

УДК 004.891 + 65.012.123

DOI: 10.22213/2410-9304-2019-4-129-136

МЕТОДЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ*

В. А. Тененев, доктор физико-математических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
О. М. Шаталова, кандидат экономических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье освещены результаты разработки методического обеспечения механизма логического вывода в составе экспертных систем прогнозирования инновационных процессов на промышленных производственных предприятиях. Актуальность экспертных систем в исследуемой предметной области обусловлена высокой организационной сложностью и существенной неопределенностью инновационных процессов. Логический вывод в составе экспертной системы выполняет функцию воспроизведения логики принятия решений, приемлемой в заданной предметной области. Решение поставленной задачи основано на следующих условиях: логический вывод реализуется по критерию эффективности; эффективность оценивается как мера соответствия между требуемыми и ожидаемыми значениями трех ключевых параметров – целевой эффект, стоимость ресурсов, сроки; показатель эффективности представлен в векторной форме (как трехмерный вектор параметров эффективности); функция соответствия реализуется через нечеткий логический вывод; содержание каждого из параметров эффективности (состав факторов) раскрывается в соответствии с онтологией инновационного процесса; состав факторов эффективности представлен структурной моделью; оценка факторов производится детерминированными и экспертными методами; отношения между факторами реализуются в виде нечетких правил, а также через детерминированные связи; параметры нечеткого логического вывода формируются в соответствии с общей методологией нечетко-множественного моделирования, при этом функция вывода реализуется через взвешенную оценку правил, а весовые коэффициенты определяются экспертными методами; экспертная оценка весовых коэффициентов проводится в контексте исследуемых стратегий инновационного процесса. Комплексное методическое обеспечение механизма нечеткого логического вывода в экспертной системе прогнозирования инновационных процессов направлено на учет технико-экономических характеристик инновационного процесса, стратегического контекста его реализации, значимых ограничений организационной системы. Разработанные методы нечеткого логического вывода обеспечивают корректный и интуитивно понятный перевод ментальных рассуждений ЛПР (в лингвистической форме) на языковые средства математики; этому способствует в том числе использование метода взвешенной оценки правил при реализации функции вывода, соответствующей ментальным критериям эвристического анализа.

Ключевые слова: технологические инновации, нечетко-множественное моделирование, экспертные системы, эффективность, системный подход, неопределенность.

Введение

Под экспертными системами понимают интеллектуальные компьютерные программы, использующие знания и процедуры логического вывода для решения проблем, которые достаточно сложны и требуют значительного человеческого опыта для их решения; знания, необходимые для работы на таком уровне, а также используемые процедуры вывода могут рассматриваться как модель опыта лучших практик в этой области [1]. Используемые при построении экспертных систем знания включают в себя: 1) факты и общепринятые нормы, сложившиеся в исследуемой области, 2) эвристические знания, которые вытекают из правил надлежащей практики и составляют правила экспертизы и правдоподобных рассуждений. В соответствии с этим положением в структуре экспертной системы выделяют два основных элемента – база знаний и интерпретатор (решатель) [2]; рядом исследователей предлагается расширенная структура экспертной системы – включение в ее состав подсистемы объяснений и подсистемы связи с пользователем [3, с. 53], [4].

Основу экспертной системы составляет онтология исследуемого объекта и приемлемый для этого объекта механизм логического вывода. Онтология обеспечивает функции формирования базы знаний посредством корректной спецификации концептов,

отношений между ними (предикатов), набора аксиом и правил. Механизм логического вывода обеспечивает функции решателя и направлен на воспроизведение логики принятия решений в заданной предметной области; это достигается за счет использования: а) формализмов моделирования новизны – набора продукционных правил в грамматической конструкции «ЕСЛИ ... (антедент), ТО ... (консеквент)», б) введения так называемого когнитивного процессора (в терминологии Дж. Джарратано), осуществляющего активизацию правил в соответствии с актуальными стимулами. В отличие от общих методов решения задач, разработка экспертных систем предполагает их использование в конкретной предметной области, т. е. экспертная система включает специфические концепты, предикаты, аксиомы, продукционные правила и механизмы активизации правил. Построение и функционирование экспертной системы является результатом взаимодействия специалиста в области инженерии знаний и эксперта в исследуемой области знаний. В рамках проводимого исследования были изучены возможности построения экспертных систем прогнозирования в управлении инновационными процессами на промышленных производственных предприятиях. В ходе исследования была составлена онтология инновационного процесса и основанный на этой онтологии механизм

вывода, обеспечивающий прогнозирование инновационного процесса и сопоставление альтернативных вариантов по критерию эффективности. Механизм вывода в составе разрабатываемой экспертной системы организован в форме нечетко-множественной модели эффективности инновационного процесса (НММ *W*). В формировании механизма вывода высокую актуальность приобретает как состав исследуемых факторов, так и используемые методы нечеткого логического вывода (НЛВ).

Содержание нечетко-множественной модели логического вывода по критерию эффективности инновационного процесса

При построении модели мы исходили из ряда существенных предпосылок.

1. Эффективность – универсальный критерий принятия решений, т. е. правило, позволяющее сопоставлять стратегии и осуществлять направленный выбор из множества допустимых альтернатив.

2. Эффективность, с позиций системного подхода, рассматривается как свойство целенаправленной деятельности, объективно выражаемое степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени, т. е. количественная оценка эффективности может быть представлена через специально вводимую функцию соответствия ρ :

$$W = \rho(Y_{тр}, Y(u)) \tag{1}$$

где $Y(u)$ – целевой результат функционирования системы в рамках исследуемой стратегии (u); $Y_{тр}$ – результат, который обеспечивает требуемые свойства системы (устойчивость, управляемость, надежность, самоорганизация и т. д.).

Под целевым результатом в этом случае понимается трехмерный вектор базовых параметров эффективности W :

$$Y = |q, C, T|^T, \tag{2}$$

где q – полезный (целевой) эффект; C – затраченные ресурсы; T – сроки.

3. Вид функции соответствия ρ должен приниматься в зависимости от цели и условий функционирования системы, задачи исследования [5, с. 30]. Учитывая высокую неопределенность систем управления инновационными процессами, предложено реализовывать функцию соответствия ρ через НЛВ. В этом случае категория «эффективность» отождествляется с мерой соответствия фактических (прогнозируемых) значений каждого из параметров $Y(u)$ с допустимыми значениями. Применение НЛВ в оценке эффективности направлено на реализацию существенных условий решения проблемы неопределенности: использование формализованных способов моделирования новизны; использование тривалетной логики; расширение состава исследуемых факторов, раскрывающих онтологию процесса и гибкий подход к их составу; нечеткое («размытое») представление оцениваемых параметров и результатов; адаптивность суждений.

4. Содержание параметров эффективности – q, C, T – сформировано на основании общей онтологии инновационного процесса и его целевой функции; расширенное представление содержания параметров q, C, T приведено в работе [6].

Структура описываемой НММ W , отражающая состав факторов эффективности, представлена на рис. 1.

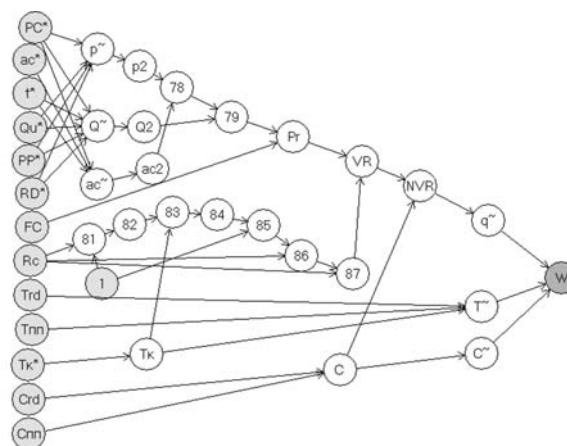


Рис. 1. Структура НММ W

В составе рассматриваемой модели использован комплекс экономически и управленчески значимых параметров:

1) PC^* – экспертная оценка производственной мощности (ПМ), формируемой в рамках инновационного процесса, как характеристика достаточности и неизбыточности ПМ для обеспечения стратегических целей предприятия и конкурентоспособности товара при принятом типе стратегии;

2) avc^* – экспертная оценка достигаемой производственной экономичности, как характеристика гибкости в управлении производственными затратами и ценообразовании;

3) Qu^* – экспертная оценка достигаемых технико-эксплуатационных или потребительских показателей качества товара (объекта инновационного процесса), как характеристика потребительской ценности и возможностей товарной дифференциации продукции;

4) RD^* – экспертная оценка уровня научно-технических разработок, лежащих в основе инновации, а также условий правовой охраны соответствующих объектов интеллектуальной собственности, как характеристика рыночного лидерства и возможностей его сохранения в течение времени;

5) PP^* – экспертная оценка степени соответствия товара – объекта инновационного процесса, сложившейся конкурентной стратегии предприятия, как характеристика обеспечения «синергизма продаж» (в терминологии И. Ансоффа [8, с. 132]);

6) i^* – экспертная оценка уровня технологичности изделия – объекта инновационного процесса и условий его производства, как характеристика надежности обеспечения заданных (прогнозных) параметров по avc, Qu, PC ;

7) FC – прогнозный объем условно-постоянных операционных затрат; детерминированная оценка, основанная на результатах разработки технологического процесса;

8) R_c – ставка доходности собственного капитала, формируемая экспертом в зависимости от сложившейся среднерыночной стоимости капитала и внутриорганизационных условий отдачи собственного капитала предприятия;

9) C_{RD} – единовременные расходы (ЕВР) на НИОКТР; детерминированная оценка, основанная на структурном и стоимостном анализе процесса НИОКТР;

10) $C_{ПП}$ – ЕВР на подготовку производства; детерминированная оценка, основанная на структурном и стоимостном анализе процесса «постановка на производство»;

11) T_{RD} – продолжительность этапа НИОКТР; детерминированная оценка, основанная на структурном анализе процесса НИОКТР;

12) $T_{ПП}$ – продолжительность этапа «постановка на производство»; детерминированная оценка, основанная на структурном анализе процесса НИОКТР;

13) T_k^* – экспертная оценка условий, определяющих продолжительность стадии «рыночная коммерциализация»;

14) \tilde{Q} – балльная оценка объема продаж, полученная средствами НЛВ, с учетом актуальных предпочтений ЛПП (в зависимости от типа стратегии);

15) $\tilde{a}c$ – балльная оценка производственных издержек, полученная средствами НЛВ, с учетом актуальных предпочтений ЛПП (в зависимости от типа стратегии);

16) \tilde{p} – балльная оценка ценовых характеристик, полученная средствами НЛВ, с учетом актуальных предпочтений ЛПП (в зависимости от типа стратегии);

17) Q_2 – численное значение объема продаж (в натуральных единицах измерения), определяемая средствами НЛВ при экспертно задаваемом интервале допустимых значений используемых терм-множеств;

18) ac_2 – численное значение средних производственных издержек (в стоимостных единицах измерения), определяемое средствами НЛВ при экспертно задаваемом интервале допустимых значений используемых терм-множеств;

19) p_2 – численное значение средних производственных издержек (в стоимостных единицах измерения), определяемое средствами НЛВ при экспертно задаваемом интервале допустимых значений используемых терм-множеств;

20) T_k – оценочная величина срока стадии «рыночная коммерциализация», полученная средствами НЛВ – с учетом экспертных оценок (в составе T_k^*), актуальных предпочтений ЛПП и ограничений, при заданном интервале допустимых значений используемых терм-множеств;

21) Pr – расчетная оценка релевантной операционной прибыли (за дискретный период), ожидаемой

в результате инновационного процесса; порядок оценки определяется типом инновации:

а) для продуктовой инновации

$$Pr = \sum_i Q_i \times (p_i - ac_i) - FC, \quad (3)$$

где i – номенклатура производимой продукции (в составе инновационного процесса);

б) для процессной инновации, обеспечивающей производственную экономичность

$$Pr = \sum_i Q_i^1 \times \Delta ac_i - FC; \quad (4)$$

в) для процессной инновации, обеспечивающей повышение производительности

$$Pr = \sum_i Q_i \times (p_i^0 - ac_i^0) - FC; \quad (5)$$

г) для процессной инновации, обеспечивающей повышение качественных характеристик товара и, как следствие, ценовых характеристик

$$Pr = \sum_i Q_i^1 \times \Delta p_i - FC. \quad (6)$$

22) VR – капитализированный доход за расчетный период, исчисляемый по релевантной операционной прибыли Pr и расчетной ставке капитализации R :

$$VR = Pr / R, \quad (7)$$

расчет ставки капитализации R проводится с использованием модели Инвуда:

$$R = R_c + R_{вк}, \quad (8)$$

где R_c – заданная ставка доходности собственного капитала; $R_{вк}$ – ставка возмещения капитала, вычисляемая с использованием функции «фактор фонда возмещения»:

$$R_{вк} = \frac{R_c}{\left((1 + R_c)^{T_k} - 1 \right)}; \quad (9)$$

23) NVR – чистый капитализированный доход:

$$NVR = VR - C, \quad (10)$$

где C – сумма ЕВР на разработку и постановку на производство ТИ:

$$C = C_{rd} + C_{пп}; \quad (11)$$

24) \tilde{q} – полученная средствами НЛВ балльная оценка q с учетом инвестиционно-финансовых предпочтений в системе управления инновационным процессом;

25) \tilde{C} – полученная средствами НЛВ балльная оценка C с учетом инвестиционно-финансовых возможностей /ограничений (далее – ИФО) в системе РППТН;

26) \tilde{T} – полученная средствами НЛВ балльная оценка T с учетом прогнозных оценок стадий жизненного цикла инновации.

Связи между элементами модели реализованы следующим образом:

а) в оценке Pr , VR , NVR – через алгебраические функции (3)–(11), которые выполняются в узлах 78–87;

б) в оценке \tilde{Q} , \tilde{ac} , \tilde{p} , $Q2$, $ac2$, $p2$, \tilde{q} , \tilde{C} , \tilde{T} , W – через функции НЛВ.

Организация нечеткого вывода

Связи между элементами в описываемой модели имеют два типа: 1) связи в виде нечетких правил; 2) детерминированные связи.

Нечеткие правила для связи, соединяющей элементы входа (X) и выхода (Y), имеют следующую структуру:

$$x \rightarrow y \text{ или } \text{if } x \in T_x \text{ then } y \in T_y, \quad (12)$$

где x и y – лингвистические переменные, соответствующие элементам X и Y ; T_x, T_y – терм-множества.

Для лингвистических переменных задаются функции принадлежности $\mu(x), \mu(y)$. Значения переменных выбираются из множества уровней $T = \{T_i\} = \{L, M, H\}, i = 1, 2, 3$ (низкий, средний, высокий).

Правило (12) примет в этом случае вид:

$$\text{if } x = T_i \text{ then } y = T_j, i = \overline{1, 3}; j = \overline{1, 3}. \quad (13)$$

Для упрощения задания параметров функций принадлежности принимается ортогональный тип на основе функции Гаусса:

$$\mu_i(x) = \exp\left(-\frac{(x - m_i)^2}{\sigma_i^2}\right), \quad (14)$$

где m_i – середина интервала для T_i :

$$m_i = \frac{a_i + b_i}{2}.$$

Параметр σ_i , характеризующий размытость функции принадлежности, выбирается из условия ортогональности:

$$\sigma_i = \frac{b_i - a_i}{2\sqrt{\ln 2}}. \quad (15)$$

Параметры a_i, b_i устанавливает эксперт.

Если элемент X характеризуется величиной \tilde{x} , то вклад в значение элемента Y определяется следующим образом:

1. Находится уровень

$$a_i = \mu_i(\tilde{x}). \quad (16)$$

2. Определяются усеченные функции принадлежности правой части

$$\beta_j(y) = \min(a_i, \mu_j(y)), j = 1, 2, 3. \quad (17)$$

3. Находится величина

$$\tilde{\beta} = \frac{\int \beta_j(y) y dy}{\int \beta_j(y) dy}. \quad (18)$$

Если элемент Y связан входящими связями с несколькими элементами $X_k, k = \overline{1, K}$, то его величина определяется как средневзвешенное по входным элементам:

$$\tilde{y} = \frac{\sum_{k=1}^K w_k \tilde{\beta}_k}{\sum_{k=1}^K w_k}, \quad (19)$$

где w_k – весовые коэффициенты, определяемые экспертными оценками.

Детерминированные связи в составе НММ W – это связи, определяемые формулами (3)–(11). Для задания детерминированных связей применяются операции сложения, логарифма и экспоненты. Например, формулы (7)–(9) реализуются через дополнительные связи ($Rc \rightarrow 81 \rightarrow 87 \rightarrow VR$), ($Pr \rightarrow VR$).

Результаты численной реализации методов нечеткого логического вывода в оценке W (в решении задачи выбора типа инновационной стратегии)

Назначение разработанной НММ W состоит в обосновании выбора по критерию эффективности приемлемой стратегии инновационного процесса из сформированного дискретного множества альтернатив. Альтернативы формируются по трем взаимосвязанным компонентам стратегии – объект, состав активных средств, тип стратегии. Следовательно, разработанная НММ W может быть использована для сравнительной характеристики по критерию W альтернативных вариантов инновационного процесса, сформированных по каждому из этих компонентов. В статье представлены результаты использования НММ W для выбора приемлемого типа стратегии. В решении данной задачи мы исходили из следующих оснований:

– под стратегией понимается «определенная организация и способ проведения операции» [9]; при этом термин «операция» трактуется как совокупность целенаправленных согласованных действий [10];

– стратегии, сложившиеся в практике управления инновационными процессами, представляют высокий научный интерес и изучены в работах широкого круга исследователей (Б. Санто, Б. Твисс, Л. Г. Кудинов, А. В. Трачук, А. В. Фомина, В. М. Аньшин, Л. Водачек и О. Водачкова, А. Ю. Юданов и др.); результатом исследований явились в том числе составленные каждым исследователем авторские подходы к классификации типов инновационных стратегий;

– для целей нечетко-множественного моделирования инновационного процесса нами была принята за основу классификация, предложенная Б. Санто [11], в соответствии с которой могут быть выделены шесть типов стратегий в реализации инновационного процесса: традиционная, оппортунистическая, ими-

тационная (лицензионная), оборонительная, зависимая, наступательная;

– каждая стратегия имеет заданную целевую функцию и соответствующий состав движущих сил, который может быть формализован через вектор приоритетов в составе факторов целевого эффекта – Q_i, PC, avc, t, PP, RD ;

– формирование вектора приоритета факторов целевого эффекта проводилось методами экспертного оценивания, исходя из составленного описания типов инновационных стратегий;

– выбор приемлемого типа стратегии в значительной мере определяется объектом инновационного процесса; для исследуемого объекта были приняты в качестве приемлемых альтернатив оппортунистическая и наступательная стратегии организации инновационного процесса;

– характеристики стратегий представлены: а) общим описанием – в лингвистической форме, б) количественными оценками – в форме экспертно заданных весовых коэффициентов, отражающих значимость факторов целевого эффекта q (табл. 3);

– экспертная оценка факторов q проводилась по критериям, существенным в управлении инновационными процессами на промышленных предприятиях.

Исходя из представленных оснований и известных количественных характеристик исследуемого инновационного процесса, проведена численная оценка экономических результатов инновационного процесса по каждой альтернативе – в форме Pr, VR, NVR, DPP, DRI (табл. 3); оценка проводилась через описанный выше НЛВ и комплекс детерминированных методов.

Таблица 2. Характеристики стратегий

Критерии	Типы стратегий	
	Оппортунистическая	Наступательная
Целевые характеристики	Обеспечение конкурентоспособности за счет высокой адаптивности к изменениям рыночной среды (Wait-and-see strategy [12])	Обеспечение конкурентоспособности за счет существенной товарной дифференциации и высоких производственных возможностей (Expansion strategy)
Факторы конкурентоспособности	Фокусирование на издержках, фокусирование на дифференциации; высокая адаптивность (гибкость) производства	Товарная дифференциация; создание рыночных барьеров за счет высокой PC, соответствующей емкости рынка; активная маркетинговая поддержка

Таблица 3. Результаты оценки альтернативных вариантов через НЛВ

Показатели	Значения показателей по типам стратегий		Комментарии	Исходные данные для оценки	
	Наступательная	Оппортунистическая			
1. Весовые коэффициенты (вектор приоритетов факторов q)			Результат экспертизы	Экспертная оценка факторов q (балл.):	
PC	0,19	0,09			7
avc	0,06	0,29			9
t	0,06	0,25			8
Q_i	0,31	0,05			6
PP	0,13	0,05			4
RD	0,25	0,27			8
2. Оценки, полученные через НЛВ					Результат НЛВ
2.1. Балльные оценки					
$p(f)$	5,97	6,04			
$Q(f)$	6,71	7,60			
	$ac(f)$	6,92	8,94		
2.3. Оценки в актуальных единицах измерения			Результат НЛВ – исходя из заданного интервала возможных значений	Интервал допустимых значений:	
p_2 , тыс.руб./ед.	0,89	0,89			[0,7; 1,1]
Q_2 , ед.	369,90	458,00			[50; 600]
ac_2 , тыс.руб./ед.	0,35	0,31			[0,3; 0,5]
3. Детерминированные оценки			По функциональным зависимостям (3)–(11)	–	
Pr , млн руб.	158,16	214,17			
VR , млн руб.	879,82	1191,42			
NVR , млн руб.	45,02	356,62			
DRI	0,05	0,43			
DPP , лет.	5,28	3,90			
FC , млн руб.	–	–			
Rc	–	–	Исходные данные для рассматриваемого модуля	2,05	
Tk , лет	–	–		0,06	
C , млн руб.	–	–		6,97	
				834,8	

Комплексное представление результатов оценки в составе общей НММ W приведено на рис. 2.

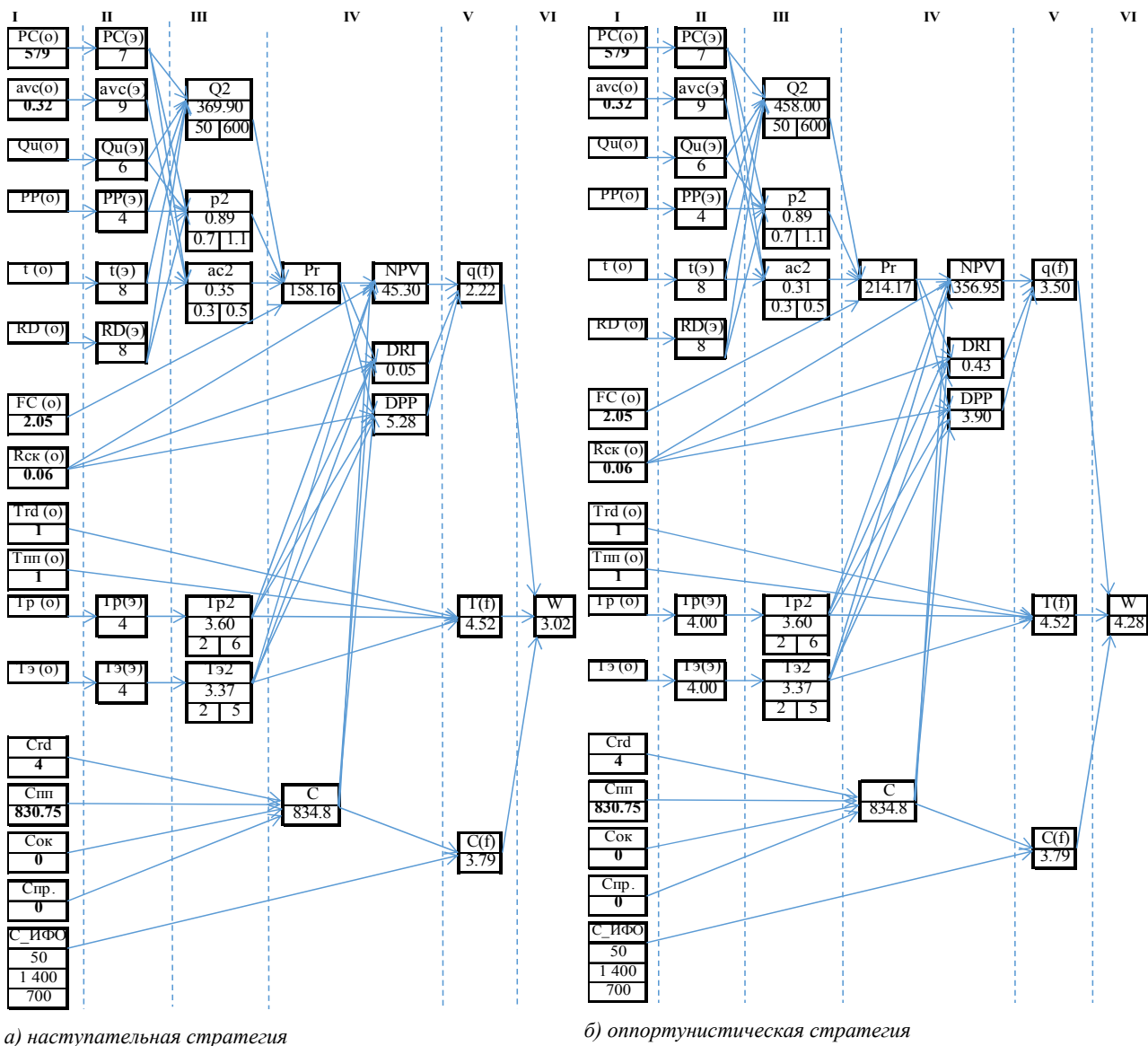


Рис. 2. Результаты оценки эффективности в НММ W (по вариантам)

Визуализация результатов оценки в НММ W, во-первых, раскрывает состав исследуемых факторов и позволяет составить комплексное представление об их уровне и характере влияния, при рассмотрении этих факторов как в количественных, так и в нечетких интервальных и лингвистических оценках в стратегическом контексте. Во-вторых, раскрывается влияние типа инновационной стратегии на оценку целевого эффекта. В целом, как показывает результат оценки W по каждой альтернативе, более привлекательным представляется оппортунистический тип стратегии инновационного процесса.

Исходя из значений исследуемых факторов, возможна следующая интерпретация полученного результата: низкий маркетинговый потенциал (PP) и пессимистичные оценки технико-эксплуатационных характеристик (Qu) определяют снижение привлекательности наступательной стратегии (данные факторы имеют больший приоритет в сравнении с оппортунистической стратегией); тогда как высокая эко-

номичность производства (avc) и, как следствие, возможность гибкого ценообразования, а также высокая производственная технологичность (t), как условие быстрой переналадки производственной линии для гибкости ассортимента выпускаемой продукции, создают хорошие предпосылки к успешной реализации стратегии оппортунистического типа (за счет высоких объемов производства и низкой себестоимости).

Таким образом, использованная для оценки альтернативных вариантов стратегий НММ W обеспечивает корректную обработку актуальной информации, в том числе нечисловой природы.

Выводы

В управлении инновациями на промышленных предприятиях существенная для принятия решений информация представлена не только в четких детерминированных или стохастических оценках; значительную роль в принятии решений играет информация нечисловой природы, получаемая в результате эвристиче-

ского исследования стратегически значимой информации. Интеграция широкого круга данных об инновационном процессе в составе единой экспертной системы и их обработка интеллектуальными методами направлена на повышение качества управленческих решений, в том числе за счет транспарентности и согласованности мотивов управленческих решений.

Для корректной работы экспертной системы необходимо использование специфических для конкретной области исследования знаний и адекватных методов их обработки; в том числе высокое значение имеет используемый в составе экспертной системы механизм логического вывода, который призван воспроизводить актуальную логику принятия решений.

Разработанный комплекс методов нечеткого логического вывода основан на методологии нечетко-множественного моделирования и адаптирован к специфике управления инновационными процессами на промышленных предприятиях – включает специальные методы технико-экономических и инвестиционных расчетов и экспертного оценивания. Комплексное методическое обеспечение механизма НЛВ в экспертной системе прогнозирования инновационных процессов позволяет учесть в необходимых взаимосвязях технико-экономические характеристики инновационного процесса, стратегический контекст его реализации, значимые ограничения организационной системы (в которой реализуется инновационный процесс). Результаты НЛВ соответствуют качественным выводам, основанным на эвристических рассуждениях. Методы НЛВ обеспечивают корректный и интуитивно понятный перевод ментальных рассуждений ЛПР (в лингвистической форме) на языковые средства математики; этому способствует, в том числе, использование метода взвешенной оценки правил при реализации функции вывода (описаного в (12)–(19)), а также использование приемлемого количества терм-множеств с их адекватной интерпретацией, соответствующей интуитивным критериям эвристического анализа.

Библиографические ссылки

1. Feigenbaum, E. (1982) Knowledge Engineering in 1980's: Department of Computer Science, Stanford University, Stanford CA. URL: stacks.stanford.edu/file/druid:bf210yv9971/bf210yv9971.pdf
2. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование : Пер. с англ. М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. 1152 стр. с ил.
3. Priti S.S., Rajendra Ak. (2010) Advanced knowledge based systems: Models, Applications and Research. TMRF e-Book: Open Access Book Series in Applicable Mathematics & Computer Science. e-ISBN 978-81-908426-0-0. URL: www.tmrfindia.org/eseries/ebookV1-C0.pdf.
4. Ryan D (2017) Expert Systems: Design, Applications and Technology. USA: NOVA Science Publishers Inc.
5. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. М. : Машиностроение, 1988. Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. 328 с. : ил.
6. Шаталова О. М. Нечетко-множественное моделирование в оценке эффективности технологических инноваций: актуальные методы и инструментальные средства //

Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2019. Т. 13, № 3. С. 101–110. DOI: 10.14529/em190310.

7. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. СПб. : Питер Ком, 1999. 416 с. ISBN 5-314-00105-5.
8. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / пер. с англ. – 2-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с. : ил. ISBN 97-8-5-9963-1495-9.
9. Тенев, В. А. Генетические алгоритмы в моделировании систем : монография / В. А. Тенев, Б. А. Якимович. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. 308 с.
10. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов: Методология, методы, моделирование [Б. м. : б. и.]. 1989 (М.: МО СССР). 635 с.
11. Санто Б. Инновации как средство экономического развития. М. : Прогресс, 1991. 255 с.
12. Clarke, James E.& Liesch Peter W. (2017) Wait-and-see strategy: Risk management in the internationalization process model. Journal of International Business Studies, 2017, vol. 48, issue 8, 923-940.

References

1. Feigenbaum E. Knowledge Engineering in 1980's: Department of Computer Science, Stanford University, Stanford CA. 1982. URL: stacks.stanford.edu/file/druid:bf210yv9971/bf210yv9971.pdf
2. Giarratanj J., Riley G. *Ekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniya* [Expert systems: principles of development and programming]. Moscow, Vilyams Publ., 2006 (in Russ.).
3. Priti S.S., Rajendra Ak. Advanced knowledge based systems: Models, Applications and Research. TMRF e-Book: Open Access Book Series in Applicable Mathematics & Computer Science. 2010. e-ISBN 978-81-908426-0-0. URL: www.tmrfindia.org/eseries/ebookV1-C0.pdf.
4. Ryan D. Expert Systems: Design, Applications and Technology. USA: NOVA Science Publishers Inc. 2017.
5. *Nadezhnost' i ehffektivnost' v tekhnike. Kn.3: Effektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Reliability and efficiency in engineering. Vol. 3: The effectiveness of technical systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 328 p. (in Russ.).
6. Shatalova O.M. [Fuzzy multiple modeling in assessing the effectiveness of technological innovations: current methods and tools]. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Ekonomika i menedzhment»*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 101-110. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190310.
7. Ansoff I. *Novaya korporativnaya strategiya* [The New Corporate Strategy]. St Petersburg: Piter Kom Publ. 1999 (in Russ.).
8. Piegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy Modeling and Control]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy. 2013 (in Russ.).
9. Tenenev V.A. *Geneticheskie algoritmy v modelirovanii sistem* [Genetic algorithms in modeling systems]. Izhevsk : Izdatel'stvo IzhGTU, 2010 (in Russ.).
10. Petuhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti celenapravlennykh processov: Metodologiya, metody, modelirovanie*. [Fundamentals of the theory of the effectiveness of targeted processes: Methodology, methods, modeling]. Moscow, 1989 (in Russ.).
11. Santo B. *Innovacii kak sredstvo ehkonomicheskogo razvitiya* [Innovation as a means of economic development]. Moscow, Progress Publ., 1991 (in Russ.).
12. Clarke, James E.& Liesch Peter W. Wait-and-see strategy: Risk management in the internationalization process model. Journal of International Business Studies, 2017, vol. 48, issue 8, 923-940.

* * *

Fuzzy Inference Methods for Forming Expert Systems for Forecasting Innovative Processes*V. A. Tenenev*, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia*O. M. Shatalova*, PhD in Economics, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The paper highlights the results of the development of methodological support for the inference mechanism as part of expert systems, which are used for forecasting innovative processes in industrial production enterprises. The relevance of expert systems in the studied subject area is due to the high organizational complexity and significant uncertainty of innovative processes. The inference of logic as part of an expert system performs the function of reproducing decision logic for a given subject area. The solution to this problem is based on the following conditions: the logical conclusion is realized by the criterion of effectiveness; the effectiveness is assessed as a measure of compliance between the required and expected values of three key parameters - the target effect, the cost of resources, the limited time; the performance indicator is presented in the vector form (as a three-dimensional vector of performance parameters); the function of measure of compliance is implemented through fuzzy inference; the content of each of the effectiveness parameters (composition of factors) is disclosed in accordance with the ontology of the innovation process; the composition of effectiveness factors is represented by a structural model; factors are evaluated by deterministic and expert methods; relations between factors are realized in the form of fuzzy rules, as well as through deterministic relationships; the parameters of fuzzy inference are formed in accordance with the general methodology of fuzzy-set modeling, the inference function is implemented through a weighted evaluation of the rules, and weighting coefficients are determined by expert methods; expert assessment of weighting factors is carried out in the context of the studied strategies of the innovation process. The developed methodical support of the mechanism of fuzzy inference is aimed at taking into account the technical and economic characteristics of the innovation process, the strategic context of its implementation and significant limitations of the organizational system. The developed methods of fuzzy inference provide a correct and intuitive translation of mental reasoning of the decision-maker (in linguistic form) into the language of mathematics; this is facilitated, inter alia, by using the method of weighted evaluation of rules when implementing the inference function that meets the mental criteria of heuristic analysis.

Keywords: technological innovation, fuzzy modeling, expert systems, effectiveness, systematic approach, uncertainty.

Получено: 14.11.19