

Формирование нечеткого исходного множества технологических альтернатив для выбора методов обработки поверхностей

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

На современном этапе развития технологии приборо- и машиностроения формализации, а следовательно, алгоритмизации и автоматизации поддаются не все этапы проектирования технологических процессов в связи с отсутствием четкой и структурированной информации о них. Существующие САПР не учитывают специфики реального предприятия, не обладают технологической гибкостью, которая необходима в условиях мелкосерийного приборостроительного производства, нет возможности оперативно реагировать на смену условий производства и требований заказчика. Создание и использование систем гибкого автоматизированного проектирования технологических процессов с элементами искусственного интеллекта предполагает создание конструкторско-технологической базы знаний предприятия с использованием нечетких экспертных правил. Как правило, на предприятиях имеются справочные базы данных, используемые технологами при диалоговом проектировании технологических процессов, однако имеющиеся формализованные материалы недостаточны для решения всего многообразия задач автоматизированного технологического проектирования. В связи с отсутствием специалистов по знаниям создание базы знаний и ее заполнение представляют трудности для предприятия.

Исходя из вышеизложенного, целью статьи является разработка алгоритма формирования нечетких экспертных правил выбора методов обработки поверхностей конструкторско-технологической базы знаний с использованием имеющейся на предприятии справочной базы данных.

Постановка задачи

Задачей принятия технологических решений при выборе метода обработки поверхности является пара $\langle \Omega, \text{ОП} \rangle$, где Ω – нечеткое множество вариантов, ОП – принцип оптимальности; решением задачи $\langle \Omega, \text{ОП} \rangle$ – множество $Q_{\text{оп}} \subseteq \Omega$, полученное с помощью принципа оптимальности ОП. Математическим выражением принципа оптимальности ОП служит функция выбора $C_{\text{оп}}$. Она сопоставляет любому подмножеству $X \subseteq \Omega$ его часть $C_{\text{оп}}(X)$. Решением $Q_{\text{оп}}$ исходной задачи является множество $C_{\text{оп}}(\Omega)$. Элементы множества Ω служат технологическими альтернативами или вариантами [1]. Принцип оптимальности задает понятие лучших альтернатив: лучшими считают альтернативы, принадлежащие $C_{\text{оп}}(\Omega)$.

Процесс решения задачи $\langle \Omega, \text{ОП} \rangle$ организуют по следующей схеме: формируют множество Ω , т. е. подготавливают технологические альтернативы, а затем решают задачу выбора. В процессе формирования нечеткого множества Ω используют условия возможности и допустимости технологических альтернатив, которые определяются конкретными ограничениями задачи. При этом считают




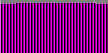





известным универсальное множество Q_v всех мыслимых альтернатив. Задача формирования Ω является задачей выбора $\langle Q_v, ОП_1 \rangle$, где $ОП_1$ - принцип оптимальности, выражающий условия допустимости технологических альтернатив. Множество $\Omega = C_{оп}(Q_v)$, полученное в результате решения указанной задачи выбора, называют исходным множеством технологических альтернатив (ИМТА).

Формирования нечеткого ИМТА на основе имеющейся справочной информации

Итак, общая задача принятия технологических решений сводится к решению двух последовательных задач выбора. Рассмотрим решение первой задачи – формирования нечеткого ИМТА на основе имеющейся справочной информации для выбора методов обработки поверхностей при гибком проектировании ТП [2]. Как правило, на предприятиях имеются базы данных справочной информации, используемые технологами при разработке технологических процессов в диалоговом режиме. В табл. 1 представлена справочная информация о методах обработки наружных цилиндрических поверхностей и значениях качества и шероховатости, получаемых при обработке.

Таблица 1

Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей

	Цвет	Граница	Обработка	IT	IT	Ra	Ra
1		==	обтачивание черновое	14	12	50	6,3
2		==	обтачивание полуст., однократ.	13	11	25	1,6
3		—	обтачивание чистовое	10	8	6,3	0,4
4		—	обтачивание тонкое	9	6	1,6	0,2
5		---	шлифование предварительное	9	8	6,3	0,4
6		==	шлифование чистовое	7	6	3,2	0,2
7		---	шлифование тонкое	6	5	1,6	0,1
8		—	притирка, суперфиниширование	5	4	0,8	0,1
9		==	алмазное выглаживание	10	5	0,8	0,05

Рассмотрим формирование исходного множества технологических альтернатив для заполнения экспертных правил базы конструкторско-технологических знаний предприятия. Представим эту же информацию в графическом виде (рис. 1).

Используя данные табл. 1, каждому методу обработки на рис. 1 поставлена в соответствие область определенного цвета и очерченная границей. Цвет заливки и тип линии, ограничивающей область, указан в табл. 1. Значения шероховатости и качества конкретной детали определены положением знака ●; Значения шероховатости и точности для заготовки – положением знака «з» ○.

Все возможные альтернативные методы обработки, позволяющие достичь заданную точность и качество поверхности, находятся в области левее и выше точки «д», правее и ниже точки «з».

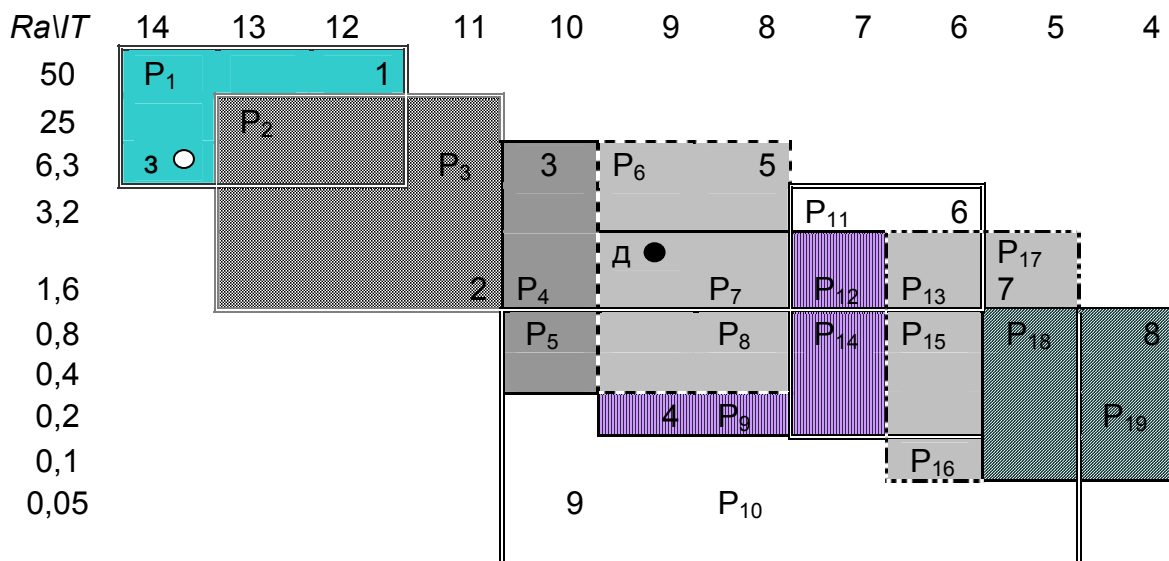


Рис. 1. Графическое представление данных о методах обработки для наружных цилиндрических поверхностей с учетом точности и качества поверхности.

Каждую область 1-9 можно описать с помощью двухместного предиката QR, который принимает значение «истина» (1), если точка принадлежит области и значение «ложь» (0), если точка не принадлежит области. Предикаты, описывающие области 1-9 приведены ниже:

$$QR_1 = (6,3 \leq Ra \leq 50) \wedge (12 \leq IT \leq 14)$$

$$QR_2 = (1,6 \leq Ra \leq 25) \wedge (11 \leq IT \leq 13)$$

$$QR_3 = (0,4 \leq Ra \leq 6,3) \wedge (8 \leq IT \leq 10)$$

$$QR_4 = (0,2 \leq Ra \leq 1,6) \wedge (6 \leq IT \leq 9)$$

$$QR_5 = (0,4 \leq Ra \leq 6,3) \wedge (8 \leq IT \leq 9)$$

$$QR_6 = (0,2 \leq Ra \leq 3,2) \wedge (6 \leq IT \leq 7)$$

$$QR_7 = (0,1 \leq Ra \leq 1,6) \wedge (5 \leq IT \leq 6)$$

$$QR_8 = (0,8 \leq Ra \leq 0,1) \wedge (4 \leq IT \leq 5)$$

$$QR_9 = (0,05 \leq Ra \leq 0,8) \wedge (5 \leq IT \leq 10)$$

Для каждого из участков, получившихся при пересечении областей 1-9, имеется несколько альтернативных методов обработки, позволяющих получить одну и ту же точность и шероховатость поверхности. Опишем каждый из участков, получившихся на пересечении областей 1-9 элементарной конъюнкцией вида

$$R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge R_5 \wedge R_6 \wedge R_7 \wedge R_8 \wedge R_9 \text{ и т.д.}$$

Получим 19 элементарных конъюнкций. Каждой конъюнкции поставим в соответствие двоичный номер, где R_n соответствует значению 1, $\neg R_n$ соответствует значению 0. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Определение количества альтернативных методов обработки для участков 1-19

Конъюнкции	Двоичн. пр.	Ранг	Область
$R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	100000000	1	$P_1 \circ 3$
$R_1^{\wedge} R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	110000000	2	P_2
$\neg R_1^{\wedge} R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	010000000	1	P_3
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	001000000	1	P_4
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	001000001	2	P_5
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	001010000	2	P_6
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	001110000	3	$P_7 \bullet д$
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	001110001	4	P_8
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	000100001	2	P_9
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	000000001	1	P_{10}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000001000	1	P_{11}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000101000	2	P_{12}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000101100	3	P_{13}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	000101001	3	P_{14}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000101101	4	P_{15}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000001001	2	P_{16}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000000100	1	P_{17}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} R_9$	000000111	3	P_{18}
$\neg R_1^{\wedge} \neg R_2^{\wedge} \neg R_3^{\wedge} \neg R_4^{\wedge} \neg R_5^{\wedge} \neg R_6^{\wedge} \neg R_7^{\wedge} \neg R_8^{\wedge} \neg R_9$	000000010	1	P_{19}

Количество единиц в двоичном номере («ранг») соответствует количеству методов обработки, которыми можно получить точность и шероховатость поверхности, соответствующую данной области $P_1 - P_{19}$ (см. рис. 1). Для выделения технологических альтернатив запишем предикаты, описывающие участки попарного пересечения областей (см. рис. 1) и выберем только выполнимые предикаты, представим их в виде табл. 3:

Таблица 3

Предикатное описание участков попарного пересечения областей 1-9

QR ₁	QR ₂	QR ₃	QR ₄	QR ₅	QR ₆	QR ₇	QR ₈
QR ₁ [∧] QR ₂	QR ₂ [∧] QR ₃	QR ₃ [∧] QR ₄	QR ₄ [∧] QR ₅	QR ₅ [∧] QR ₆	QR ₆ [∧] QR ₇	QR ₇ [∧] QR ₈	QR ₈ [∧] QR ₉
		QR ₃ [∧] QR ₅	QR ₄ [∧] QR ₆	QR ₅ [∧] QR ₉	QR ₆ [∧] QR ₈	QR ₇ [∧] QR ₉	
			QR ₄ [∧] QR ₇		QR ₆ [∧] QR ₉		
			QR ₄ [∧] QR ₈				
			QR ₄ [∧] QR ₉				

Далее построим ориентированный структурный граф $G(R,E)$, где множество вершин R – множество областей 1-9, описанных предикатами $QR_1 - QR_9$, E – множество дуг (рис. 2). Дуга связывает вершины R_n и R_k , если предикат $QR_n^{\wedge}QR_k$ – выполнимый и представлен в табл. 2.

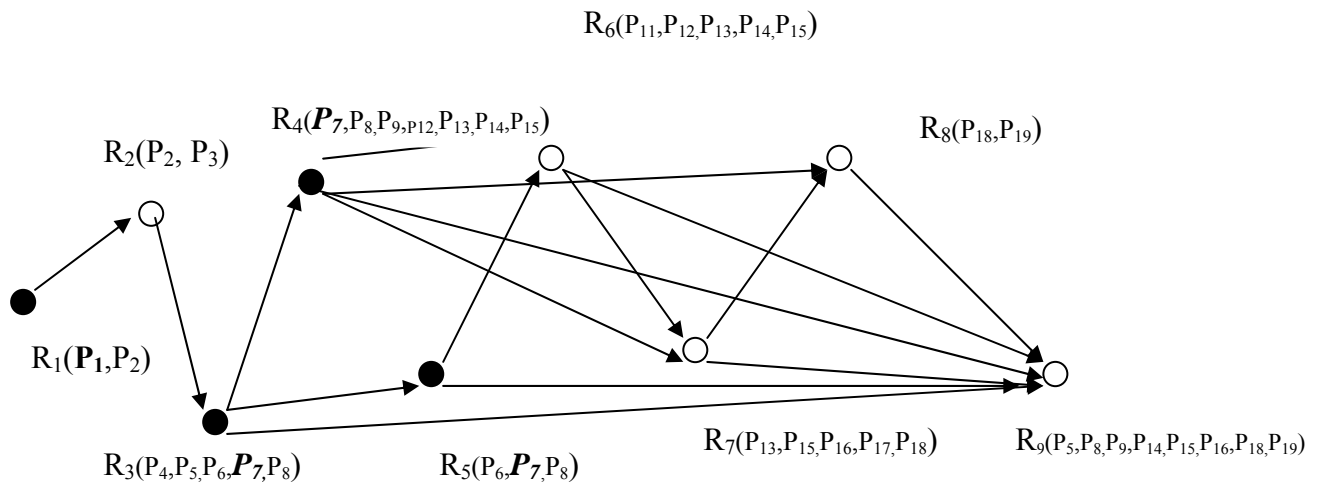


Рис.2. Структурный граф методов обработки наружных цилиндрических поверхностей

Для каждой вершины графа R_k в скобках указаны области P_i , (см. рис. 1) которые покрывает данный метод обработки.

Построим булеву матрицу $\|B\|^1$ для графа $G(R,E)$, указывающую на существование путей длиной 1. Существование пути длиной 1 между вершинами R_n и R_k говорит о возможности последовательного применения методов обработки n, k :

Таблица 4

Существование путей длиной 1

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9
R_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
R_2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
R_3	0	0	0	1	1	0	0	0	1
R_4	0	0	0	0	0	1	1	1	1
R_5	0	0	0	0	0	1	0	0	1
R_6	0	0	0	0	0	0	1	0	1
R_7	0	0	0	0	0	0	0	1	1
R_8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
R_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Алгоритм формирования нечетких экспертных правил

Таким образом, с помощью представленного графа $G(R,E)$ можно определить все альтернативные методы обработки поверхности. Например, если значения качества и шероховатости $G(R,E)$ заготовки (13, 6.3), что соответствует области P_1 , требуемые значения ИТ, R_a (9,1.6)- P_7 , то существует три пути на графе $G(R,E)$ (см. рис. 2):

$$\Omega_1: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3$$

$$\Omega_2: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_5$$

$$\Omega_3: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_4$$

Им соответствует три альтернативных метода обработки такой поверхности. Исходное множество технологических альтернатив Ω состоит из трех элементов. Для обеспечения гибкости проектирования ТП ИМТА является нечетким, каждой технологической альтернативе экспертом проставляется значение функции принадлежности $\mu \in [0,1]$ и формируется нечеткое экспертное правило базы конструкторско-технологических знаний [4]. Пример правила приведен ниже.

ЕСЛИ поверхность=(основная, наружная, круглая в поперечном сечении, цилиндрическая)

И заготовка(IT, R_a) $\in P_1$

И требуемые(IT, R_a) $\in P_7$

ТО метод обработки= $\{(\Omega_1, \mu_1), (\Omega_2, \mu_2), (\Omega_3, \mu_3)\}$

На рис. 3 изображен алгоритм формирования нечетких экспертных правил выбора методов обработки поверхностей с учетом качества и шероховатости базы конструкторско-технологических знаний на основе имеющейся справочной базы данных предприятия.

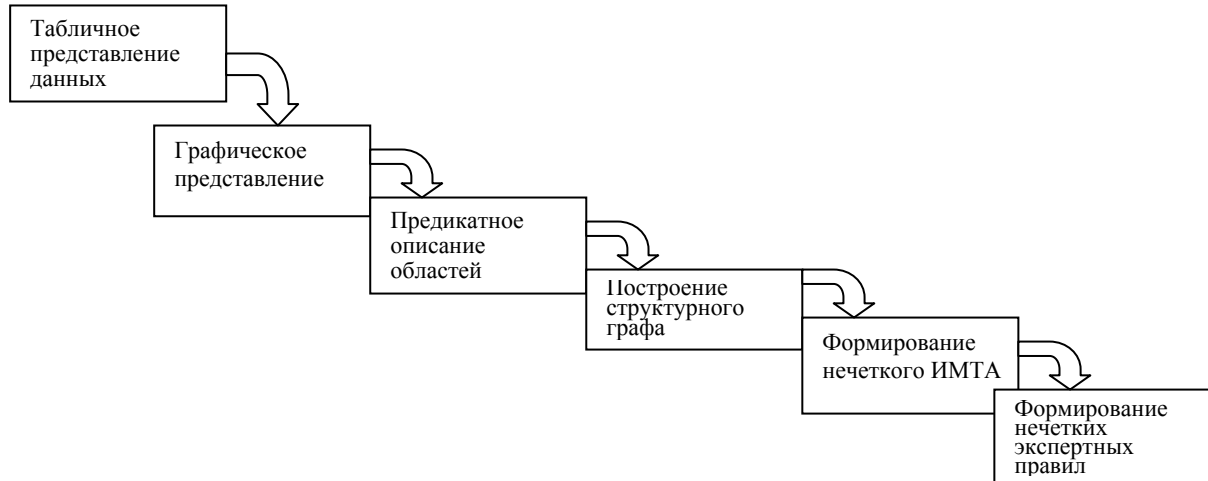


Рис.3. Алгоритм формирования нечетких экспертных правил с использованием справочной базы данных предприятия

На основе данного алгоритма несложно разработать дополнительное программное обеспечение, с помощью которого можно сгенерировать модуль знаний конструкторско-технологической базы знаний предприятия для выбора методов обработки наружных цилиндрических поверхностей. Модуль знаний будет состоять из набора нечетких экспертных правил.

Аналогичные модули знаний для гибкого проектирования технологических процессов можно сгенерировать на основе справочной базы данных предприятия для других поверхностей классификатора поверхностей [2,5].

Выводы

1. Предложенный метод формирования ИМТА для выбора методов обработки поверхностей позволяет использовать имеющуюся на предприятии справочную базу данных.
2. Введение нечеткости ИМТА позволяет обеспечить гибкость процесса проектирования ТП.
3. В дальнейшем следует рассмотреть применение данного метода формирования нечетких экспертных правил для других типов поверхностей.

Список литературы

1. Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов.- М.: Наука, 1982.-328с.
2. Лапа М.В. Интеллектуальный метод гибкого проектирования технологических процессов изготовления деталей приборов: Дис. канд. техн. наук: 05.11.14. - К., 2004.-181 с.
3. Глоба Л.С., Лапа М.В. Представление технологических знаний с помощью математического аппарата нечеткой логики //Тези доповідей наук. – техн. конф. “Приладобудування 2002: підсумки і перспективи”. –Київ: НТУУ”КПІ”.-2002.-С.86.
4. Лапа М.В. Оптимизация и принятие решений при гибком проектировании технологических процессов. // Зб. наук. пр. науково-технічної конференції „Приладобудування 2004: стан і перспективи”.- Київ: НТУУ”КПІ”.-2004.-С.76.