

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

*Надежда Анатольевна Вихарева*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. +7 (923) 196-32-49, e-mail: milana-maria@mail.ru

В статье приведены результаты оценки погрешностей методов измерений на универсальном измерительном микроскопе, определены причины их возникновения и их влияние на результат измерений, а также проведен анализ возникающих погрешностей в сравнении с другими измерительными микроскопами.

**Ключевые слова:** наводка штриховых линий сетки, измерения методом проекции, измерения методом осевого сечения, теневое изображение угла, погрешность, фокусировка

## ESTIMATION OF ERRORS OF MEASUREMENT METHODS ON A UNIVERSAL MEASURING MICROSCOPE

*Nadezhda A. Vikhareva*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: +7 (923) 196-32-49, e-mail: milana-maria@mail.ru

The article presents the results of evaluating the errors of measurement methods on a universal measuring microscope, determines the causes of their occurrence and their impact on the measurement result, and also provides a comparative analysis of the resulting errors in comparison with other measuring microscopes.

**Keywords:** aiming of dashed grid lines, measurements by projection method, measurements by axial section method, shadow image of angle, error, focusing

### *Введение*

Измерения, методы и средства измерений играют очень важную роль в любом производственном процессе. Также неотъемлемой частью производственного процесса является качество проводимых измерений и правильный выбор методов. Это, прежде всего, влияет на достижение высоких показателей в области качества выпускаемой продукции.

В настоящее время с развитием новейших технологий и научных разработок, появилось достаточно много высокотехнологичных средств измерений, позволяющих вести работу с высокой точностью. Так, современные измерительные микроскопы представляют собой двух- или трехкоординатные системы, которые оснащаются автоматизированными приводами стола, программным обеспечением и различными программными инструментами, что дает возможность компьютерной обработки результатов измерения с высокой точностью и дистанционного управления без влияния человеческого фактора на результат измерений.

## *Методы и материалы*

Универсальные измерительные микроскопы достаточно широко применяются на предприятиях машиностроения и в различных метрологических лабораториях, а также служат для проведения измерений бесконтактным методом, где важна высокая точность и качество проводимых измерений.

Микроскоп УИМ-21 широко применяется на предприятиях машиностроительной отрасли и приборостроения, а также в научно-исследовательских институтах для измерений линейных и угловых размеров различных типов изделий, в прямоугольных и полярных координатах (рис. 1)



Рис. 1. Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21

На универсальном измерительном микроскопе можно проводить измерения резьбовых изделий, профиля зубчатых колес и червячной резьбы, режущего инструмента, сложных профильных шаблонов и лекал, диаметров отверстий, конусов, радиусов закруглений и расстояний между осями отверстий в продольном и поперечном направлении в отраженном и проходящем свете [13].

В настоящее время универсальные измерительные микроскопы дополнительно оснащаются датчиком линейных перемещений и цифровым отсчетным устройством, что значительно упрощает процесс наиболее часто проводимых измерений. Характеристики микроскопа представлены в табл. 1 – 3.

*Таблица 1*

### Характеристики микроскопа

Характеристики	Значение
Пределы измерения длин, мм	
– в продольном направлении	от 0 до 200
– в поперечном направлении	от 0 до 100
Пределы измерения углов	от 0° до 360°
Цена наименьшего деления	
– спирального окулярного микрометра, мм	0,001
– штриховой окулярной головки	1'

Таблица 2

## Пределные погрешности измерений проекционным методом

Измерение	Пределные погрешности
Измерение длин на плоском столе, мкм – в продольном направлении  – в поперечном направлении	$\pm \left( 3 + \frac{L}{30} + \frac{h_1 L}{4000} \right)$ $\pm \left( 3 + \frac{L}{50} + \frac{h_1 L}{2500} \right)$
Измерение диаметров гладких цилиндров, мкм	$\pm \left( 6 + \frac{L}{67} \right)$
Измерение средних диаметров резьбы, мкм	$\pm \left( 4 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{67} \right)$
Измерение шага резьбы, мкм	$\pm \left( 1 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{32} \right)$

Таблица 3

## Пределные погрешности измерений методом осевого сечения

Измерение	Пределные погрешности измерений методом осевого сечения
Измерение длин на плоском столе, мкм – в продольном направлении  – в поперечном направлении	$\pm \left( 2,7 + \frac{L}{30} + \frac{h_1 L}{4000} \right)$ $\pm \left( 2,7 + \frac{L}{50} + \frac{h_1 L}{2500} \right)$
Измерение диаметров гладких цилиндров, мкм	$\pm \left( 2,7 + \frac{L}{67} \right)$
Измерение средних диаметров резьбы, мкм	$\pm \left( 1 + \frac{1,7}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{67} \right)$
Измерение шага резьбы, мкм	$\pm \left( 1 + \frac{1,7}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{67} \right)$

В приведенных выше формулах приняты следующие обозначения:  $L$  – измеряемая длина в миллиметрах;  $h_1$  – высота изделия над стеклом стола в миллиметрах;  $\alpha$  – угол профиля резьбы в градусах.

Измерения на универсальном измерительном микроскопе можно проводить проекционным (теневым) методом и методом осевого сечения.

При измерении проекционным (теневым) методом в проходящем свете, измеряемое изделие помещают на плоский стол или закрепляют в центрах на пути световых лучей, идущих из центрального осветительного устройства.

Если изделие не прозрачно, при наблюдении в окуляр микроскопа будет видно теневое изображение измеряемого изделия. Для визирования изделия по краю тени в фокальной плоскости окуляра установлена сетка, состоящая из нескольких штриховых линий (рис. 2).

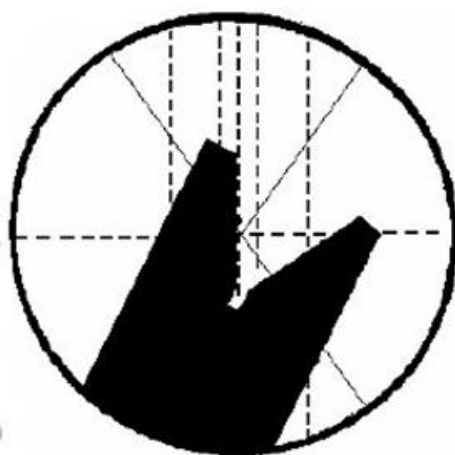


Рис. 2. Сетка и теневое изображение изделия в окуляре микроскопа

В случаях, когда необходимо произвести измерения проекционным (теневым) методом на элементах изделия, не выходящих к наружному контуру, измерения проводятся в отраженном свете. Чтобы проводить измерения в отраженном свете изделие освещается верхним осветителем, который крепится на нижнем кольце объектива с помощью пружинного замка, при этом центральное осветительное устройство должно быть выключено. При работе в отраженном свете яркость изображения будет выше у меньших увеличений. Поэтому целесообразно попробовать несколько различных увеличений и пользоваться наиболее удобными, если это возможно по условиям масштаба [8]. Необходимо учитывать, что увеличение обратно пропорционально полю зрения. Поэтому без необходимости не следует стремиться к большому увеличению, так как в поле зрения может оказаться слишком малая часть измеряемого объекта.

При измерении методом осевого сечения используют специальные измерительные ножи с тонкими рисками (рис. 3), нанесенными на поверхности параллельно лезвию ножа. С помощью ножей можно измерять только хорошо отшлифованные поверхности, малейшее повреждение на лезвии ножа может вызвать

не плотное соприкосновение с измеряемым изделием и тем самым внести погрешность в результат измерения.



Рис. 3. Комплект измерительных ножей

Применение измерительных ножей требует установки специального осветительного устройства со встроенной в корпус полупрозрачной пластинкой. Благодаря наличию полупрозрачной пластинки часть лучей, которые идут из центрального осветительного устройства, проходят в объектив, а часть отражается и освещает поверхность ножа с рисккой, которая наблюдается в поле зрения микроскопа.

В процессе измерения в поперечном направлении перемещают каретку с микроскопом, а в продольном – каретку с изделием. Сначала к измеряемому изделию подводят нож так, чтобы между контуром изделия и лезвием ножа был виден узкий равномерный просвет. Затем измерительный нож вплотную придвигают к изделию по всей длине так, чтобы не наблюдался просвет. Поверхность ножа с рисккой определяет плоскость измерения, и наводка штриховых линий сетки производится не по теневому контуру изделия, а по рискке ножа. Наводка должна производиться таким образом, чтобы ось штриховой линии сетки и ось рискки измерительного ножа четко совпадали, по всей своей длине [16].

На рис. 4 направление стрелок указывает правильную позицию установки измерительного ножа к изделию.

Действительный размер определяется с введением поправки, учитывающей действительное отклонение расстояния от лезвия измерительного ножа до оси штриха. Придвинутый к изделию измерительный нож нельзя перемещать, а также поворачивать или перемещать изделие, это может привести к повреждению ножа. Методом осевого сечения можно измерять плоские, цилиндрические, конические и резьбовые изделия, и в большинстве случаев метод осевого сечения дает более точные результаты измерений, чем измерения проекционным (теневым) методом.

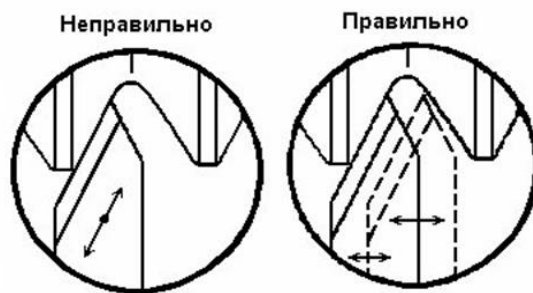


Рис. 4. Установка измерительного ножа к изделию

### Результаты

Для того чтобы провести оценку погрешностей измерений универсального измерительного микроскопа, необходимо произвести измерения угла  $\alpha$  профиля витка [6], цилиндрического конволютного червяка. Значение угла профиля  $\alpha = 20^\circ \pm 5'$ . Все измерения проводились проекционным (теневым) методом в проходящем свете и методом осевого сечения (с помощью специальных измерительных ножей). Для оценки погрешностей измерений также были произведены измерения на большом инструментальном микроскопе БМИ-1 и микроскопе Olympus STM7 с функцией автоматического определения границ. Результаты измерений представлены в табл.4.

На рис. 5 приведены результаты расхождения в измерениях проекционным и методом осевого сечения на УИМ и БМИ

Таблица 4

### Результаты измерений

Измерительный микроскоп	Погрешность измерений		
	Проекционный (теневой) метод	Метод осевого сечения	Функция автоматического определения границ
УИМ-21	$20^\circ 09' \pm 4'$	$20^\circ 03' \pm 2'$	—
БМИ-1	$20^\circ 07' \pm 2'$	$20^\circ 05' \pm 2'$	—
Olympus STM7	—	—	$20^\circ 03' 31'' \pm 11''$

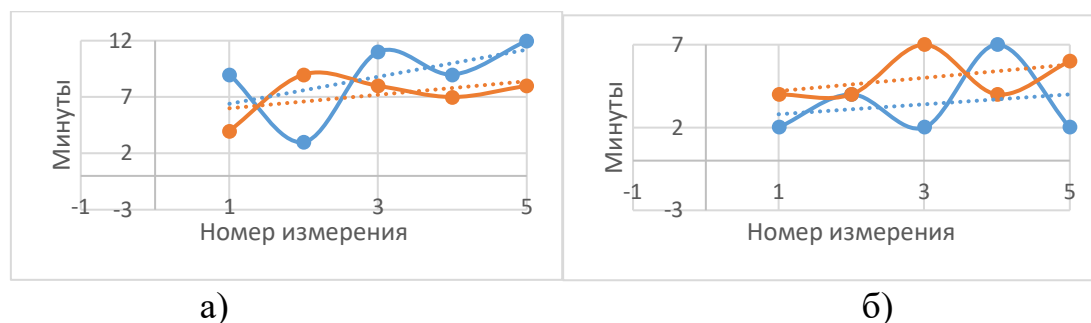


Рис. 5. Результаты расхождения в измерениях

а) проекционный метод, б) метод осевого сечения

## *Обсуждение*

Исходя из полученных расчетов погрешностей измерений, следует сделать вывод, что результаты измерений с наименьшей погрешностью были получены при измерении на микроскопе Olympus STM7, с помощью программной функции автоматического определения геометрии и границ измеряемого изделия.

При измерении угла профиля  $\alpha$  червяка на универсальном измерительном и большом инструментальном микроскопе, метод осевого сечения показал более точные результаты, близкие к значению, полученному на измерительном микроскопе Olympus STM7, чем проекционный (теневой) метод в проходящем свете. Погрешность проекционного метода заключается в том, что происходит искажение изображения контура изделия как гладких, так и резьбовых цилиндрических изделий. В методе осевого сечения используются специальные измерительные ножи, которые непосредственно контактируют с измеряемой поверхностью, что дает более точный результат измерений.

## *Заключение*

Результаты оценки погрешностей измерений универсального измерительного микроскопа и большого инструментального микроскопа, показывают, что метод осевого сечения оказался более точным в обоих случаях, чем проекционный (теневой) метод в проходящем свете.

Недостаток проекционного метода в проходящем свете заключается в том, что происходит искажение изображения контура измеряемого изделия, из-за недостаточной параллельности падающих лучей пучка света и оптической оси микроскопа. Вследствие чего лучи пучка света отражаются от проверяемого цилиндра изделия и попадают в объектив микроскопа, тем самым и размывают границы изображения контура изделия. И по этой причине, на результат измерений основное влияние оказывают субъективные погрешности, которые возникают из-за особенностей зрения оператора микроскопа, который проводит измерения.

Измерительный микроскоп Olympus STM7 показал действительный размер угла профиля витка, цилиндрического червяка. Измерения производились с помощью функции автоматического определения контура измеряемого изделия которая распознает и фиксирует его координаты. В результате оператору микроскопа не нужно указывать координаты, тем самым исключая субъективную погрешность измерений.

Функция сохранения настроек яркости обеспечивает четкое изображение контура изделия, без искажений и размытости. Такое внимание к уровню яркости обусловлено прямой зависимостью разрешения и видимости контура от количества поступающего света.

Аномальные фрагменты и заусенцы измеряемой поверхности также автоматически исключаются во время программного обнаружения контура. Это позволяет проводить расчет измеренных значений независимо от состояния объекта с высокой точностью.

Несмотря на то, что универсальные и инструментальные измерительные микроскопы повсеместно используются на разных машиностроительных предприятиях и приборостроении, проекционный (теневого) метод и метод осевого сечения являются достаточно устаревшими методами измерений, там, где необходимо произвести измерения с высокой точностью. В настоящее время существует много моделей измерительных микроскопов нового поколения, с новейшими программными инструментами для проведения измерений с субмикронной точностью, поэтому целесообразно использовать новые современные высокотехнологичные измерительные приборы, что повысит качество производимых измерений, а также сделает рабочий процесс более эффективным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артемьев Б. Г. Поверка и калибровка средств измерений. – М.: Стандартиформ, 2006. – 408 с.
2. Голубев Э.А. Измерения. Контроль. Качество. ГОСТ Р ИСО 5725. Основные положения. Вопросы освоения и внедрения. – М.: Стандартиформ, 2005. – 136 с.
3. ГОСТ 8.003–2010 ГСИ. Микроскопы инструментальные. Методика поверки : межгос. стандарт. – Введ. 01.03.2012. – Стандартиформ, 2012. – 19 с.
4. ГОСТ 8.009–84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений : межгос. стандарт. – Введ. 01.01.1986. – Стандартиформ, 2006. – 26 с.
5. Зайцев С.А. Контрольно-измерительные приборы и инструменты : учебник для нач. проф. обр. – М.: Академия, 2002. – 464 с.
6. Иванов М.Н. Детали машин : учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с.
7. Кузнецов В. А. Основы метрологии. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 275 с.
8. Латыев, С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах : учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
9. МИ 236–81 ГСИ. Микроскопы измерительные универсальные УИМ-21, УИМ-23, УИМ-29. Методы и средства поверки : методические указания. – Л.: Ломо, 1982. – 69 с.
10. Перельштейн Е. Л. Метрологическая служба промышленного предприятия. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 168 с.
11. Петров В. П. Контроль качества и испытание оптических приборов. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статическая физика. – М. «Наука», 1964. – 568 с.
13. Никоненко В.А., Походун А.И., Матвеев М.С., Сильд Ю.А. Неделько А.Ю. Метрологическое обеспечение в радиационной термометрии: проблемы и решения // Приборы. – 2008. – №10. – С. 12-26.
14. Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21 : техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Л.: Ломо, 1965. – 54 с.
15. Федеральный закон РФ от 26.06.2008 г. №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
16. Федотов, Г. И., Новицкий, Л. А., Зубарев, В. Е. Лабораторные оптические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1979. – 448 с.

© Н. А. Вихарева, 2021