

УДК 621:629.3

В.И. Бородавко, В.А. Гайко, к.т.н., В.С. Крутько, Н.М. Позылова, М.Л. Хейфец, д.т.н.
ГНПО «Центр» НАН Беларуси

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ И СРЕДСТВ ОСНАЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Статистический анализ информации об элементах и связях в технологических комплексах позволил провести унификацию объектов и регламентацию процессов производства для разработки ограничительных перечней и технологических инструкций. Предложено ограничительные перечни при обширной информации об унифицируемых объектах формировать по результатам анализа локальных максимумов на кривой плотности распределения; при наличии сведений о предпочтительных интервалах использования объектов эти интервалы следует разбивать на участки с малым шагом.

Параметрическая оптимизация, унификация, инструменты, средства оснащения, технологические комплексы

Введение. Основные направления развития технологических комплексов (ТК), намечены И.И.Артоболовским [1] и Л.Н.Кошкиным [2]: 1) оптимизация структурной и параметрической избыточности технологической системы; 2) адаптация обрабатывающих и обслуживающих подсистем; 3) объединение материального и информационного обеспечения комплексов. Поэтому проектирование ТК с целью унификации конструктивно-технологических решений на основе параметрической и структурной оптимизации начинается с анализа статистической информации [3, 4].

Статистические данные о деталях, обрабатываемых на ТК, оборудовании, средствах оснащения и инструментах анализируются как с позиций унификации и составления ограничительных перечней на их типоразмеры и исполнения, так и с оценкой возможностей перехода на типовые технологические процессы для формирования регламентов обработки различных типов деталей [5, 6].

Анализ применимости оборудования, средств оснащения и инструментов целесообразно проводить при проектировании ТК. Количество инструментов и средств оснащения в ограничительном перечне может определяться спецификой производства, выпускаемых изделий, используемого оборудования. Так, например, количество инструментов после унификации может определяться числом свободных мест в инструментальном магазине станочного комплекса.

Методика исследований. Процедуры формирования ограничительных перечней конструктивно-технологических элементов изделий и инструментов для их получения и контроля, а также создания регламентов технологических и метрологических операций в наибольшей степени зависят от специфики применения конкретного ТК. Для комплексов, выпускающих большую номенклатуру изделий и не оказывающих широкий спектр услуг по запросам заказчиков, используются различные методы формирования ограничительных перечней [7 - 9]:

1) при обширной информации об унифицируемых объектах (обычно для большой номенклатуры изделий) целесообразно анализировать все локальные максимумы на кривых распределения или полигонах вероятностных характеристик. Изучение рассеяния параметров в окрестностях максимума необходимо проводить в сопоставлении с законом распределения случайных величин Лапласа или нормальным законом распределения. При удовлетворительном соответствии полученного распределения теоретическому максимум на изученном интервале можно принять в качестве позиции для ограничительного перечня, а все остальные позиции в его окрестности по возможности удалить для того, чтобы пользоваться единой;

2) в случае, когда при описании объектов (чаще всего типовых деталей) имеются сведения о предпочтительных интервалах использования параметров (элементов и инструментов), эти интервалы на полигоне распределения или гистограмме разбиваются на участки размером меньше, чем другие. На каждом участке определяются максимумы

распределения вероятностных характеристик, причем шаг разбиения участка при поиске максимума и далее может быть уменьшен;

3) когда отсутствует достаточная информация об унифицируемых объектах (выпускаемых по специальным заказам, в обслуживающем производстве и т.п.), рационально использовать наиболее простой метод разбиения статистического распределения параметров на равные интервалы гистограммы в соответствии с числом позиций, которые целесообразно оставить после унификации. Последующий поиск максимумов распределения на всех интервалах разбиения позволяет предложить позиции для начального варианта ограничительного перечня.

Выбор ограниченного числа позиций для унификации и последующей регламентации может производиться в определенной последовательности по частоте применения (например: конструктивно-технологических элементов, их размеров и т.п.) или продолжительности использования (например: режущих и мерительных инструментов, средств оснащения и др.). Наивысшим приоритетом обладают наиболее часто встречающиеся объекты производства, а также объекты, длительность использования которых в производственных процессах максимальна. В первую очередь сокращается номенклатура объектов и устраняются процессы, редко используемые в производстве, и которым может быть достаточно эффективно предоставлена замена.

Результаты и обсуждение. Для создания ограничительных перечней на конструктивно-технологические элементы деталей, инструменты и средства для их обработки и контроля на ТК в первую очередь проводился статистический анализ использования элементов в изделиях. Затем исследовалась частота и продолжительность использования комплектов инструментов, их формирующих, и, наконец, изучалась необходимость в специальных инструментах и средствах для контроля параметров элементов.

Ограничительные перечни резбонарезных инструментов. Для формирования ограничительных перечней для ТК на наиболее используемые инструменты, обрабатывающие отверстия, с учетом частоты их применения в изделиях, прежде всего, целесообразно унифицировать резьбы, так как это позволяет определить те сверла, которые обрабатывают отверстия под резьбу.

Результаты статистического анализа применимости внутренних и наружных метрических резьб и соответствующих им метчиков и плашек для различных изделий конкретного производства представлены в виде гистограммы и полигона (рис. 1).

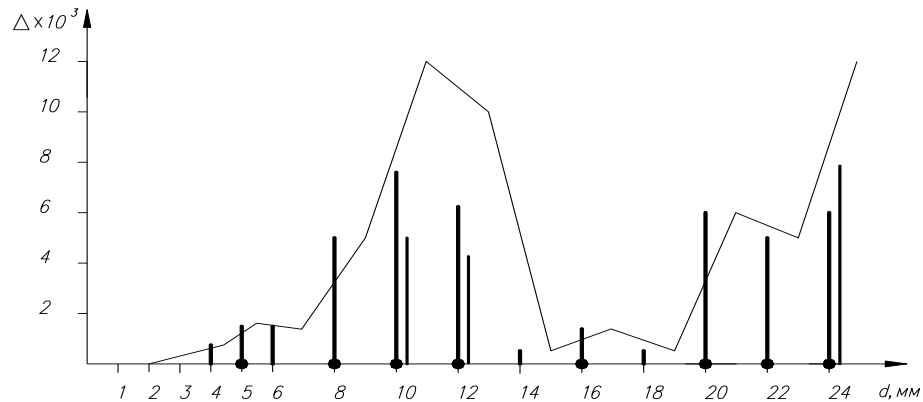


Рис. 1. Гистограмма и полигон частоты Δ применяемости диаметров d резьб с крупным и мелким шагом (толстая и тонкая линии соответственно) с рекомендуемыми позициями (выделенными) для ограничительного перечня использования резьб

Гистограмма и полигон наглядно иллюстрируют частоту использования инструментов в зависимости от их типоразмеров. Изучение области распределения максимальной частоты (диаметры 6, 8, 10, 12 и 14 мм) на малом числе интервалов (рассматривали 5) показало, что степень соответствия нормальному закону распределения превышает 96 %, а закону распределения Лапласа – 98 %. При увеличении числа интервалов степень соответствия принятому закону распределения растет.

Обработка и экспертная оценка статистических данных позволила сформировать ограничительные перечни применения метчиков и плашек. Для предложенной ограниченной номенклатуры инструментов, с учетом использования обрабатываемых материалов и режимов

резания (получаемых расчетами и по справочной литературе), составлены технологические регламенты [10 - 12]. Регламенты описывают режимы резания для детали из материала определенной группы обрабатываемости конкретным резьбообразующим инструментом.

Ограничительные перечни осевых инструментов. После резьбообразующих операций рассматривалась обработка отверстий осевым инструментом. Вначале анализировались статистические данные по отверстиям небольшого диаметра и нормальной степени точности, не требующим последующей обработки зенкерованием, развертыванием, хонингованием и т.д. (рис. 2). Далее обрабатывалась статистика по другим характерным размерам и параметрам, в частности по длине отверстия, шероховатости поверхности и др. При этом в статистике по использованию сверл учитывались инструменты, образующие отверстия под резьбу.

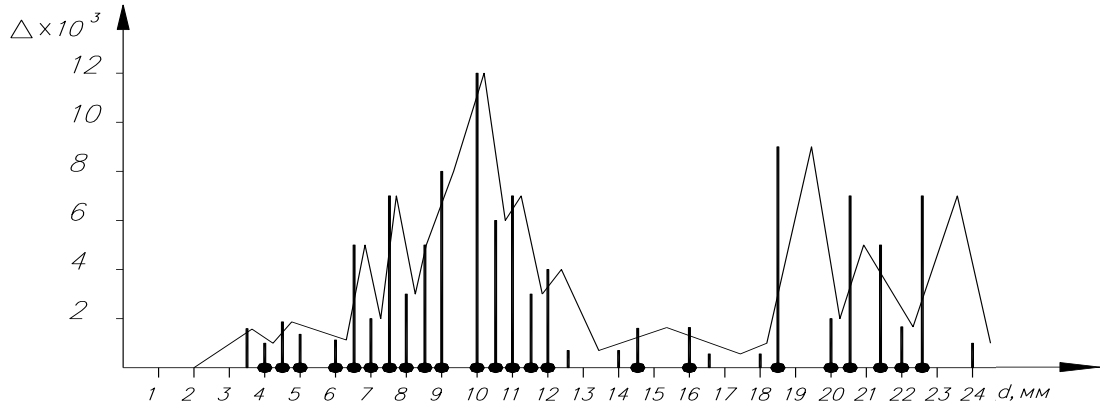


Рис. 2. Гистограмма и полигон частоты Δ применяемости диаметров d отверстий с рекомендуемыми позициями (выделенными) для ограничительного перечня использования отверстий

Обработанная статистическая информация позволила сформировать ограничительные перечни применения сверл для формирования отверстий нормальной точности. Для унифицированных сверл в каждой группе обрабатываемых материалов выбраны режимы резания, на основании которых сформированы технологические регламенты обработки отверстий.

В том случае, когда отверстия большого диаметра используются достаточно часто, то аналогичную работу проводят для унификации зенкеров, если часто используются отверстия повышенной точности, – унифицируют развертки.

В результате последовательный анализ статистической информации по применяемости резьбы и отверстий, а также метчиков, плашек, сверл и других осевых инструментов, их формирующих, по типоразмерам и степени точности позволил сформировать ограничительные перечни и технологические регламенты использования формообразующих инструментов. Изучение статистики использования унифицированных осевых инструментов с анализом степени точности формируемых поверхностей позволил предложить унифицированный перечень специальных мерительных инструментов для контроля наружной и внутренней резьбы и отверстий (кольца и пробки).

Ограничительные перечни фрезерных и строгальных инструментов. Целесообразность изучения вначале более сложных конструктивно-технологических элементов, регламентированных наибольшим числом характеристик, для выделения определяющих параметров при фрезерной обработке предполагает в первую очередь рассматривать зубчатые венцы, затем шлицы (в том числе и эвольвентные) и, наконец, пазы (шпоночные и др.). Вместе с тем следует отметить, что большое количество параметров, описывающих зубчатые венцы, шлицы, пазы и инструменты, их формирующие, требует создания ограничительных перечней по комплексу характеристик.

При формировании зубчатых венцов цилиндрической или другой произвольной формы по методу обката в технологические регламенты использования червячных, концевых, дисковых фрез, долбяков и других зуборезных инструментов помимо типоразмеров конструктивных элементов и режимов обработки различных групп материалов необходимо включать параметры, описывающие относительные установку и перемещения детали и инструмента.

В том случае, если количество типоразмеров фрезерных, а также строгальных или долбежных инструментов для обработки прямозубых шлицев невелико, то их включают в общий ограничительный перечень инструментов, формирующих пазы (рис. 3).

Последовательный анализ применимости конструктивно-технологических элементов, формируемых фрезами и другими зуборезными инструментами по их определяющим параметрам, учитывающий комплекс движений и точность обработки, позволил сформировать ограничительные перечни и регламенты использования инструментов.

Ограничительные перечни использования фрез с учетом степени точности формируемых пазов дали возможность предложить унифицированные специальные мерительные инструменты, а перечни зуборезных инструментов с учетом видов и габаритов зубчатых венцов – специализированные контрольные приспособления.

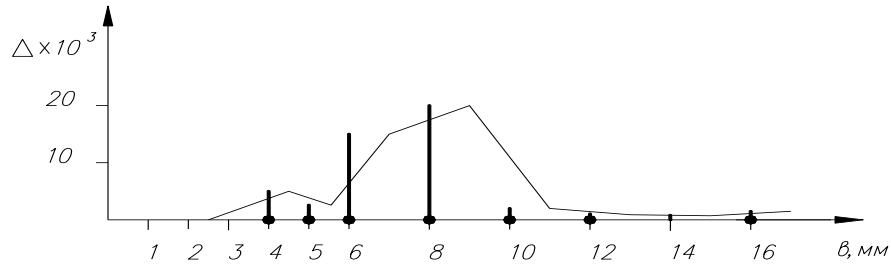


Рис. 3. Гистограмма и полигон частоты Δ применимости пазов шириной b с рекомендуемыми позициями (выделенными) для ограничительного перечня использования пазов

Ограничительные перечни токарных инструментов. Статистическую обработку данных по токарной обработке целесообразно производить согласно кодированию проточек в деталях, начиная от сложных форм, включающих различные сочетания основных параметров, и заканчивая простыми, описываемыми одним или двумя параметрами. По полученным статистическим данным, в соответствии с устойчивыми сочетаниями параметров, выбраны наиболее употребляемые формы режущих кромок инструментов и формируемых ими проточек (рис. 4).

	1 b	2 b, f	3 $b, f(f')$
1	1.1 	1.2 	1.3
2	2.1 	2.2 	2.3
3	3.1 	3.2 	3.3
4	4.1 	4.2 	4.3

Рис. 4. Унифицированные формы и параметры режущих кромок специальных резцов

Обработка статистических данных позволила сформировать ограничительные перечни на проточки (табл. 1) для выбранных форм режущих кромок (см. рис. 4), которые дополнены элементами крепления инструментов, и создать ограничительные перечни на специальные резцы.

Таблица 1

Ограничительный перечень размеров режущих кромок специальных резцов

Код формы	1.1							1.2				2.1				
Параметры	b , мм							f^0				$r = b/2$, мм				
Код размера	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	1	2	3	4	
Размеры	0,6	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0		15	30	45	60	0,8	1,0	1,5	2,0	
Код формы	1.3							2.3, 2.2				3.1, 4.1				
Параметры	b, f							$b, r = b/2, f$				$b, r = b/2, h$				
Код размера	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	1	2	3	4
Размер b	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0	1,5	2,0	3,0	4,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Размер f/h	45	30	45	60	30	45	60	45	45	45	45	45	4,0	5,0	6,0	8,0
Код формы	3.3, 3.2, 4.3, 4.2															
Параметры	$b, r = b/2, f, h$															
Код размера	1	2	3	4												
Размер b	1,5	2,0	3,0	4,0												
Размер f	45	60	60	60												
Размер h	4,0	5,0	6,0	8,0												

Для специальных резцов с учетом деления обрабатываемого материала на группы назначены режимы резания. Это позволило сформировать технологические регламенты использования специальных резцов (табл. 2).

Таблица 2

Технологический регламент точения специальными резцами

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Глубина резания t , мм	BK6-M			BK8			
			Скорость резания V , м/мин, при S мм/об						
			0,02	0,04	0,06	0,3	0,5	0,8	1,0
Стали гр. II ($\sigma_s = 600 \dots 1200$ МПа)	Чистовая и получистовая	0,2	210	184	169	←	←	←	←
		0,3	200	175	160	←	←	←	←
		0,5	187	165	150	←	←	←	←
		1,0	175	152	141	←	←	←	←
		3,0	↑	↑	↑	↖	↖	←	←
		5,0	↑	↑	↑	↖	↖	↖	←
	Предварительная	5,0	↑	↑	↑	76	60	49	43
		8,0	↑	↑	↑	70	56	45	41
		10,0	↑	↑	↑	68	54	44	40
		12,0	↑	↑	↑	66	↖	↖	↖
	Грубая	12,0	↑	↑	↑	↖	49	43	↖
		16,0	↑	↑	↑	↑	↖	↖	39

Статистика использования универсальных резцов позволила составить ограничительные перечни путем замены одних инструментов другими в соответствии с их основными размерами и точностью обработки.

Марки материалов режущей части выбирались для каждой группы обрабатываемости материалов выпускаемых изделий. По ограничительному перечню на универсальные инструменты, в соответствии с ограничениями на использование обрабатываемых материалов, формировались технологические регламенты. В тех случаях, когда для обрабатываемых и инструментальных материалов нет возможности выбрать режимы резания, регламент дает рекомендации по замене инструментальных и обрабатываемых материалов (в таблице 2 отмечено стрелками).

В результате унификации токарной обработки сформированы ограничительные перечни проточек и других конструктивно-технологических элементов деталей, режущих кромок специальных и универсальных резцов. Ограничительные перечни форм и размеров режущих кромок дополнены ограничителями державок резцов и для каждого унифицированного резца выбираются режимы резания и сформированы технологические регламенты.

Заключение. Статистический анализ информации об элементах и связях в технологических комплексах, позволил провести унификацию объектов и регламентацию процессов производства для разработки ограничительных перечней и технологических инструкций.

Показано, что статистическую обработку данных при достаточной репрезентативности выборки и соответствии предложенных для унификации позиций максимумам на гистограммах и полигонах частот целесообразно проводить на основе использования нормального закона распределения случайных величин или закона Лапласа.

Предложено ограничительные перечни при обширной информации об унифицируемых объектах формировать по результатам анализа всех локальных максимумов на кривой плотности распределения; при наличии сведений о предпочтительных интервалах использования объектов эти интервалы следует разбивать на участки с малым шагом.

1. Артоболевский, И.И. Основы синтеза систем машин автоматического действия / И.И. Артоболевский, Д.Я. Ильинский. – М.: Наука, 1983. – 280 с.

2. Кошкин, Л.Н. Роторные и роторно-ковейерные линии / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 236 с.

3. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин / М.Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 112 с.

4. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.

5. Ящерицын, П.И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении / П.И. Ящерицын, Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец. – Минск: Технопринт, 2006. – 248 с.

6. Кусакин, Н.А. Менеджмент качества автотракторного ремонтного предприятия / Н.А. Кусакин, В.С. Точило, М.Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – 180 с.

7. Капустин, Н.М. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования САПР / Н.М. Капустин, Г.Н. Васильев / под ред. Н.П. Норенкова. – М.: Высш. шк., 1986. – Кн. 6. – 191 с.

8. Горанский, Г.К. Технология проектирования в комплексных системах подготовки производства / Г.К. Горанский, Э.И. Бендерова. – М.: Машиностроение, 1981. – 155 с.

9. Загвоздкин, В.А. Структурно-параметрический метод создания автоматизированных комплексных систем в машиностроении / В.А. Загвоздкин. – М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 56 с.

10. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

11. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т. 1. – 912 с.

12. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т. 2. – 905 с.