

УДК 517.977.5

Повышение точности обработки с применением активного контроля

Барбашов Н. Н.¹, Лиморенко М. Е.¹,
Терентьева А. Д.^{1,*}

[*terentyevaad@gmail.com](mailto:terentyevaad@gmail.com)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В процессе обработки деталей под влиянием погрешностей происходит смещение поля рассеивания размеров деталей к границе допуска. Для повышения точности обработки и предотвращения получения брака необходимо уменьшать составляющие погрешности обработки: повышать точность станка и инструмента, стойкость инструмента, жесткость системы, точность настройки. Так же через определенное время необходимо произвести поднастройку станка. Но увеличение количества поднастроек снижает производительность, а повышенные требования к станку и инструменту приводят к значительному повышению стоимости обработки. Поэтому задача формирования рациональных методик контроля, позволяющих обеспечивать как некоторый заданный выходной уровень качества, так и его повышение, остаётся актуальной. В современном производстве в области управления технологическим процессом при помощи средств активного контроля задача повышения точности может быть решена выбором рационального алгоритма управления путем введения 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.

Ключевые слова: активный контроль, управление точностью, скользящая средняя, рациональный алгоритм, адаптивное управление, статистические методы контроля

Введение

Математико-статистические методы исследования являются в настоящее время важнейшим элементом управления качеством на промышленном предприятии. При высоких требованиях к точности изготовления изделий необходим текущий контроль, чтобы производить регулирование технологическим процессом и предупреждать появление брака [1]. Широко известные математико-статистические выборочные методы контроля главным образом находят применение при осуществлении приёмочного контроля в целях проверки соблюдения технических требований к качеству изделий [2, 3, 4]. Таким образом,

они не оказывают непосредственного влияния на производство изделий, а выявляют брак уже готовой продукции [3, 5, 6, 7, 8].

Активный контроль, направленный на обеспечение необходимого качества параметров изделий в самом процессе их получения, автоматизации технологических процессов высокой точности, снижения потерь от брака и расходов на контроль в настоящее время является наиболее перспективным.

Задача формирования рациональных методик контроля, позволяющих обеспечивать как некоторый заданный выходной уровень качества, так и его повышение при помощи средств активного контроля может быть конкретизирована и решена путем выбора рационального алгоритма управления. [1, 2, 3]

Исследование возможностей повышения точности

Для решения поставленной задачи при активном контроле необходимо разработать методы управления точностью путем введения соответствующих корректировок [4, 5, 6, 7, 8]. Наиболее перспективными представляются методы, основанные на управлении по скользящей средней, включающие в себя информацию об изменении нескольких последних измеренных значений контролируемого параметра, что позволит улучшить качество продукции и повысить скорость производства. [9, 10, 11, 12]

Отечественные ученые, предлагавшие в своих работах [10, 11, 12] использование систем активного контроля, опирались на классические математические модели. Наибольшего успеха добились в своих работах И.И. Лобунина и М.С. Невельсон. Разработкой оптимального позиционного управления точностью процесса обработки занимался Ю.А. Шачнев [12].

В основе методики управления по скользящей средней, предлагаемой ГОСТ Р ИСО 7870-1-2011, лежит вычисление скользящей средней, когда первые три члена последовательности отклонений остаются неизменными, т.е. $\overline{x}_1 = x_1$, $\overline{x}_2 = x_2$, $\overline{x}_3 = x_3$. Здесь x_i - реализация отклонения на i -м шаге процесса. А далее для каждого i -го члена последовательности отклонения будут вычисляться как $\overline{x}_i = x_i - \overline{x}_i'$, где $\overline{x}_i'$, вычислены как среднее арифметическое трех предыдущих членов [13], то есть

$$\overline{x}_i' = \frac{x_{i-1} + x_{i-2} + x_{i-3}}{3}.$$

Эффективность линейной формулы $k \cdot \overline{x}_i$ адаптивного управления с введением скользящей средней для конкретных производства, процесса и модели станка показала в своей работе И.И. Лобунина. Здесь $\overline{x}_i$ – также реализация отклонения на i -м шаге процесса, получаемая в программе при помощи случайной функции, удовлетворяющая выбранному закону распределения, при введении k - коэффициента управления. Методика управления остается той же, что предлагается в ГОСТ Р ИСО 7870-1-2011, разница лишь в подсчете отклонения. Для каждого i -го члена последовательности отклонения будут вычис-

ляться как $\overline{x_i} = x_i - k \cdot \overline{x_i'}$, где $\overline{x_i'}$, вычислены как среднее арифметическое трех предыдущих членов.

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. [9, 12] При введении такого коэффициента, увеличение точности определяется критерием $\psi_T < 1$. Для простоты понимания получаемых результатов введена оценка эффективности - улучшение $\Delta = (1 - \psi_T) \cdot 100\%$. Получаемое улучшение Δ , измеряемое в процентах, дает представление об изменении эффективности предлагаемого метода введения адаптивного управления.

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

Проводить исследование целесообразно на математической модели случайной величины, поскольку вероятностный закон на практике почти всегда неизвестен, на что указывали в своих работах многие ученые [4, 11]. Но в то же время, серия стандартов ГОСТ Р 50779 регламентирует методики управления качеством для конкретных законов распределения. [16, 17, 18]

Моделирование технологического процесса и методика проведения исследования

Для проведения исследования была создана математическая модель процесса измерения детали, с наличием случайной составляющей погрешности. [7, 14] Как показывают исследования [10], несмотря на отсутствие видимых признаков смещения настройки (то есть систематической составляющей), она существует, причем ее доля может составлять более половины суммарной погрешности.

Исследования проводятся 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, указанные исследования проводятся при различных объемах измерений, поскольку предлагаемый метод адаптивного управления осуществляется при активном контроле, то есть количество измерений n непрерывно накапливается. А значит, должна быть доказана эффективность введения адаптивного управления при различном количестве измерений.

Данная работа является продолжением исследований, изложенных в работах [14, 15], применяются те же методы, использовано то же программное обеспечение. Все обозначения соответствуют принятым в работе [14].

В работах [14, 15] показано, что введение адаптивного управления в активном контроле с использованием предлагаемой формулы для массива основных отклонений измеряемой величины, распределенной по предлагаемым в серии ГОСТ Р 50779 законам распределения, с полем допуска 30 мкм, дает положительный эффект регулирования. Кроме того, в работах [14, 15] показано, что при изменении величины поля допуска, и при смещении поля допуска постоянной величины, корректировка, предлагаемая в действующих ГОСТ, дает отрицательный эффект в смысле выбранного коэффициента увеличения точности, который в случае изменения величины поля допуска лучше полученного при смещении поля допуска постоянной величины, но по-прежнему остается отрицательным. Введение корректировок по формуле $k \cdot \overline{x_i}$ в целом дает положительный эффект, изредка достигая нулевого эффекта адаптивного управления при коэффициенте увеличения точности $\psi_T = 1$, не ухудшая процесс.

В настоящей работе доказывается, что предлагаемый метод адаптивного управления также эффективен и в случае введения систематической погрешности, приближая условия проведения моделируемого эксперимента к реальным, где настройка станка может смещаться из-за различных факторов.

Отдельно следует отметить, что проводить исследование любого предлагаемого метода при введении систематической погрешности не просто важно, а необходимо. Как показывают исследования [11], несмотря на отсутствие видимых признаков смещения настройки (то есть систематической составляющей), она существует, причем ее доля может составлять более половины суммарной погрешности.

Предлагаемый в настоящей работе эксперимент с целью исследования эффективности выбранной модели адаптивного управления при введении систематической составляющей погрешности разделен на два: в первом исследована эффективность выбранного метода адаптивного управления при введении систематической погрешности, распределенной по линейному закону, а во втором - эффективность выбранного метода адаптивного управления при введении систематической погрешности, распределенной по периодическому закону.

Данные этих экспериментов представлены в таблицах и графически. Графическое представление результатов экспериментов в этом случае будет подобно графическому представлению результатов экспериментов, связанных с исследованием эффективности выбранного метода адаптивного управления при различном интервале измерений. Для первого эксперимента по исследованию эффективности при введении систематической погрешности, распределенной по линейному закону, в качестве третьего параметра на диаграмме выбран угол наклона прямой линии $k \cdot x + b$, представляющей систематическую составляющую погрешности. Для упрощения обозначения этого параметра на диаграмме введено обозначение $\alpha = \arctg(k)$. Для второго эксперимента по исследованию эффективности при введении систематической погрешности, распределенной по периодическому закону $k \cdot \sin(x)$, в качестве третьего параметра на диаграмме взят коэффициент k .

При моделировании процесса введения систематической погрешности, распределенной по линейному закону, в формулу прямой линии $k \cdot x + b$, представляющей систематическую составляющую погрешности, в качестве параметра x подставлены значения количества измерений n .

Моделирование процесса введения систематической погрешности, распределенной по периодическому закону, гораздо сложнее. В ходе проведения экспериментов по исследованию эффективности выбранного метода адаптивного управления при введении систематической погрешности, распределенной по периодическому закону, представляется важным, чтобы при любом количестве измерений был охвачен измерением целый период функции $k \cdot \sin(x)$, поскольку интересно рассмотреть неблагоприятный случай – периодическую систематическую составляющую погрешности, как более «неудобную» в отслеживании и корректировке при введении адаптивного управления. Принято решение ограничить целый период функции $k \cdot \sin(x)$ количеством измерений $n = 20$. То есть, если количество измерений $n \leq 20$, то в выбранное количество измерений n должен укладываться целый период функции $k \cdot \sin(x)$, иначе один период на количество измерений $n = 20$.

Описанные эксперименты проводятся по методике, подробно изложенной в работах [13, 14, 15].

В эксперименте по исследованию эффективности при введении систематической составляющей погрешности, распределенной по линейному закону, угол α наклона относительно нуля (применительно к полю допуска - нулевой линии) варьируется с шагом 7° и принимает значения -35; -28; -21; -14; -7; 0; 7; 14; 21; 28; 35. В эксперименте по исследованию эффективности при введении систематической составляющей погрешности, распределенной по периодическому закону, коэффициент k варьируется с шагом 0,25 и принимать значения 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5.

Угол α наклона прямой, задающей систематическую погрешность, распределенную по линейному закону, в 35° и коэффициент k , задающий систематическую погрешность, распределенную по периодическому закону, в 2,5 описывают наиболее неблагоприятную модель технологического процесса, так как такое резкое измерение линии, вдоль которой оказываются распределены значения измеряемой величины приведет к быстрому выходу измеряемой величины из поля допуска. Но все же, в ходе исследования решено рассмотреть и такие заведомо чрезмерные случаи для большей уверенности в успехе предлагаемого метода введения адаптивного управления.

Закон распределения нормальный, стандартное отклонение 5.

Результаты исследования эффективности выбранного метода адаптивного управления при введении систематической погрешности

Результаты измерений с введением корректировок по предлагаемой формуле представлены в таблицах 1 и 2 и на рисунке 1 для линейного и периодического законов распределения систематической погрешности соответственно. Результаты измерений с введением корректировок по ГОСТ для сравнения их с результатами введения корректировок

по формуле представлены в таблицах 3 и 4 и на рисунке 2 для линейного и периодического законов распределения систематической погрешности соответственно. Как уже было отмечено в работе [14], в качестве коэффициента увеличения точности Ψ_T представлены средние значения по 100 повторениям.

Таблица 1. Сравнение коэффициентов увеличения точности Ψ_T при введении корректировки по формуле

$k_1 \cdot \bar{x}$ при введении систематической погрешности, распределенной по линейному закону, при многократных измерениях.

α n	-35	-28	-21	-14	-7	0	7	14	21	28	35
5	0,86	0,87	0,84	0,85	0,86	0,84	0,87	0,84	0,87	0,85	0,86
10	0,92	0,91	0,91	0,88	0,86	0,83	0,88	0,88	0,89	0,92	0,92
20	0,89	0,93	0,95	0,95	0,94	0,92	0,93	0,95	0,96	0,93	0,89
30	0,79	0,86	0,93	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,92	0,87	0,78
40	0,72	0,80	0,88	0,94	0,99	0,98	0,98	0,95	0,88	0,79	0,72
50	0,64	0,73	0,83	0,92	0,98	0,99	0,98	0,92	0,83	0,73	0,65
60	0,59	0,68	0,79	0,88	0,98	0,99	0,97	0,88	0,78	0,68	0,60
70	0,56	0,63	0,73	0,85	0,97	0,99	0,97	0,85	0,73	0,64	0,55
80	0,52	0,60	0,69	0,81	0,96	0,99	0,95	0,81	0,69	0,60	0,53
90	0,50	0,57	0,65	0,78	0,94	0,99	0,94	0,78	0,66	0,57	0,50
100	0,47	0,54	0,63	0,76	0,93	0,99	0,92	0,75	0,62	0,54	0,48

Таблица 2. Сравнение коэффициентов увеличения точности Ψ_T при введении корректировки по формуле

$k_1 \cdot \bar{x}$ при введении систематической погрешности, распределенной по периодическому закону, при многократных измерениях.

k n	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
5	0,84	0,85	0,85	0,83	0,88	0,84	0,83	0,87	0,82	0,86	0,86
10	0,83	0,87	0,86	0,89	0,85	0,85	0,84	0,85	0,84	0,83	0,82
20	0,92	0,91	0,92	0,91	0,90	0,90	0,91	0,93	0,93	0,91	0,92
30	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98
40	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
50	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99
60	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
70	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
80	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
90	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
100	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

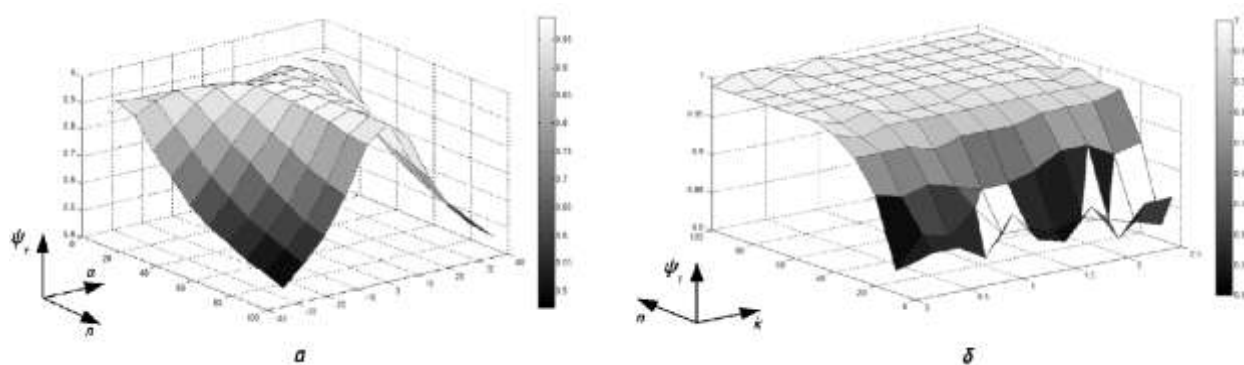


Рис. 1. Сравнение коэффициентов увеличения точности Ψ_T при введении корректировки по формуле $k_1 \cdot \bar{x}$ при введении систематической погрешности при многократных измерениях при а – линейном законе распределения систематической погрешности, б – периодическом законе распределения систематической погрешности

Таблица 3. Сравнение коэффициентов увеличения точности Ψ_T при введении корректировки по ГОСТ при введении систематической погрешности, распределенной по линейному закону, при многократных измерениях.

$\alpha \backslash n$	-35	-28	-21	-14	-7	0	7	14	21	28	35
5	1,09	1,10	1,13	1,11	1,09	1,11	1,10	1,18	1,11	1,11	1,11
10	1,04	1,06	1,11	1,11	1,14	1,15	1,12	1,11	1,10	1,10	1,05
20	0,92	0,98	1,03	1,08	1,11	1,13	1,11	1,08	1,04	0,99	0,93
30	0,79	0,88	0,98	1,05	1,10	1,13	1,10	1,05	0,96	0,89	0,80
40	0,73	0,80	0,90	0,98	1,08	1,11	1,09	1,01	0,90	0,79	0,73
50	0,66	0,74	0,84	0,96	1,07	1,12	1,06	0,96	0,83	0,73	0,66
60	0,62	0,69	0,79	0,90	1,05	1,12	1,04	0,90	0,78	0,69	0,63
70	0,60	0,65	0,73	0,86	1,02	1,13	1,02	0,86	0,74	0,65	0,60
80	0,58	0,62	0,70	0,82	1,01	1,12	1,00	0,82	0,70	0,63	0,58
90	0,56	0,60	0,67	0,78	0,98	1,12	0,98	0,78	0,67	0,60	0,56
100	0,55	0,59	0,65	0,76	0,96	1,12	0,95	0,76	0,64	0,59	0,55

Таблица 4. Сравнение коэффициентов увеличения точности Ψ_T при введении корректировки по ГОСТ при введении систематической погрешности, распределенной по периодическому закону, при многократных измерениях.

$k \backslash n$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
5	1,11	1,13	1,13	1,13	1,09	1,15	1,13	1,13	1,12
10	1,15	1,10	1,11	1,11	1,10	1,11	1,11	1,11	1,10
20	1,13	1,13	1,12	1,10	1,13	1,13	1,12	1,09	1,09
30	1,13	1,11	1,13	1,11	1,11	1,09	1,10	1,10	1,11

$\begin{matrix} k \\ n \end{matrix}$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
40	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,10	1,10	1,09	1,10
50	1,12	1,12	1,11	1,12	1,12	1,10	1,10	1,10	1,10
60	1,12	1,11	1,12	1,11	1,12	1,10	1,09	1,10	1,09
70	1,13	1,12	1,11	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09
80	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,10	1,09	1,09	1,09
90	1,12	1,11	1,12	1,11	1,12	1,10	1,09	1,09	1,08
100	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,10	1,10	1,09	1,10

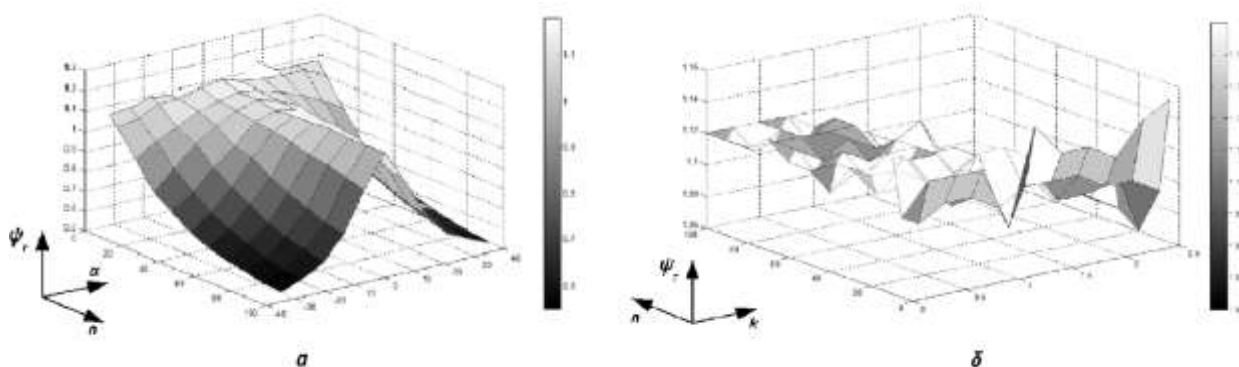


Рис. 2. Сравнение коэффициентов увеличения точности Ψ_T при введении корректировки по ГОСТ при введении систематической погрешности при многократных измерениях при а – линейном законе распределения систематической погрешности, б – периодическом законе распределения систематической погрешности

Заключение

При проведении эксперимента по исследованию эффективности выбранного метода адаптивного управления при введении систематической погрешности, распределенной по линейному и периодическому закону, было выявлено, что систематическую составляющую погрешности, распределенную по периодическому закону, с увеличением количества измерений n выделять все сложнее, но все же предлагаемый метод введения адаптивного управления дает положительное улучшение Δ . Систематическую составляющую погрешности, распределенную по линейному закону, с увеличением угла ее наклона α (то есть смещения настройки) с увеличением количества измерений n выделять все проще, и при введении систематической составляющей такого вида выбранный метод адаптивного управления дает ощутимый эффект в смысле коэффициента увеличения точности ψ_T и улучшения Δ , в среднем до улучшения на $\Delta=50\%$, в отдельных случаях достигая значений $\psi_T^{\text{формула}} = 0,39$ и $\Delta=61\%$.

Результаты проведенных экспериментов позволили сделать следующие выводы:

1. Введение корректировок по скользящей средней, рекомендуемых для любого закона распределения, регламентируемого серией стандартов ГОСТ Р 50779, неэффек-

тивно при любом количестве измерений. Поскольку предлагаемая в ГОСТ методика управления по скользящей средней не предусматривает возможности введения нулевого смещения настройки ни на каком шаге управления, а значит процесс можно ухудшить. Тогда как наличие в предлагаемой формуле коэффициента k позволяет на любом шаге управления ввести нулевое смещение настройки, если улучшение невозможно.

2. Введение корректировок по предложенной формуле при введении в математическую модель процесса систематической составляющей в целом дает положительный эффект, изредка достигая нулевого эффекта адаптивного управления при коэффициенте увеличения точности $\psi_T = 1$, не ухудшая процесс производства. Предлагаемый метод адаптивного управления при многократных повторяющихся измерениях дает улучшение в среднем до $\Delta=50\%$, а в отдельных случаях единичных экспериментов достигает значений и $\Delta=61\%$.

Список литературы

1. Филонов И. П., Медведев А. И. Вероятностно-статистические методы оценки качества в машиностроении : учеб. пособие для вузов. Минск: Тесей, 2000. 127 с.
2. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы: учебник для вузов. 2-е изд. М.: Академия, 2012. 383 с.
3. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М.: Мир, 1970. 368 с.
4. Зайцев Г. Н. Управление качеством. Технологические методы управления качеством изделий : учеб. пособие для вузов. СПб.: Питер, 2014. 266 с.
5. Ким Д. П. Теория автоматического управления : учеб. пособие для вузов. Т. 2 : Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М. : Физматлит, 2004. 463 с.
6. Мельников В. П., Смоленцев В. П., Схиртладзе А. Г. Управление качеством : учебник для вузов / Под ред. Мельникова В. П. 3-е изд. М. : Академия, 2007. 345 с.
7. Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. 548 с.
8. Рубан А. И. Методы анализа данных : учеб. пособие. 2-е изд. Красноярск : Изд-во Красноярского гос. техн. ун-та, 2004. 319 с.
9. Лиморенко А.Д., Шачнев Ю.А. Исследование возможности повышения точности обработки деталей за счет применения алгоритма управления // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 11. Режим доступа: <http://technomag.neicon.ru/doc/483097.html> (дата обращения 08.09.2016). DOI: [10.7463/1112.0483097](https://doi.org/10.7463/1112.0483097)
10. Лобунина И.И. Разработка и исследование корреляционных методов анализа и повышения точности обработки на шлифовальных станках с приборами активного контроля: автореф. ... дис. канд. техн. наук. Л., 1970. 17 с.

11. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. Л.: Машиностроение, 1982. 184 с.
12. Шачнев Ю.А. Оптимальное позиционное управление точностью процесса обработки // Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: МВТУ, 1981. С. 98-115.
13. ГОСТ Р ИСО 7870-1-2011 Статистические методы. Контрольные карты. Ч. 1. Общие принципы. Введ. 2012-12-01. М.: Стандартиформ, 2012. 15 с.
14. Барбашов Н.Н., Терентьева А.Д. Управление точностью обработки деталей с применением активного контроля // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 9. Режим доступа: <http://engsi.ru/doc/814701.html> (дата обращения 08.09.2016).
15. Барбашов Н.Н., Терентьева А.Д. Повышение точности обработки методами адаптивного управления // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 6. Режим доступа: <http://technomag.neicon.ru/doc/842276.html> (дата обращения 08.09.2016)
16. ГОСТ Р 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Ч. 1. Нормальное распределение. Введ. 2004-06-01. М.: Госстандарт России, 2004. 47 с.
17. ГОСТ Р 50779.27-2007 (МЭК 61649:1997) Статистические методы. Критерий согласия и доверительные интервалы для распределения Вейбулла. Введ. 2007-11-14. М.: Стандартиформ, 2008. 16 с.
18. ГОСТ Р ИСО 21747-2010 Статистические методы. Статистики пригодности и воспроизводимости процесса для количественных характеристик качества. Введ. 2011-12-01. М.: Стандартиформ, 2012. 28 с.

Improving Accuracy of Processing Through Active Control

N.N. Barbashov¹, M.E. Limorenko¹,
A.D. Terentieva^{1,*}

[*terentyevaad@gmail.com](mailto:terentyevaad@gmail.com)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: active control, control precision, moving average, rational algorithm, adaptive control, statistical methods of control

An important task of modern mathematical statistics with its methods based on the theory of probability is a scientific estimate of measurement results. There are certain costs under control, and under ineffective control when a customer has got defective products these costs are significantly higher because of parts recall.

When machining the parts, under the influence of errors a range scatter of part dimensions is offset towards the tolerance limit. To improve a processing accuracy and avoid defective products involves reducing components of error in machining, i.e. to improve the accuracy of machine and tool, tool life, rigidity of the system, accuracy of the adjustment. In a given time it is also necessary to adapt machine.

To improve an accuracy and a machining rate there, currently become extensively popular various the in-process gaging devices and controlled machining that uses adaptive control systems for the process monitoring. Improving the accuracy in this case is compensation of a majority of technological errors. The in-cycle measuring sensors (sensors of active control) allow processing accuracy improvement by one or two quality and provide a capability for simultaneous operation of several machines.

Efficient use of in-cycle measuring sensors requires development of methods to control the accuracy through providing the appropriate adjustments. Methods based on the moving average, appear to be the most promising for accuracy control since they include data on the change in some last measured values of the parameter under control.

When calculating according to offered method the first three members of the sequence of deviations remain unchanged, therefore $\bar{x}_1 = x_1$, $\bar{x}_2 = x_2$, $\bar{x}_3 = x_3$. Then, for each i -th member of the sequence we calculate that way: $\bar{x}_i = x_i - k, \bar{x}_i'$, where the $\bar{x}_i$ values will be substituted by the corresponding values x_i' calculated as an average of three previous members:

$$x_i' = \frac{x_{i-1} + x_{i-2} + x_{i-3}}{3}.$$

As a criterion for the estimate of control efficiency an improving accuracy coefficient is taken and calculated as $\psi_T = \frac{\sigma_y}{\sigma}$.

Then a mathematical model of the measurement process with a random component of the error was created, and multiple measurements were taken with 100 repetitions. And there was a comparison of the laws of correction both for the Standard and for the proposed method from which we can conclude the following: with the mathematical model into which is included the random component, distributed in a linear and periodic dependence, the adjustment proposed in the existing Standard, gives a negative effect in terms of selected magnification factor of accuracy, which in the case of changing value of the tolerance zone is better than that of obtained when the constant tolerance zone is offset, but still remains negative.

At the same time, it can be seen that the adjustments according to the proposed formula, as a whole, have a positive effect, occasionally reaching zero effect of adaptive control when magnification of accuracy $\psi_T = 1$ without making the process worse.

References

1. Filonov I. P., Medvedev A. I. *Veroiatnostno-statisticheskie metody otsenki kachestva v mashinostroenii* [Probabilistic and statistical methods for quality assessment in engineering]. Minsk : Tesej, 2000. 127 p.
2. Shishmarev V.Yu. *Tekhnicheskie izmereniia i pribory* [Performance measurement and instrumentation]. Moscow: Akademiia, 2012. 383 p.
3. Shtorm R. *Teoria veroiatnostej. Matematicheskaja statistika. Statisticheskij kontrol' kachestva* [Probability theory. Mathematical statistics. Statistical quality control]. Moscow : Mir, 1970. 368 p.
4. Zajcev G. N. *Upravlenie kachestvom. Tekhnologicheskie metody upravleniia kachestvom izdelij* [Quality control. Technological methods of quality control of products]. St. Petersburg : Piter, 2014. 266 p.
5. Kim D. P. *Teoriia avtomaticheskogo upravleniia*. [Automatic Control Theory]. T.2. *Mnogomernye, nelinejnye, optimal'nye i adaptivnye sistemy* [Vol. 2. Multi-dimensional, non-linear, optimal and adaptive systems]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2004. 463 p.
6. Melnikov V. P., Smolencev V. P., Skhirtladze A. G. *Upravlenie kachestvom* [Quality management]. Moscow : Akademiia, 2007. 345 p.
7. Miroshnik I. V., Nikiforov V. O., Fradkov A. L. *Nelinejnoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi sistemami* [The nonlinear and adaptive control of complex dynamic systems]. St. Petersburg : Nauka Publ., 2000. 548 p.
8. Ruban A. I. *Metody analiza dannykh* [Methods of data analysis]. Krasnoiar'sk : Krasnoiar'sk State Technical Institute Publ., 2004. 319 p.
9. Limorenko A.D., Shachnev Yu.A. Possibility of increasing the precision machining of parts through the use of a control algorithm. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Bauman* = Sci-

ence and Education of the Bauman MSTU, 2012, no. 11. Available at:

<http://technomag.neicon.ru/doc/483097.html>, accessed 08.09.2016.

DOI: [10.7463/1112.0483097](https://doi.org/10.7463/1112.0483097) (in Russ.)

10. Lobunina I.I. *Razrabotka i issledovanie korreliatsionnykh metodov analiza i povysheniia tochnosti obrabotki na shlifoval'nykh stankakh s priborami aktivnogo kontrolya* [Development and research of methods of correlation analysis and improve the accuracy of treatment on grinding machines with active control devices. Abstr. cand. diss.]. Leningrad, 1970. 17 p.
11. Nevelson M.S. *Avtomaticheskoe upravlenie tochnost'yu obrabotki na metallorezhushchikh stankakh* [Automatic control of precision processing machine tools]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1982. 184 p.
12. Shachnev Yu.A. Optimum position control precision processing. *Interchangeability, standardization and technical measurements*. Moscow: MVTU, 1981. Pp. 98-115.
13. *GOST R ISO 7870-1-2011. Statisticheskie metody. Kontrolnye karty. 1. Obschie printsipy*. [Statistical methods. Control charts. Pt. 1. General guidelines. Accessed 2012-12-01]. Moscow: Standartinform Publ., 2012. 15 p.
14. Barbashov N.N., Terent'eva A.D. Application of active control to improve the accuracy of processing. *Inzhenernyj vestnik. MGTU im. N.E. Baumana* = Engineering Bulletin, 2015, no. 9. Available at: <http://engsi.ru/doc/814701.html>, accessed 08.09.2016.
15. Barbashov N.N., Terenteva A.D. Improving accuracy of processing techniques of adaptive control. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* = Science and Education of the Bauman MSTU, 2016, no. 06. Available at: <http://technomag.neicon.ru/doc/842276.html>, accessed 08.09.2016. DOI: [10.7463/016.0842276](https://doi.org/10.7463/016.0842276)
16. *GOST R 50779.21-2004. Statisticheskie metody. Pravila opredeleniia i metody rascheta statisticheskikh kharakteristik po vyborochnym dannym. 1. Normal'noe raspredelenie* [Statistical methods. Determination rules and methods for calculation of statistical characteristics based on sample data. Pt. 1. Normal distribution Accessed 2004-06-01]. Moscow.: Russia Gosstandard, 2004. 47 p.
17. *GOST R 50779.27-2007 (IEC 61649:1997) Statisticheskie metody. Kriterij soglasiia i doveritel'nye intervaly dlia raspredeleniia Vejbulla* [Statistical methods. Goodness-of-fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data. Accessed 2008-06-01. Moscow.: Standartinform, 2008. 16 p.
18. *GOST R ISO 21747-2010. Statisticheskie metody. Statistiki prigodnosti i vosproizvodimosti protsessa dlia kolichestvennykh kharakteristik kachestva* [Statistical methods. Statistics suitability and reproducibility for quantitative characteristics of quality]. Accessed 2010-11-12. Moscow.: Standartinform, 2012. 28 p.