

УДК 681.2.083

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ  
НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ МАРШРУТА  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЩУПА**

**Сидоренко В. В., Габец В. Л.**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Координатно-измерительные машины (КИМ) широко используются в различных отраслях промышленности для точных измерений и контроля качества. Одной из ключевых задач, стоящих перед инженерами, является повышение производительности измерений без ущерба для точности. Однако процесс измерения может занимать много времени, что приводит к снижению производительности. В данной статье рассматривается метод минимизации маршрута чувствительного элемента как способ повышения производительности координатно-измерительных машин.

**Ключевые слова:** координатно-измерительная машина, датчик, маршрут.

**IMPROVED MEASUREMENT PERFORMANCE ON COORDINATE MEASURING MACHINES  
BY MINIMIZING THE PATH OF THE TOUCH PROBE**

**Sidorenko V., Habets V.**

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract:** Coordinate measuring machines (CMMs) are widely used in a variety of industries for precision measurement and quality control. One of the key challenges facing engineers is to increase measurement productivity without compromising accuracy. However, the measurement process can be time-consuming, resulting in a decrease in productivity. This paper discusses the sensing element path minimization method as a way to improve the productivity of coordinate measuring machines.

**Key words:** coordinate measuring machine, sensor, route.

*Адрес для переписки: Сидоренко В. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: bntu@bntu.by*

В настоящее время координатно-измерительные машины (КИМ) широко используются в различных отраслях промышленности и играют ключевую роль в процессах контроля качества. Непрерывное усовершенствование и стремительное развитие науки и техники сопровождается резким увеличением числа измерений и значительным ужесточением требований к точности [1].

Несмотря на достаточное многообразие КИМ и их постоянное совершенствование, из-за сложности приборов, зачастую недостаточной квалификации операторов, а также нехватки рекомендаций производителей машин и справочных материалов по выполнению координатных измерений и обработке полученных результатов, у пользователей этих средств координатных измерений возникает ряд трудностей и нерешенных вопросов [2].

Одним из основных факторов, влияющих на производительность измерений, является оптимизация маршрута, который проходит датчик во время измерений. Процесс измерения может занимать много времени, что приводит к снижению производительности. Данная работа рассматривает методы минимизации маршрута датчика на КИМ для повышения производительности измерительных процессов. Ведь оптимизируя перемещение датчика, мы можем значительно сократить время измерения, что приведет к повышению эффективности и производительности.

Современные производственные процессы требуют высокой точности и скорости измерений. КИМы обеспечивают автоматизированный контроль геометрических параметров изделий.

Измерительные головки КИМ позволяют определять координаты точки касания относительно центра шара щупа в плоскости, перпендикулярной оси щупа. Щуповые шары изготавливают из рубина, керамики или твердых сплавов. На практике используются различные по размерам и назначению измерительные головки (рисунок 1), позволяющие увеличить производительность, осуществлять измерения труднодоступных поверхностей и тонкостенных элементов. Головки оснащаются щупами.

Исходная траектория перемещения щупа рассчитывается автоматически и изображается на экране для просмотра и редактирования. При редактировании определяются пересечения траектории с поверхностью детали. Обеспечивается контроль точности в заданном сечении, а также параметризация размеров для измерений семейств деталей.

Процесс измерения отображается на экране в реальном масштабе времени в виде текущих значений положения щупа и отклонения формы.

Неэффективный маршрут движения датчика может существенно увеличить время измерений, вызывая, таким образом, задержки в производственном процессе.

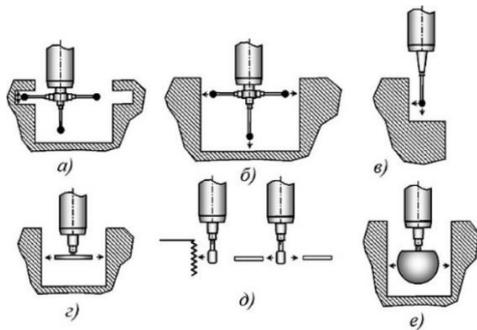


Рисунок 1 – Схемы измерения и конструкции измерительных головок: а – измерение глубины и ширины канавок, б – измерение глубины и ширины полости; в – универсальная измерительная головка с шаровым щупом; г – измерение дисковым щупом; д – измерения цилиндрическим щупом резьбовых и рифленых поверхностей, а также отверстий в листовом материале; е – измерение сферическим щупом

Традиционные методы измерений часто не учитывают установленные закономерности в распределении координат точек, что приводит к неоптимальному движению инструмента. Целью настоящего исследования является разработка алгоритмов, направленных на минимизацию маршрута датчика на КИМ, что позволит значительно увеличить производительность измерительного процесса.

Для достижения поставленной цели предложены следующие шаги:

1. **Анализ существующих маршрутов:** изучение текущих методов измерения и их маршрутов. определение набора точек, которые необходимо измерить, и их координат в пространстве.

2. **Моделирование маршрута:** существуют различные алгоритмы для оптимизации маршрута щупа, среди которых:

- **жадные алгоритмы** – на каждом шаге выбирается ближайшая точка, что может привести к оптимальному маршруту;

- **генетические алгоритмы** – применяют принципы естественного отбора для поиска оптимального маршрута, но требуют больших вычислительных ресурсов;

- **алгоритмы рабочего времени** – учитывают как расстояние между точками, так и время, затраченное на перемещение.

Необходимо также учитывать параметры, влияющие на выбор маршрута такие как:

- конфигурация маршрута;
- точность и допустимые погрешности измерений;
- общая длина маршрута;
- Энергетические затраты на перемещение.

3. **Оптимизация алгоритмов:** Применение методов оптимизации, таких как генетические алгоритмы и жадные подходы, для нахождения минимального маршрута.

4. **Экспериментальная проверка:** Проведение серии экспериментов на КИМ с целью сравнения времени измерения до и после оптимизации. **Анализ маршрутов.** Первоначально были проанализированы маршруты измерения для трех различных деталей (А, В, С). Время, которое было затрачено на измерение каждой детали отражено в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты первоначальных измерений

Деталь	Время измерения (с)	Количество точек	Длина маршрута (мм)
А	120	30	500
В	150	45	750
С	180	60	900

#### Оптимизация маршрута

После применения алгоритмов маршруты были откорректированы. Результаты проведенной оптимизации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений после оптимизации маршрута щупа

Деталь	Время измерения, (с)	Количество точек	Длина маршрута, (мм)
А	90	30	350
В	110	45	500
С	140	60	700

#### Сравнительный анализ данных

Сравнив таблицы 1 и 2 можно заметить снижение времени измерения после оптимизации алгоритмов для каждой из деталей.

При тестировании различных методов на реальных данных производственного процесса удалось добиться сокращения времени измерений в среднем на 20-30%. Такие цифры подтверждают значимость минимизации маршрута не только с точки зрения временных затрат, но и энергетических ресурсов, используемых КИМ.

Внедрение алгоритмов оптимизации маршрута в практику измерений на КИМ открывает новые горизонты для повышения производительности. Однако, как показывает практика, важно учитывать специфику конкретной производственной среды и тип измеряемых деталей, чтобы адаптировать алгоритмы под определенные условия.

Проведенное исследование подтверждает целесообразность применения методов минимизации маршрута чувствительного щупа для повышения производительности измерений на координатно-измерительных машинах.

#### Литература

1. Кундикова, Е. А. Тенденции развития координатно-измерительных приборов / Е. А. Кундикова, О. А. Кротова. – Минск: БНТУ, 2010. – 286 с.
2. Соколовский, С. С. Некоторые особенности трактовки результатов координатных измерений и перспективы повышения качества координатного контроля геометрических параметров деталей / С. С. Соколовский, А. А. Хмелевская – Минск: БНТУ, 2014. – С. 217–219.