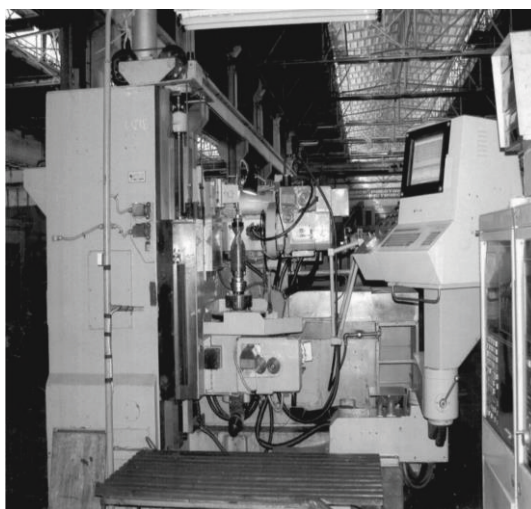


**Рисунок 4 – СВО-22**



**Рисунок 5 – Фрезерные станки для обработки ЖРД**

Много сделано специалистами института в обеспечении «прорыва» в технологии для создания многослойных конструкций с неметаллическими проставками; охлаждаемых металло-оптических отражателей с заданной степенью пористости (90%), в том числе со сверхглубоким сверлением; энергетических установок с неохлаждаемыми высокотемпературно нагруженными узлами (до 2000К); волоконных тепловых труб из тугоплавких материалов и т.д.

При этом все эти разработки реализованы не только на изделии «Энергия-Буран», но и нашли широкое применение в отраслях промышленности страны.

#### **Литература**

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Научно-технические технологии машиностроительного производства: Физико-химические методы и технологии: Учеб. пособие для высших технических учебных заведений под ред. проф. Б.П.Саушкина./– М.: Издательство «Форум», 2013. – 928 с.

### ***Управление качеством технических изделий на стадии разработки рабочей документации***

Мартишкин В.В.  
*Университет машиностроения*

*Аннотация.* Рассматриваются методы управления качеством изделий на стадии разработки рабочей документации. На этой стадии для выявления слабых мест в

конструкции изделия применяют методы квалиметрии и оптимизации. В результате оценки предполагаемого качества изделий и последующего внесения в документацию необходимых изменений значительно сокращается трудоемкость и себестоимость получения качественных изделий на последующих стадиях производства.

*Ключевые слова:* качество продукции, управление качеством, параметры качества, технические изделия, базовые изделия, методы оптимизации

### Введение

Статья посвящена описанию метода управления качеством технических изделий (далее ТИ) на стадии разработки рабочей документации (далее РД). В соответствии с

ГОСТ 2.103-68\* к стадии РД приступают после утверждения технического проекта (ТП). На стадии РД технические изделия существуют в виде рабочих чертежей сборочных единиц, деталей и спецификаций. Метод управления качеством технических изделий на стадии РД, описанный в статье, дает возможность определения качества ТИ по одной или нескольким «определяющим» деталям. Качество ТИ, полученное на стадии РД, сравнивают с базовым (наилучшим) техническим изделием такого же типа. В зависимости от результатов сравнения, принимают управляющие инженерно-технические решения, необходимые для улучшения конструкции вновь созданного изделия. Технические решения формулируют как на основе знаний и опыта конструктора, технолога и метролога, так и с использованием каталогов, альбомов и другой справочной литературы, посвященной проектированию и конструированию [1,2,3,4,5].

### Последовательность расчета качества на стадии рабочего проекта

Методика определения качества ТИ на стадии РД основана на расчетах качества «определяющей» сборочной единицы и «определяющей» детали, входящей в эту сборочную единицу. Требования к «определяющей» сборочной единице и детали: сборочная единица и деталь должны быть наиболее ответственными в изделии и сборочной единице соответственно. Они должны обладать наибольшей весомостью ( $\beta_i$ ) и соответствовать принципу Парето («принцип 80/20»). В данном случае принцип Парето заключается в следующем: “80% эффективности и надежности изделия обеспечивают 20% наиболее ответственных деталей” (интерпретация принципа Парето автором данной методики). Т.е. «определяющая» деталь в техническом изделии должна обладать не менее 80% функциональности и надежности всей сборочной единицы. С квалиметрической точки зрения это означает, что если определить качество «определяющей» детали, то качества остальных деталей (на которые приходится 20% функциональности и надежности изделия), должны находиться в пропорциональной зависимости с соответствующими коэффициентами весомости.

В таблице 1 представлена последовательность расчета качества технических изделий на стадии РД.

**Таблица 1**

### Последовательность расчета качества технических изделий на стадии разработки рабочей документации (РД)

	<p>После изучения сборочного чертежа и спецификации изделия с точки зрения принципа работы и устройства строят структурную схему изделия. Структурная схема необходима: а) для уяснения функциональных и структурных связей между деталями и сборочными единицами в изделии, б) для адекватного назначения балльных оценок деталям и сборочным единицам, отражающих их значение в функциональности и надежности изделия.</p>
	<p>Учитывая принцип Парето, в изделии выделяют «определяющую» сборочную единицу, в этой сборочной единице находят «определяющую» деталь. Назначают балльные оценки <math>r_i</math> (безразмерные оценки в интервале 1...100) для «определяющей» сборочной единицы и «определяющей» детали в соответствии с вкладом в функциональность и надежность изделия.</p>

Назначают балльные оценки  $r_i$  для остальных деталей и сборочных единиц, учитывая их значение в функциональности и надежности изделия. По балльным оценкам определяют нормированные коэффициенты весомости деталей и сборочных единиц по формуле:  $\beta_i = \frac{r_i}{\sum r_i}$ , где  $r_i$  – балльная оценка детали или сборочной единицы;  $\sum r_i$  – сумма балльных оценок деталей или сборочных единиц. Сумма нормированных коэффициентов весомостей в обоих случаях должна быть равна 1.0 ( $\sum \beta_i = 1.0$ ).

Рассчитать качество «определяющей» детали:  $M_{опр.} = \beta_{кc} \times q_{кc} + \beta_{mc} \times q_{mc}$ , где  $\beta_{кc} = 0.6$  и  $\beta_{mc} = 0.4$  – весомости коэффициентов конструктивной и технологической сложности соответственно,

$$q_{кc} = \frac{\sum_{d=1}^4 q_d}{4} = \frac{q_{Ктч} + q_{Куи} + q_N + q_{NR}}{4} - \text{коэффициент конструктивной сложности,}$$

$q_{Ктч}$  - коэффициент точности,

$q_{Куи}$  - коэффициент шероховатости,

$q_N$  - коэффициент числа размеров, обеспечиваемых механической обработкой,

$q_{NR}$  - коэффициент числа размеров, обозначающих резьбу.

Значения параметров, входящих в коэффициент конструктивной сложности

$q_{Ктч}$ - коэффициент точности	$q_{Куи}$ - коэффициент шероховатости	$q_N$ - коэффициент числа размеров, обеспечиваемых механической обработкой	$q_{NR}$ - коэффициент числа размеров, обозначающих резьбу
$q_{тч} = \frac{IT_6}{IT_{cp}}$ где $IT_6$ - базовое значение качества точности, $IT_{cp}$ - среднее значение качества всех поверхностей	$q_{куи} = \frac{3.2}{Rz_{cp}}$ где $Rz$ 3.2 мкм — значение базового параметра шероховатости для 8-го класса шероховатости, по ГОСТ 2789-7315, $Rz_{cp}$ — среднее значение параметра шероховатости $Rz$ на всех обрабатываемых поверхностях.	Количество размеров до 5 $q_N = 0.1-0.3$	Число размеров - 1 $q_{NR} = 0.1-0.3$
		Количество размеров 6-10 $q_N = 0.31-0.4$	Число размеров - 2 $q_{NR} = 0.31-0.4$
		Количество размеров 11-20 $q_N = 0.41-0.5$	Число размеров - 3 $q_{NR} = 0.41-0.5$
		Количество размеров 21-30 $q_N = 0.51-0.6$	Число размеров - 4 $q_{NR} = 0.51-0.6$
		Количество размеров 31-40 $q_N = 0.61-0.7$	Число размеров - 5 $q_{NR} = 0.61-0.7$
		Количество размеров 41-55 $q_N = 0.71-0.8$	Число размеров - 6 $q_{NR} = 0.71-0.8$
		Количество размеров 55-70 $q_N = 0.81-0.9$	Число размеров - 7 $q_{NR} = 0.81-0.9$

$$q_{mc} = \frac{\sum_{d=1}^4 q_d}{4} = \frac{q_{заг} + q_{тнн} + q_{нк} + q_{TR}}{4} - \text{коэффициент технологической сложности,}$$

$q_{заг}$  - коэффициент типа заготовки,

$q_{тнн}$  - коэффициент технологичности механической обработки,

<p><math>q_{нк}</math>- коэффициент типа покрытия,  <math>q_{TR}</math>- коэффициент количества термических обработок .                  Значения параметров, входящих в коэффициент технологической сложности</p>		
Технологические параметры	Описание технологического параметра	Показатель технологического параметра
Тип заготовки	Круглый прокат, профильный прокат	$q_{заг} = 0.3$
	Поковки	$q_{заг} = 0.5$
	Литье	$q_{заг} = 0.7$
Параметр, отражающий технологичность механической обработки	Наличие требований к перпендикулярности, параллельности, плоскостности, соосности и пр.	$q_{mm}=0.7.$
	Нет требований	$q_{mm}=0.0$
Тип покрытия	фосфатирование	$q_{нк}=0.3$
	оксидирование	$q_{нк}=0.6$
	никелирование	$q_{нк}=0.8$
Показатель количества термических обработок	Детали без термических и химических обработок	$q_{TR}=0$
	Однократная термическая и химическая обработка	$q_{TR}=0.3$
	Двукратная термическая и химическая обработка	$q_{TR}=0.5$
	Трехкратная термическая и химическая обработка	$q_{TR}=0.7$
	Четырехкратная термическая и химическая обработка	$q_{TR}=0.9$
<p>Рассчитывают показатели качества остальных деталей, входящих в эту сборочную единицу, учитывая принцип пропорциональности качества и коэффициентов весомости остальных деталей:</p> $M_1 = \frac{M_{опр.} \times \beta_1}{\beta_{опр.}}, M_2 = \frac{M_{опр.} \times \beta_2}{\beta_{опр.}} \dots M_i = \frac{M_{опр.} \times \beta_i}{\beta_{опр.}},$ <p>Где <math>M_{опр.}</math>- показатель качества определяющей детали,  <math>\beta_{опр.}</math> – весомость определяющей детали,  <math>\beta_1, \beta_2 \dots \beta_i</math> – известные весомости остальных деталей сборочной единицы.</p>		
<p>Рассчитывают показатель качества «определяющей» сборочной единицы:</p> $Q_{опр.сб.} = \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot M_i,$ <p>где <math>Q_{опр.сб.}</math> – качество «определяющей» сборочной единицы,  <math>m</math> - количество деталей в сборочной единице,  <math>\beta_i</math> – весомости деталей сборочной единицы,  <math>M_i</math> – качества деталей сборочной единицы.</p>		
<p>Находят качества остальных сборочных единиц изделия, учитывая принцип пропорциональности качества и коэффициентов весомости остальных сборочных единиц:</p> $Q_1 = \frac{Q_{опр.сб.} \times \beta_{1.сб.}}{\beta_{опр.сб.}}, Q_2 = \frac{Q_{опр.сб.} \times \beta_{2.сб.}}{\beta_{опр.сб.}} \dots Q_i = \frac{Q_{опр.сб.} \times \beta_{i.сб.}}{\beta_{опр.сб.}},$ <p>Где: <math>Q_1, Q_2, \dots Q_i</math> – качества сборочных единиц изделия,  <math>Q_{опр.сб.}</math>- качество «определяющей» сборочной единицы,  <math>\beta_{опр.сб.}</math> – весомость «определяющей» сборочной единицы,  <math>\beta_{1.сб.}, \beta_{2.сб.} \dots \beta_{i.сб.}</math> – известные весомости остальных сборочных единиц.</p>		
<p>Рассчитывают качество оцениваемого технического изделия <math>Q_{оц}</math> по формуле:</p>		



	$Q_{оц.} = \beta_{сб.м} \sum_{i=1}^m Q_{сб} + \beta_{д.изд} \sum_{i=1}^n Q_d,$ <p>где <math>Q_{оц.}</math> – качество оцениваемого изделия, <math>m</math> – количество сборочных единиц, <math>n</math> – количество деталей не входящих в сборочные единицы (эти детали объединяют в группу и в этой группе назначают коэффициент весомости), <math>\beta_{сб.м}</math> – коэффициент весомости суммы качеств сборочных единиц, <math>\beta_{д.изд}</math> – коэффициент весомости суммы качеств деталей, не входящих в сборочные единицы (<math>\sum \beta_{сб.м} + \sum \beta_{д.изд.} = 1.0</math>).</p>
	<p>Определяют уровень качества оцениваемого изделия относительно базового в процентах по формуле: <math>У = \frac{Q_{оц.}}{Q_{баз.}} \times 100\%</math>, где: <math>У</math> – уровень качества оцениваемого изделия, <math>Q_{оц.}</math> – качество оцениваемого изделия, <math>Q_{баз.}</math> – качество реалистичного базового изделия. Реалистичное базовое ТИ – изделие, имеющее такую же структуру и функциональность, но полученное путем итераций исходного симплекса (представляющего собой оцениваемое изделие) до симплекса, обладающего наибольшим качеством, <math>Q_{баз.} \approx 1.0</math>.</p> <p>Составляют заключение о степени соответствия оцениваемого изделия базовому изделию и предлагают рекомендации по совершенствованию оцениваемого изделия. По списку управляющих инженерно-технических решений, определяют возможные инженерно-технические мероприятия, направленные на улучшение качества оцениваемого изделия.</p>
0	<p>Если требуется изменить конструкцию и функциональность оцениваемого изделия для достижения качества базового, то используют каталоги Артоболевского И.И. [1]. В этих каталогах находят механизмы или конструкции, отвечающие требуемым инженерно-техническим мероприятиям, могущим улучшить качество оцениваемого изделия.</p> <p>Если требуется повысить качество отдельных деталей, то используют каталоги [2,3] и учебники [4,5]</p>
1	<p>Возможные рекомендации по совершенствованию оцениваемых технических изделий в зависимости от полученного уровня качества</p> <p>По полученной величине уровня качества принимают следующие инженерно-технические управляющие решения:</p> <p><i>a)</i> если уровень качества оцениваемого ТИ относительно базового составляет 30...50% , то требуется корректировка функциональной схемы оцениваемого изделия (корректировка принципов работы изделия),</p> <p><i>b)</i> если уровень качества оцениваемого ТИ относительно базового составляет 50...70%, то требуется корректировка структурной схемы оцениваемого изделия (изменение конструкции и некоторых технологических параметров деталей или сборочных единиц),</p> <p><i>c)</i> если уровень качества оцениваемого ТИ относительно базового составляет 70...90%, то требуется изменение параметров некоторых деталей, которые наиболее ответственны за работоспособность и надежность изделия (параметры точности, шероховатости, качества материала и др.),</p> <p><i>d)</i> если уровень качества оцениваемого ТИ относительно базового составляет 90...100%), то не требуется ни какой корректировки, считают, что оцениваемое изделие приблизительно соответствует</p>

#### Принцип определения базового технического изделия

Базовые изделия обладают наивысшим качеством на данный момент, поэтому их необходимо определять для того, чтобы знать, к чему надо стремиться при совершенствовании ТИ. При проектировании оригинальных деталей и сборочных единиц базовых деталей

и сборочных единиц такой же конструкции и функциональности найти практически невозможно. Поэтому базовые детали и сборочные единицы мы синтезируем с помощью симплексного метода. Симплексный метод относится к одному из методов оптимизации (улучшения качества) ТИ.

Конструктивные и функциональные особенности технических изделий можно описать симплексами различной степени сложности. Поиск базового изделия основан на преобразовании исходного симплекса, описывающего оцениваемое изделие. Преобразование исходного симплекса представляет собой последовательное повышение мерности исходного симплекса до симплекса, обладающего качеством, близким к 1.0. Найденный симплекс с  $Q_{баз.} \approx 1.0$  является базовым для исходного симплекса. Поэтому мы считаем, что найденный базовый симплекс может считаться базовым для оцениваемого изделия.

В качестве исходного симплекса, описывающего оцениваемое изделие, принимается простейший симплекс- тетраэдр (четырёхвершинная правильная пирамида).

#### **Определение необходимых управляющих решений для повышения качества оцениваемого изделия**

Рекомендации по совершенствованию оцениваемых технических изделий в зависимости от полученного уровня качества принимают в соответствии п.п. 10 и 11 таблицы 1. Для выработки мероприятий по улучшению качества для конкретных деталей и сборочных единиц базовое изделие подвергают декомпозиции - разложению на сборочные единицы и детали. Операцию декомпозиции оцениваемого изделия не проводят, так как она проведена на начальных стадиях определения качества.

Пересчитывают показатели качества базового изделия в конструктивные и технологические коэффициенты сложности, определяют разницу в значениях этих коэффициентов по сравнению с оцениваемым изделием и формулируют предложения по повышению качества отдельных деталей и всего изделия в целом. Декомпозицию базового изделия проводят на основе принципа одинаковости коэффициентов весомости оцениваемого и базового изделий.

В таблице 2 представлен принцип выявления деталей оцениваемого изделия, требующих повышения качества в зависимости от разницы в показателях качества оцениваемого и базового изделий.

Таблица 2

#### **Принцип выявления деталей оцениваемого изделия, требующих повышения качества**

№ сборочных единиц	№ деталей	Наименование коэффициента	Значение базового коэффициента $k_{баз.}$	Значение коэффициента оцениваемого изделия $k_{оц.}$	Разница в % $\Delta = (k_{баз.} - k_{оц.}) \times 100$	Наименование коэффициентов, нуждающихся в улучшении	Мероприятия по повышению качества изделия
		2	3	4	5	6	7

#### **Заключение**

В основе определения качества технических изделий на стадии РД лежит определение конструктивных и технологических параметров, выраженных в форме коэффициентов конструктивной и технологической сложности. Чем больше учитывается показателей, тем точнее и объективнее оценка качества деталей и сборочных единиц. Фактические показатели оцениваемого технического изделия сравнивают с показателями базового изделия. По величине разницы в показателях назначают инженерно – технические мероприятия необходимые для достижения качества базового изделия. В результате предварительной оценки

предполагаемого качества изделий, разработанных на стадии РД, вносят в документацию необходимые изменения благодаря чему значительно сокращается трудоемкость и себестоимость получения качественных изделий на последующих стадиях производства.

### Литература

1. Артоболевский А.А. Механизмы в современной технике. Справочник в семи томах, издание второе, М., изд. «Наука», 1980 г.
2. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования. М., изд. «Машиностроение», 2003 г.
3. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочник в 2-х томах. М., изд. «Машиностроение», 1988г.
4. Зайцев С.А. и др. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении. М., изд. «Академия», 2009г., 280 стр.
5. Метрология. Учебник. Под общей редакцией Зайцева С.А. М., Изд. «Форум», 2009г., 460 стр.

### **Математическая модель электроэрозионного резания и задачи управления процессом обработки**

к.т.н., доц., Овсянников Б.Л.

МИЭМ НИУ ВШЭ

8(499)-235-20-87, [obl\\_d@mail.ru](mailto:obl_d@mail.ru)

*Аннотация:* Разработана математическая модель процесса электроэрозионного резания, аккумулирующая имеющиеся опытные данные о течении процесса и позволяющая синтезировать системы управления методами теории автоматического управления. Исследована проблема устойчивости процесса обработки на предельных режимах.

*Ключевые слова:* электроэрозионная обработка, резание, инструмент, жёсткость, динамика, управление, математическая модель, устойчивость

### **Задачи управления процессом электроэрозионного резания и динамика системы электродов**

Современный уровень развития электроэрозионной обработки требует совершенствования систем управления на основе развития научных представлений о динамических свойствах процесса обработки [1,2] Задача управления процессом электроэрозионного резания, или вырезной электроэрозионной обработки (ВЭЭО) сводится к двум подзадачам:

- управление перемещением проволочного электрода-инструмента (ПЭИ) в пространстве по заданной траектории;
- управление скоростью перемещения ПЭИ.

Данная работа посвящена исследованию взаимосвязи динамики величины межэлектродного промежутка (МЭП) с задачами управления процессом ВЭЭО.

Как известно, в процессе ЭЭО в МЭП возникают силы, создаваемые электрическими разрядами, направленные на электроды и стремящиеся увеличить межэлектродное расстояние [3]. Влияние этого явления на точность ВЭЭО исследовалось в разных аспектах [4,5]. В частности, в [4] указывается на то, что прогиб ПЭИ оказывает влияние на точность воспроизведения формы детали, особенно при изменении направления резания и при обработке элементов контура детали с большой кривизной. Это явление влияет также и на процесс управления скоростью перемещения проволочного электрода-инструмента. Для теоретически обоснованного решения задачи управления процессом ВЭЭО необходимо наличие адекватной и в то же время логически простой математической модели, аккумулирующей имеющиеся опытные данные о динамике процесса, приведённые в [3]. Как известно, наиболее эффективным описанием динамики объекта в целях построения системы управления является дифференциальная математическая модель в пространстве переменных состояния.

Процесс ЭЭО обладает способностью к саморегулированию [6]. Это связано с тем, что