

**МЕТОД НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В РЕШЕНИИ  
ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
АКТИВНЫХ СРЕДСТВ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА**

Удмуртский государственный университет,  
Ижевск, Россия,  
oshatalova@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены описание метода нечеткого логического вывода в оценке эффективности и результаты численной реализации данного метода при решении задачи выбора активных средств инновационного процесса. Показано, что расширенный системный подход к интерпретации категории «эффективность» и возможностям ее численной оценки, в том числе, с позиций нестохастической неопределенности (через нечеткое моделирование), позволяет сформировать действенный методический и инструментальный аппарат, направленный на использование показателя эффективности в качестве управленческого критерия принятия решений в практике инновационной деятельности на промышленных предприятиях.

*Ключевые слова:* эффективность, системный подход, нечеткое моделирование.

*Olga M. Shatalova,*  
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

**FUZZY INFERENCE METHOD IN THE SOLUTION PROBLE  
OF CHOICE BY THE EFFECTIVENESS CRITERION  
OF ACTIVE MEANS OF INNOVATIVE PROCESS**

Udmurt State University,  
Izhevsk, Russia,  
oshatalova@mail.ru

*Abstract.* The article presents a description of the fuzzy inference method in evaluating the effectiveness and the results of the numerical implementation of this method in solving the problem of choosing the active means of the innovation process. It is shown that an expanded systematic approach to the interpretation of the category “efficiency” and the possibilities of its numerical evaluation allows us to form an effective methodological and instrumental apparatus, which ensures the use of the performance indicator as a managerial decision-making criterion in the practice of innovative activity at industrial enterprises.

*Keywords:* efficiency, systems approach, fuzzy modeling.

## **Введение**

Предпосылкой решения задачи выбора активных средств инновационного процесса явилось, в проводимом исследовании, общее понимание эффективности как универсального критерия принятия решений.

Системное исследование эффективности предполагает, в частности:

а) четыре уровня (этапа) исследования эффективности – проблемный анализ; концептуальные исследования; операционные исследования; детальные исследования [1];

б) расширенное понимание категории «эффективность» и подходов к ее оценке.

Операциональный уровень исследования эффективности инновационного процесса направлен на обоснование и выбор приемлемых активных средств инновационного процесса в разрезе каждой  $S_0$ -системы исходя из заданных со стороны метасистемы целевых параметров, бюджетных и временных ограничений [1].

Исследование эффективности в данном случае имеет ограничения, связанные с затруднениями в *стоимостной* оценке *экономического* результата (для последующего соизмерения с суммой затрат в форме показателей рентабельности, окупаемости и проч.). Технологическая сопряженность множества элементов производственной системы не позволяет составить корректную стоимостную оценку экономического результата технологической инновации на уровне, например, производственного участка. На экономический результат в этом случае оказывает влияние вся совокупность управленческих факторов в масштабах организации – не только эффективность производства, но и эффективность маркетинга, финансового менеджмента, управления HR, IT-обеспечения и т. д.

Кроме того, в оценке эффективности должен быть учтен стратегический контекст управления производственной системой, а также существенные для нее ограничения – по срокам и затратам ресурсов.

### **1. Методические основания исследования**

Для оценки эффективности в этом случае предложено использовать метод нечеткого логического вывода (НЛВ). Метод НЛВ в оценке эффективности можно представить следующими основными положениями:

1) общее системное понимание эффективности как «свойства целенаправленной деятельности, раскрываемое с гносеологической точки зрения через категорию цели и выражаемое степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени» [1]; то есть эффективность процессов, реализуемых в составе системы, проявляется через совокупность трех базовых параметров – целевой эффект ( $q$ ), стоимость затрачиваемых ресурсов ( $C$ ), сроки ( $T$ );

2) векторная форма представления параметров эффективности ( $W$ );

3) реализация функции соответствия между ожидаемыми (прогнозируемыми) и требуемыми значениями параметров эффективности через нечеткий логический вывод; в этом случае категория «эффективность» отождествляется с функцией соответствия в следующем смысле – полное соответствие по каждому из параметров трактуется как высокая эффективность и наоборот [3].

Схематичное представление данного метода приведено на рисунке 1.

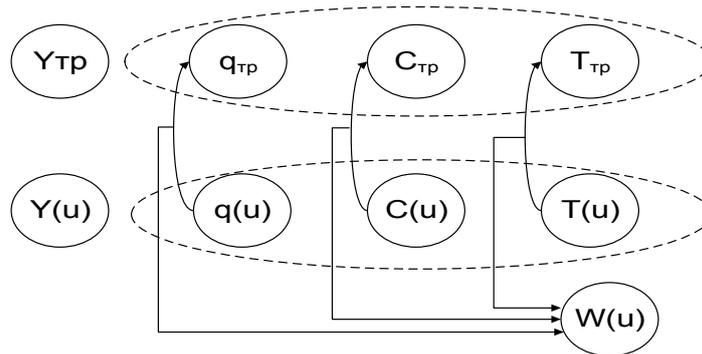


Рис. 1. Схема оценки эффективности с использованием метода НЛВ

Метод НЛВ в оценке эффективности позволяет учесть:

а) актуальные ограничения исследуемой системы (через интервальное задание значений  $q_{тр}$ ,  $C_{тр}$ ,  $T_{тр}$ );

б) стратегически обусловленные предпочтения ЛПР (через задание базы правил НЛВ и условия фаззификации / дефаззификации параметров);

в) расширенное содержание параметров эффективности, в т. ч. параметра  $q$  – в рамках данного метода появляется возможность включить в оценку  $W$  приемлемые для операционального исследования формы целевого эффекта, например, уровень производственной мощности, производственной экономичности, технико-эксплуатационные характеристики продукции и т. п.

## 2. Результаты исследования

В рамках проводимого исследования была решена задача выбора активных средств (в рамках разрабатываемого инновационного процесса), определяющих уровень производственной мощности механообрабатывающего участка. Задача исследования может быть описана следующими условиями:

- сформированы предпочтения ЛПР по результативности / срочности / экономичности;

- определены ограничения по параметрам  $C$  и  $T$  (в интервальном диапазоне);

- установлена необходимая форма целевого эффекта  $q$  – в таком качестве выступает показатель «производственная мощность» РС, определены необходимые значения РС (в интервальном диапазоне);
- требуется определить состав активных средств, обеспечивающий достижение необходимого уровня целевого результата при установленных ограничениях;
- критерием принятия решений выступает показатель эффективности  $W$ .

В решение проблемы дефицита РС может быть сформировано дискретное множество из  $n$  альтернатив  $u$ .

Решение задачи выбора  $u^* \in \{U\}$  проведено по критерию  $W$ .

$W$  обеспечивает оценку эффективности при векторном представлении параметров эффективности  $|q, C, T|^T$  и реализации функции соответствия через нечеткий логический вывод:

$$U = \{u^* | W_k(u) \geq W^{TP}, k = \overline{1, n}\}. \quad (1)$$

Таким образом, пространство выбора представлено матрицей  $M_{PC}$ :

$$M_{PC} = \begin{bmatrix} x_{q1} & x_{q2} & \dots & x_{qn} \\ x_{C1} & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{T1} & x_{T2} & \dots & x_{Tn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Исходные данные для решения задачи представлены в таблице 1 (в оценку наличной мощности принято значение эффективного фонда машинного времени  $F = 167$  час./мес.).

Таблица 1

**Расчет производственной мощности (исходное состояние)**

Показатели		Виды операций ( $i$ )			
		1	2	3	
Кол-во наличного оборудования, ед-ц		3	3	2	
Виды продукции ( $j$ )	1	норма времени (Нвр), час.	0,0043	0,0270	0,0305
		кол-во детали-операций, ед.	10 000	10 000	10 000
		объем производства, н.-час.	43,0	270,0	304,5
	2	норма времени, час.	0,0173	0,0031	0,0072
		кол-во детали-операций, ед.	20 000	20 000	20 000
		объем производства, н.-час.	346,0	62,0	144,9
	3	норма времени, час.	0,0155	0,0018	0,0092
		кол-во детали-операций, ед.	5 000	5 000	5 000
		объем производства, н.-час.	77,5	9,0	46,1
Наличная мощность, час.		501	501	334	
Потребная мощность		467	341	496	
Наличная мощность, в % от требуемой		107,40	146,92	67,47	

Представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о значительном дефиците и несбалансированности РС.

В решение данной проблемы сформировано множество (дискретное) альтернативных решений (табл. 2).

В соответствии с заданным содержанием критериального показателя  $W$ , пространство решений численно может быть описано в форме матрицы  $M_{PC}$ :

$$M_{PC} = \begin{bmatrix} 34 & 52 & 67 & 40 & 29 & 40 \\ 500 & 800 & 1300 & 1000 & 300 & 600 \\ 1 & 1 & 3 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Сопоставление параметров эффективности реализовано через НЛВ.

Аппарат НЛВ включает следующие условия [2]:

а) упрощенный метод реализации блока вывода – используются простые подусловия и взвешенная оценка правил;

б) правила фаззификации / дефаззификации реализуются через задание трех терм-множеств с использованием в качестве функции принадлежности симметричной гауссовой функции (для среднего терм-множества) и сигмоидальной (левой и правой) функций; в построении гауссовой и сигмоидальной функций использован метод «критической точки» для задания необходимых параметров – модального значения и ширины (размытости) используемых терм-множеств [4];

в) использование центроидного метода при дефаззификации «промежуточного» значения выходного параметра.

Таблица 2

**Характеристики вариантов решения проблемы дефицита РС**

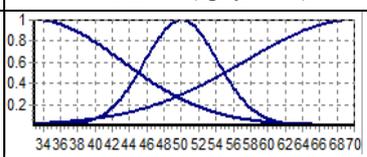
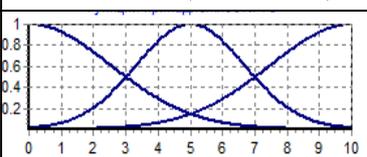
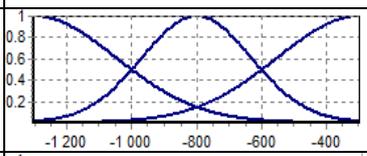
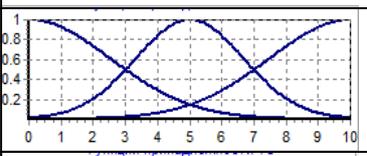
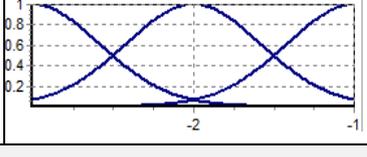
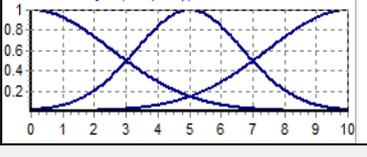
$u_k$	Содержание решения	ЕВР	Значение целевого эффекта (РС в % от требуемой) по операциям (j)			Цел. эфф-т q (прирост РС), п.п.	Экономичность, ΔРС / 1 руб. ЕВР	Описание последствий
			1	2	3			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$u_1$	Ввод одной ед-цы оборудования по гр. (3)	500	107	147	101	34	67.5	· низкий запас и высокая несбалансированность РС
$u_4$	Ввод двух ед-ц оборудования по гр. (3)	1000	107	147	135	40	39.9	· несбалансированность РС – избыточный запас РС по гр. (3) и (2)
$u_2$	Ввод одной ед-цы оборудования группы (3); модернизация, обеспечивающая снижение Нвр на 10 %, – двух ед-ц оборудования гр. (3) и одной ед-цы оборудования гр. (1)	800	113	147	124	52	64.8	· сформирован резерв РС для незначительного расширения производств. программы (ПП); · избыточный запас РС по группе оборудования (2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$u_6$	Ввод одной ед-цы оборудования по гр. (3) модернизация, обеспечивающая снижение Нвр на 10 %, – одной ед-цы оборудования гр. (3)	600	107	147	112	40	66.5	· избыточный запас РС по группе оборудования (2); · недостаточный резерв РС для расширения производства
$u_5$	модернизация, обеспечивающая снижение Нвр на 10 %, – трех ед-ц оборудования гр. (3)	300	107	147	96	29	96.4	· дефицит РС (4 %) для обеспечения существующей ПП; · избыточный запас РС по группе оборудования (2)
$u_3$	Ввод двух ед-ц оборудования по гр. (3) модернизация, обеспечивающая снижение Нвр на 10 %, – двух ед-ц оборудования гр. (1) и одной ед-цы оборудования гр. (3)	---	134	147	150	67	51.4	· запас РС (34 %) является достаточным для обеспечения устойчивого функционирования участка в рамках существующей ПП; · сформирован резерв РС для значительного расширения ПП; · достаточная сбалансированность РС.

Исходные данные для задания параметров нечеткого логического вывода и их графическая интерпретация приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Исходные данные по параметрам нечеткого логического вывода  $W$**

Показатели	в том числе по термножествам			Графическое представление соответствующих функций принадлежности	
	$S$	$M$	$L$	антецедент (аргумент)	консеквент (заключение)
Область определения термножеств по $q$ (РС), п.п.	33-45	45-55	55-70		
Область определения термножеств по $C$ , тыс. руб.	1300-1000	1000-600	600-300		
Область определения термножеств по $T$ , мес.	3-2,5	2,5-1,5	1,5-1		
Вектор приоритетов $ q, C, T ^T$	$ 0.5, 0.3, 0.2 ^T$				

Численная реализация аппарата НЛВ в оценке  $W$  выполнена при помощи программы для ЭВМ ИМТ<sup>©</sup> (автор – проф., д.ф.-м.н. В.А. Тенев).

Результат численной реализации НЛВ описывается вектором решений  $\overline{PC}_k$ :

$$\overline{PC}_k = [4.67 \quad 6.25 \quad 5.06 \quad 2.30 \quad 0 \quad 4.64] \quad (10)$$

Согласно полученным решениям приоритет по критерию  $\max W$  имеет стратегия  $u_2$ .

Для верификации полученного методом НЛВ результата, свидетельствующего о приоритетной значимости стратегии  $u_2$ , были использованы методы многокритериальной оптимизации – максиминный критерий (Вальда), критерий минимаксного сожаления (Сэвиджа), критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица). При этом использовался подход интервально-нечеткой неопределенности, в соответствии с которым для каждого частного критерия применялась сигмоидальная функция принадлежности, задаваемая с использованием метода критической точки. Выбор данных методов МКО был обусловлен фактической позицией ЛПР о «сдержанном пессимизме» в оценке альтернативных решений.

Результаты МКО подтвердил приоритет стратегии  $u_2$ .

Выбор стратегии  $u_2$  может быть интерпретирован следующим образом:

- стратегия  $u_2$  уступает по критерию экономичности стратегиям  $u_1$ ,  $u_6$  и  $u_5$ . Однако стратегия  $u_5$  находится вне пространства допустимых решений, а стратегии  $u_1$ ,  $u_6$  сопряжены с низким уровнем формируемой производственной мощности, явно недостаточным для обеспечения устойчивой работы участка. Критерий экономичности в данном случае не раскрывает необходимые условия выбора решений;

- с позиций ЛПР предпочтительным может считаться такое решение, которое обеспечит наибольший результат при наименьших затратах ресурсов и времени с учетом значимости этих параметров и заданных ограничений;

- комплексный показатель эффективности  $W$  раскрывает необходимую совокупность условий принятия решений – отражает результат сопоставления каждого из трех параметров эффективности ( $q$ ,  $C$ ,  $T$ ) с принятыми для оценки допустимыми значениями этих параметров и последующего вывода итогового значения  $W$  с учетом их значимости (предпочтений ЛПР по  $q/C/T$ );

- стратегия  $u_2$  обеспечивает наилучшее (с позиций ЛПР) соотношение значений целевого эффекта, затрачиваемых ресурсов и сроков.

Следует отметить, что полученное в ходе исследования численное значение  $W$  имеет относительный характер, т. е. это значение действительно только для заданной системы при заданных условиях принятия решения, выраженных в форме функций принадлежности и базы правил.

## **Выводы**

Комплексный показатель эффективности  $W$ , определяемый методом НЛВ, позволяет учесть управленческие предпосылки принятия решений. Нечеткий логический вывод обеспечивает корректную формализацию и перевод на языковые средства математики ментальных суждений ЛПР, имеющих существенное значение при принятии решений в условиях высокой неопределенности нестохастического характера. Аппарат НЛВ обеспечивает получение дополнительных знаний об объекте исследования и позволяет расширить представления об эффективности как критерии принятия решений. Использование метода НЛВ должно строиться на достоверном представлении онтологии исследуемого процесса, корректном использовании вычислительного аппарата НЛВ, исчерпывающей системы управленческой экспертизы.

## **Список литературы**

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1988. (В пер.). Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ.ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. 328 с.
2. Тененев В.А., Шаталова О.М. Методы нечеткого логического вывода при построении экспертных систем прогнозирования инновационных процессов // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. № 8. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-4-129-136.
3. Шаталова О.М. Об использовании нечетких вычислений в решении проблемы неопределенности при оценке эффективности технологических инноваций на предприятии // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. № 3. С.83–91.
4. Altrock C. Fuzzy logic. Band 1. Technologie. München, Germany, BRD: R. Oldenburg Verlag GmbH, 1993. 475 p.