

УДК 517.977.5

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА

Анна Сергеевна Лопатина

Студент 4 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.Г.Потапов

ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

Ключевые слова: машиностроение (mechanical engineering), ответственные детали (precision parts), точность изготовления и измерений (machining and control accuracy), контроль (control), автоматизация (automation).

Аннотация: В настоящее время машины не создаются без экспериментальных исследований. Чтобы уменьшить время испытаний, сберечь материальные и финансовые ресурсы, широко используются современные математические методы и теория планирования экспериментов, что позволяет существенно сократить и время, и деньги при создании новых и модернизации существующих машин. Для уменьшения времени контроля стремятся уменьшить число измерений, и для их организации используется метод последовательного анализа. Его использование показано на математической модели и в производственном примере.

Важным направлением развития экономики России в настоящее время является возрождение машиностроительных отраслей промышленности: станкостроения, подъемно-транспортного и строительно-дорожного машиностроения, сельскохозяйственного машиностроения и других в рамках программы импортозамещения. Уровень развития машиностроения в значительной степени определяет экономическое развитие страны и ее благосостояние, производительность общественного труда.

К современным машинам предъявляются строгие требования по надежности, долговечности и безотказности работы, что, в свою очередь, повышает требования к точности изготовления многих деталей и их сборке в узлы и агрегаты. Соответственно, возникает задача повышения точности контроля в условиях возрастающих требований к точности изделий и повышения технологических возможностей оборудования.

Решить задачу повышения качества контроля можно путем многократного проведения измерений с последующим усреднением результатов [1, 2]. Применение такой методики, в свою очередь, требует определения минимально необходимого количества измерений, достаточного для получения достоверных результатов. При этом может применяться метод последовательного анализа [3]. Его идея состоит в формировании выборки из наблюдений последовательно, с прекращением наблюдения в наиболее подходящий момент времени, что позволяет сократить число измерений без ухудшения точности и оптимизировать решение многошаговых задач, как доказано в работах [4 - 6].

Для определения числа измерений, превышение которых не приводит к существенному повышению точности, в работе [1] предложены следующие безразмерные критерии стабилизации процесса:

- критерий колебаний среднего

$$T_1(n) = \frac{|x(i)_{cp} - x(n+1)_{cp}|}{x(n)_{cp}}$$

где n – текущее число измерений, $x(i)$ – текущее значение измеряемой величины;
- критерий приращения колебаний среднего

$$T_2(n) = T_1(n) - T_1(n+1)$$

- критерий колебания среднего квадратического

$$T_3(n) = \frac{S(n) - S(n+1)}{S(n)}$$

где $S(n) = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (x(i) - x(n)_{cp})^2}$ – среднеквадратическое отклонение;

- критерий приращения колебаний среднего квадратического

$$T_4(n) = \frac{D(n) - D(n+1)}{D(n)}$$

где $D(n) = x(n)_{cp} = \pm t_{av} \frac{S(n)}{\sqrt{n}}$ – дисперсия величины.

Выбор эффективных критериев ведет к сокращению числа измерений. Однако стабилизация процесса по каждому из критериев для случайных выборок происходит неоднородно [7, 8]. Это обуславливает необходимость исследования данных равенств как независимо, так и совместно, чтобы проанализировать влияние характеристик случайных процессов на их стабилизацию по каждому из критериев.

Рассмотрим случай, когда исследуемая выборка характеризуется случайной погрешностью [9]. В зависимости от требований к точности контролируемого изделия, задается допустимый уровень разброса значений критериев T_1, T_2, T_3, T_4 . Границы диапазона могут быть заданы симметрично, либо асимметрично относительно нулевой линии. На рис. 1 представлено графическое изображение изменения исследуемых критериев при последовательном анализе выборки из 50 псевдослучайных чисел в интервале от 0 до 10, взятых по равномерному закону распределения.

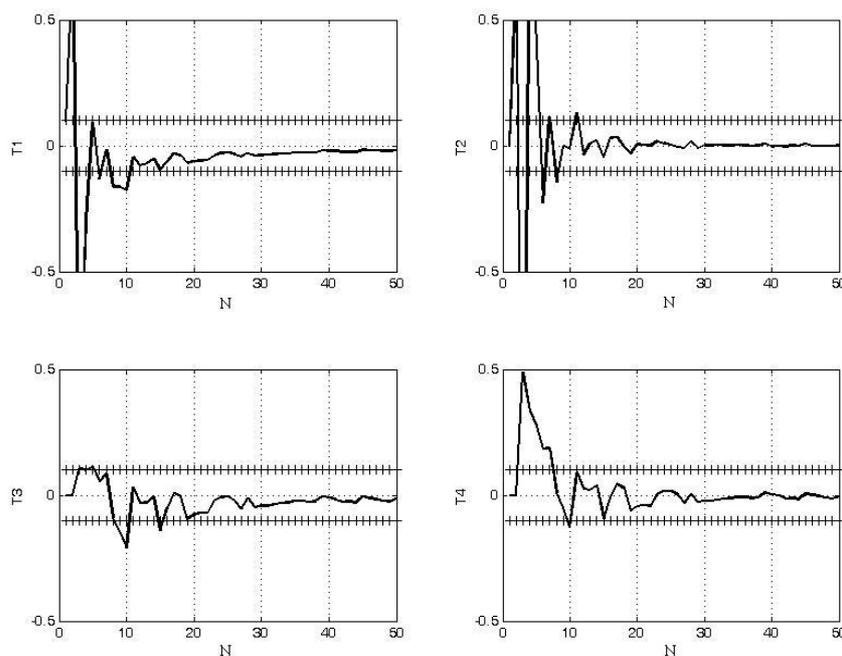


Рис. 1. Средние значения, необходимые для стабилизации процесса

Данная последовательность чисел имитирует результаты измерений при реальном процессе. На графиках можно наглядно увидеть, какое число будет необходимо для стабилизации процесса: как только линия процесса перестанет выходить за границы интервала, заданного пользователем, процесс можно считать стабильным, а число $N(T_i)$, следующее после скачка процесса, вышедшего за пределы интервала, достаточным. Если учитывать одновременно все четыре критерия, то результат будет более точным.

В таблице 1 представлен результат исследований различных последовательностей случайных чисел, сгенерированных по равномерному закону, где можно наблюдать, что колебания среднего числа, необходимого для стабилизации процесса, невелики.

Таблица 1. Средние значения, необходимые для стабилизации процесса, при различных последовательностях случайных чисел

№	$N(T_1)$	$N(T_2)$	$N(T_3)$	$N(T_4)$
1	8.341	12.822	9.662	10.899
2	8.955	12.850	9.554	10.893
3	8.355	13.028	9.502	10.895
4	8.876	12.951	9.559	10.896
5	8.312	12.873	9.660	10.890

Анализ результатов математического эксперимента выявил сходимость решений для аналогичных исходных данных и показал, что оптимальное число для стабилизации процесса, в которых присутствует исключительно случайная погрешность, определяется критерием T_2 приращения колебаний среднего.

Далее были проведены аналогичные эксперименты при различных значениях амплитуды (размерность идентична размерности измеряемой величины) случайной погрешности, результаты которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 Средние значения, необходимые для стабилизации, при различных амплитудах случайной величины

Диапазон	$N(T_1)$	$N(T_2)$	$N(T_3)$	$N(T_4)$
0 – 0.1	8.341	12.822	9.662	10.899
0 – 1	8.340	12.900	9.670	10.879
0 – 2	8.370	12.827	9.597	10.896
0 – 25	8.341	12.987	9.477	10.887
0 – 100	8.350	12.885	9.779	10.915

При сравнении данных в таблицах 1 и 2, средние значения практически не изменились, из чего можно сделать вывод, что при наличии в процессе только случайной погрешности, амплитуда не оказывает влияния на стабильность процесса измерения. На основании этого примем допущение о постоянстве необходимого числа измерений для выборки со случайной погрешностью. Также, примем полученные величины в таблице 1 за эталонные значения, которые будут указывать на наличие только случайной погрешности в процессе.

При обработке экспериментальных исследований важной задачей является выявление и исключение систематической погрешности [10, 11]. Причины появления систематической погрешности при многократных измерениях могут быть разнообразны: например, различные вибрации или невозвращение датчика на 0 [12]. Необходимо исследовать закономерности взаимного влияния случайных и систематических погрешностей и дать оценки результатам измерения.

На основании результатов исследования процессов только со случайной погрешностью определим, как проходит стабилизация процессов с долей систематической погрешности,

изменяющейся по закону $y = kn$. Для этого к значениям случайного процесса следует прибавить результаты линейной систематической погрешности (вида $y = kn$) с различными k . Средние числа измерений, необходимые для стабильного наблюдения процессов со случайной и линейной систематической погрешностями, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения, необходимые для стабилизации, при различных последовательностях случайных чисел с добавлением систематической погрешности

k	$N(T_1)$	$N(T_2)$	$N(T_3)$	$N(T_4)$
0.5	7.387	8.623	19.238	15.140
1	7.462	7.201	17.599	13.622
2	8.012	6.014	15.504	10.932
10	9.529	4.257	11.554	5.458
30	10.069	3.885	11.032	4.167

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что на наличие доли систематической погрешности в исследуемом процессе указывает увеличение среднего значения объема выборки по параметру T_3 , по сравнению со случайной погрешностью, и превышением им других коэффициентов вне зависимости от коэффициента k линейной составляющей систематической погрешности.

Применим полученные математические выкладки для конкретной задачи. По описанному алгоритму были обработаны многократные измерения отверстия гильзы номинальным диаметром 135 мм, изготовленному по 7 качеству. На рис. 2 приведен график процесса измерений, где n – количество измерений, D – колебания изменения размера.

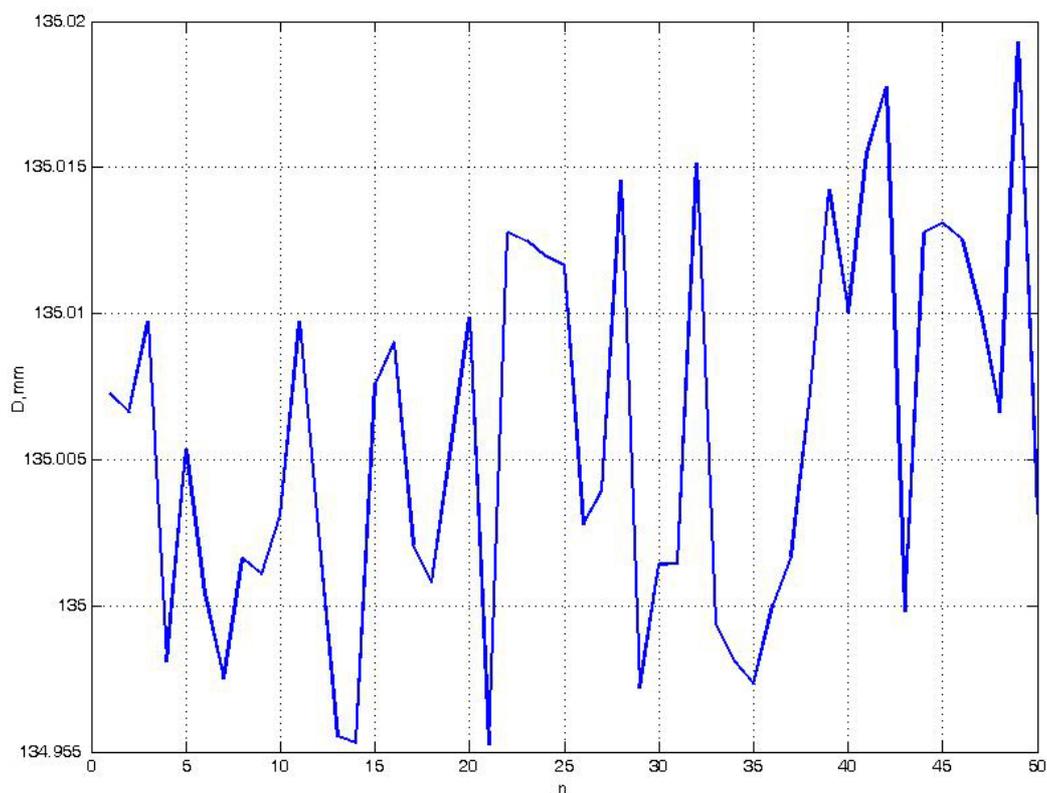


Рис. 2. Результаты многократных измерений диаметра детали

Выдвинем предположение, что в процессе измерений отверстия присутствует систематическая погрешность вида $y = kx$. Для подтверждения нашей гипотезы на исходный процесс наложим функцию $\Delta = kn$. Число измерений, при котором происходит стабилизация процесса по каждому из критериев, отлично от эталонного, что подтверждает гипотезу о наличии систематической погрешности.

Для выявления систематической погрешности будем постепенно варьировать коэффициент k , вычисляя при этом необходимое число измерений по параметрам T_1, T_2, T_3, T_4 . Как только число измерений, при котором произойдет стабилизация процесса, будет совпадать с эталонным значением, указанным в таблице 1, получим процесс, в котором систематическая составляющая погрешности пренебрежимо мала и не влияет на результат. На рис. 3 наблюдается выявление погрешности благодаря математической модели. Коэффициент k , при котором достигается равенство расчетного и эталонного значений, характеризует систематическую погрешность исходного процесса.

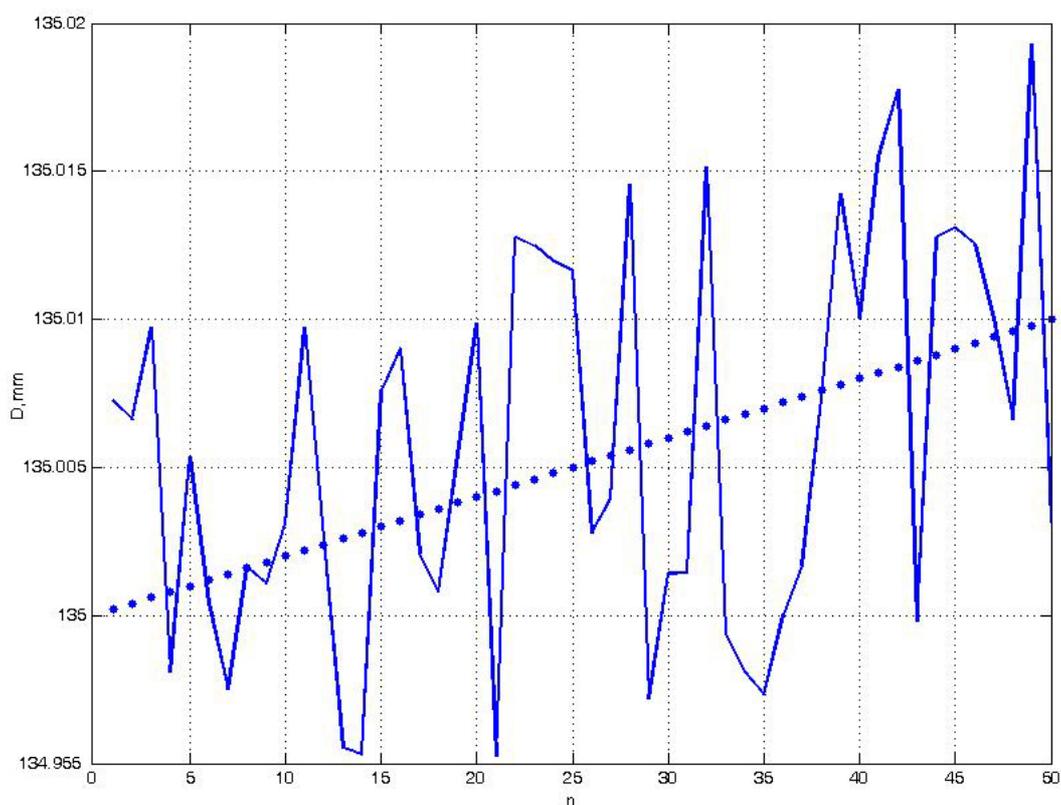


Рис. 3. Результаты многократных измерений диаметра детали с выявленной систематической погрешностью

После выявления наличия погрешности возможно предпринять действия по подналадке для устранения погрешности и стабилизации процесса. Также возможно исключить влияние систематической погрешности и внести соответствующую поправку в результаты расчёта.

Вывод. Применение многократных измерений при контроле ответственных деталей позволяет повысить точность измерений и, соответственно, увеличить надёжность собранных узлов и агрегатов машины.

За счёт простой математической реализации, описанный алгоритм может быть использован при автоматизации измерительного процесса (например, в координатно-измерительных машинах, в станках с ЧПУ и гибких производственных системах), его

применение позволит за счет оптимизации числа измерений уменьшить норму времени на производство деталей машин и существенно удешевить контроль.

Литература

1. *Шторм Р.* Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. - М.: Мир, 1970. 368 с.
2. *Невельсон М.С.* Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. Л.: Машиностроение, 1982. 184 с.
3. *Зайцев Г. Н.* Управление качеством. Технологические методы управления качеством изделий: учеб. пособие для вузов / Зайцев Г. Н. - СПб.: Питер, 2014. - 266 с.
4. *Шачнев Ю.А., Лиморенко А.Д.* Исследование возможности повышения точности обработки деталей за счёт применения алгоритма управления // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 11.
5. *Шачнев Ю.А., Барбашов Н.Н.* Выбор эффективных критериев определения объема измерений// 9-я Всероссийская научно-техническая конференция «Состояние и проблемы измерений». Сборник материалов. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. С. 27.
6. *Терентьева А.Д., Барбашов Н.Н.* Управление точностью обработки деталей с применением активного контроля. // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 09. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/801150.html> (дата обращения 18.09.2015)
7. *Рахматуллин А. И., Моисеев В. С.* Математические модели и методы оптимизации нестационарных систем обслуживания: монография / Рахматуллин А. И., Моисеев В. С. - Казань: Шк., 2006. - 211 с.
8. *Кузнецов Л. А.* Контроль и оценка многомерного качества. М.: Методы менеджмента качества, 2008. - № 10. - С. 40-45.
9. *Тихонов В. И., Шахтарин Б. И., Сизых В. В.* Случайные процессы. Примеры и задачи: учеб. пособие для вузов: в 4 т. / Тихонов В. И., Шахтарин Б. И., Сизых В. В. - М.: Радио и связь, 2003. Т. 1: Случайные величины и процессы / ред. Сизых В. В. - 2003. - 399 с.
10. *Ким Д. П.* Теория автоматического управления: учеб. пособие для вузов / Ким Д. П. - М. : Физматлит, 2003. Т. 2 : Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - 2004. - 463 с.
11. *Тайц В.Г., Гуляев В.И.* Технология машиностроения и производство подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: Учеб. пособие для вузов. - М.: Академия, 2007.- 364 с.
12. *Сидняев Н. И.* Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учеб. пособие для вузов/ -М.: Юрайт, 2011. -399 с.