана технология, потенциал возможных улучшений резко сокращается (рис. 2, фаза III). В фазе насыщения даже большие вложения в улучшение данной технологии не приводят к существенному росту характеристик. В этом явлении могут скрываться неудачи проектов технологического развития на промышленных предприятиях, ориентирующихся только на исторические показатели работы предприятия.

Таким образом, знания о закономерности развития технологий должны быть использованы при формировании портфеля проектов по улучшению.

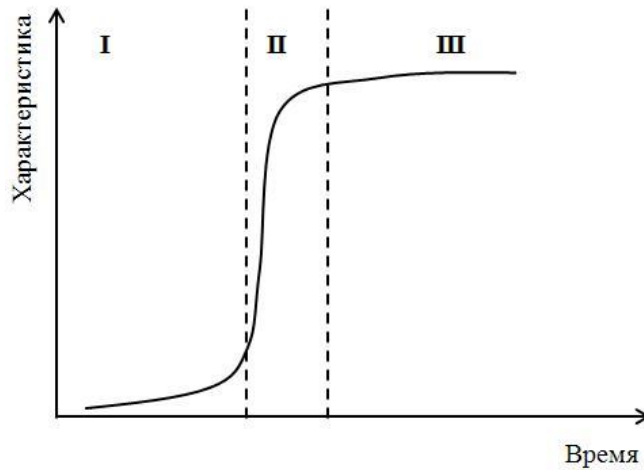


Рис. 2. Логистическая (S-образная) кривая развития технологий  
 I – фаза зарождения, II – фаза бурного роста, III – фаза зрелости

Рассмотрим множество имеющихся на предприятии технологий ( $\Omega$ ) (рис. 3). В результате отбора, основанного на исторических данных, на множестве  $\Omega$  можно выявить множество «проблемных» технологий  $A$  ( $A \subset \Omega$ ). Как было сказано выше, множество  $A$  содержит технологии, имеющие как существенный, так и не существенный потенциал развития (рис. 3, а). Для проведения анализа имеющихся технологий с точки зре-

ния потенциала улучшений, выделим множество  $B$  ( $B \subset \Omega$ ), как множество технологий, имеющих высокий потенциал улучшений. Пересечение ( $A \cap B$ ), будет представлять множество технологий, имеющих, как существенное значение для предприятия, так и высокий потенциал улучшений (рис. 3, б). Эффективность проектов, направленных на улучшение технологий, из множества ( $A \cap B$ ) будет более высокой.

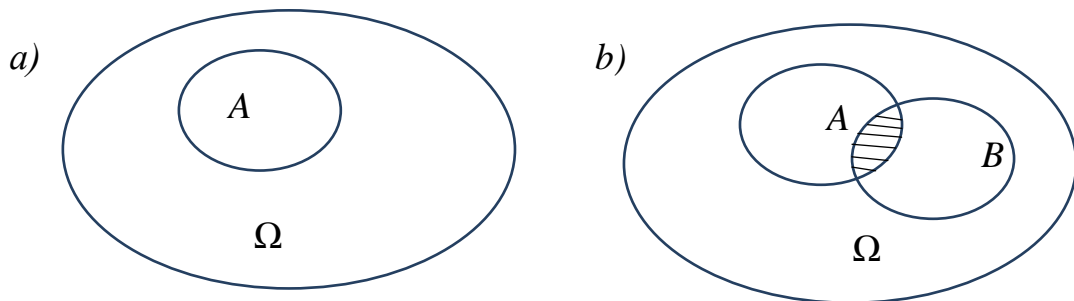


Рис. 3. Диаграммы Венна для совокупности технологий предприятия

- a) отбор на базе исторической информации,
- b) отбор на базе исторической информации и учете кривой развития

**Методика отбора технологий для их последующего улучшения, на базе теории нечетких множеств**

Исследуемая задача отбора содержит большую неопределенность, вследствие влияния множества факторов на деятельность предприятия. Представляется целесообразным выразить информацию, используя нечеткие множества. Основоположителем мате-

матической теории нечетких множеств является Л.А. Заде [5]. Значительный вклад в ее развитие внесли А.Н. Мелизов, А.Н. Борисов [7, 6], С.А. Орловский [11], Х. Райф [14], А. Кофман [8, 9], и др. Из современных авторов можно выделить А. Пегата [12], С. Готвальда [2], А. Недосекина [3], В. Силера [4], А. Шаталов [15], Д. Мухамедиеву [10].

Наиболее целесообразным представляется проведение отбора технологий для реализа-

ции проектов по их улучшению по следующему алгоритму (рис. 4).

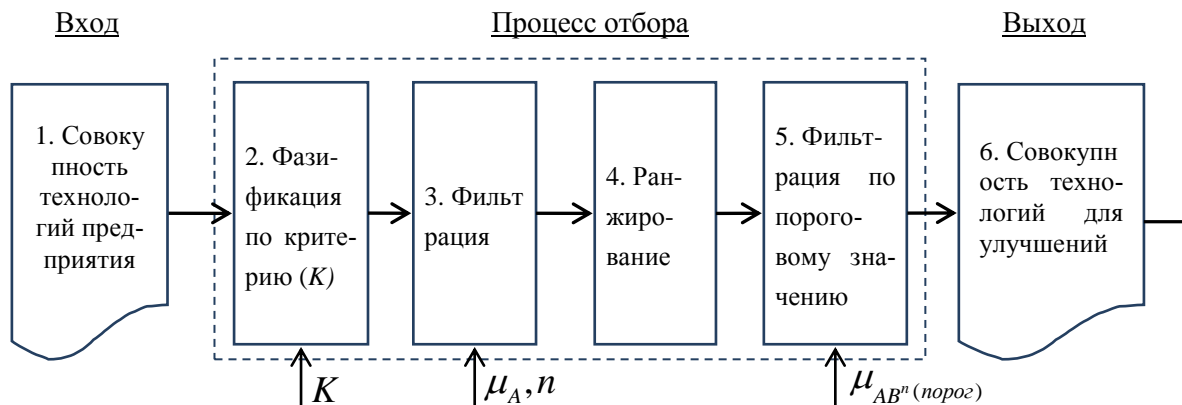


Рис. 4. Блок-схема проведения отбора технологий для реализации проектов по их улучшению

**Блок 1 (Вход). Совокупность технологий предприятия.** Каждое промышленное предприятие можно представить как совокупность технологий, выявление и формализация которых представляется важной частью процесса управления. На входе процесса отбора технологий подается вся совокупность технологий, среди которых необходимо провести отбор.

**Блок 2. Фашификация по критерию (K).** Важность каждой исследуемой технологии может быть оценена по агрегированному критерию  $K$  (1). После чего необходимо провести процедуру фашификации (перевода в термины нечетких множеств). Для этого определим нечеткое множество  $\tilde{A}$  через

$$\tilde{A} = \{(\langle \text{технология}_1 \rangle, \mu_{a_1}), (\langle \text{технология}_2 \rangle, \mu_{a_2}), \dots, (\langle \text{технология}_N \rangle, \mu_{a_N})\}, \quad (3)$$

где  $\mu_{a_i}$  – функция принадлежности  $i$ -технологии к нечеткому множеству  $\tilde{A}$ ,  $a_1$  – технология 1,  $a_2$  – технология 2 и т.д.

Если выбирать критерий ранжирования ( $K$ ) такой, что чем больше его значение, тем

функцию принадлежности  $\mu_A : A \rightarrow [0, 1]$ . Функция принадлежности  $\mu_A$  принимает значения от 0 до 1 и показывает степень принадлежности элемента  $a \in A$  нечеткому множеству  $\tilde{A}$ . Обычное множество  $A$  называется базовым множеством.

Пусть базовое множество  $A$  – множество технологий предприятий, требующих улучшений:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{технология}_1 \rangle, \langle \text{технология}_2 \rangle, \dots \\ \dots, \langle \text{технология}_N \rangle \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Тогда нечеткое множество технологий, требующих улучшений, будет задаваться следующим образом:

предприятие больше нуждается в улучшении данной технологии, то для описания функции принадлежности может быть выбрана S-образная функция, описываемая следующими уравнениями:

$$s(a, \delta_1, \delta_2, \delta_3) = \begin{cases} 0, & a \leq \delta_1, \\ 2 \left( \frac{a - \delta_1}{\delta_3 - \delta_1} \right)^2, & \delta_1 \leq a \leq \delta_2, \\ 1 - 2 \left( \frac{a - \delta_3}{\delta_3 - \delta_1} \right)^2, & \delta_2 \leq a \leq \delta_3, \\ 1, & a \geq \delta_3, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\delta_2 = \frac{\delta_1 + \delta_3}{2}$ .

Обобщая мнение экспертов, отвечающих на вопрос: «При каком значении критерия

(K) технология требует улучшений в первую очередь?», можно рассчитать значения  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  и построить функцию принадлежности (рис. 5).

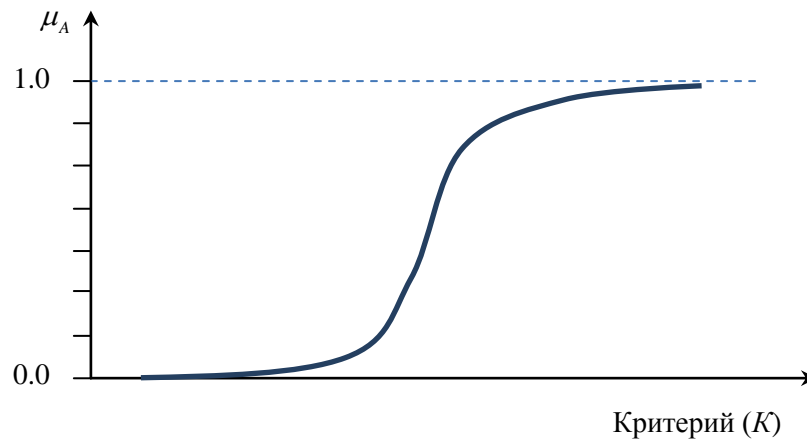


Рис. 5 Функция принадлежности, показывающая принадлежность технологии к множеству «технологий требующих улучшений» в зависимости от расчетного критерия

Таким образом, на выходе данного блока будет нечеткое множество  $\tilde{A}$ , в котором каждой технологии предприятия будет задана функция принадлежности  $\mu_{a_i}$  (3).

**Блок 3. Фильтрация.** Обратимся к рисунку 2, где было показано, что развитие технологий происходит по S-образной кривой. Наибольший интерес для реализации проектов по улучшению представляет фаза II – развитие (бурный рост). Разработка технологий в фазе I слишком рискованна и характеризуется большой вероятностью неудачи. Разработка технологий в фазе III не пред-

ставляется перспективной, так как достигнуты пределы физических законов. В III фазе необходимо проводить исследования с целью замены технологии на принципиально новую.

Поставим перед экспертами вопрос о принадлежности (в смысле теории нечетких множеств) технологий к фазе бурного развития.

Введем нечеткое множество  $\tilde{B}$  как множество технологий, находящихся на стадии бурного развития:

$$\tilde{B} = \{(\langle \text{технология}_1 \rangle, \mu_{b_1}), (\langle \text{технология}_2 \rangle, \mu_{b_2}), \dots, (\langle \text{технология}_N \rangle, \mu_{b_N})\}, \quad (5)$$

где  $\mu_{b_i}$  – функция принадлежности  $i$ -технологии к нечеткому множеству  $\tilde{B}$ .

Далее для реализации фильтрации введем операцию над нечеткими множествами следующего вида:

$$\begin{aligned} \mu_{AB} &= \mu_A(a) \cdot \mu_B(b), \\ \mu_{AB^2} &= \mu_A(a) \cdot \mu_B^2(b), \\ &\dots \\ \mu_{AB^n} &= \mu_A(a) \cdot \mu_B^n(b). \end{aligned} \quad (6)$$

По своей сути данная операция представляет собой применение фильтра один, два и  $n$  раз. Кратность фильтра ( $n$ ) зависит от того, насколько важным исследователь считает фактор развития технологии по S-образной кривой развития.

При  $n=0$ ,

$$\mu_{AB^0} = \mu_A(a) \cdot \mu_B^0(b) = \mu_A(a) \cdot 1 = \mu_A(a), \quad (7)$$

т.е. фильтр не применяется, и ранжирование производится только с учетом критерия  $K$ .

**Блок 4. Ранжирование.** Проведем ранжирование (упорядочение) технологий по уменьшению функции принадлежности  $\mu_{AB^n}$ . Чем больше значение  $\mu_{AB^n}$ , тем более важная (более «проблемная») для предприятия и перспективная (с точки зрения реализации потенциала развития) технология.

**Блок 5. Фильтрация по пороговому значению.** Можно ввести пороговое значение  $\mu_{AB^n}$ . Технологии, имеющие функцию принадлежности меньше этого значения, будут не перспективны для реализации проектов по их улучшению (рис. 6).

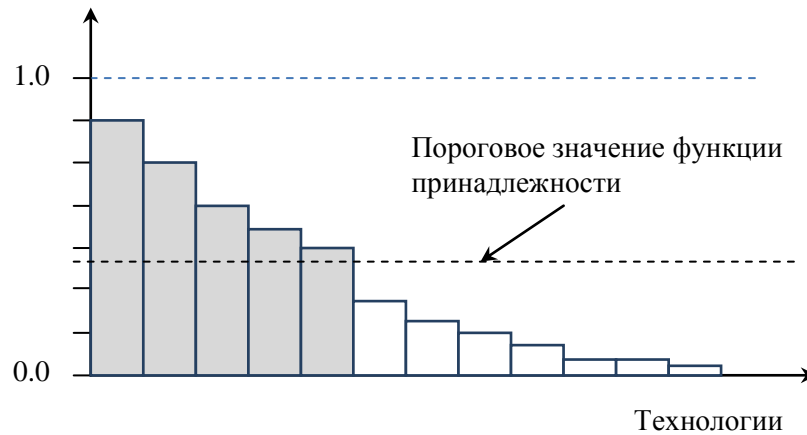


Рис. 6. Реализация ранжирования и фильтрации по пороговому значению функции принадлежности  $\mu_{AB^n}$

**Блок 6 (Выход). Совокупность технологий для улучшений.** По окончании процесса отбора, на выходе будем иметь ранжированный список технологий предприятия, которые можно использовать для формирования портфеля проектов по улучшению производственной деятельности.

**Адаптация методики**

В ходе реализации проектов может потребоваться адаптация предложенной методики. В ней имеются следующие параметры, которые могут быть изменены:

- критерий  $K$  (частные критерии  $K_i$ ) – блок 1,

- функция принадлежности  $i$ -технологии к нечеткому множеству технологий, требующих улучшений  $\mu_A$  (рисунок 5) – блок 3,
- кратность фильтра  $n$  – блок 3,
- пороговое значение функции принадлежности  $\mu_{AB^n}$  (порог) – блок 5.

**Выводы**

Предложенная методика отбора технологий промышленного предприятия позволяет повысить долю успешно реализованных проектов по улучшению производственной деятельности за счет отбора, использующего как данные за предыдущие периоды деятельности предприятия, так и знания о стадии развития технологии. Несомненным преимуществом предлагаемой методики является ис-

пользование математического аппарата теории нечетких множеств, позволяющего вести процесс отбора технологий в интуитивно понятных терминах, что упрощает внедрение

методики в практику управления промышленным предприятием.

#### Литература:

1. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Знание, 1990. – 184 с.
2. Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева, Н.Н. Слезь, В.И. Глушков. – М: Радио и связь, 1989. – 304 с.
3. Гельруд, Я.Д. Управление проектами: методы: модели, системы: монография / Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский; под ред. Д-ра техн. Наук, проф. А.Л. Шестакова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 330 с.
4. Gottwald, S. Universes of Fuzzy Sets and Axiomatizations of Fuzzy Set Theory. Part I: Model-Based and Axiomatic Approaches / S. Gottwald. – *Studia Logica*, 2006. – 82 (2): С. 211–244. DOI:10.1007/s11225-006-7197-8
5. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств в управлении предприятием / А. Кофман, А.Х. Хил. - Минск: Высшая школа, 1992. – 224 с.
6. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М: Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. Мухамедиева, Д. Разработка нечетких моделей задач принятия решений / Д.Мухамедиева. – Palmarium Academic Publishing, 2014 – 196с.
8. Nedosekin, A. Fuzzy financial management. / A. Nedosekin. – М: Alfa library, 2003 – 68 p.
9. Орловский, С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М: Наука, 1981. – 208 с.
10. Петров, В.П. Закон увеличения степени идеальности / В.П. Петров. – Тель-Авив, 2002. – <http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/zrts-08-ideal.pdf>.
11. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2017. – 798 с.
12. Райф, Х. Анализ решений. Введение в проблему выбора в условиях неопределенности / Х. Райф. – М: Наука, 1989. – 408 с.
13. Шаталов, А. Теория нечетких множеств в оценке эффективности проектов / А. Шаталов. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012 – 96с.
14. Siler, W. Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning / W. Siler, J. Buckley. – Birmingham: Wiley Interscience, 2005. – 422 с.
15. Zadeh, L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility Systems: tutorial / L.A. Zadeh. – Holland: publishing house North-Holland, 1978. – 34 p.

**Голлай Александр Владимирович**, канд. хим. наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятиях строительства и землеустройства высшей школы экономики и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; alexander@hollay.ru.

**Логиновский Олег Витальевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах высшей школы электроники и компьютерных наук, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; loginovskiyo@mail.ru.

Дата поступления 15 января 2018 г.

DOI: 10.14529/iiinj180104

## USING THE THEORY OF FUZZY SETS IN SELECTING TECHNOLOGIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISE FOR THEIR IMPROVED

HOLLAY A.V., LOGINOVSKIY O.V.

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

### Abstract.

Improving the technological processes of an industrial enterprise is an important strategic target of management. In practice, the share of successful projects remains insignificant, so the issue remains to increase the proportion of successful projects in the total number of projects to improve production.

The article describes the process of selecting technologies that are promising in terms of increasing their effectiveness. Selection is based on the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets. The proposed selection methodology uses classical criteria, which are subjected to fuzzification. All mathematical transformations are performed on fuzzy sets. The final result is a ranked list of technological processes of the enterprise, with a high probability of successful implementation of the project to improve this process.

An undoubted advantage of the proposed methodology is the use of the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets, which makes it possible to carry out the process of selecting technologies in intuitively understandable conditions, simplifying the introduction of methodology into the practice of industrial enterprise management.

**Keywords:** industrial technology, technological development, technological processes, managerial decisions, fuzzy set, membership function, evaluation

### References

1. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie reshenij na osnove nechetkikh modelej [Decision-making on the basis of fuzzy models]. Riga, Znanie, 1990. 184 p.
2. Borisov, A.N., Alekseyev A.V., Merkuryeva G.V., Slez N.N., Glushkov V.I. Obrabotka nechetkoj informatsii v sistemakh prinyatiya reshenij [Processing of fuzzy information in decision-making systems]. Moscow, Radio I Svyaz, 1989. 304 p.
3. Gelrud J.D., Loginovskiy O.V. Upravlenie proektami: metody: modeli, sistemy: monografiya [Project management: methods, models, systems]. Chelyabinsk, Publishing center SUSU, 2015. 330 p.
4. Gottwald, S. Universes of Fuzzy Sets and Axiomatizations of Fuzzy Set Theory. Part I: Model-Based and Axiomatic Approaches. *Studia Logica*, 2006, 82(2). Pp. 211–244. doi:10.1007/s11225-006-7197-8
5. Kofman, A., A.Kh. Khil. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv v upravlenii predpriyatiem [Introduction to fuzzy sets theory in enterprise management]. Minsk, Vysshaya Shkola, 1992. 224 p.
6. Kofman, A. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to fuzzy sets theory]. Moscow, Radio I Svyaz, 1982. 432 p.
7. Mukhamediyeva, D. Razrabotka nechetkikh modelej zadach prinyatiya reshenij [Developing fuzzy models of decision-making tasks]. Palmarium Academic Publishing, 2014. 196 p.
8. Nedosekin A. Fuzzy financial management. Moscow, Alfa library, 2003. 68 p.
9. Orlovsky S.A. Problemy prinyatiya reshenij pri nechetkoj iskhodnoj informatsii [Decision-making problems with fuzzy input information]. Moscow, Nauka, 1981. 208 p.
10. Petrov V.P. Zakon uvelicheniya stepeni ideal'nosti [Law of increasing the degree of perfection]. Tel Aviv, 2002. Available at: <http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/zrts-08-ideal.pdf>.
11. Piegat, A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy modelling and management]. Moscow, BINOM, Laboratoria Znaniy, 2017. 798 p.



12. Raif H. Analiz reshenij. Vvedenie v problemu vybora v usloviyakh ne-opredelennosti [Analysis of decisions. Introduction to selection problem under uncertainty]. Moscow, Nauka, 1989. 408 p.
13. Shatalov A. Teoriya nechetkikh mnozhestv v otsenke ehffektivnosti proektov [Fuzzy sets theory in evaluating project efficiency]. LAP Lambert Academic Publishing, 2012 – 96p.
14. Siler W., Buckley J. Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning. Birmingham, Wiley Interscience, 2005. 422 c.
15. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility Systems: tutorial – Holland: publishing house North-Holland, 1978. – 34 p.

**Hollay Alexander Vladimirovich** – Candidate of chemical sciences, assistant professor of the Department “Economics and management in construction and land development”, School of Economics and Management, South Ural State University, Chelyabinsk; alexander@hollay.ru.

**Loginovskiy Oleg Vitalievich** – Dr. of Tech. Sciences, Prof., Head of Department “Informational and analytical support of control in social and economic systems”, School of Electrical Engineering and Computer Science, South Ural State University, Chelyabinsk; loginovskiyo@mail.ru.

**Received 15 January 2018**

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Голлай, А.В. Использование теории нечетких множеств при отборе технологий промышленного предприятия для их улучшения / А.В. Голлай, О.В. Логиновский // *Журнал управление инвестициями и инновациями.* – 2018. – №1. Стр. 35–43. DOI: 10.14529/iimj180104

**FOR CITATION**

Hollay A.V., Loginovskiy O.V. Using the theory of fuzzy sets in selecting technologies of industrial enterprise for their improved. *Investment and innovation management journal.* – 2018. – No. 1. Pp. 35–43. DOI: 10.14529/iimj180104

---