

# Разработка отечественных систем линейно-угловых измерений, интегрированных в конструкцию станка с ЧПУ

М. Г. Ковальский, П. В. Панфилов, В. М. Ковальский

Приведено обоснование необходимости и возможности обеспечения станков с ЧПУ отечественными средствами измерений в заводских условиях. Рассмотрены причины несоответствия уровня отечественной измерительной техники запросам современных промышленных технологий.

**Ключевые слова:**

точность станка с ЧПУ, компенсация погрешности станка, точность обработки, активный контроль, измерительные приборы

DOI: 10.22184/2499-9407.2024.34.1.76.79

## Введение

В условиях серийного производства основным требованием к деталям машиностроения является высокая точность их геометрических размеров для полного соответствия конструкторской документации. Соблюдение этого требования обеспечивает взаимозаменяемость деталей и позволяет существенно снизить затраты при сборке, ремонте и эксплуатации механизмов и машин.

Точность изготовления деталей зависит, в основном, от точности станка. Для достижения точности в пределах нескольких мкм, а именно таковы современные требования к изделиям машиностроения, необходимо контролировать погрешности металлорежущих станков и износ инструмента для внесения корректных компенсирующих поправок в систему ЧПУ станка.

При этом следует учитывать, что компенсация погрешностей самого станка и инструмента помогает лишь немного увеличить точность, одновременно требуя времени

на внедрение, выполнение исследований и тестов, а следовательно, вызывает дополнительные затраты [1–19].

В мировой практике существует два основных подхода к решению задачи обеспечения необходимой точности деталей в соответствии с требованиями чертежей или CAD-моделей.

Первый подход – это обеспечение в процессе производства непрерывной проверки станков с ЧПУ на точность. В этом случае используется специализированное измерительное оборудование для калибровки линейных и поворотных осей с целью объемной компенсации геометрических погрешностей во всем объеме рабочей зоны станка.

В последние годы проведено множество исследований, посвященных проблеме возникновения погрешностей металлорежущих станков, классификации погрешностей и способам их эффективной коррекции. В работе [20] приведено описание 21-ой составляющей погрешностей

в трехкоординатной системе станка с ЧПУ. Поле погрешностей в рабочем пространстве образовано тремя координатами по 6 погрешностей каждая и тремя в ортогональности.

Полная геометрическая погрешность в рабочем пространстве в работе [20] определяется путем решения матричного выражения:

$$XYZ = R_x [R_y (R_z^{-1} \cdot T + Z - Y) - X], \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  – векторы, содержащие информацию о линейных отклонениях от перпендикулярности;  $R_x, R_y, R_z$  – матрицы поворота, содержащие информацию об угловых отклонениях;  $T$  – вектор коррекции на размеры инструмента.

В качестве средства измерения применялась лазерная информационная измерительная система Renishaw XL-80 (Великобритания), погрешность измерений – до 0,001 мкм.

В настоящее время на российском рынке крайне ограничена возможность приобретения лазерного интерферометра XL-80, используемого в работе [20] в качестве средства измерения. Кроме того, использование таких измерительных систем является затруднительным в заводских условиях, так как это оборудование обеспечивает заявленные точностные характеристики только в условиях термомоноконстантного помещения.

Повышение точности обработки при сохранении или даже снижении трудоемкости достигают различными способами за счет создания новых технологических процессов, станков, инструмента, приспособлений.

Один из способов решения этой задачи – контроль обрабатываемого размера непосредственно в процессе обработки или сразу после него, и управление станком по результатам этого контроля. Речь идет о приборах автоматического управления обработкой – приборах активного контроля. Такой контроль является эффективным, особенно при финишной прецизионной обработке в условиях серийного производства.

## Материалы и методы

Настоящая статья является первой из цикла статей, посвященных описанию современного состояния приборов автоматического управления обработкой – приборов активного контроля.

Предлагаемый материал является результатом осмысления на современном этапе итогов многолетних исследовательских и конструкторских работ, проводимых в организациях-разработчиках серийно выпускаемых средств контроля и измерений в РФ. Источником информации об особенностях конструирования, методах и средствах испытания и контроля приборов, также включающим детальное описание приборов, увязанное с типами

обрабатываемых станков, стали архивные материалы АО «НИИИзмерения», который долгие годы являлся базовой организацией Минстанкопрома СССР по средствам контроля и измерений линейных и угловых размеров, головной организацией по метрологии и стандартизации размерных параметров в машиностроении, а также основным разработчиком серийно выпускаемых средств контроля и измерений в машиностроении.

Особенностью таких приборов является возможность их интеграции как в станки с ЧПУ, так и в станки с ручным управлением, что особенно актуально при модернизации производства и наличии в РФ огромного парка таких станков. Эти приборы состоят из электронного блока для проведения обработки информации с датчиков и измерительных станций (их может быть несколько). Эти станции монтируются непосредственно в зоне обработки станка и обладают защитой от воздействия негативных факторов при обработке детали.

Сегодня АО «НИИИзмерения» является единственным в России хранителем и продолжателем многолетних исследовательских и конструкторских работ, проводимых в организациях-разработчиках средств контроля и измерений, серийно выпускаемых до 2000 года в России, обладая в том числе архивом рабочих чертежей и технической документации.

Ниже приведен перечень отечественных приборов активного контроля, жизнеспособность которых подтверждена опытом их практического применения на производстве:

1. Приборы для круглошлифовальных станков:
  - управляющий прибор БВ-4270;
  - управляющий прибор БВ-4185-16;
  - управляющий прибор БВ-4180-31 для сопряженного шлифования;
  - прибор БВ-4116-07, управляющий осевой ориентацией;
  - приборы, управляющие процессами осевой ориентации и шлифования коленчатых валов;
  - прибор БВ-4274-01 для валов с непрерывной поверхностью;
  - прибор БВ-4274-00 для контроля диаметров валов с прерывистой поверхностью;
  - прибор БВ-4274-03 для контроля отверстий;
  - приборы с быстроналаживаемой оснасткой;
  - прибор БВ-4154 к резьбошлифовальному станку.
2. Приборы для хонинговальных станков.
3. Приборы для бесцентровых круглошлифовальных станков:
  - контроль на отдельной позиции (00);
  - контроль деталей в потоке.
4. Приборы для алмазно-расточных и токарных станков-автоматов.

5. Приборы для контроля больших размеров:
  - прибор ОИД-2;
  - прибор БВ-4273.
6. Индикаторы контакта:
  - индикатор контакта БВ-4271;
  - индикатор контакта БВ-4272;
  - малогабаритный индикатор контакта.

### Выводы

Очевидна назревшая проблема обеспечения станков с ЧПУ отечественными средствами измерений в заводских условиях. Также совершенно очевидна причина несоответствия уровня отечественной измерительной техники запросам современных промышленных технологий, которая в первую очередь заключается в отсутствии единого организующего начала.

В России до 2000 года отечественное приборостроение имело поступательное развитие в соответствии с развитием технологий производства, поскольку проводилась четкая государственная политика в области приборостроения, существовали министерства в ведомства, которые обеспечивали обобщение, надзор и внедрение результатов работ, а также обеспечивали отрасль нормативами.

Сегодня в органах исполнительной и законодательной власти отсутствует структура, которая напрямую занималась бы вопросами приборостроения. Существует лишь профильный комитет по приборостроению, системам управления, электронной и электротехнической промышленности в Союзе машиностроителей РФ.

В то же время в частном секторе еще работают на «малых оборотах» без государственной поддержки разрозненные организации из бывшей системы Минстанкопрома СССР, занимающиеся средствами контроля и измерений линейных и угловых размеров.

Поэтому в текущих условиях логично было бы создать в органах исполнительной и законодательной власти определенную структуру, которая напрямую занималась бы вопросами приборостроения, в том числе поддерживала и развивала частную инициативу организаций-разработчиков и производителей отечественных средств контроля и измерений линейных и угловых размеров.

АО «НИИИзмерения», имея полную информацию об особенностях конструирования, методах и средствах испытания и контроля приборов активного контроля, рабочие чертежи и техническую документацию, может принять активное участие в проектах по возрождению производства отечественных систем линейно-угловых измерений, интегрированных в конструкцию современных станков с ЧПУ.

В последующих статьях будут освещены общие вопросы по характеристикам, особенностям конструирования, методам и средствам испытания и контроля приборов, а детальное описание приборов будет увязано с типами

обрабатываемых станков, на которых можно использовать эти приборы.

Данная работа может быть полезна как разработчикам аналогичных приборов, так и тем, кто предполагает применять эти приборы на разрабатываемых или эксплуатируемых станках.

### Литература

1. **Кольцов А. Г., Самойлов В. С.** Методы компенсации погрешностей станков с ЧПУ // Омский научный вестник. 2014. № 1 (127). С. 100–102.
2. **Макаров В. Ф., Норин А. О., Песин М. В.** Повышение точности проходного сечения сопловых аппаратов турбин путем внесения коррекции установки при глубинном многоосевом шлифовании на станке с числовым программным управлением. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета // Машиностроение, материаловедение. 2022. Т. 24. № 2. С. 46–53.
3. **Бобырь М. В., Милостная Н. А., Алтухов Д. О.** Нечеткое параллельно-конвейерное устройство и способ управления термозащитным элементом // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23. № 5. С. 145–160.
4. **Пегашкин В. Ф., Старостин А. П.** Повышение точности обработки нежестких деталей в центрах на станках с числовым программным управлением // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2018. Т. 18. № 1. С. 51–57. Серия: Машиностроение.
5. **Васильев Е. В., Назаров П. В., Кольцов А. Г., Блохин Д. А., Бугай И. А., Тотик М. А., Черных И. К.** Калибровка осей экспериментального шлифовального станка с ЧПУ для контурной обработки пластин по задней поверхности с помощью лазерного интерферометра // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 23–28.
6. **Гашков В. Г., Жуйков В. А.** Анализ практических приемов компенсации погрешностей токарной обработки. Advanced Science // Вятский государственный университет (Киров). 2017. № 4 (8). С. 19.
7. **Куимов Е. А., Поляков С. М.** Моделирование переходных процессов при точении. Advanced Science // Вятский государственный университет (Киров). 2017. № 1 (5). С. 27.
8. **Кольцов А. Г., Хабаров А. В.** Компенсация тепловых погрешностей, возникающих при прогреве станка // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 1. С. 181–186.
9. **Печенин В. А.** Методика компенсации погрешностей механической обработки сложнопольных деталей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15. № 4. С. 252–264.

10. **Унянин А. Н.** Повышение точности маложестких деталей за счет компенсации упругих деформаций заготовок в процессе обработки // Вестник современных технологий. 2016. № 2 (2). С. 75–80.
11. **Некрасов Р. Ю., Путилова У. С., Харитонов Д. А.** Нагружение элементов технологических систем в процессе нестационарного резания и модели отклонений их расположения // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. 2016. № 2. С. 74–79.
12. **Никольский А. А.** Влияние девиации скорости шпинделя на точность станков некруглого точения с быстродействующими электроприводами подачи // Электротехника. 2015. № 1. С. 17а–21.
13. **Хусаинов Р. М.** Применение результатов испытаний точности отработки круговой траектории для компенсации геометрических погрешностей металлорежущего станка // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2015. Т. 3. № 3 (66). С. 18–24.
14. **Базыкин С. Н., Базыкина Н. А., Кривулин Н. П.** Принципы построения и состояние производства информационно-измерительных систем линейных перемещений // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 20.
15. **Некрасов Р. Ю., Путилова У. С., Стариков А. И., Соловьев И. В., Некрасов Ю. И.** Моделирование процессов диагностики и управления обработкой на станках с ЧПУ // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 2 (26). С. 54–59.
16. **Передрей Ю. М., Нелюдов А. Д.** К вопросу об определении погрешностей обработки на станках, оснащенных системами активного контроля. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. № 2 (24). С. 85–93.
17. **Назаренко И. В., Федотов А. В.** Оценка возможности компенсации погрешностей механической обработки при фрезеровании грани детали на станке с ЧПУ // Омский научный вестник. 2010. № 3 (93). С. 67–70.
18. **Лысов В. Е., Пешев Я. И.** Компенсация динамической погрешности положения инструмента в рабочем пространстве станка типа обрабатывающий центр // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2009. № 1 (23). С. 221–224.
19. **Горшков Б. М., Токарев Д. Г.** Экспериментальное исследование повышения точности прецизионных вертикальных координатно-расточных станков // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2007. № 2 (20). С. 183–186.
20. **Телешевский В. И., Соколов В. А., Пимушкин Я. И.** Определение объемной геометрической точности многокоординатных машин методами лазерной интерферометрии с программной коррекцией погрешностей // Автоматизация и управление в машиностроении. 2018. № 2 (31). С. 36–46.

### Авторы

**Ковальский Михаил Григорьевич** – генеральный директор АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт средств измерения в машиностроении»

**Панфилов Павел Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры робототехники и мехатроники МГТУ «СТАНКИН»

**Ковальский Владислав Михайлович** – ведущий инженер лаборатории линейно-угловых измерений МГТУ «СТАНКИН»



**АО «НИИИзмерения»**  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
 «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И КОНСТРУКТОРСКИЙ  
 ИНСТИТУТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

[www.micron.ru](http://www.micron.ru)

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ  
 И КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С 1935 ГОДА**











**ТЕХНОСФЕРА**  
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**100% ГАРАНТИЯ**  
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер  
Периодичность: 10 номеров в год  
[www.electronics.ru](http://www.electronics.ru)



Стоимость 1450 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.photonics.ru](http://www.photonics.ru)



Стоимость 1450 р. за номер  
Периодичность: 6 номеров в год  
[www.j-analytics.ru](http://www.j-analytics.ru)

# ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

[www.technosphere.ru](http://www.technosphere.ru)



Стоимость 1300 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.lastmile.ru](http://www.lastmile.ru)



Стоимость 1300 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.nanoindustry.ru](http://www.nanoindustry.ru)



Стоимость 1800 р. за номер  
Периодичность: 4 номера в год  
[www.stankoinstrument.ru](http://www.stankoinstrument.ru)