Ю. Л. Чигиринский, А. В. Евтюнин, В. О. Харламов

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

На основании анализа нормативно-технической документации, регламентирующей вопросы управления качеством продукции в машиностроении, установлена неоднозначность содержания термина «стабильность» процессов механической обработки в условиях перехода к построению цифровых производств. Показано, что количественной оценкой стабильности процессов, находящихся в состоянии статистической управляемости, может быть критерий Фишера.

Ключевые слова: точность, стабильность, статистическая управляемость процесса, механическая обработка, точность, статистическое моделирование.

Ju. L. Tchigirinsky, A. V. Evtynin, V. O. Kharlamov

MECHANICAL TREATMENT'S STABILITY QUANTITATIVE ASSESSMENT

Volgograd State Technical University

The ambivalence of the content of the term «stability» of machining processes in the transition to the construction of digital production is established based on the analysis of regulatory and technical documentation regulating the issues of product quality management in mechanical engineering. It is shown that the Fisher criterion can be a quantitative assessment of the stability of processes that are in a state of statistical controllability.

Keywords: accuracy, stability, statistical controllability of the process, mechanical processing, accuracy, statistical modeling.

Реализация концепции «Индустрия 4.0», заявленная в программных документах Национальной Технологической Инициативы», предполагает широкое внедрение цифровых производственных систем в современных механообработывающих производствах. Основной целью такой модернизации является интенсификация производства при сохранении, а чаще, при повышении, требований к качеству продукции. Процедуры сертификации производства и проверки СМК предприятия требуют проведения оценки точности, стабильности, настроенности технологических процессов.

Отметим, что в настоящее время нет однозначного определения «стабильности» применительно к технологическим процессам или отдельным методам механической обработки. Существует несколько терминов, используемых для определения близких по смыслу понятий: точность – «неизменность во времени степени соответствия параметров готового изделия параметрам, заданным на чертеже изделия» [4] или «сохранение параметров выпускаемых изделий в допустимых пределах в процессе изготовления всей партии» [5]; стабильность – «свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство распределений вероятности его параметров в течение некоторого

интервала времени без вмешательства извне» [3, 4]. Практически все эти трактовки, в той или иной мере, являются перифразом «надежности» [1] – «свойства ... сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции ...».

Дальнейшие рассуждения проведем в отношении точности размеров, получаемых в результате механической обработки, но заметим, что аналогичные выводы могут быть сделаны в отношении любых других показателей качества изделия – макро- и микрогеометрических характеристик обработанных поверхностей, физико-механических характеристик поверхностного слоя и т. д.

Традиционные [2, 3, 4, 6, 7] подходы к статистическому анализу неизменности во времени значений показателей точности обработки сводятся к расчету среднего значения настроенного размера и стандартного отклонения, как оценки совокупного влияния различных погрешностей. При этом, в качестве аксиомы принимается, что распределение размеров в каждой частной выборке подчиняется закону нормального [4, раздел 3] распределения. Далее нормативные документы [2, 3, 4] рекомендуют оценить, относительно ширины (δ) поля допуска:

$$\text{– выполнение «правила шести сигма» (коэффициент точности)} \quad \frac{6S}{\delta}; \quad (1)$$

$$\text{– смещение среднего значения (коэффициент настроенности)} \quad \frac{\bar{x} - x_{\delta}}{\delta}; \quad (2)$$

$$\text{– постоянство стандартного отклонения (коэффициент стабильности)} \quad \frac{S_{t1}}{S_{t2}}; \quad (3)$$

где S , S_{t1} , S_{t2} – стандартное отклонение совокупной выборки и частных выборок в моменты времени t_1 и t_2 ; $\bar{x}$, x_{δ} – среднее значение и середина поля допуска, соответственно.

Нормируемые значения для рассчитываемых коэффициентов (1..3) жестко не устанавливаются. Как правило, окончательное заключение о стабильности технологии принимается службой технического контроля на основании субъективного мнения специалиста.

В качестве промежуточных выводов отметим следующее:

1. Отсутствует, применительно к процессам и технологиям механической обработки, единое, закрепленное в нормативных документах, понятие «стабильность»; также, в нормативных

документах, отсутствуют рекомендуемые численные нормы показателей стабильности; объективная количественная оценка стабильности невозможна.

2. Гипотеза о нормальном законе распределения значений размеров, отклонений или иных количественных показателей качества обработки в пределах поля допуска, корректна только в случае большого объема выборки, т. е., в условиях крупносерийного или массового производства; в современном машиностроении преобладающим способом организации является производство мелкосерийное; в условиях современного механообработывающего производства критерии оценки стабильности, как правило, не приемлемы.

3. Рекомендуемые для оценки стабильности технологического процесса численные характеристики не учитывают возможности закономерного изменения среднего значения; при проведении статистического анализа все погрешности считаются случайными; оценка стабильности обработки на оборудовании с адаптивными системами управления дает некорректные результаты.

При оценке стабильности отдельно рассматриваемого технологического перехода в качестве количественного критерия можно рассматривать коэффициент вариации (4) – статистическую характеристику, малочувствительную к закону нормального распределения и, вследствие этого, применимую для оценки стабильности (однородности, по У. Шухарту [9]) процесса.

$V = \frac{S}{\bar{x}}$	(4)	$V \leq 0.17$	высокая однородность	процесс стабильный
		$V \in]0.17; 0.33]$	удовлетворительная однородность	
		$V > 0.33$	неоднородность	

Отметим, что оценка нормально распределенных выборочных совокупностей большого объема по коэффициенту вариации показывает хорошую сходимость [7] с общепринятыми

критериями стабильности – при $V \leq 0.33$ интегральная вероятность, рассчитанная для нормального распределения, $\Phi \geq 0.9973$, что соответствует стабильному процессу.

Частично детерминированный процесс

Если рассматривать процессы обработки с выраженным детерминированным характером (изображены на рисунке), то традиционный подход к оценке стабильности не позволит получить достоверные результаты.

В этом случае нужно следовать рекомендациям [2], в соответствии с которыми стабильным называют «процесс, каждый показатель качества которого находится в состоянии статистической управляемости». В качестве показателей качества процесса (представлен на рисунке) рассматриваются не только статические характеристики (среднее значение, стандартное отклонение $S^{(Y)}$ по выборочной совокупности), но и «динамические» (закономерно изменяющееся среднее, стандартная ошибка модели S) [8]. Количественной оценкой стабильности, в этом случае, можно считать критерий Фишера [8].

Покажем возможность оценки стабильности по критерию Фишера на следующем примере.

Выборочная совокупность из 120 значений

получена при измерении в шести сечениях 20 деталей, обработанных за период стойкости инструмента. Стандартное отклонение выборки составило $S^{(Y)} = 0,017$ мм при заданной ширине поля допуска 0,062 мм. Соответственно, коэффициент точности (1) равный $6 \cdot 0,017 / 0,062 = 1,64$ показывает, что процесс обработки является нестабильным. При моделировании процесса токарной обработки размер изделия был описан степенной регрессионной зависимостью вида $d = d_0 + a \cdot n^b$, где d – ожидаемое значение размера n -й детали, d_0 – номинальное значение размера: $d = 42 + 0,08 \cdot n^{-0,11}$. Стандартная ошибка модели, с учетом выделенной закономерности, $S = 0,007$ мм. Коэффициент точности, рассчитанный по величине стандартной ошибки модели, составляет $6 \cdot 0,007 / 0,062 = 0,68$, что говорит о достаточной стабильности процесса. Ве-

личина критерия Фишера для описанного процесса $F = \left(\frac{0,017}{0,007} \right)^2 = 5,897$ позволяет, с вероятностью близкой к 100 %, утверждать что процесс обработки «находится в состоянии статистической управляемости» [2], т. е., является стабильным.

Таким образом, гипотезу о возможности количественной оценки стабильности процессов механической обработки по характеристикам статистически определяемых закономерностей, например по соотношению стандартного отклонения выборки и стандартной ошибки модели, можно считать подтвержденной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.
2. ГОСТ Р 50779.11–2000 (ИСО 3534.2-93) Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2008.
3. ГОСТ Р 50779.44–2001. Статистические методы. Показатели возможностей процессов. Основные методы расчета. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.
4. Р 50-601-20–91 Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов. – М. : ВНИИС. – 1991.
5. Горячев, В. В. К вопросу оценки точности технологических процессов / В. В. Горячев, Н. С. Херсонский // Методы менеджмента качества. – 2010. – № 7. – С. 56–58.
6. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1973. – 960 с.
7. Чигиринский, Ю. Л. Методика статистического оценивания надежности процесса / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 5). – С. 53–56.
8. Чигиринская, Н. В. Моделирование непериодических стохастических процессов : учеб. пособие / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский, А. С. Горобцов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – 107 с.
9. Shewhart, W. A. Statistical Methods from the Viewpoint of Quality Control. – Lancaster Press, Lancaster, PA, 1939. – 501 p. – URL : <https://deming.pro/assets/statistical-method-from-the-viewpoint-of-quality-control-shewhart-walter.pdf>.