

## ПОДХОД К ФОРМАЛИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МАРШРУТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

© 2010 Ю.Л. Чигиринский, С.А. Соловьева, Р.Е. Бехтер

Волгоградский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.03.2010

Рассмотрен подход к построению формального математического алгоритма проектирования последовательности механической обработки поверхности заданного качества. Предлагается включить в последовательность обработки переходы, существенно повышающие качество и точность обрабатываемой поверхности. Для оценки изменения технологических показателей предложено применять методы математической статистики.

Ключевые слова: *технология, последовательность обработки, качество, информационная система*

Технологическое проектирование как комплекс инженерных задач, можно рассматривать в виде циклической итерационной последовательности [44] дискретных, в достаточной степени самостоятельных и завершенных во времени проектных процедур. Основная сложность автоматизации процесса технологического проектирования состоит в отдаленности по времени двух проектных процедур: принятия решения на этапе маршрутного проектирования и проверки корректности принятого решения, которая выполняется, как правило, в условиях опытного производства, т.е. на завершающем этапе цикла проектирования. От корректности инженерных решений, полученных на начальных стадиях (выбор методов и последовательности обработки поверхностей и смены баз) зависит необходимость выполнения всех последующих проектных процедур. Большинство промышленно применяемых технологических систем автоматизированного проектирования [8] ориентированы на решение так называемых «формализованных» вычислительных задач, таких как расчет операционных припусков, режимов резания, определение норм времени на обработку, задач информационного поиска или формирования бланковой документации. Задачи маршрутного проектирования в таких системах не поддерживаются.

В основе проектирования технологии механической обработки лежат проблемы формирования заданного качества. Большинство изделий машиностроения характеризуется достаточно простой геометрической формой и, следовательно, качество обработки отдельных

поверхностей может быть обеспечено выполнением относительно несложных методов формообразования. Качество изделия в целом определяется геометрической точностью, микрогеометрическими и физико-механическими характеристиками отдельных обработанных поверхностей и точностью взаимного расположения поверхностей. Такие показатели качества обеспечиваются, соответственно, выбором не только методов окончательной обработки, но и выбором базовых поверхностей и последовательности обработки и смены баз. Качество и точность обработанной поверхности оценивается комплексом показателей, каждый из которых можно рассматривать как параметр технологического метода, с помощью которого получено определенное состояние поверхности изделия. Совокупность диапазонов значений технологических показателей для различных методов обработки называют таблицами точности обработки и используют в качестве информационной базы технологического проектирования. Основным недостатком традиционных таблиц точности, фактически определяющим невозможность формализованного решения задачи проектирования последовательности обработки, является отсутствие значений, определяющих величины изменения технологических показателей при каждом последующем переходе обработки. Кроме того, сами значения технологических показателей, приводимые в справочной литературе [99], также являются неоднозначными. Как следствие, достоверность результатов неформализованного проектирования последовательности обработки на базе нечетких исходных данных требует проверки в условиях опытного производства.

Если каждый из технологических показателей метода обработки рассматривать как случайную величину [5], то подход к проектированию последовательности обработки может быть следующим – последовательность обработки формируется таким образом [1,7], чтобы каждая

*Чигиринский Юлий Львович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru*

*Соловьева Светлана Александровна, магистрант. E-mail: Tectmash@vstu.ru*

*Бехтер Руслан Евгеньевич, магистрант. E-mail: Tectmash@vstu.ru*

последующая технологическая операция существенно улучшала показатели качества и точности изделия. Предположим, что 2 метода обработки, смежные в технологической последовательности, существенно различаются по достижимым значениям показателя, если случайные величины, определяющие эти методы, принадлежат различным генеральным совокупностям. Традиционные [2,3] статистические критерии – Стьюдента, Крамера-Уэлча и др. – не позволяют оценить сходство или различие случайных величин с заранее неизвестным законом распределения на основании анализа выборочных совокупностей бесконечно большого объема. Такие случайные величины составляют содержание таблиц точности обработки. Решить задачу сравнения двух случайных величин можно предположив, что законы распределения вероятностей для определенных производственных условий являются одинаковыми и используя в качестве критерия коэффициент вариации (1) – величину [1010] отношения стандартного отклонения  $S$  к среднему значению  $X^{mid}$ , не зависящую от объемов выборочных совокупностей. В соответствии с теоремой о сложении случайных величин  $X_1$  и  $X_2$  с одинаковыми законами распределения, коэффициент вариации разности случайных величин без учета знака можно определить:

$$V = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{|X_1^{mid} - X_2^{mid}|} \quad (1)$$

Закон распределения случайной величины  $\Delta X = |X_1^{mid} - X_2^{mid}|$  совпадает с законами распределения сравниваемых случайных величин. Легко заметить, что величина

$$\Delta Z = \frac{|X_1^{mid} - X_2^{mid}|}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \quad (2)$$

обратная по отношению к вариации разности (1) представляет собой стандартизованное и нормализованное значение случайной величины  $\Delta X$ , которое можно использовать для оценки вероятности нахождения произвольного значения случайной величины в заданном интервале. Таким образом, коэффициент вариации разности (1) можно использовать, так же как и разность  $\Delta Z$  (2), в качестве статистического критерия, определяющего сходство двух случайных величин.

Анализ (рис. 1) наиболее часто используемых в технологическом проектировании законов распределения вероятностей позволяет сделать следующее заключение – доверительная вероятность, рассчитанная для общепринятых [1010] пороговых значений коэффициента ва-

риации ( $V \leq 0,17$  или  $V \leq 0,33$ ) в случае распределения Симпсона и равновероятного распределения безусловно выше, чем для нормального распределения, следовательно условие схождения значений разности случайных величин тем более выполняется и выводы, сделанные для закона нормального распределения также справедливы.

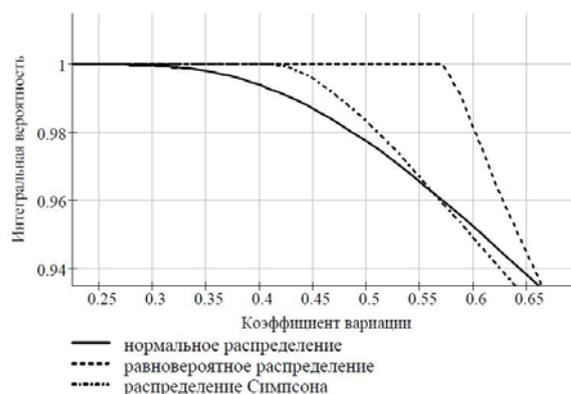


Рис. 1. Зависимость интегральной вероятности от вида распределения

Проведем оценку существенности различий технологических параметров для отдельных этапов механической обработки. Статистический анализ справочной и научно-технической литературы позволил определить технологические параметры основных этапов механической обработки (табл. 1). Для каждой пары методов обработки (табл. 1) рассчитаны величины изменения технологических показателей. Оценка вероятности в соответствии с коэффициентом вариации (1) показывает достаточную достоверность результатов расчета (табл. 2) – в среднем 97%.

Таблица 1. Интервалы значений технологических параметров этапов обработки

Этап обработки	Квалитет точности IT		Шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	
0 заготовка	14	17	18,75	80,00
1 черновая	13	16	8,00	39,17
2 получистовая	12	13	5,90	11,75
3 чистовая	9	11	2,10	4,35
4 тонкая	7	8	0,27	1,73
5 отделочная	5	7	0,10	0,61
6 доводочная	5	7	0,02	0,16

Значения в табл. 2 сгруппированы следующим образом: выше главной диагонали в каждой части таблицы приведена величина изменения технологического показателя в результате осуществления «следующего» этапа обработки после «предыдущего». Ниже главной диагонали – оценка достоверности изменения. Оцен-

ка достоверности симметрична величине изменения относительно главной диагонали матрицы. Например, выполнение отделочной обработки после тонкой позволяет повысить точность вы-

полняемых размеров на 1-2 квалитета точности с достоверностью более 99,9% и уменьшить высоту микронеровностей Ra в среднем в 2,8 раза с вероятностью 98,8%.

Таблица 1. Повышение точности и качества обработки

Предыдущий этап обработки	Повышение точности (разность)							Повышение качества (отношение)						
	Следующий этап обработки							Следующий этап обработки						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
0 Заготовка		<b>1,0</b>	<b>3,0</b>	5,5	8,0	9,5	9,5		<b>2,1</b>	<b>5,6</b>	15,3	49,2	139,4	548,6
1 Черновая	0,843		<b>2,0</b>	4,5	7,0	8,5	8,5	0,976		<b>2,7</b>	7,3	23,5	66,6	262,0
2 Получистовая	1,0	1,0		<b>2,5</b>	5,0	6,5	6,5	1,0	0,995		<b>2,7</b>	8,8	24,9	98,1
3 Чистовая	1,0	1,0	1,0		<b>2,5</b>	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0		<b>3,2</b>	9,1	35,8
4 Тонкая	1,0	1,0	1,0	1,0		<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	1,0	1,0	1,0	1,0		<b>2,8</b>	11,1
5 Отделочная	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		<b>0,0</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	0,988		<b>3,9</b>
6 Доводочная	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,000		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,998	

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, приблизительно соответствующие общепринятым представлениям о структуре технологического процесса

Дополнение традиционных (табл. 1) таблиц точности обработки достоверными данными о величинах изменения технологических показателей позволяет применить к проектированию последовательности обработки не только теоретико-множественные алгоритмы [66], но и методы дискретной математики. Предлагаемая методика статистического анализа нормативно-справочных массивов лежит в основе разрабатываемой в ВолГТУ информационной системы для автоматизированного проектирования и оптимизации последовательности обработки поверхностей. Разрабатываемый программно-информационный комплекс представляет со-

бой самостоятельный функциональный модуль системы более высокого уровня. На рис. 2 приведен пример вызова расчетного модуля из пакета программ AutoCAD. Исходные данные для построения последовательности обработки могут быть введены с помощью диалоговых окон программы, либо «прочитаны» непосредственно с электронного чертежа изделия. Результатом расчета является последовательность обработки (рис. 4), обеспечивающая получение заданного качества поверхности и оценка вероятности получения требуемого качества. Результат расчета представляется в виде графа вариантов (рис. 3) и текста (рис. 4).

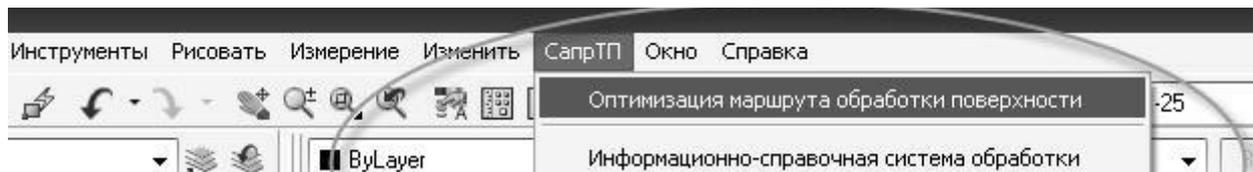
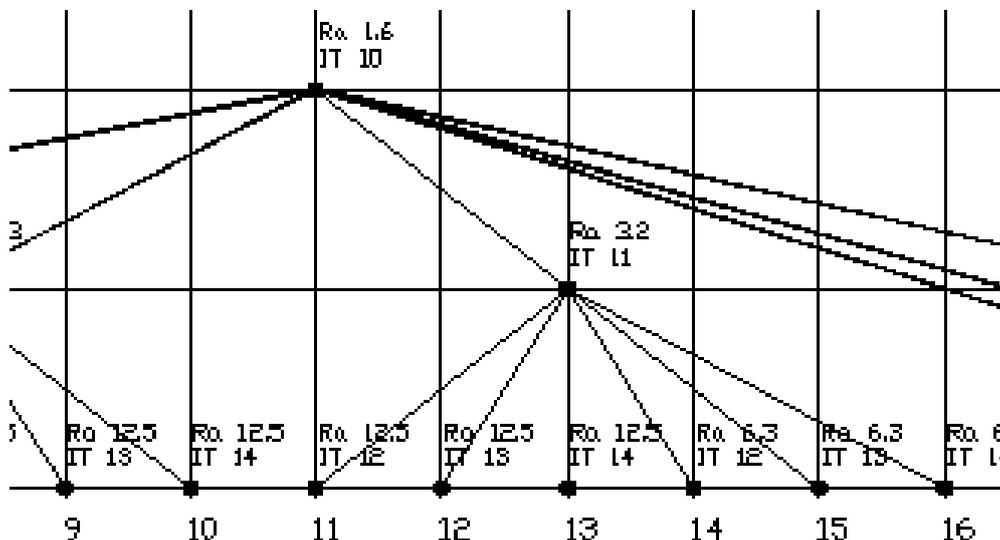


Рис. 2. Вызов модуля проектирования последовательности обработки



**Рис. 3.** Фрагмент дерева вариантов обработки

деталь  $\varnothing 12$  мм, Ra 1.6, качество 10

||

при продольной подаче черновое	12	25	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	11	6.3	}	{ Точение при по
при продольной подаче черновое	13	25	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	11	6.3	}	{ Точение при по
при продольной подаче черновое	14	25	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	11	6.3	}	{ Точение при по
при продольной подаче черновое	12	12.5	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	11	6.3	}	{ Точение при г
при продольной подаче черновое	13	12.5	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	11	6.3	}	{ Точение при г
при продольной подаче черновое	14	12.5	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	11	6.3	}	{ Точение при г
при продольной подаче черновое	13	25	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	12	6.3	}	{ Точение при п
при продольной подаче черновое	14	25	>	{ Точение при продольной подаче полужесткое	12	6.3	}	{ Точение при п

**Рис.4.** Фрагмент списка вариантов последовательности обработки

**Вывод:** предлагаемый подход позволяет достоверно определять величины повышения точности и качества, которые можно рассматривать в качестве критериев формализованного проектирования технологических процессов. Проверка достоверности получаемых результатов может быть выполнена с использованием методики размерного анализа технологических процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волков, С.А. Разработка методики автоматизации проектирования технологических процессов / С.А. Волков // СТИН. – 2008. - №5. – С. 22-26.
2. Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
3. Лемешко, Б. Ю. Проверка гипотез о математических ожиданиях и дисперсиях в задачах метрологии и контроля качества при вероятностных законах, отличающихся от нормального / Б.Ю. Лемешко, С.С. Помадин // Метрология. – 2004. – №3. – С. 3-15.
4. Оробинский, В.М. Повышение эффективности лезвийной и абразивной обработки / В.М. Оробинский, А.И. Курченко, Ю.Н. Полянчиков, Ю.Л. Чигиринский // «Наука – производству». – 2000. – №1. – С.49-51.
5. Р-50-601-20-91. Рекомендации по оценке точно-

- сти и стабильности технологических процессов (оборудования). – М.: Изд. Стандартов, 1991.
6. Ю.Н. Полянчиков. Теоретико-множественный подход к технологическому проектированию / Ю.Н. Полянчиков, И.И. Богородский, Ю.Л. Чигиринский, Н.В. Чигиринская // Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства: Матер. междунар. конф. – Волгоград, 2003. – Часть I. – С. 27-29.
7. Чигиринский, Ю.Л. Возможность формализованного решения задач технологического проектирования / Ю.Л. Чигиринский // СТИН. – 2009. – №12. – С. 26-29.
8. Чигиринский, Ю.Л. Методы дискретной математики в технологическом проектировании / Ю.Л. Чигиринский, Н.Д. Гожева, Е.Г. Радченко // Изв.ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»: межвуз. сб. науч. тр. ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Вып.3, №4. – С. 112-114.
9. Чигиринский, Ю.Л. Надежность справочных данных, применяемых в технологическом проектировании / Ю.Л. Чигиринский // Известия ОрелГТУ. Сер. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2009. – № 2-2/274(560). – С. 103-108.
10. Shewhart, W.A. Statistical Methods from the Viewpoint of Quality Control. – Lancaster Press, Lancaster, PA, 1939. – 501 p.

## THE APPROACH TO FORMALIZATION THE INDIVIDUAL ROUTING DESIGN

© 2010 Ju.L. Chigirinsky, S.A. Solovyeva, R.E. Behter

Volgograd State Technical University

The approach to construction the formal mathematical algorithm of design the sequence of mechanical processing the surface of the set quality is considered. It is offered to include into the sequence of processing the transitions, which essentially increase quality and accuracy of machining surface. It is offered to apply methods of mathematical statistics to an estimation of technological indexes change.

Key words: *technology, sequence of processing, quality, intelligence system*

Yuliy Chigirinskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department "Machine Building Technology".  
E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru  
Svetlana Solovyeva, Student. E-mail: Tecmash@vstu.ru  
Ruslan Behter, Student. E-mail: Tecmash@vstu.ru