

УДК 006.001.57:658.516.1

С.С. Федин<sup>1</sup>, Р.М. Трищ<sup>2</sup>, А.С. Зенкин<sup>1</sup><sup>1</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна<sup>2</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*В статье на основе математического аппарата нечеткого логического вывода разработана модель гибкого управления качеством процесса механической обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей в условиях зашумленной исходной информации. Реализация модели осуществлена с использованием лицензионной версии программы CubiCalc 2.0 в виде нечеткой экспертной системы, предназначенной для принятия решений относительно выбора метода механической обработки деталей цилиндрической формы в зависимости от значений показателей шероховатости поверхности деталей и точности технологического процесса их изготовления.*

*нечеткий логический вывод, гибкое управление качеством продукции, экспертная система*

### Введение

Управление качеством технологических процессов изготовления продукции машиностроения можно осуществлять на основе вероятностных или детерминированных математических моделей, изучение свойств которых позволяет разработать соответствующий модуль управления [1]. Однако зачастую построение корректной модели представляет собой сложную задачу, требующую введения различных ограничений, так как в целом ряде случаев управление осуществляется в условиях неопределенных или зашумленных исходных данных. Одним из эффективных подходов к решению данной задачи является применение методов нечеткого логического вывода, отличительными свойствами которых является способность гибкого управления нелинейными процессами в условиях неопределенности и противоречивой исходной информации.

В настоящее время развитию теории гибкого управления качеством технических объектов на основе нечеткого логического вывода уделяется значительное внимание. Так, в работах Аверкина А.Н. [1] Рутковской Д. [2], Корнеева В.В. [3], рассматриваются способы эффективного применения нечеткой логики для решения задач управления технологическими процессами и техническими объектами различного назначения.

**Целью** исследования является разработка модели нечеткого логического вывода для гибкого управления качеством процесса механической обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей и ее реализация в виде нечеткой экспертной системы.

### Теоретическое обоснование выбора математического аппарата исследования

В основу теории нечеткой логики положено понятие нечеткого множества (подмножества)  $F$ ,

которое может быть представлено как отображение элементов множества  $S$  на интервал  $I = [0, 1]$ , в виде упорядоченных пар (1):

$$\{s_i, m_F(s_i)\}, \quad i \in [1, n], \quad (1)$$

где  $s_i$  –  $i$ -й элемент множества  $S$ ;  $n$  – мощность множества  $S$ ;  $m_F(s_i) \in [0, 1]$  – степень вхождения элемента  $s_i$  в множество  $F$ .

Значение  $m_F(s_i)$ , равное 1, означает полное вхождение,  $m_F(s_i) = 0$  указывает на то, что элемент  $s_i$  не принадлежит множеству  $F$  [3].

Степень истинности предиката « $s_k \in F$ » определяется путем нахождения парному элементу  $s_k$  значения  $m_F(s_k)$ , которое определяет степень принадлежности  $s_k$  в  $F$ .

Обобщение геометрической интерпретации традиционного подмножества на нечеткий случай позволяет получить представление  $F$  точкой в гиперкубе  $I^n$ ,  $I = [0, 1]$ .

В отличие от традиционных подмножеств, точки, изображающие нечеткие подмножества, могут находиться не только на вершинах гиперкуба, но и внутри него (рис. 1).

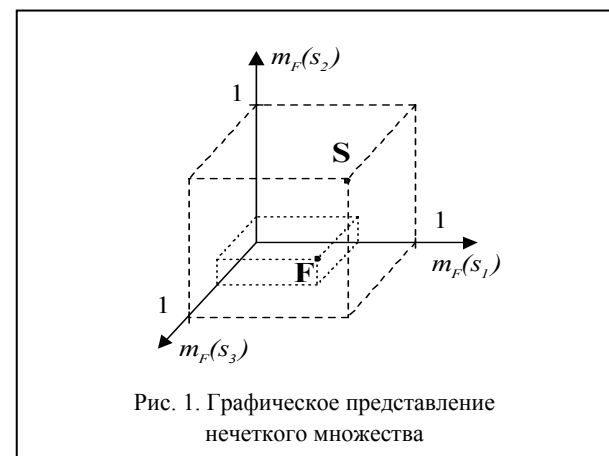


Рис. 1. Графическое представление нечеткого множества

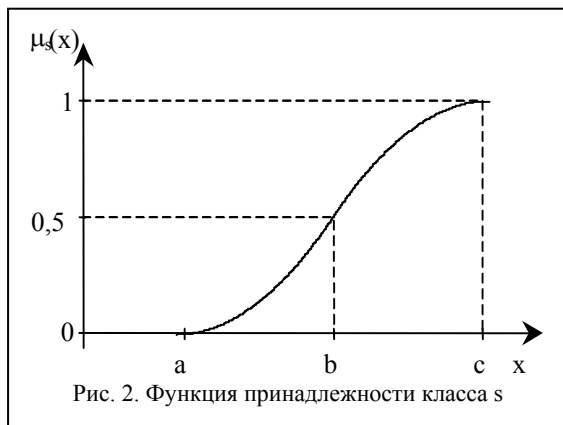
Часто отображение задается функцией  $\mu_F(x)$  принадлежности  $x$  нечеткому множеству  $F$ . Поэтому термины «нечеткое подмножество» и «функция принадлежности» употребляются как синонимы [3].

Математическую модель нечеткого управления технологическими процессами можно формализовать на основе стандартных функций принадлежности классов  $s$ ,  $\pi$ ,  $L$ ,  $t$  и  $\gamma$ , аналитическая и графическая форма представления которых показаны в виде зависимостей (2) – (6) и рис. 2 – 6 [2, 3].

Функция принадлежности класса  $s$  определяется выражением (2):

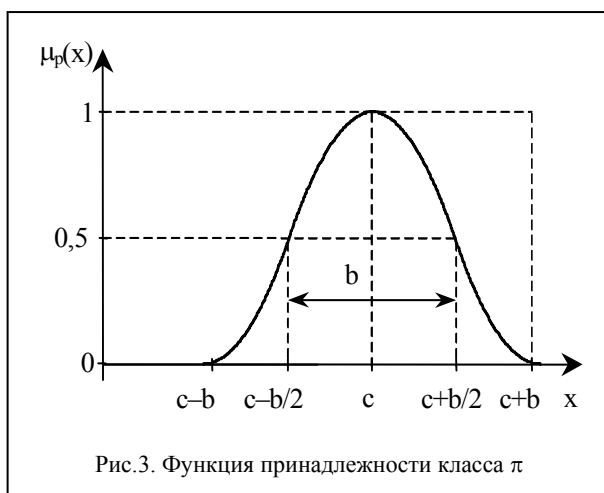
$$s(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{для } x < a; \\ 2\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2 & \text{для } a \leq x \leq b; \\ 1 - 2\left(\frac{x-c}{c-a}\right)^2 & \text{для } b \leq x \leq c; \\ 1 & \text{для } x > c, \end{cases} \quad (2)$$

где  $a, b, c$  – некоторые числовые параметры, принимающие произвольные действительные упорядоченные значения:  $a < b < c$ .



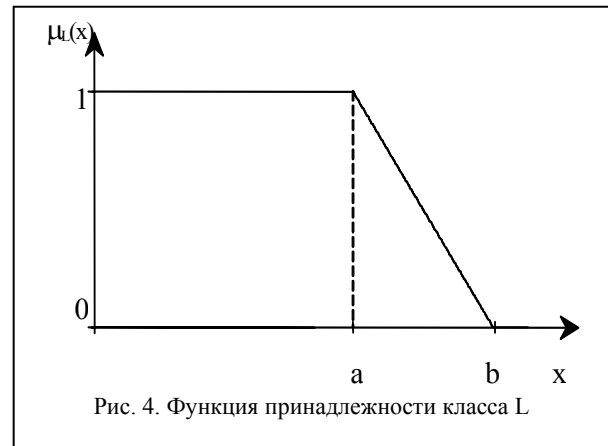
Функция принадлежности класса  $\pi$  (рис.3) определяется через функцию принадлежности класса  $s$  выражением (3):

$$\pi(x; b, c) = \begin{cases} s(x; c-b, c-b/2, c) & \text{для } x \leq c; \\ 1 - s(x; c, c+b/2, c+b) & \text{для } x > c. \end{cases} \quad (3)$$



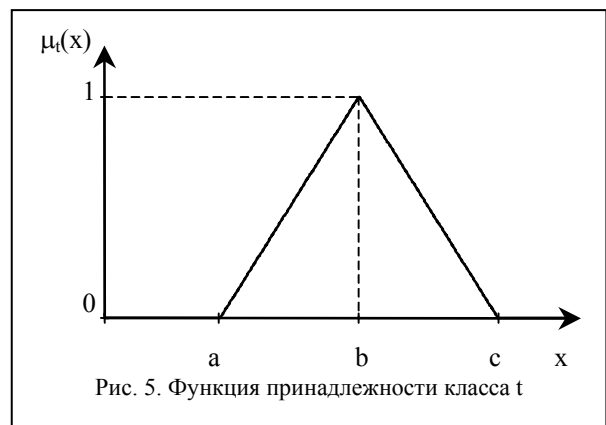
Функция принадлежности класса  $L$  (рис.4) определяется выражением (4):

$$L(x; a, b) = \begin{cases} 1 & \text{для } x \leq a; \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{для } a < x < b; \\ 0 & \text{для } x \geq b. \end{cases} \quad (4)$$



Функция принадлежности класса  $t$  (рис. 5) определяется выражением (5):

$$t(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{для } x < a; \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{для } a \leq x < b; \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{для } b \leq x \leq c; \\ 0 & \text{для } x > c. \end{cases} \quad (5)$$

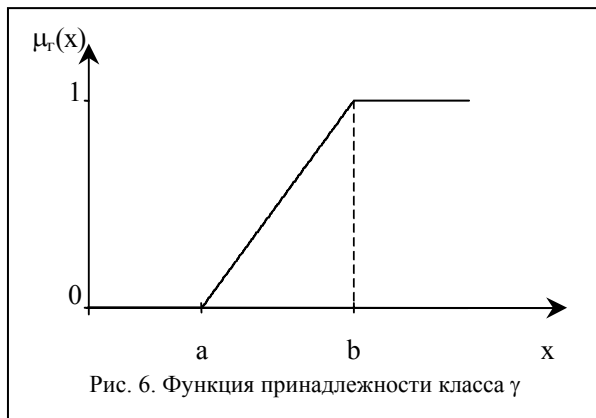


Функция принадлежности класса  $\gamma$  (рис. 6) определяется выражением (6):

$$\gamma(x; a, b) = \begin{cases} 0 & \text{для } x < a; \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{для } a \leq x < b; \\ 1 & \text{для } x \geq b. \end{cases} \quad (6)$$

Необходимо отметить, что между принципами нечеткой логики и вероятностным подходом к моделированию задач управления существует принципиальная разница, которая заключается в различии

понятий вероятности и степени принадлежности. Так в отличие от вероятности для степени принадлежности не требуется выполнение аксиомы аддитивности. Вероятность определяет, насколько возможен один из нескольких взаимоисключающих исходов или одно из множества значений. Например, может определяться вероятность того, что утверждение может быть либо истинным, либо ложным. Степень принадлежности показывает, насколько то или иное значение принадлежит определенному подмножеству (классу) [2, 3]. Например, при определении истинности утверждения ее возможные значения не ограничены «ложью» и «истиной», а могут находиться в промежутке между ними.

Рис. 6. Функция принадлежности класса  $\gamma$ 

### Разработка модели нечеткого логического вывода для выбора метода механической обработки

*A priori* известно, что требуемые точность и качество поверхностей деталей можно обеспечить сочетанием различных методов обработки. При этом вариативность методов обработки и связанных с ними значений степени точности (калитета – IT) и показателя шероховатости поверхности (Ra) усложняет процесс выбора рационального метода и является довольно сложной задачей управления качеством технологических процессов.

Для выбора наиболее рационального метода обработки должны быть заданы, в формализованном виде, границы его применения, за пределами которых целесообразно использовать иные методы обработки. Выбор метода обработки, осуществляемый на основе рекомендованных справочных значений точности и шероховатости поверхности деталей, а также экспертных оценок, является классической задачей принятия решения при нечеткой исходной информации. Математическое решение этой задачи заключается в выборе наилучшей допустимой альтернативы из множества альтернатив и заданных на этом множестве отношений предпочтения.

Так для процесса механической обработки де-

талей с цилиндрическими поверхностями получим множество допустимых альтернатив в виде предикатов  $QR_i$ , определяемых зависимостями (7 – 15), формализованными на основе рекомендованных справочных значений квалитета (IT) и шероховатости поверхности (Ra) и значений функции принадлежности методов обработки (M), определенных эвристическим методом (табл. 1) [4].

$$QR_1 = (12,5 \leq Ra \leq 25) \wedge (11 \leq IT \leq 12); \quad (7)$$

$$QR_2 = (3,2 \leq Ra \leq 6,3) \wedge (9 \leq IT \leq 10); \quad (8)$$

$$QR_3 = (3,2 \leq Ra \leq 6,3) \wedge (8 \leq IT \leq 9); \quad (9)$$

$$QR_4 = (2,5 \leq Ra \leq 3,2) \wedge (6 \leq IT \leq 7); \quad (10)$$

$$QR_5 = (2,5 \leq Ra \leq 3,2) \wedge (6 \leq IT \leq 7); \quad (11)$$

$$QR_6 = (1,6 \leq Ra \leq 2,5) \wedge (6 \leq IT \leq 7); \quad (12)$$

$$QR_7 = (1,6 \leq Ra \leq 2,5) \wedge (5 \leq IT \leq 6); \quad (13)$$

$$QR_8 = (0,8 \leq Ra \leq 1,6) \wedge (5 \leq IT \leq 6); \quad (14)$$

$$QR_9 = (0,8 \leq Ra \leq 1,6) \wedge (5 \leq IT \leq 6). \quad (15)$$

Таблица 1

Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей деталей диаметром 50 – 80 мм

| № | Метод обработки              | IT | IT | Ra  | Ra   | M   |
|---|------------------------------|----|----|-----|------|-----|
| 1 | Обтачивание черновое         | 12 | 11 | 25  | 12,5 | 0,9 |
| 2 | Обтачивание полустовое       | 10 | 9  | 6,3 | 3,2  | 0,8 |
| 3 | Обтачивание чистовое         | 9  | 8  | 6,3 | 3,2  | 0,7 |
| 4 | Обтачивание тонкое           | 7  | 6  | 3,2 | 2,5  | 0,6 |
| 5 | Шлифование предварительное   | 7  | 6  | 3,2 | 2,5  | 0,6 |
| 6 | Шлифование чистовое          | 7  | 6  | 2,5 | 1,6  | 0,5 |
| 7 | Шлифование тонкое            | 6  | 5  | 2,5 | 1,6  | 0,4 |
| 8 | Притирка, суперфиниширование | 6  | 5  | 1,6 | 0,8  | 0,3 |
| 9 | Алмазное выглаживание        | 6  | 5  | 1,6 | 0,8  | 0,3 |

При разработке модели нечеткого управления необходимо учитывать пересечение предикатов  $QR_i$ , так как, например, при 7-м или 6-м квалитетах (IT) шероховатость поверхности (Ra) может находиться как в диапазоне (3,2 – 2,5 мкм), так и в диапазоне (2,5 – 1,6 мкм), а выбор метода может варьировать от метода № 4 – «обтачивание тонкое», до метода № 7 – «шлифование тонкое».

Для разработки модели поддержки принятия решения относительно выбора метода обработки, были определены функции принадлежности трех нечетких переменных: шероховатости поверхности (Ra), квалитета (IT) и метода обработки (M) с лин-

гвистическими категориями «малое значение Ra, IT, M», «среднее значение Ra, IT, M» и «большое значение Ra, IT, M».

Функции принадлежности были представлены в виде кусочно-линейных функций классов L, t и γ с учетом данных, приведенных в табл. 1.

Для показателя шероховатости (Ra), значения которого изменяются от 1,6 мкм до 25 мкм, нечеткие множества представлены в виде зависимостей (16) – (18), а вид кусочно-линейных функций показан на рис. 7.

$$m_{Ra(\text{малое})} = \begin{cases} 1, & Ra \leq 1,6; \\ \frac{3,2 - Ra}{1,6}, & 1,6 < Ra < 3,2; \\ 0, & Ra \geq 3,2; \end{cases} \quad (16)$$

$$m_{Ra(\text{среднее})} = \begin{cases} 0, & Ra < 1,6 \text{ или } Ra > 6,3; \\ \frac{Ra - 1,6}{1,6}, & 1,6 \leq Ra < 3,2; \\ \frac{6,3 - Ra}{3,1}, & 3,2 \leq Ra < 6,3; \end{cases} \quad (17)$$

$$m_{Ra(\text{большое})} = \begin{cases} 0, & Ra < 3,2; \\ \frac{Ra - 3,2}{3,1}, & 3,2 \leq Ra < 6,3; \\ 1, & Ra \geq 6,3. \end{cases} \quad (18)$$

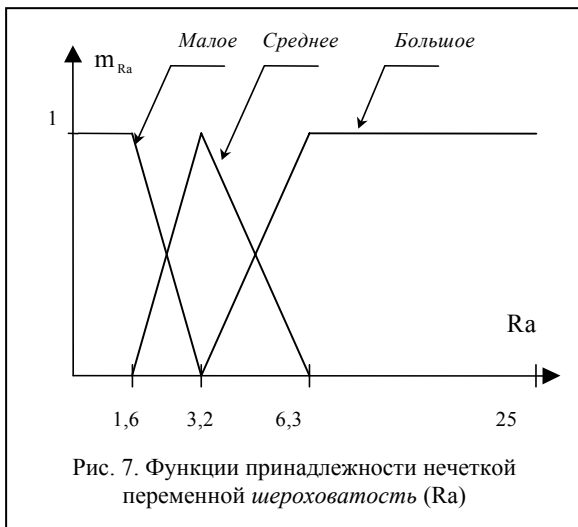


Рис. 7. Функции принадлежности нечеткой переменной шероховатость (Ra)

Для степени точности (от 5-го до 12-го класса качества) нечеткие множества представлены зависимостями (19 – 21), а вид функций принадлежности  $m_{IT}$  показан на рис. 8.

$$m_{IT(\text{малое})} = \begin{cases} 1, & IT \leq 5; \\ \frac{7 - IT}{2}, & 5 < IT < 7; \\ 0, & IT \geq 7; \end{cases} \quad (19)$$

$$m_{IT(\text{среднее})} = \begin{cases} 0, & IT < 5 \text{ или } IT > 10; \\ \frac{IT - 5}{2}, & 5 \leq IT < 7; \\ \frac{10 - IT}{3}, & 7 \leq IT \leq 10; \end{cases} \quad (20)$$

$$m_{IT(\text{большое})} = \begin{cases} 0, & IT < 7; \\ \frac{IT - 7}{3}, & 7 \leq IT < 10; \\ 1, & IT \geq 10. \end{cases} \quad (21)$$

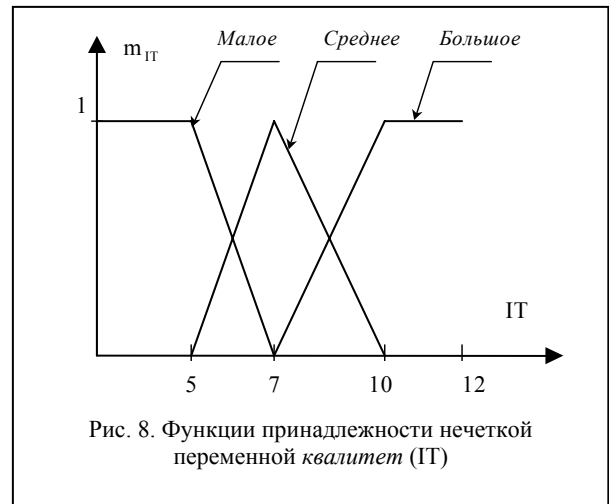


Рис. 8. Функции принадлежности нечеткой переменной качество (IT)

Для метода механической обработки поверхностей деталей минимальное и максимальное значения функции принадлежности, соответственно равные 0,3 и 0,9, были определены эвристически. Нечеткие множества для метода обработки цилиндрических поверхностей с лингвистическими категориями «малое – хорошая обработка», «среднее – средняя обработка» и «большое – грубая обработка» представлены зависимостями (22) – (24), а вид функций принадлежности показан на рис. 9.

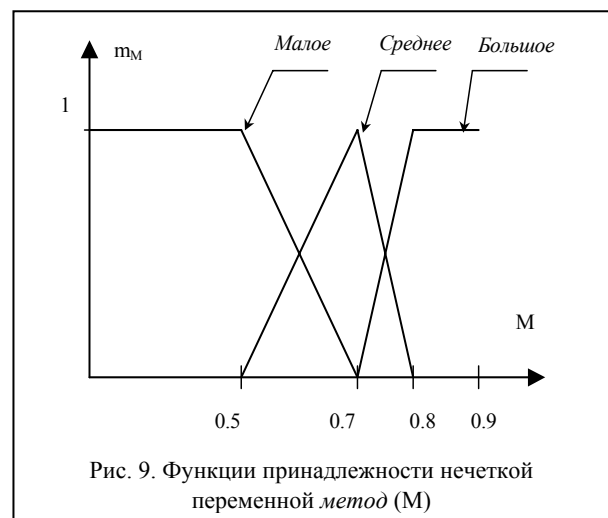


Рис. 9. Функции принадлежности нечеткой переменной метод (M)

$$m_{M(\text{малое})} = \begin{cases} 1, & M \leq 0,5; \\ \frac{0,7-M}{0,2}, & 0,5 < M < 0,7; \\ 0, & M \geq 0,7; \end{cases} \quad (22)$$

$$m_{M(\text{среднее})} = \begin{cases} 0, & M < 0,5 \text{ или } M > 0,8; \\ \frac{M-0,5}{0,2}, & 0,5 \leq M < 0,7; \\ \frac{0,8-M}{0,1}, & 0,7 \leq M \leq 0,8; \end{cases} \quad (23)$$

$$m_{M(\text{большое})} = \begin{cases} 0, & M < 0,7; \\ \frac{M-0,7}{0,1}, & 0,7 \leq M < 0,8; \\ 1, & M \geq 0,8. \end{cases} \quad (24)$$

В основу модели нечеткого логического вывода были положены сформулированные продукционные правила в форме условных суждений типа IF A THEN B. Обобщенное нечеткое правило вывода определялось по схеме, представленной в табл. 2.

Таблица 2

| Обобщенное нечеткое правило вывода |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Условие                            | x это A'                |
| Импликация                         | IF x это A THEN y это B |
| Вывод                              | y это B'                |

Нечеткое правило логического вывода представляет собой упорядоченную пару (A, B), где A – нечеткое подмножество пространства входных значений X, B – нечеткое подмножество пространства выходных значений Y. Система нечеткого вывода – это отображение  $\Gamma^{\text{разм}(X)}$  в  $\Gamma^{\text{разм}(Y)}$ , где  $\text{разм}(Z)$  – оператор определения размерности пространства Z. Необходимо отметить, что число элементов в  $\Gamma^{\text{разм}(X)}$  и  $\Gamma^{\text{разм}(Y)}$  бесконечно велико, поэтому невозможно задать правила нечеткого вывода соответствующими парами точек. Однако они могут быть описаны в форме нечетких условных суждений при решении задачи выбора метода обработки.

Сформулируем отношения предпочтения в виде нечетких условных суждений типа: «IF Шероховатость детали большая и большой качество THEN метод – грубая обработка»; «IF Шероховатость детали средняя и средний качество THEN метод – хорошая обработка»; «IF Шероховатость детали малая и малый качество THEN метод – очень хорошая обработка».

### Разработка нечеткой экспертной системы

Нечеткие отношения предпочтения формируют базу правил вывода, называемую лингвистической моделью, которая представляет собой множество правил  $R^{(k)}$ ,  $k = 1, \dots, N$ , вида (25) [2]:

$$R^{(k)} : \text{IF}(x_1 \text{ это } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ это } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ это } A_n^k) \text{ THEN } (y_1 \text{ это } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ это } B_2^k \dots \text{ AND } y_n \text{ это } B_n^k), \quad (25)$$

где N – количество нечетких правил;  $A_j^k$  – нечеткие множества:

$$A_j^k \subseteq X_i \subset R, \quad i = 1, \dots, n,$$

$B_j^k$  – нечеткие множества:

$$B_j^k \subseteq Y_j \subset R, \quad j = 1, \dots, m,$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_n$  – входные и выходные переменные лингвистической модели, которая является основным элементом модуля нечеткого управления экспертной системы.

Типовая структура модуля нечеткого управления, представленная на рис. 10, включает базу правил, блок фuzziфикации (нечеткого преобразования лингвистических переменных), блок получения решения (вывода) и блок дефuzziфикации.

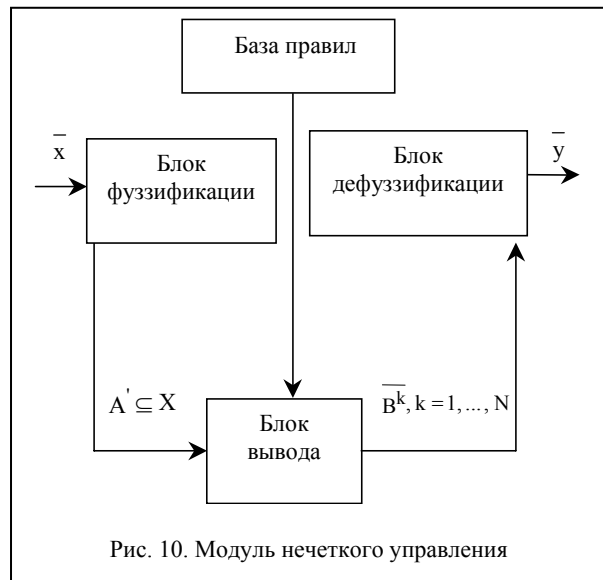


Рис. 10. Модуль нечеткого управления

В основу работы нечеткой экспертной системы положен метод вычисления суперпозиции нечетких подмножеств или обработки нечетких правил вывода, который состоит из четырех этапов:

- вычисление степени истинности левых частей правил (между «IF» и «THEN»), т.е. определение степени принадлежности входных значений нечетким подмножествам, указанным в левой части правил вывода;
- модификация нечетких подмножеств, указанных в правой части правил вывода (после «THEN»), в соответствии со значениями истинности, полученными на первом этапе;
- суперпозиция модифицированных подмножеств;
- скаляризация результата суперпозиции, т.е. переход от нечетких подмножеств к скалярным значениям.

Для определения степени истинности левой части каждого правила экспертная система вычисляет значения функций принадлежности нечетких подмножеств по соответствующим значениям входных переменных. Например, для правила «IF Шероховатость детали большая и большой квалитет THEN метод – грубая обработка» определяется степень вхождения конкретного значения переменной «Шероховатость» в нечеткое подмножество «большая», то есть истинность предиката – «Шероховатость большая».

К вычисленным значениям истинности могут применяться логические операции (26) – (28):

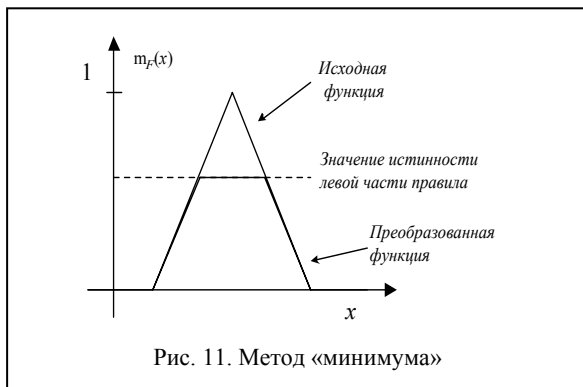
$$\text{truth}(\text{НЕ } x) = 1 - \text{truth}(x); \quad (26)$$

$$\text{truth}(x \text{ И } y) = \min\{\text{truth}(x), \text{truth}(y)\}; \quad (27)$$

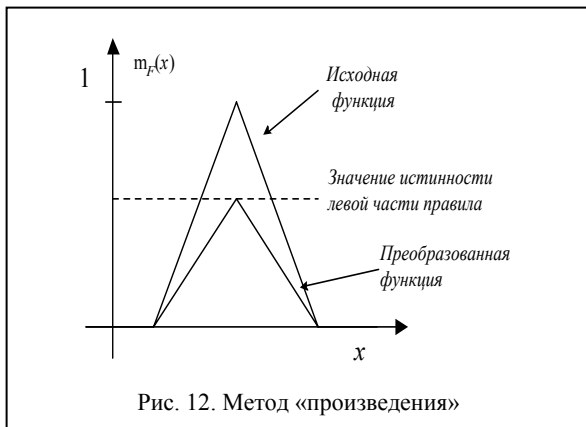
$$\text{truth}(x \text{ ИЛИ } y) = \max\{\text{truth}(x), \text{truth}(y)\}, \quad (28)$$

где  $x$  и  $y$  – высказывания;  $\text{truth}(z)$  – степень истинности высказывания  $z$ .

Полученное значение истинности используется для модификации нечеткого множества, указанного в правой части правила. Для выполнения такой модификации используют один из двух методов: «минимума» и «произведения». Первый метод ограничивает функцию принадлежности для множества, указанного в правой части правила, значением истинности левой части (рис.11).



Во втором методе значение истинности левой части используется как коэффициент, на который умножаются значения функции принадлежности (рис. 12).



Результатом выполнения правила является нечеткое множество. Таким образом, происходит ассоциирование переменной и функции принадлежности, указанных в правой части.

Выходы всех правил вычисляются нечеткой экспертной системой отдельно, однако в правой части нескольких из них может быть указана одна и та же нечеткая переменная. С целью определения обобщенного результата система учитывает все правила, т.е. производит суперпозицию нечетких множеств, связанных с каждой из таких переменных. Эта операция называется нечетким объединением правил вывода. Например, правая часть правил:

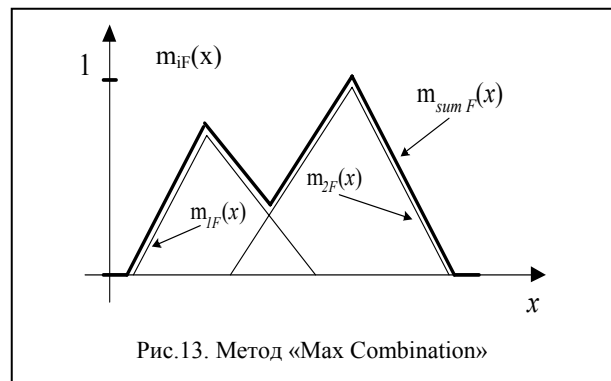
IF Ra малая THEN M очень хорошая обработка;

IF Ra средняя THEN M хорошая обработка

содержит одну и ту же переменную – M (метод). Два нечетких подмножества, получаемые при выполнении этих правил, должны быть объединены экспертной системой. В большинстве случаев суперпозиция функций принадлежности нечетких множеств  $m_{1F}(x), m_{2F}(x), \dots, m_{nF}(x)$  определяется в виде зависимости (29):

$$m_{\text{sum } F}(x) = \max\{m_{iF}(x)\} \quad \forall x, \quad i \in [1, n]. \quad (29)$$

Графическое представление подобной суперпозиции приведено на рис.13.



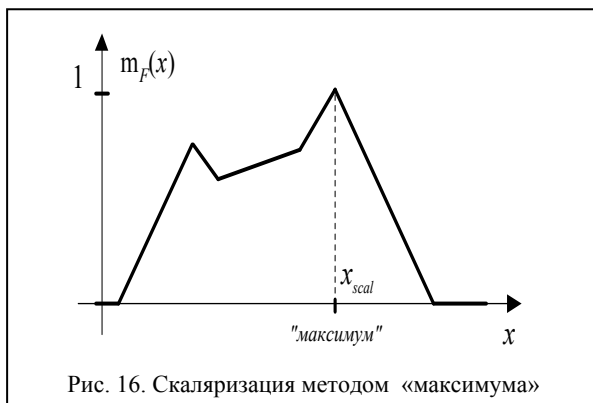
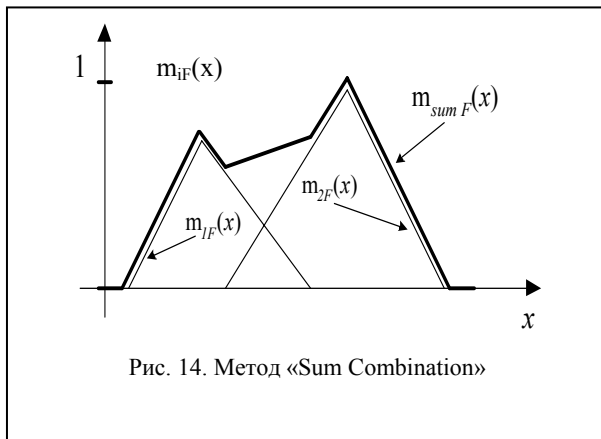
Второй метод суперпозиции заключается в суммировании значений всех функций принадлежности (30):

$$m_{\text{sum } F}(x) = \sum_{i=1}^n m_{iF}(x) \quad \forall x, \quad i \in [1, n]. \quad (30)$$

Графическая интерпретация метода суммирования приведена на рис.14

Конечным этапом обработки базы правил вывода является переход от нечетких значений к конкретным скалярным. Процесс преобразования нечеткого множества в единственное значение называется скаляризацией или дефuzziфикацией (defuzzification). Для выполнения дефuzziфикации чаще всего используется метод «центра тяжести» функции принадлежности нечеткого множества (centroid defuzzification method) (рис. 15) или метод, основанный на использовании максимального зна-

чения функции принадлежности (modal defuzzification method) (рис. 16) [3].



Конкретный выбор методов суперпозиции и скаляризации осуществляется в зависимости от желаемого поведения нечеткой экспертной системы.

### Практическая реализация нечеткой экспертной системы

Рассмотрим пример того, как обрабатываются нечеткие правила вывода в экспертной системе, разработанной в лицензионной версии программы CubiCalc 2.0. Предлагаемая нечеткая экспертная система предназначена для поддержки принятия решений относительно выбора метода обработки деталей с цилиндрическими поверхностями с целью

эффективного управления процессом механической обработки деталей на этапе их изготовления.

Алгоритм функционирования нечеткой экспертной системы включает семь этапов, а именно: инициализация; ввод данных; предобработка; выполнение правил; постобработка; вывод данных; моделирование.

На этапе инициализации осуществляется присваивание начальных значений нечетким переменным, а также выполнение действий, предусмотренных оператором для подготовки нечеткой экспертной системы к работе. Последующие этапы повторяются циклически до тех пор, пока не будет выполняться условие завершения обработки. На этапе ввода данных CubiCalc получает значения из входного файла или использует значения, введенные пользователем.

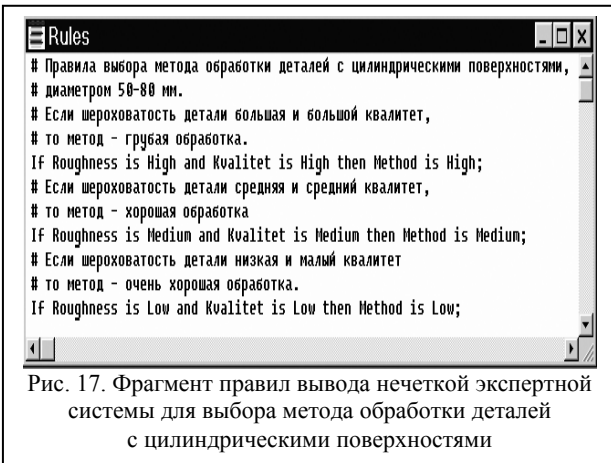
Этап предобработки используется для преобразования введенных данных и изменения значений переменных. Этап выполнения правил нечеткого вывода является основой функционирования нечеткой экспертной системы в программе CubiCalc. Он предназначен для вычисления выхода базы правил в зависимости от текущих значений входных переменных. На этом этапе CubiCalc позволяет выбрать методы суперпозиции и скаляризации нечетких множеств, которые будут использованы в процессе логического вывода.

На этапе постобработки реализуются операции преобразования результата вывода, присваивания значений внутренним переменным, используемым для записи результатов в файл, или представления их в графическом виде на этапе вывода данных.

На следующем этапе задаются правила вывода, которыми руководствуется нечеткая экспертная система. Пример нечеткого правила логического вывода, предназначенного для выбора метода механической обработки при изготовлении деталей с цилиндрическими поверхностями, в соответствии с требованиями руководства по лицензионной версии CubiCalc 2.0, выглядит так: «If Roughness is High and Kvalitet is High then Metod is High» («Если шероховатость детали большая и большой квалитет то метод – грубая обработка»). В данном правиле подразумевается нечеткое задание метода обработки в зависимости от нечеткого задания шероховатости поверхности (Ra) и степени точности обработки, т.е. квалитета (IT). Следует отметить, что для повышения эффективности работы нечеткой экспертной системы база правил была значительно расширена по сравнению с той, которая применялась в работе [5].

Этап моделирования используется для получения отклика внешней системы на данные, генерируемые нечеткой экспертной системой. При этом на вход разработанной системы поступает значение

шероховатости и качества, для чего в диалоговом окне указывается имя переменной. Так для показателя шероховатости поверхности было определено имя этой переменной – «Roughness», ее тип «Fuzzy Input» (входная нечеткая переменная), а также задан диапазон изменения ее значений. По аналогии с переменной «Roughness», была задана входная переменная характеризующая точность обработки, т.е. квалитет – «Kvalitet». Метод технологической обработки поверхности детали является выходной переменной. Для определения выходной переменной в диалоговом окне указывалось имя переменной «Method», ее тип – «Fuzzy Output» (результат работы системы нечеткого логического вывода) и задавался диапазон изменения ее значений. В правилах вывода нечеткой экспертной системы для выбора метода технологической обработки детали с цилиндрическими поверхностями применялись три категории лингвистических переменных (рис. 17), а именно: High (большое), Medium (среднее), и Low (малое).

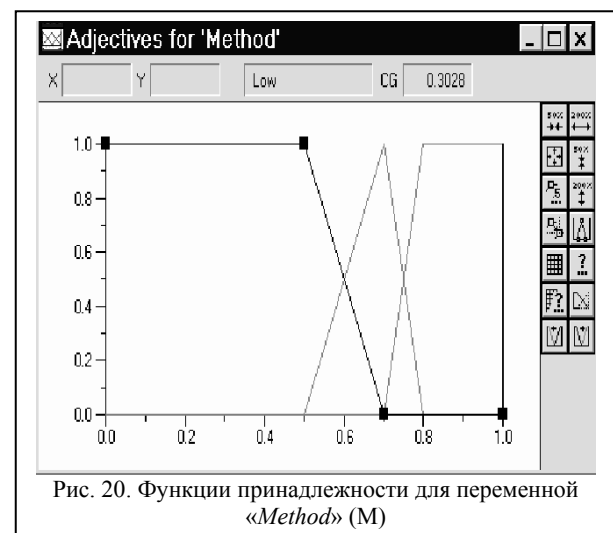
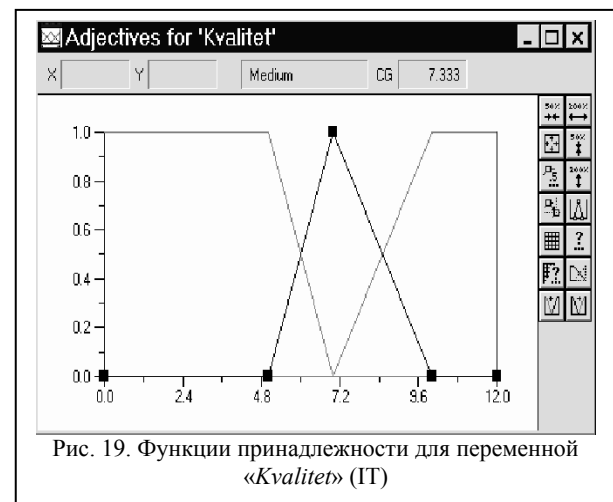
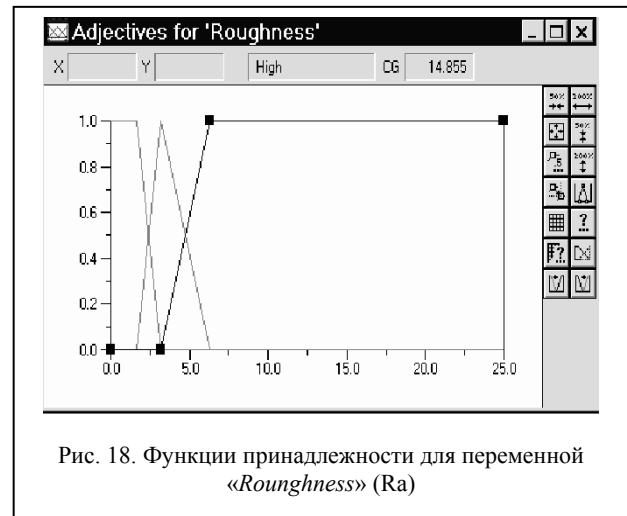


Следующий этап создания нечеткой экспертной системы заключался в реализации функций принадлежности для всех нечетких множеств. На заданном интервале значений были определены функции High, Medium, и Low, для переменных «Roughness» (рис. 18), «Kvalitet» (рис. 19), «Method» (рис. 20). Определение функций принадлежности осуществлялось в соответствии с приведенными зависимостями (16) – (24).

Для запуска нечеткой экспертной системы использовались реальные значения по показателю шероховатости (Ra) и значению класса квалитета (IT) в процессе обработки детали. Экспериментальные исследования проводились при условии, что на шероховатость поверхности воздействуют факторы, с одной стороны обусловленные внешней средой, а с другой – неоднородностью материала изготавливаемой детали.

Поэтому для запуска экспертной системы был выбран имитационный сигнал типа «Gaussian», который задает параметры стандарт-

ного нормального распределения с математическим ожиданием и стандартным отклонением, равными соответственно 0 и 1.



В результате запуска нечеткой экспертной системы была получена модель для выбора метода механической обработки поверхностей деталей цилиндрической формы, которая представлена в виде трехмерной диаграммы на рис. 21.



На графіке значенню нечеткой переменной шероховатости ( $R_a = 5,0$  мкм), и значенню качества ( $IT = 8,4$ ), т.е. фактически восьмому качеству соответствует нечеткое значение метода обработки, равное 0,8, что позволяет осуществить выбор метода *получистового обтачивания* (табл. 1).

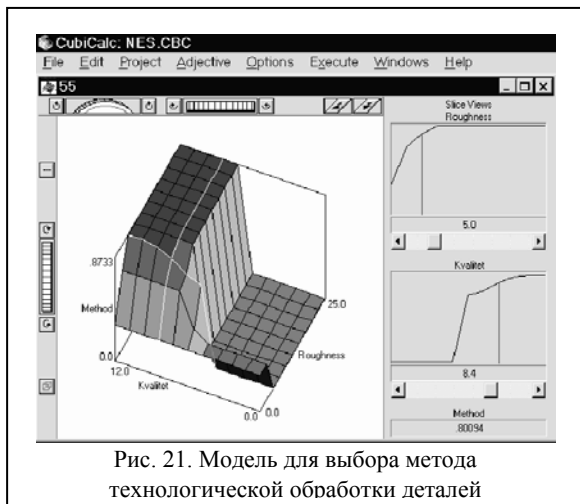


Рис. 21. Модель для выбора метода технологической обработки деталей

Следует отметить, что решение относительно выбора метода обработки – *получистового обтачивания* на основании результатов работы нечеткой экспертной системы отличается от решения, основанного только лишь на справочной информации (табл.1), в соответствии с которой целесообразно использовать метод *чистового обтачивания*.

### Выводы

1. На основе положений теории нечетких множеств разработана модель для гибкого управления качеством процесса механической обработки на-

ружных поверхностей цилиндрических деталей в условиях зашумленной исходной информации.

2. С использованием лицензионной версии программы CubiCalc 2.0 разработана нечеткая экспертная система принятия решений для управления качеством технологических процессов изготовления продукции.

### Список литературы

1. Аверкин А.Н. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта*. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
2. Рутковская Д, Пилинский М., Рутковский Л. *Нейронные сети. Генетические алгоритмы и нечеткие системы*. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
3. Корнеев В.В., Гареев А.Ф., Васютин С.В., Райх В.В. *Базы данных. Интеллектуальная обработка информации*. – М.: «Нолидж», 2000. – 352 с.
4. Аришинов В.А., Алексеев Г.А. *Резание металлов и режущий инструмент*. – М.: Машиностроение, 1967. – 500 с.
5. Федин С.С. *Разработка нечеткой экспертной системы для обеспечения качества деталей приборов и машин на этапе проектирования технологических процессов их изготовления // Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – № 5/2 (230). – С. 49-56.

Поступила в редколлегию 4.03.2008

**Рецензент:** д-р. техн. наук, проф. И.В. Петко, Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев.

### ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Федін С.С., Тріщ Р.М., Зенкін А.С.

У статті на основі математичного апарату нечіткого логічного висновку розроблено модель гнучкого управління якістю процесу механічної обробки зовнішніх циліндричних поверхонь деталей в умовах зашумленої вихідної інформації. Реалізацію моделі здійснено з використанням ліцензійної версії програми CubiCalc 2.0 у вигляді нечіткої експертної системи, яка призначена для прийняття рішень щодо вибору методу механічної обробки деталей циліндричної форми залежно від значень показників шорсткості поверхні деталей та точності технологічного процесу їх виготовлення.

**Ключевые слова:** нечіткий логічний висновок, гнучке управління якістю продукції, експертна система.

### APPLICATION OF FUZZY LOGIC CONCLUSION METHOD FOR QUALITY MANAGEMENT OF PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Fedin S.S., Trish R.M., Zenkin A.S.

In the article on the basis of mathematical means of fuzzy logic conclusion was developed the model of flexible quality management of external cylindrical surfaces of details tooling process in the conditions of noise initial information. Implementation of the model was accomplished with using the licensed program CubiCalc 2.0 as a fuzzy expert system. Expert system intended for acceptance of decisions in relation to the choice of method of details tooling of cylindrical shape depending on the values of roughness indexes of details surface and exactness of their making technological process.

**Keywords:** fuzzy logical conclusion, flexible quality management of productions, expert system.