

УДК 621.09:681.3.06

С.С. Федин, Н.А. Зубрецкая, А.С. Гончаров

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Разработана модель нечеткого логического вывода для информационной поддержки принятия решений по обеспечению качества цилиндрических деталей при проектировании типовых технологических процессов серийного машиностроительного производства.

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, качество деталей, проектирование, типовой технологический процесс, модель нечеткого логического вывода.

### Введение

В условиях серийного машиностроительного производства одним из эффективных способов обеспечения качества изготовления деталей является гибкое проектирование технологических процессов (ТП), осуществляемое с использованием базы данных деталей-аналогов на основе принципа их классификации и кодирования [1, 2]. Этот принцип позволяет реализовать технологию изготовления деталей с использованием систем информационной поддержки принятия технических решений и систем искусственного интеллекта, к которым относятся экспертные системы нечеткого логического вывода [3, 4]. В таких системах решение задач информационного обеспечения качества изделий машиностроения при проектировании ТП осуществляется с использованием методов нечеткого логического вывода [5, 6].

Информационной составляющей этих методов является база технологических знаний, представленных в виде нечетких правил и сформированных с учетом связей между входными  $X$  (техническое задание) и выходными  $Y$  (технологическая документация) конструкторско-технологическими данными. Установление таких связей невозможно без разработки моделей, обеспечивающих информационную поддержку и повышение гибкости проектирования типовых ТП машиностроения.

**Целью статьи** является разработка модели нечеткого логического вывода для информационной поддержки принятия решений по обеспечению качества деталей машиностроения при проектировании типовых ТП.

### Формализация задачи гибкого проектирования типовых технологических процессов

Для формализации задачи гибкого проектирования типовых ТП механической обработки цилиндрических деталей рассмотрим принцип формирования нечетких правил, основанный на использова-

нии сущностей антецедента (основания) и консеквента (следствия). Пусть моделируемый ТП определяется совокупностью нечетких множеств:

$$X(U) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} \text{ и } Y(V) = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\},$$

$$X_i = \{(x, \mu_{x_i}(x))\}; Y_i = \{(y, \mu_{y_i}(y))\},$$

где  $U$  и  $V$  – соответственно конечные входное и выходное пространства объекта моделирования,  $\mu_{x_i}(x)$  и  $\mu_{y_i}(y)$  нечеткие функции принадлежности входных и выходных параметров проектируемого ТП. Тогда нечеткое правило  $RT_i$  представляет собой утверждение вида:

$$\text{ЕСЛИ } X_1R \dots X_kR \text{ ТО } Y_1R \dots Y_kR,$$

где  $X_1R \dots X_kR$  – условия нечеткого правила,  $Y_1R \dots Y_kR$  – нечеткое множество возможных технологических решений по выбору: типов заготовки; методов обработки поверхностей (в зависимости от кода обрабатываемой поверхности, качества и других технологических характеристик); режущего инструмента (подгруппы, группы, вида); марок материалов режущей части инструмента; типов измерительного и вспомогательного инструментов.

Если  $RT$  – система технологических правил, а  $X, Y$  – множество входных и выходных параметров, то справедливо отображение вида:

$$\begin{matrix} RT \\ X \Rightarrow Y \end{matrix}$$

При проектировании ТП изготовления цилиндрических деталей зададим множества:  $D = \{d_i\}$  – деталей;  $T = \{t_i\}$  – технологий;  $O = \{o_i\}$  – операций;  $\Pi = \{p_i\}$  – переходов;  $P = \{p_i\}$  – поверхностей;  $M = \{m_i\}$  – методов обработки. Деталь  $\{d_i\}$  представим в виде многовариантного набора поверхностей  $\{p_i\}$ , для каждой из которых определено нечеткое множество методов обработки  $\{m_i\}$  с соответствующими значениями функции принадлежности  $\mu_{m_i}$  (рис. 1).

Процесс механической обработки представляет собой целенаправленную последовательность изменений состояний и свойств заготовки  $Z$  до ее конечного состояния, т.е. готовой детали  $D$ .

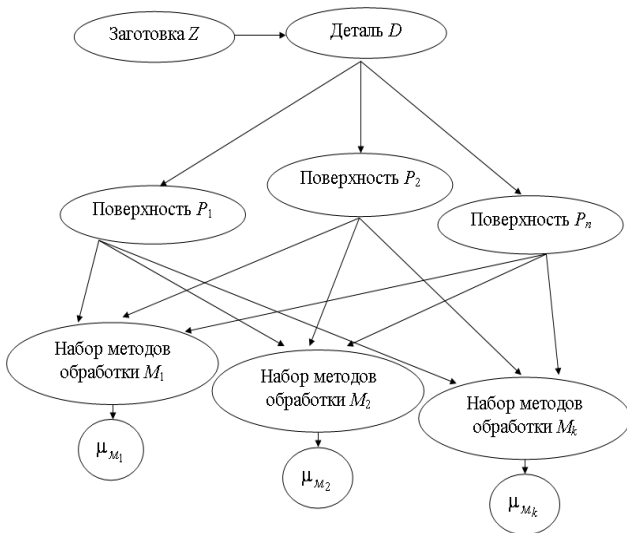


Рис. 1. Варианты механической обработки поверхностей изготавливаемой детали D

Исходное состояние задается множеством параметров, характеризующих форму и размеры заготовки, материал, физико-механические свойства отдельных поверхностей в соответствии с требованиями конструкторской документации.

Последовательность состояний ТП механической обработки, характеризующегося определенными размерными параметрами заготовки, можно задать с учетом степени его необходимой детализации (технологический маршрут, технологическая операция, технологический переход, рабочий и вспомогательные ходы) в виде выражения:

$$T: Z \rightarrow D,$$

где  $T = \{t_i, \mu_{t_i}\}$  – нечеткое множество технологий, такое, что любому ТП  $t_i \in T$  задано значение функции принадлежности  $\mu_{t_i} \in [0,1]$ ;  $Z = \{z_i, \mu_{z_i}\}$  – нечеткое множество заготовок  $z_i \in Z$  с заданным значением функции принадлежности  $\mu_{z_i} \in [0,1]$ ;  $D = \{d_i, \mu_{d_i}\}$  –

нечеткое множество деталей  $d_i \in D$  с заданным значением функции принадлежности  $\mu_{d_i} \in [0,1]$ .

Рассмотрим частный случай гибкого проектирования ТП, при котором из множества  $Z$  используются только те заготовки, которые после механической обработки по технологии  $T$  можно непосредственно преобразовать в готовую деталь  $D$  (рис. 2). Из множества заготовок  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$  можно получить одну деталь  $\{d\}$  в процессе механической обработки с использованием различных методов  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ , каждому из которых соответствует определенное значение функции принадлежности  $\mu_{m_i} \in [0,1]$ . При этом из всего множества приемлемых решений необходимо выбрать рациональный метод обработки с максимальным значением функции принадлежности  $\mu_{m_i}$ .

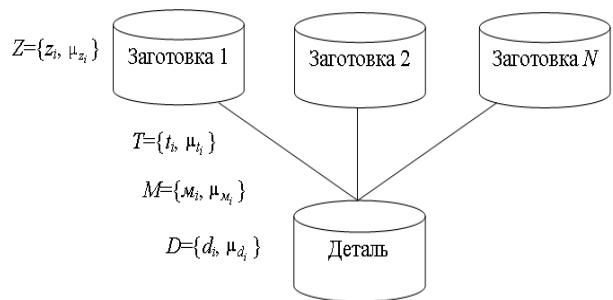


Рис. 2. Многовариантность выбора заготовки при изготовлении детали с использованием определенной технологии

Выбор метода обработки поверхностей деталей  $M$  осуществляется по значениям функции принадлежности с учетом рекомендованных значений качества ИТ и шероховатости поверхности  $Ra$ . При этом каждому методу обработки соответствует область, выделенная определенной штриховкой и границей, задающая предикаты  $Q_i$  с областью определения, зависящей от диапазонов  $Ra$  и ИТ (табл. 1) [7].

Таблица 1

Предикаты  $Q_i$ , характеризующие значения  $Ra$  и ИТ при обработке наружных цилиндрических поверхностей деталей диаметром (50 – 80) мм

Фон	Граница	Метод обработки	Ранг метода	Предикат $Q_i$
		Обтачивание получистовое	8	$Q_8 = (3,2 \leq Ra \leq 6,3) \wedge (9 \leq IT \leq 10)$
		Обтачивание чистовое	7	$Q_7 = (3,2 \leq Ra \leq 6,3) \wedge (8 \leq IT \leq 9)$
		Обтачивание тонкое	6	$Q_6 = (2,5 \leq Ra \leq 3,2) \wedge (6 \leq IT \leq 7)$
		Шлифование предварительное	5	$Q_5 = (2,5 \leq Ra \leq 3,2) \wedge (6 \leq IT \leq 7)$
		Шлифование чистовое	4	$Q_4 = (1,6 \leq Ra \leq 2,5) \wedge (6 \leq IT \leq 7)$
		Шлифование тонкое	3	$Q_3 = (1,6 \leq Ra \leq 2,5) \wedge (5 \leq IT \leq 6)$
		Притирка, суперфиниширование	2	$Q_2 = (0,8 \leq Ra \leq 1,6) \wedge (5 \leq IT \leq 6)$
		Алмазное выглаживание	1	$Q_1 = (0,8 \leq Ra \leq 1,6) \wedge (5 \leq IT \leq 6)$

Требования, приведенные в табл. 1, регламентированы в нормативной документации и характеризуют ранг методов механической обработки поверхностей заготовок для получения заданной точности IT и шероховатости Ra поверхности детали (предикаты  $Q_i$ ).

Выбор метода обработки поверхности определяется положением знака «Z/D» ● (заготовка/деталь), который в процессе преобразования заготовки в готовую деталь перемещается по областям разработанной матрицы данных (рис. 3).

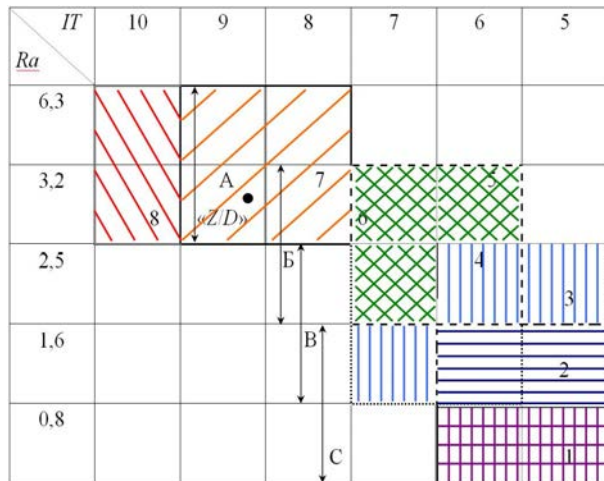


Рис. 3. Структура матрицы данных для выбора методов механической обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей с учетом качества IT и шероховатости поверхности Ra (области А, Б, С и Д)

Анализ областей матрицы показывает, что наибольшая степень неопределенности при выборе рационального метода обработки наблюдается при пересечении предикатов  $Q_6 - Q_3$  (см. табл. 1). В этом случае принятие решения по выбору метода обработки деталей может варьировать от метода 6 – «Обтачивание тонкое», до метода 3 – «Шлифование тонкое».

### Разработка модели нечеткого логического вывода в системе CubiCalc

Модель нечеткого логического вывода для поддержки принятия решения по выбору рационального метода обработки разрабатывали на основе данных табл. 1, преобразованных к виду, представленному в табл. 2.

В качестве программного обеспечения для реализации нечеткой модели использовали лицензионную версию системы нечеткого моделирования CubiCalc 2.0 [8].

Треугольные функции принадлежности входных переменных Ra и IT и выходной переменной M определяли с использованием специального приложения системы CubiCalc – Rule Maker, предназначенного для обработки массивов данных, их класте-

ризации и выявления связей между выделенными группами в виде нечетких правил.

Таблица 2

Исходные данные для создания функций принадлежности и базы правил модели нечеткого логического вывода

№	Ra	IT	M
1	3,2	9	8
2	6,3	10	8
3	3,2	8	7
4	6,3	9	7
5	2,5	6	6
6	3,2	7	6
7	2,5	6	5
8	3,2	7	5
9	1,6	6	4
10	2,5	7	4
11	1,6	5	3
12	2,5	6	3
13	0,8	5	2
14	1,6	6	2
15	0,8	5	1
16	1,6	6	1

Определение соответствующих нечетких правил осуществляли на основе кусочно-линейной интерполяции с использованием метода Sparse interpolation приложения Rule Maker (рис. 4). Отличительной особенностью этого метода является – преобразование строк табл. 2 в кластеры и нахождение корреляционных зависимостей между найденными кластерами, а не между исходными данными, что выражается в создании набора нечетких правил модели.

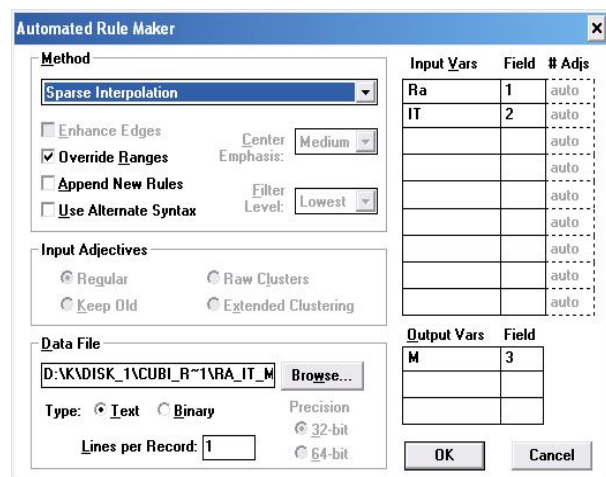


Рис. 4. Интерфейс Rule Maker – автоматического конструктора правил и функций принадлежности

Таким образом, в разработанной модели нечеткого логического вывода исключен фактор, связанный с субъективностью построения базы нечетких

правил и функций принадлежности в связи с их автоматическим определением на основе количественных исходных данных.

Разработанная модель системы нечеткого логического вывода позволяет на этапе проектирования ТП при задании  $R_a$  и  $IT$  получать весовые коэффициенты рационального метода  $M$  механической обработки поверхностей деталей. Результат компьютерного моделирования по нечеткому выбору метода обработки поверхностей цилиндрических деталей с наружным диаметром (50 – 80) мм представлен на рис. 5, где нечетким входным переменным  $R_a=1,9$  мкм и  $IT_6$  соответствует значение нечеткой выходной переменной  $M=3,71$ , что позволяет осуществлять выбор метода обработки 4 – «Шлифование чистовое».

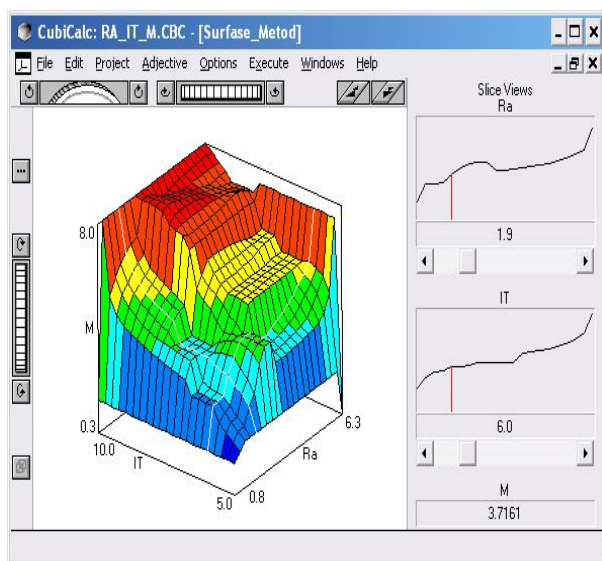


Рис. 5. Результат компьютерного моделирования с использованием разработанной модели нечеткого логического вывода

Следует отметить, что выбранный с использованием разработанной нечеткой модели метод 4 – «Шлифование чистовое» является более рациональным и менее трудоемким, чем метод 3 – «Шлифование тонкое», который следовало бы выбрать, руководствуясь только лишь рекомендованными данными (табл. 1). Отличительной особенностью разрабо-

танной нечеткой модели является повышение гибкости проектирования ТП в условиях серийного автоматизированного производства деталей машиностроения.

## Вывод

Разработана модель нечеткого логического вывода, предназначенная для гибкого автоматизированного проектирования типовых технологических процессов серийного машиностроительного производства и информационной поддержки принятия решений по обеспечению качества деталей на основе выбора рационального метода механической обработки деталей.

## Список литературы

1. Глоба Л.С. Проектирование интеллектуальных компьютерных технологий для технологической подготовки производства / Л.С. Глоба, В.А. Остафьев, Б.И. Жданов. – К.: НаУКМА, 1996. – 198 с.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430 с.
3. Федин С.С. Применение метода нечеткого логического вывода для управления качеством продукции в условиях неопределенности / С.С. Федин, Р.М. Триц, А.С. Зенкин // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2008. – Вып. 2(69). – С. 150-158.
4. Бровкова М.Б. Системы искусственного интеллекта в машиностроении: учеб. пособие / М.Б. Бровкова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. – 119 с.
5. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
6. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федюлов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
7. Справочник технолога машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.2. – 496 с.
8. Корнеев В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх. – М.: Нолид, 2000. – 352 с.

Поступила в редколлегию 8.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.А. Зенкин, Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев.

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ

С.С. Федін, Н.А. Зубрецька, О.С. Гончаров

Розроблено модель нечіткого логічного висновку для інформаційної підтримки прийняття рішень щодо забезпечення якості деталей при проектуванні типових технологічних процесів машинобудівного виробництва.

**Ключові слова:** Інформаційне забезпечення, якість деталей, проектування, типовий технологічний процес, модель нечіткого логічного висновку.

## INFORMATIVE PROVIDING OF QUALITY OF MODEL DETAILS OF ENGINEER WITH THE USE OF MODEL OF FUZZY INFERENCE

S.S. Fedin, N.A. Zubreckaya, A.S. Goncharov

The model of fuzzy inferencing is developed for informative support of acceptance of decisions on providing of quality of details at planning of model technological processes of machine-building production.

**Keywords:** Informative providing, quality of details, planning, model technological process, model of fuzzy inferencing.