

## Управление качеством производственных процессов в проектах создания высокотехнологичной техники

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

**Актуальность.** Среди множества проблем управления качеством проекта особо актуальными являются задачи выбора эффективных методов и моделей анализа производственных и технологических процессов (ПП и ТП), поскольку именно в производственной системе формируется качество выпускаемой продукции.

**Постановка задачи.** Согласно требованиям международных стандартов серии ИСО 9000 производственные процессы должны проверяться на способность производить продукцию в соответствии с техническими требованиями. При этом необходимо определять операции, связанные с характеристиками процесса, которые оказывают существенное влияние на качество продукции. Рекомендуется также организовать систему управления, предотвращающую отклонения этих характеристик от установленных требований, а проверка технических возможностей должна включать проверку материалов, оборудования, вычислительных систем и программного обеспечения, процедур, персонала и др.

**Обзор литературы.** В современной практике анализа производственных процессов используется общенаучный принцип системной наследственности, согласно которому качество любого объекта наследует и отражает качество совокупных результатов процессов его создания [1].

Принцип системной наследственности можно представить схематически как логическую взаимосвязь элементов системы по этапам жизненного цикла подготовки производства (Рис. 1).

Из анализа этой схемы следует, что прогнозировать обеспечение качества реализации ПП возможно как через качество производственной документации, так и через показатели качества изготовленной продукции. При наличии математической модели, отражающей влияние параметров ПП на качество изготавливаемой продукции, возможно получить его достоверную оценку, однако разработка соответствующих математических моделей требует определенных затрат. Поэтому противоречие между необходимостью проведения глубокого анализа возможностей ПП и минимизацией затрат на его проведение решается на основе принципа квантификации, предусматривающего классификацию ПП в зависимости от их влияния на качество продукции [2].

В мировой практике, исходя из особенностей законодательства в области защиты прав потребителя, стандартизации, метрологии и сертификации, выделяются следующие требования к качеству продукции: обязательные требования стандартов, ключевые требования, прочие требования. Например, в Российской Федерации к обязательным требованиям стандартов относятся показатели безопасности, взаимозаменяемости, совместимости и единства маркировки продукции. К ключевым относят требования к качеству продукции, предъявляемые непосредственно потребителями, а также требования, самостоятельно выделяемые поставщиком с целью обеспечения уровня конкурентоспособности своей продукции.



Рис. 1. Модель формирования качества продукции в производственной системе.

Отсюда следует, что в соответствии с требованиями к качеству продукции, процессы ее производства можно классифицировать адекватным образом.

**Методы решения.** Как известно производственный процесс является комплексом всех процессов, необходимых для изготовления продукции, т.е. технологических процессов (основных), вспомогательных, обслуживающих и обеспечивающих процессов, поэтому следует оценивать качество всех его составляющих.

В таблице 1 с учетом данных из [1] предложена классификация производственных процессов по степени их влияния на качество продукции.

Таблица 1

Классификация производственных процессов

Характер процесса	Уровень процесса	Наименование процесса	Характерные особенности процесса
Критический	1	Особо ответственный ПП и особо ответственный ТП	Производственный процесс, включающий один и более ТП, влияющий хотя бы на один показатель безопасности продукции
	2	Потенциально ответственный ПП и потенциально ответственный ТП	Производственный процесс, включающий один и более ТП, в состав которых входит одна и более технологических операций (ТО), представляющих потенциальную опасность для работающих
	3	Специальный ПП и специальный ТП	Производственный процесс, включающий технологические процессы, исключающие возможность регулирования параметров процесса обработки в ходе хотя бы одной технологической операции
Ключевой	4	Особо важный ПП и особо важный ТП	ПП и ТП, относящиеся к производству деталей, узлов или других сборочных единиц, которые приравниваются потребителем или изготовителем к ключевым элементам, обеспечивающим достижение заданных требований к готовому изделию и влияющих на создание резервов технологической точности изделия
Обычный	5	Рядовой ПП и рядовой ТП	ПП и ТП, реализация которых не оказывает существенного влияния на выполнение служебных функций изделия, требований стандартов, ключевых требований потребителя или изготовителя и не влияющих на создание резервов технологической точности (резервов качества) изделия, а также характеризующиеся возможным негативным влиянием технологической наследственности

Для выявления причинно-следственных связей между параметрами производственного (технологического) процесса и показателями качества изготавливаемой продукции, необходимо выполнить анализ технических возможностей соответствующей технологической системы.

Решение этой задачи требует системного подхода, т.е. синтеза теоретических положений и принципов из области квалиметрии, теории надежности, системотехники, теории вероятности, исследования операций и др. При выборе методов анализа учитывается специфика продукции и методов ее производства.

Методические рекомендации по составу и структуре методов анализа и оценки соответствия исследуемых параметров установленным требованиям приведены в МС ИСО 9004-4:1993 [3].

На Рис.2 показана структурная схема методов анализа технических возможностей ПП, разработанная в соответствии с упомянутыми рекомендациями.

Следует отметить, что при выполнении указанного анализа рекомендуется учитывать один из принципов управления Деминга [4], который ориентируется не на чисто количественные (статистические), а на комплексные методы, сочетающие логические, эвристические и математические подходы.

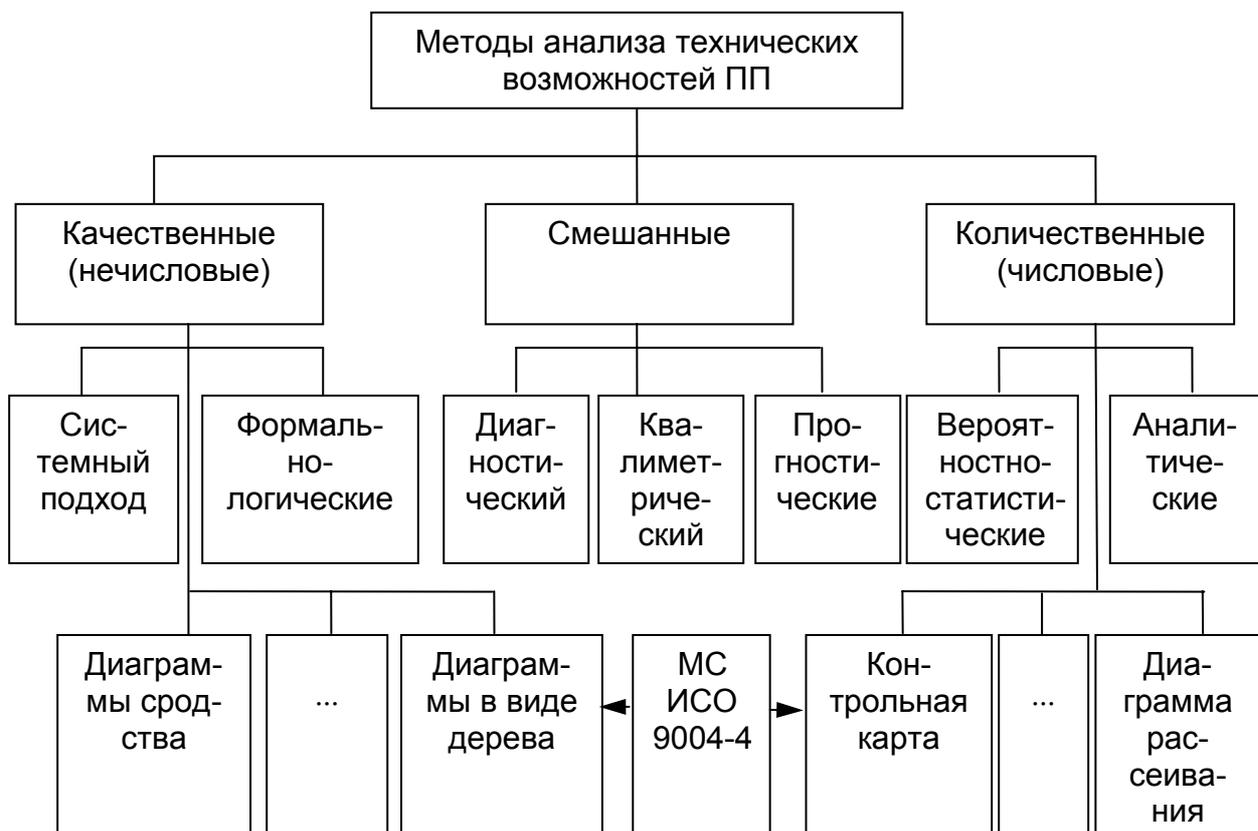


Рис. 2. Структурная схема методов анализа производственных процессов.

При выборе метода анализа необходимо исходить из сложности решаемых задач и возможных ошибочных решений. Для особо ответственных, ключевых и специальных ПП (ТП) должны использоваться более точные, для прочих – более укрупненные методы. Рекомендуемые области применения различных методов анализа и оценки качества ПП на стадиях их проектирования и использования приведены в таблице 2.

Таблица 2

## Предпочтительные области использования методов анализа ПП

Методы оценки ПП (ТП)		Предпочтительные области использования методов анализа ПП										
		Системные и формально-логические	Количественные по ИСО 9004- 4	Метод качественов	Метод случайных функций	Метод элементарных погрешностей	Регистрационные методы	Графоаналитические методы	Методы приведенных отклонений	Экспертные методы	Смешанные методы	
Стадии жизненного цикла и характер ПП (ТП)	Стадия проектирования	Критический	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+
		Ключевой	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-
		Обычный	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
	Стадия реализации	Критический	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
		Ключевой	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
		Обычный	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-

Особый интерес при анализе качества ПП (ТП) представляют критические, в частности, специальные процессы, поскольку при их реализации отсутствует возможность регулирования их параметров, а следовательно и показателей качества продукции. К таким процессам можно отнести заготовительно-штамповочное производство, в котором изготовление деталей осуществляется путем деформирования заготовок из листов, профилей, тонкостенных труб и других полуфабрикатов с относительно небольшой толщиной. Такие детали находят широкое применение в аэрокосмическом производстве, радиотехнике, судостроении, автостроении и других высокотехнологичных отраслях.

Обусловлено это особенностями этих изделий, которые, как правило, характеризуются сложной пространственной формой, имеют сравнительно высокую удельную прочность и жесткость, а также предпочтительные характеристики по массе и коэффициенту использования материала. Кроме того, они характеризуются широкой номенклатурой материалов – от обычных стальных и алюминиевых сплавов до труднодеформируемых жаропрочных и титановых сплавов, коррозионно-стойких сталей и т.п.

Изготовление листоштампованных деталей характеризуется высокой производительностью с широкими возможностями механизации и автоматизации.

Основной отличительной особенностью рассматриваемых формообразующих технологических операций (штамповка, вытяжка, гибка, раздача, обжим, отбортовка, формовка, обтяжка и др.) является связный (копирующий) характер изготовления, при котором в процессе пластического деформирования на кузнечно-прессовом оборудовании осуществляется перенос размеров и формы технологи-

ческой оснастки (матрицы, пуансоны, формблоки, штампы и т.п.) непосредственно на готовое изделие.

При этом, в отличие от других методов формообразования (точение, фрезерование и т.п.), оператор практически не может влиять на результаты обработки, поскольку он лишен возможности визуального наблюдения и управления процессом деформирования.

Поскольку детали листоштамповочного производства характеризуются сложной пространственной формой, задаваемой, как правило, математическими кривыми 2-го порядка (детали внешних обшивок самолетов, вертолетов и ракет, радиоантенны, кузовные детали автомобилей и т.п.), то обеспечение требуемой точности и взаимозаменяемости предопределяет использование других, нетрадиционных для общего машиностроения (допуски, посадки) способов, в частности, плазово-шаблонного, эталонно-шаблонного, координатно-шаблонного и других методов, широко применяемых, в частности, в авиа- и судостроении.

В этих методах не предусмотрено изготовление рабочих чертежей для пространственно-сложных деталей, а контроль размеров и формы осуществляется с использованием жестких носителей в виде шаблонов, эталонов и других плоских или объемных контрольных элементов.

Поэтому для указанных деталей в качестве исходной конструкторской документации используются теоретические чертежи (теоретические плазы), выполняемые, как правило, в натуральную величину, или теоретические таблицы с координатами точек профиля по заданным сечениям деталей.

Рассмотрим подробнее процедуру взаимосвязей качества производственных процессов и качества продукции на примере конкретных технологических решений.

Если деталей изготавливается штамповкой в штампах, то схема переноса размеров и сопутствующих погрешностей может быть представлена следующим образом (Рис. 3) [5].

Как следует из рисунка длина технологических цепочек будет определяться принятой структурой производственного процесса и составом средств технологического оснащения. В качестве критериев можно использовать качество (обеспечиваемая точность) продукции и технологическую себестоимость.

При использовании вероятностно-статистических методов анализа необходимо располагать величиной допустимых отклонений на каждом этапе переноса размеров (при известных физических и логических связях на этапах). Как правило, погрешности на этапах выбираются с учетом отраслевых нормалей, там же нормируются и значения коэффициентов, отражающих характер распределения погрешностей.

Поскольку накапливание погрешностей осуществляется последовательно, то связь между ними на отдельных этапах можно представить линейной размерной цепью, в которой замыкающим звеном является суммарная погрешность, т.е. погрешность изготовления детали. Для расчета итоговых погрешностей объекта  $\delta_{\Sigma}$  в заданной структуре технологической системы вероятностно-статистическим методом воспользуемся уравнением

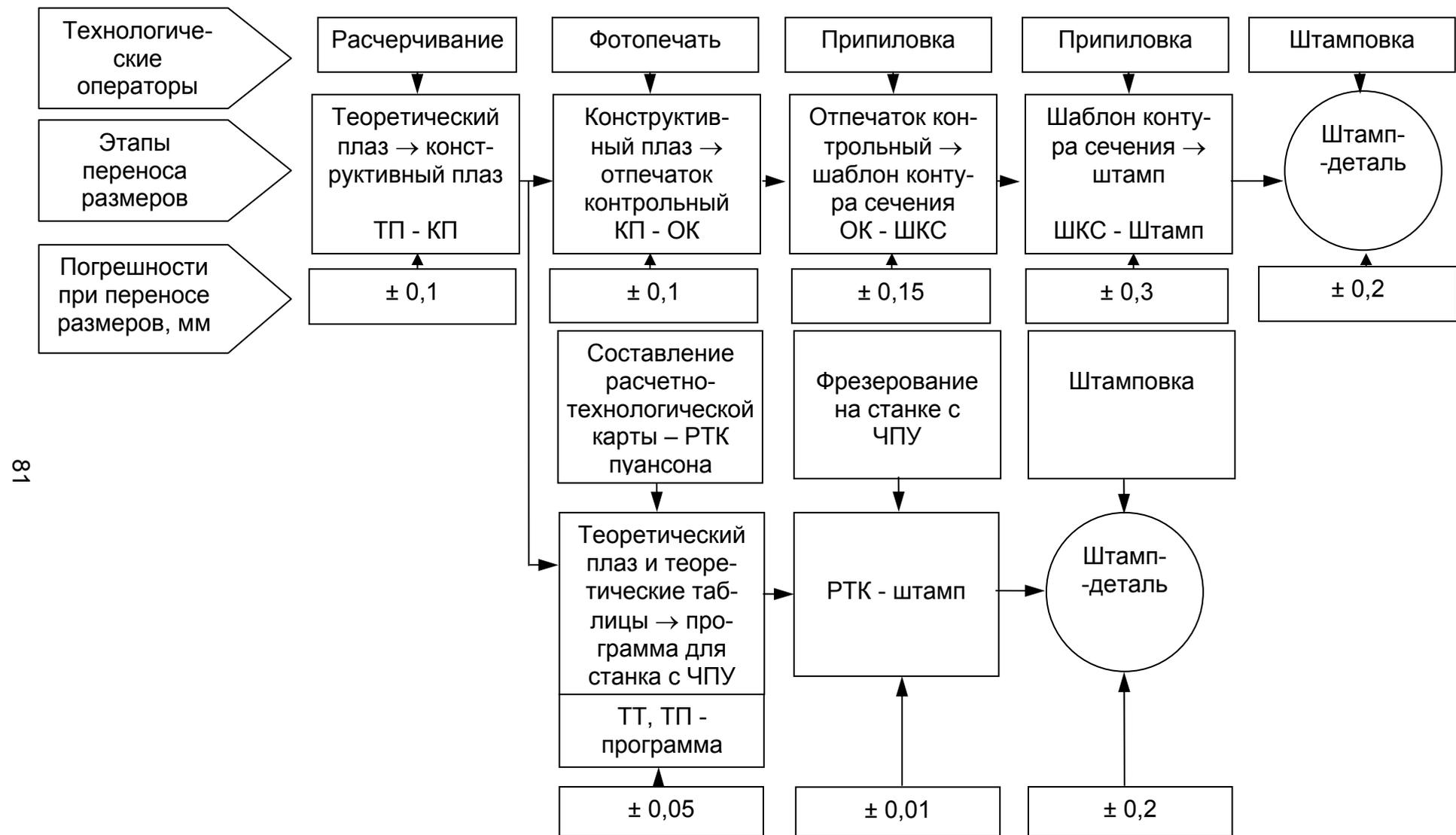


Рис. 3. Схема образования погрешностей в производственной системе листовой штамповки

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \left(\frac{\delta_i}{2}\right)^2} K_i^2 + \sum_{i=1}^n A_i (\Delta i + \alpha_i), \quad (1)$$

- где  $\delta_i$  - поле допуска на этапе;  
 $\Delta i$  - координата середины поля допуска на том же этапе;  
 $\alpha_i, K_i$  - коэффициенты, отражающие характер распределения погрешностей;  
 $A$  - коэффициент передачи, учитывающий влияние входящих звеньев на замыкающее звено.

При нормальном законе распределения погрешностей принимаем  $K_1 = 1$ ,  $\alpha_i = 0$ .

Для схемы образования погрешностей, приведенной на Рис. 3, расчет суммарной погрешности объекта согласно уравнению (1) дал следующие результаты (мм): для варианта с припиловкой штампа по шаблону  $\delta_{\Sigma} = \pm 0,415$ , а при изготовлении элементов штампа на станке с ЧПУ  $\delta_{\Sigma} = \pm 0,2$ .

### Выводы

В результате проведенной работы установлена адекватная зависимость между качеством производственного процесса и точностью выпускаемой продукции.

Приведенный пример иллюстрирует возможную процедуру определения качества изделий посредством анализа качества конкретной технологической системы.

Таким образом, разработка обобщенных моделей и методов оценки качества производственных процессов и их влияния на качество продукции является важной научно-практической задачей.

### Список литературы

1. Барвинок В.А., Зарин Ю.В., Ярыгин В.Т. Технические возможности процессов производства / Проблемы машиностроения и автоматизации, М. № 3-4, 1996, – С. 3-9.
2. Дунаев И.М. Проектирование контроля и качества изделий в машиностроении. М. Машиностроение. 1985, 52 с.
3. ИСО 9004-4: 1993. Общее руководство качеством и элементами системы качества. – Часть 4. Руководящие указания по улучшению качества.
4. Деминг Э. Выход из кризиса. Тверь. 1994, 497 с.
5. Технология производства летательных аппаратов (курсовое проектирование). Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. В.Г. Кононенко. Издательское объединение «Вища школа», 1974, 224 с.