

## Управление точностью обработки деталей с применением активного контроля

# 09, сентябрь 2015

Барбашов Н. Н.<sup>1</sup>, Терентьева А. Д.<sup>1,\*</sup>

УДК: 517.977.5

<sup>1</sup>Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

\*[TerentyevaAD@gmail.com](mailto:TerentyevaAD@gmail.com)

В серийном и массовом производстве существует задача управления точностью обработки. В данном случае на одном и том же оборудовании, на одних и тех же режимах, то есть в условиях повторяемости, получается множество реализаций. Большинство современных станков оснащены датчиками активного контроля, которые позволяют измерять размеры изготавливаемых деталей и осуществлять наладку станков во время работы. В области управления технологическим процессом при помощи средств активного контроля задача повышения точности может быть конкретизирована, а затем и решена путем выбора рационального алгоритма управления. [11]

Для решения поставленной задачи необходимо разработать методы управления точностью [8, 9, 12, 13, 14] при активном контроле путем введения соответствующих корректировок. Методы, основанные на управлении по скользящей средней, представляются наиболее перспективными для управления точностью, поскольку они включают в себя информацию об изменении нескольких последних измеренных значений контролируемого параметра. [10]

Отечественные ученые, предлагавшие в своих работах [2, 4, 5] использование систем активного контроля, опирались на классические математические модели. Наибольшего успеха добились в своих работах И.И. Лобунина и М.С. Невельсон, так же разработкой рациональных алгоритмов занимался Ю.А. Шачнев [5].

Так, эффективность линейной формулы  $k \cdot \overline{x_i}$  адаптивного управления с введением скользящей средней для конкретного производства, конкретного процесса и конкретной модели станка показала в своей работе И.И. Лобунина. [2]

Здесь  $x_i$  - реализация отклонения на  $i$ -м шаге процесса, получаемая в программе при помощи случайной функции, удовлетворяющая выбранному закону распределения.

$k$  - коэффициент управления.

Как уже было указано, в основе методики расчета лежит вычисление скользящей средней. То есть, при вычислении первые три члена последовательности отклонений ос-

таются неизменными, стало быть  $\bar{x}_1 = x_1$ ,  $\bar{x}_2 = x_2$ ,  $\bar{x}_3 = x_3$ . А далее для каждого  $i$ -го члена последовательности отклонений будут вычисляться следующим образом:

$\bar{x}_i = x_i - f(k, \bar{x}_i)$ , где  $f(k, \bar{x}_i)$  – формула для вычисления управления, в которую вместо значений  $\bar{x}_i$  будут подставлены соответствующие значения  $x_i'$ , вычисленные как среднее значение трех предыдущих членов, то есть  $x_i' = \frac{x_{i-1} + x_{i-2} + x_{i-3}}{3}$  [4].

В качестве критерия оценки эффективности управления взят коэффициент увеличения точности  $\psi_T = \frac{\sigma_y}{\sigma}$ , представляющий собой отношение среднеквадратического отклонения процесса после введения адаптивного управления к среднеквадратическому отклонению процесса до введения адаптивного управления, предложенный Ю.А. Шачневым. [3, 5] При введении такого коэффициента увеличения точности очевидно, что увеличение точности определяется критерием  $\psi_T < 1$ .

Решение задачи состоит в выборе оптимальных в смысле указанного критерия увеличения точности  $\psi_T$  значений  $k$ , подбираемых таким образом, чтобы критерий  $\psi_T$  был минимален, то есть эффективность управления была наибольшей.

Для проведения исследования была создана математическая модель процесса измерения детали, с наличием случайной составляющей погрешности. [7, 15]

Проводить исследование было бы целесообразно на математической модели случайной величины, поскольку вероятностный закон на практике почти всегда неизвестен, на что указывали в своих работах многие ученые [4, 6]. Но в то же время, серия стандартов ГОСТ Р 50779 регламентирует методики управления качеством для конкретных законов распределения. Таким образом ситуация противоречива: закон распределения неизвестен, но ГОСТ регламентирует разные действия для разных законов. Стало быть, прежде всего надо показать эффективность предлагаемой методики для нормального закона распределения случайной величины, описанного в ГОСТ Р 50779.21-2004 [1].

Исследования следует проводить при многократных повторяющихся измерениях с целью усреднения получаемых результатов для повышения достоверности выводов. Единичный случай эффективности введенного адаптивного управления не может гарантировать эффективности всех последующих. Кроме того, следует проводить указанные исследования при различных объемах измерений, поскольку предлагаемые методы адаптивного управления осуществляются при активном контроле, то есть количество измерений непрерывно накапливается. А значит, следует доказать эффективность введения адаптивного управления при различном числе измерений.

Для выбранной формулы получить эффект регулирования в смысле коэффициента увеличения точности  $\psi_T$  представляется возможным только при количестве измерений  $n$  четыре или больше, вследствие принципа расчета по скользящей средней. Для указанной формулы принято минимальное количество измерений - пять. Из соображений здравого

смысла, руководствуясь объемами непрерывно обрабатываемых партий для машиностроительных отраслей промышленности, следует выбрать максимальное количество измерений сто деталей. Для поставленной цели достаточно выбрать большой шаг между количеством измерений. Так что после выбранного минимального количества измерений, следующее количество измерений будет 10, затем 20 и так далее с шагом 10 до 100 измерений.

Условия проведения эксперимента для поставленной задачи проверки эффективности предлагаемой методики адаптивного управления почти ясны, осталось лишь выбрать число многократных повторений однотипных экспериментов. Для поставленной задачи достаточно показать достоверность получаемых результатов, но не обязательно добиваться абсолютной точности получаемого эффекта, усложняя и растягивая по времени проводимый эксперимент, так что для этой цели будет достаточно 100 повторений одних и тех же экспериментов, но только в том случае, если для минимального количества измерений при проведении трех одинаковых экспериментов по 100 повторений в каждом результат будет одинаковым. Если же нет, то условия необходимо будет скорректировать.

В качестве коэффициента увеличения точности  $\psi_T$  и коэффициента  $k$  представлены средние значения по 100 повторениям. Результаты трех многократных измерений по 100 повторений для количества измерений 5 при корректировке по формуле  $k \cdot \bar{x}_i$  представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты тестовых многократных измерений по 100 повторений для количества измерений 5 при корректировке по формуле  $k \cdot \bar{x}$

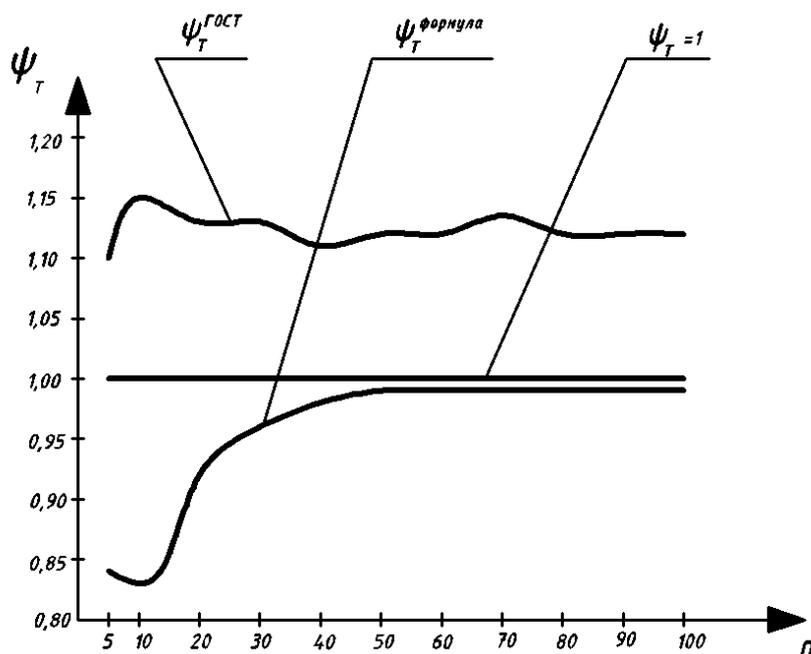
| №<br>п/п | Корректировка по ГОСТ | Корректировка по формуле | Коэффициент |
|----------|-----------------------|--------------------------|-------------|
|          | $\psi_T$              | $\psi_T$                 | $k$         |
| 1        | 1,11                  | 0,86                     | -1,1        |
| 2        | 1,14                  | 0,84                     | -0,8        |
| 3        | 1,16                  | 0,84                     | -0,9        |

Полученные данные, представленные в таблице 1, между собой схожи, предлагаемая методика признается годной.

Результаты измерений с введением корректировки представлены в таблице 2. Кроме того, для наглядности, полученные результаты представлены графически на рисунке 1. На диаграмме помимо линий зависимости коэффициента увеличения точности при корректировке по ГОСТ  $\psi_T^{ГОСТ}$  и коэффициента увеличения точности при корректировке по формуле  $\psi_T^{формула}$  в зависимости от количества измерений  $n$ , также введена линия коэффициента увеличения точности  $\psi_T = 1$ , которая позволяет легко визуально определить эффективность или неэффективность адаптивного управления.

**Таблица 2.** Сравнение коэффициентов увеличения точности  $\psi_T$  при введении корректировки по ГОСТ и по формуле  $k \cdot \bar{x}$  для нормального закона распределения при многократных измерениях

| Количество измерений | Корректировка по ГОСТ | Корректировка по формуле | Коэффициент |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|
|                      | $\psi_T$              | $\psi_T$                 |             |
| 5                    | 1,1                   | 0,84                     | -1,1        |
| 10                   | 1,15                  | 0,83                     | -0,9        |
| 20                   | 1,13                  | 0,92                     | -0,6        |
| 30                   | 1,13                  | 0,96                     | -0,3        |
| 40                   | 1,11                  | 0,98                     | -0,2        |
| 50                   | 1,12                  | 0,99                     | -0,1        |
| 60                   | 1,12                  | 0,99                     | -0,1        |
| 70                   | 1,13                  | 0,99                     | -0,1        |
| 80                   | 1,12                  | 0,99                     | -0,1        |
| 90                   | 1,12                  | 0,99                     | 0           |
| 100                  | 1,12                  | 0,99                     | 0           |



**Рис. 1.** Сравнение коэффициентов увеличения точности  $\psi_T$  при введении корректировки по ГОСТ и по формуле  $k \cdot \bar{x}$  для нормального закона распределения при многократных измерениях

### Выводы

Как видно из представленной диаграммы, введение адаптивного управления в активном контроле с использованием предлагаемой формулы для массива основных отклонений измеряемой величины, распределенной по нормальному закону, дает положительный эффект регулирования. Коэффициент увеличения точности при введении коррек-

ровки по предлагаемой формуле при любом количестве измерений  $\psi_T^{\text{формула}} < 1$ , что говорит о положительном эффекте регулирования, и с увеличением количества измерений постепенно возрастает. Кроме того, из представленной диаграммы очевидно, что корректировка по скользящей средней, рекомендуемая ГОСТ, при любом количестве измерений неэффективна.

Для технической реализации предложенных результатов можно использовать ранее выполненные работы [2, 4, 5] в области активного контроля.

### Список литературы

1. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. Введ. 2004-06-01. М.: ИПК издательство стандартов. 2004. 47 с.
2. Лобунина И.И. Разработка и исследование корреляционных методов анализа и повышения точности обработки на шлифовальных станках с приборами активного контроля: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Л.: Сев-Зап. Политехн. ин-т. 1970. 17 с.
3. Лиморенко А.Д., Шачнев Ю.А. Исследование возможности повышения точности обработки деталей за счет применения алгоритма управления. // Наука и образование. Электронное издание. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 11. DOI: [10.7463/1112.0483097](http://technomag.bmstu.ru/doc/483097.html). Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/483097.html> (дата обращения 14.08.2015)
4. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. Л.: Машиностроение. 1982. 184 с.
5. Шачнев Ю.А. Оптимальное позиционное управление точностью процесса обработки // Труды МВТУ № 369. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. / Под ред. А.Д. Никифорова. М.: Типография МВТУ. 1981. С. 98-115.
6. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества: пер. с англ. М.: Мир. 1970. 368 с.
7. 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.
8. Зайцев Г.Н. Управление качеством. Технологические методы управления качеством изделий: учеб. пособие для вузов / Зайцев Г.Н. СПб.: Питер. 2014. 266 с
9. Мельников В.П., Смоленцев В.П., Схиртладзе А.Г. Управление качеством: учебник для вузов / Мельников В.П., Смоленцев В.П., Схиртладзе А.Г.; ред. Мельников В.П. 3-е изд., стер. М.: Академия. 2007. 345 с.
10. Филонов И.П., Медведев А.И. Вероятностно-статистические методы оценки качества в машиностроении: учеб. пособие для вузов / Филонов И.П., Медведев А.И. Минск: Тесей. 2000. 127 с.

11. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы: учебник для вузов / Шишмарев В.Ю. 2-е изд., испр. М.: Академия. 2012. 383 с.
12. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. СПб.: Наука. 2000. 548 с.
13. Рубан А.И. Методы анализа данных: учеб. пособие / Рубан А.И. 2-е изд., испр. и доп. Красноярск: ИПЦ КГТУ. 2004. 319 с.
14. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учеб. пособие для вузов / Ким Д. П. Т. 2: Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М.: Физматлит. 2004. 463 с.
15. Рахматуллин А.И., Моисеев В.С. Математические модели и методы оптимизации нестационарных систем обслуживания: монография / Рахматуллин А.И., Моисеев В.С. (Серия Современная прикладная математика и информатика). Казань: Изд-во Школа. 2006. 211 с.