

Контроль и испытания

УДК 621.9.06

КООРДИНАТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ЭТАПАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

И.В. Сурков, А.С. Курочкин, О.С. Красикова

COORDINATE MEASUREMENTS OF CUTTING TOOL GEOMETRIC PARAMETERS DURING TOOLMAKING AND OPERATION

I.V. Surkov, A.S. Kurochkin, O.S. Krasikova

Предлагается методика бесконтактных координатных измерений для инструментального производства. Рассмотрены вопросы практического применения разработанных координатно-измерительных приборов и систем для контроля режущих инструментов и настройки инструментальных комплектов.

Ключевые слова: методика координатных измерений, измерительная система, контроль режущих инструментов, настройка инструментальных комплектов.

Noncontact measuring technique for toolmaking industry is proposed. Practical applications of developed coordinate measuring instruments, cutting tool inspection systems and block tool setting are considered.

Keywords: coordinate measuring technique, measurement system, cutting tool inspection, block tool setting.

Эффективность развития современного общества во многом определяется техническим прогрессом в машиностроении. Большую часть изделий в машиностроении получают с помощью механической обработки. При этом неотъемлемой частью технологической системы является режущий инструмент (РИ). Точность размерных параметров РИ, достигаемая при изготовлении или восстановлении (ремонт, заточка, нанесение нового покрытия) после эксплуатации на станках, и точность определения геометрических параметров настройки, обеспечивающих заданное положение инструментальных комплектов в системе координат станков с ЧПУ, являются основными факторами для достижения высокой точности процессов механообработки. Для обеспечения точности размерных параметров РИ и параметров настройки инструментальных комплектов в структуру жизненного цикла изделия на этапах производства и эксплуатации обязательно включают операции технического контроля.

При изготовлении и восстановлении РИ необходимо контролировать как точность профиля формообразующих кромок, так и точность расположения кромок относительно базовых поверхностей инструмента или друг друга (для многозубых РИ).

В лабораториях инструментальных цехов и заводов основным средством контроля геометрических параметров новых и восстановленных РИ являются оптические микроскопы разных типов: универсальные и инструментальные. В российском машиностроении широко применяют УИМ-21, УИМ-23, УИМ-24, ДИП-3, ДИП-6 и БМИ, а также аналогичные по конструкции микроскопы зарубежных фирм-производителей. Удачная конструкция, реализация двухкоординатной схемы измерения, наличие большой номенклатуры штатных и дополнительных средств оснащения (оптические головки с наборами сменных объективов, системы подсветки, приспособления и оснастка для базирования различных деталей и инструментов, контактные измерительные головки (ИГ) различных типов) обеспечивают высокую гибкость и универсальность измерительных микроскопов (ИМ). Одним из недостатков микроскопов является то, что минимальная погрешность измерения ($\pm 0,0015$ мм) достигается при использовании контактных методов (электроконтактная ИГ, измерительные ножи и т.д.), применение которых для контроля сложнопрофильных кромок РИ

трудно реализуемо. При контроле размеров режущего инструмента оптическим методом точность измерения зависит от квалификации оператора-контролера, а так как изображение на границе детали расплывчато и точка отмечается интуитивно, то погрешность измерения ухудшается до $\pm 0,005$ мм. Другим крупным недостатком ИМ является отсутствие средств механизации и автоматизации. Перемещение измерительных кареток, считывание координат с оптических шкал, обработка информации и расчеты линейно-угловых параметров измеряемых деталей и РИ ведутся в основном вручную. Микроскопы серии ДИП и некоторые другие модернизированные модели оснащаются оптикоэлектронными измерительными линейками, сигналы с которых в зависимости от комплектации ИМ обрабатываются устройством цифровой индикации, электронно-расчетным блоком или персональным компьютером (ПК) с внешним или встроенным электронным модулем и специальным программным обеспечением (ПО). Последний вариант комплектации позволяет увеличить производительность и степень автоматизации процессов измерений, но в то же время устаревшие математические модели и алгоритмы, положенные в основу используемых сегодня версий ПО, не дают в полной мере реализовать возможности многоточечных координатных методов контроля.

Для лезвийной обработки на станках с ЧПУ токарной и сверлильно-фрезерно-расточной (СФР) группы используют большую номенклатуру РИ разнообразных типов и конструкций. На современных станках с ЧПУ стараются не использовать конструкции инструментальных магазинов и револьверных головок, в которых РИ устанавливался бы напрямую, без использования разнообразных вспомогательных инструментов: оправок, втулок, патронов, державок, инструментальных блоков. Установка резцов непосредственно в позиции револьверных головок токарных станков с ЧПУ значительно увеличивает время замены изношенных и настройки новых РИ, уменьшает гибкость технологической системы.

Станки с ЧПУ в основном работают в условиях многономенклатурного автоматизированного производства, поэтому их инструментальная оснастка должна обеспечить производительность и надежность процессов механической обработки, обладать гибкостью, позволяющей с минимальным временем переналадки последовательно выполнять технологические операции обработки различных деталей заданной номенклатуры. Станки оснащаются инструментальными магазинами, в которых заранее устанавливаются необходимые для выполнения каждой операции наборы инструментальных комплектов (ИК). ИК - это функциональный сборочный модуль, в состав которого входит закрепляемый РИ и набор вспомогательных инструментов (ВИ), обеспечивающих базирование в шпинделе, инструментальном магазине или на суппорте станка [1]. Разнообразие типов станков и конструкций РИ вызывает необходимость большого числа способов установки и смены инструмента. Разработаны и широко применяются стандартные и корпоративные системы ВИ для станков токарной и СФР группы. В российской промышленности для станков токарной группы в основном применяют системы ВИ, обеспечивающие базирование на станках с помощью цилиндрических оправок. Для станков СФР группы используют системы ВИ с конусами 40, 45, 50 по ISO [2], для высокоскоростной обработки применяют конуса HSK. Известны оригинальные корпоративные разработки конструкций ВИ, например, система КАРО фирмы SAND-УЖ Coromant (Швеция) [3].

Точность механической обработки на станках с ЧПУ имеет обратную зависимость от величины погрешности положения формообразующих кромок РИ в системе координат станка как при позиционировании, так и при выполнении контурной обработки. Поскольку каждый РИ и соответственно ИК имеет свои индивидуальные геометрические параметры, то в программное обеспечение систем ЧПУ встраивают информационные таблицы (таблицы корректоров), содержащие данные о фактических координатах положения формообразующих кромок РИ относительно базовых точек ИК, и математические модели для внесения соответствующих поправок в траекторию движения РИ. В стандартных системах ВИ для токарных станков базовой точкой является пересечение оси цилиндрического хвостовика оправки и упорного торца. Базовая точка ИК для станков СФР группы — это пересечение оси конической части оправки и упорного торца.

Данные в таблице корректоров необходимо обновлять при установке новых ИК, а также периодически для учета влияния размерного износа формообразующих кромок РИ при обработке. Для этого в ПО современных систем ЧПУ включены стандартные циклы и подпрограммы, которые позволяют определить фактические координаты формообразующих кромок РИ для каждого

ИК непосредственно на станке. Чаще всего в наладочном режиме производят касания кромками РИ базовых поверхностей предварительно обработанных деталей, эталонных оправок или шаблонов с заранее известными размерами, которые установлены в рабочей зоне станка и привязаны к его системе координат. При фиксации достигнутого положения рабочих органов станка системой ЧПУ производится считывание текущих координат, расчет и запись в таблицу корректоров параметров настраиваемого ИК. Все большее распространение получают автоматизированные методы настройки и технической диагностики состояния РИ: измерительные руки с контактными датчиками, оптические и лазерные системы.

В любом случае при выполнении процесса настройки на станке снижается экономическая эффективность, так как в этот момент оборудование не выполняет свою основную функцию - обработку деталей.

Для сокращения времени простоя оборудования, особенно при установке набора ИК для обработки новой детали, целесообразно заранее определить координаты положения формообразующих кромок РИ относительно базовых точек ИК с помощью приборов предварительной настройки вне станка. На предприятиях России и стран СНГ в основном применяются приборы, выпущенные Челябинским инструментальным заводом и ЗАО «ЧелябНИИконтроль». Модели БВ-2010, БВ-2012 и БВ-2026 предназначены для настройки инструментальных комплектов токарных станков с ЧПУ, модели БВ-2015 и БВ-2027 используют совместно со станками СФР группы. На этих приборах имитируются базовые поверхности станочных узлов:

- в приборах для токарных станков - это посадочное отверстие, аналогичное отверстию на револьверной головке станка, в которую устанавливается ИК (рис. 1, а);

- в приборах для станков СФР группы для установки настраиваемого ИК с коническим хвостовиком применяется поворотный модуль, базовые поверхности которого имитируют шпиндель станка (рис. 1, б).

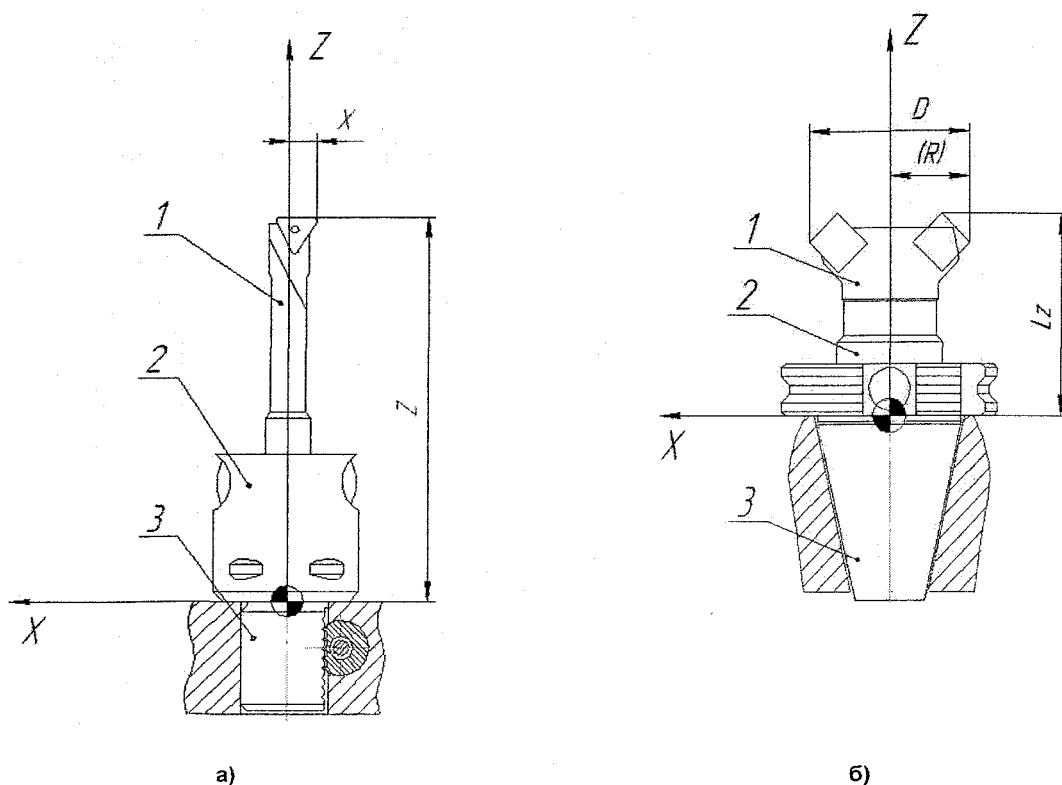


Рис. 1. Схема определения размеров настройки инструментальных комплектов: 1 – РИ; 2 – оправка; 3 – хвостовик.; а – прибор НИИК-2026 для токарных станков; б – прибор НИИК-2027 для станков СФР группы

Перемещения измерительных кареток с установленной оптической системой (проектор или микроскоп М12) вдоль координат X и Z (X и Y) производятся вручную. Совместив линии перекрестия оптической системы с формообразующими кромками РИ, определяют координаты их положения относительно базовых точек ИК. Для отсчета координат на современных моделях

приборов применяют комплект из 2 оптикоэлектронных измерительных линеек и устройства цифровой индикации. Для определения местоположения базовой точки ИК в системе координат прибора производят первичную и периодическую настройку по эталонной оправке с аттестованными размерами. Эти приборы надежны в эксплуатации, но обладают малой степенью автоматизации и практически не механизированы.

Произошедший в последние годы рост выпускаемой продукции предприятиями машиностроительного комплекса требует не только обновления парка технологического оборудования, но и закупки новых приборов, систем технического контроля и управления. Мировые тенденции развития систем контроля и сокращение кадров квалифицированных метрологов и контролеров требуют создания многофункциональных систем и приборов с высокой степенью автоматизации, особенно в области обработки метрологической и технологической информации. Очевидно, что на машиностроительных предприятиях необходимо внедрять новые методы и средства контроля, в том числе наиболее эффективные на сегодняшний день координатные измерительные машины (КИМ), приборы и системы различных компоновок и типоразмеров. Положенный в основу работы КИМ координатный метод измерения является наиболее универсальным и может эффективно применяться для автоматизированного контроля широкой номенклатуры деталей (в том числе РИ и ИК).

Принципиальная основа координатного метода измерения заключается в том, что любую поверхность или профиль можно представить состоящей из бесконечного числа отдельных точек. Если известно положение в пространстве какого-то ограниченного числа этих точек (массив точек), т. е. определены их координаты, то по соответствующим формулам (алгоритмам) можно рассчитать размеры этих поверхностей (профилей) и отклонения формы, а также определить расположение поверхностей (профилей) в пространстве и между собой (координатные размеры и отклонения расположения). Для повышения точности и достоверности расчета необходимых размерных параметров применяют стратегии многоточечных измерений для каждой поверхности и очень сложные расчетные методики, которые практически невозможно реализовать без использования специализированного метрологического программного обеспечения.

Российские приборы для настройки ИК вне станка и универсальные микроскопы, применяемые в инструментальном производстве, в основном обеспечивают двух- или трехкоординатную схему измерения, что дает возможность использовать все преимущества координатной методики измерений. Очевидно, что параллельно с внедрением на российских предприятиях новых моделей универсальных и специализированных КИМ необходимо разработать варианты модернизации (ретрофиттинга) существующих конструкций измерительных приборов и систем, что позволит значительно уменьшить время проектирования и снизить стоимость изготовления средств координатных измерений.

Специалистами ЗАО «ЧелябНИИконтроль» совместно с сотрудниками и магистрантами кафедры технологии машиностроения ЮУрГУ разработана оптико-электронная измерительная система НИИК-890 «ОптИС» [4, 5]. Система используется в качестве основного и дополнительного измерительного модуля на новых приборах и для модернизации различного измерительного оборудования (микроскопы, координатные измерительные машины, приборы для размерной настройки режущего инструмента вне станка, навесная система для настройки и диагностики состояния режущего инструмента на станке с числовым программным управлением). В базовой комплектации (см. таблицу) в систему НИИК-890 входит цифровая видеокамера (модель выбирается по согласованию с Заказчиком), оснащенная интерфейсным соединением с персональным компьютером. Видеокамера с телецентрическим объективом устанавливается на подвижную каретку прибора (рис. 2, а) и используется в качестве основной или дополнительной (совместно с контактным датчиком) измерительной головки (ИГ). Для измерений в проходящем или отраженном свете применяется дополнительный модуль подсветки. Аппаратная реализация прямоугольной или цилиндрической системы координат измерительной машины или прибора (СКМ) обеспечивается штатными или дополнительными оптоэлектронными преобразователями линейных и угловых перемещений с дискретностью до 0,05 мкм, сигналы с которых обрабатываются и через USB-разъем передаются в ПК с помощью электронного модуля НИИК-801.

Важной частью системы является разработанное специализированное программное обеспечение «ТЕХНОкоорд» с интегрированным программным модулем для оптических измерений.

Контроль и испытания

Программа обеспечивает режим прямого и реверсивного измерения в ручном и автоматическом цикле. Возможность работы с САД-моделью измеряемой детали, удобный интерактивный интерфейс, автоматизация процессов выбора стратегии измерения типовых поверхностей, обработки данных и формирования протоколов результатов измерения значительно упрощают работу оператора-контролера. Рост производительности операций контроля достигается за счет использования технологии «Системы технического зрения» для автоматического распознавания кромки измеряемой детали.

Варианты комплектации и технические характеристики
оптической измерительной системы НИИК-890 «ОптИС»

Наименование комплектующих		Характеристики			
Цифровая видеокамера	Модель	Разрешение матрицы, Мпикс	Размер одного пикселя матрицы, мкм	Отношение сигнал/шум, дБ	Чувствительность, лк
	VEC-135	1,3	8	50	0,5
	VEC-245	2,4	4	46	0,5
	VEC-545	5,4	0,8	46	1
	Sony XCD-SX90CR	1,2	3,75	–	–
Преобразователи линейных переме- щений	Модель	Дискретность, мкм			
	ЛИР-7	от 0,1 до 10			
	Renishaw	от 0,05 до 5			
Программное обеспечение – ТЕХНОкоорд 5.08					
Электронный блок управления – ЭБУ-НИИК-801					

Процесс координатных измерений с использованием системы НИИК-890 «ОптИС» выполняется в несколько этапов:

- С помощью специального набора эталонных деталей производится калибровка оптической ИГ:
 - за счет микроперемещений по оси Z и настройки телецентрического объектива достигается оптимальная четкость изображения кромки измеряемой детали;
 - осуществляется привязка положения нулевой точки (назначается один из центральных пикселей ПЗС-матрицы) системы координат камеры (СКК) в СКМ;
 - определение фактических размеров пикселей ПЗС-матрицы и формирование массива координат положения центра каждого пикселя в СКК.
- В автоматическом или ручном режиме перемещают оптическую ИГ в заданные позиции измерения (рис. 2, б). Координаты положения нулевой точки СКК в СКМ (X_{Mj} , Y_{Mj}) для каждой позиции выбирают так, чтобы в поле зрения камеры последовательно попал весь измеряемый контур детали.
- В каждой позиции в три этапа определяем в СКМ массив координат точек (X_{Mij} , Y_{Mij}), расположенных на измеряемом контуре:
 - анализируя пороговое значение яркости каждого пикселя ПЗС-матрицы в заданной позиции, определяем первичный массив координат (X_{Kij}^0 , Y_{Kij}^0) центров граничных пикселей в СКК («грубый» контур);
 - используя «субпиксельный» алгоритм интерполяции, определяем массив расчетных координат в СКК точек (X_{Kij} , Y_{Kij}), расположенных на измеряемом контуре («уточненный» контур);
 - формируем массив значений координат измеренных в заданной позиции точек в СКМ:

$$X_{Mij} = X_{Mj} + X_{Kij},$$

$$Y_{Mij} = Y_{Mj} + Y_{Kij}$$
- Анализ измеренных точек, расчеты необходимых линейных и угловых параметров в программной среде «ТЕХНОкоорд».
- Формирование протоколов результатов измерения.

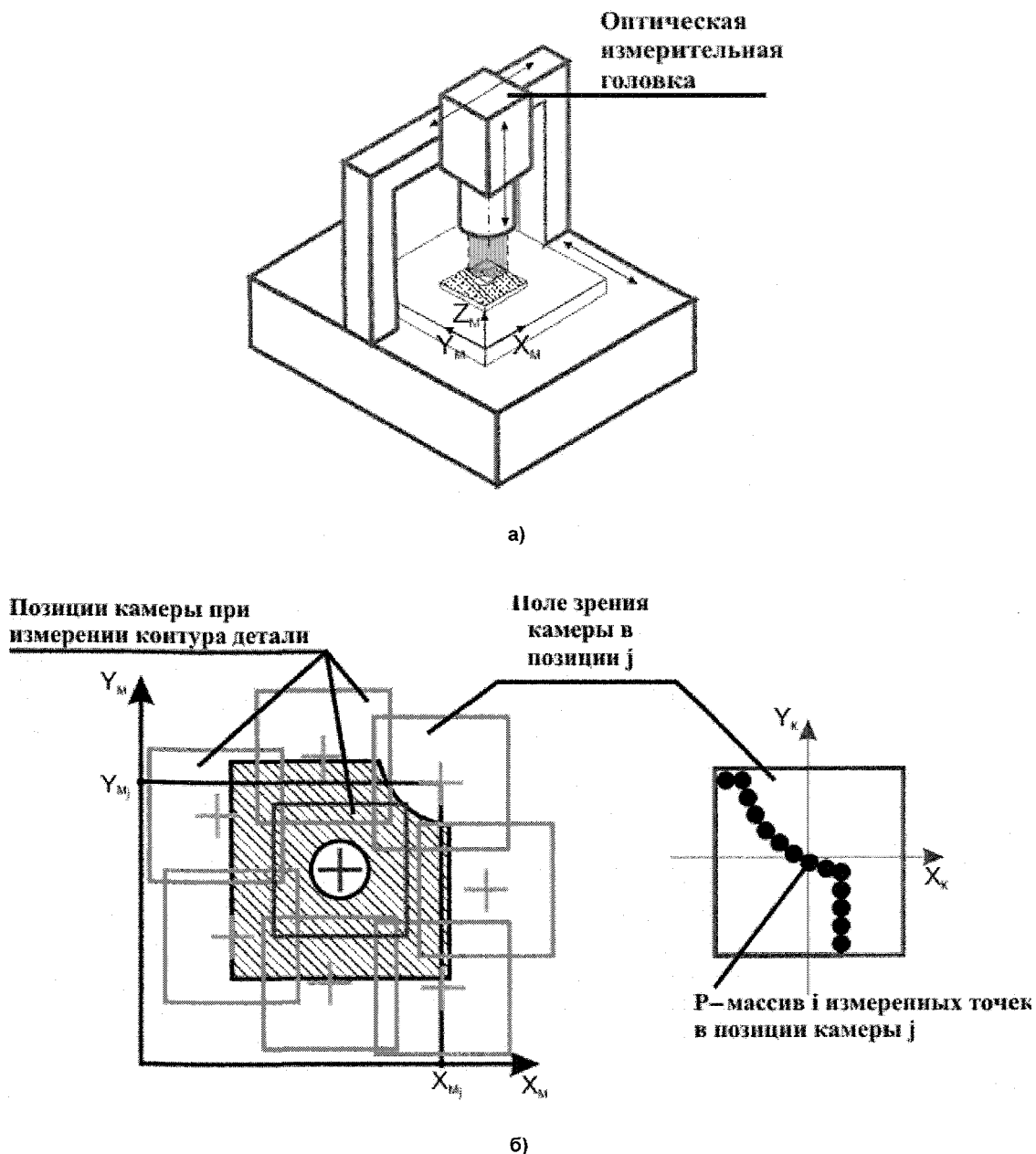


Рис. 2. Схема работы «Системы технического зрения»

На сегодняшний момент произведена модернизация микроскопов ДИП-3 (рис. 3) в лаборатории Челябинского инструментального завода, УИМ-21 и Carl Zeiss в лаборатории ЗАО «Челяб-НИИконтроль», БМИ в учебной лаборатории кафедры технологии машиностроения ЮУрГУ. Проводится разработка практических методов автоматизированных измерений типовых деталей инструментального производства, пополняется база данных подпрограмм измерения.

Разработан, изготовлен и поставлен потребителю новый вариант прибора для настройки инструментальных комплектов СФР станков НИИК-2027К (рис. 4). Прибор оснащен системой НИИК-890 с дополнительным модулем подсветки. Кроме стандартных возможностей (определение координат положения формообразующих кромок РИ относительно базовых точек ИК) режущий инструмент проверяется на наличие износа, лунок или сколов. Анализируются и измеряются размеры элементов (диаметры, радиусы скруглений), биение и углы контура кромки. В качестве дополнительной опции прибор оснащается принтером для печати этикеток с данными о размерах для настройки станка.

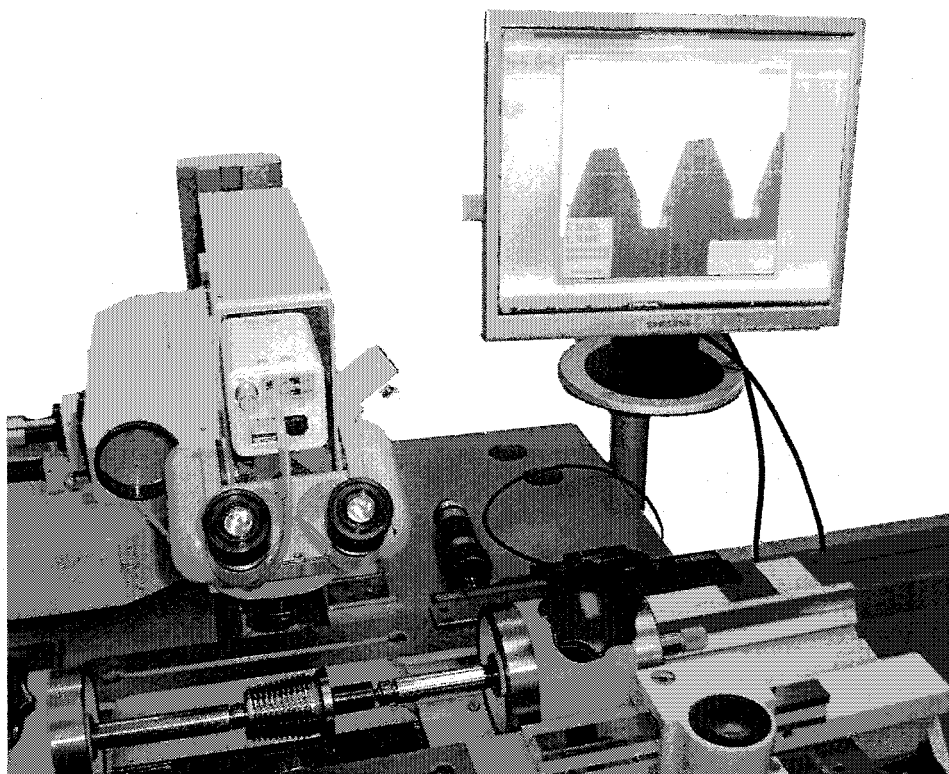


Рис. 3. Пример использования системы НИИК-890 «ОптИС» для модернизации микроскопа ДИП-3

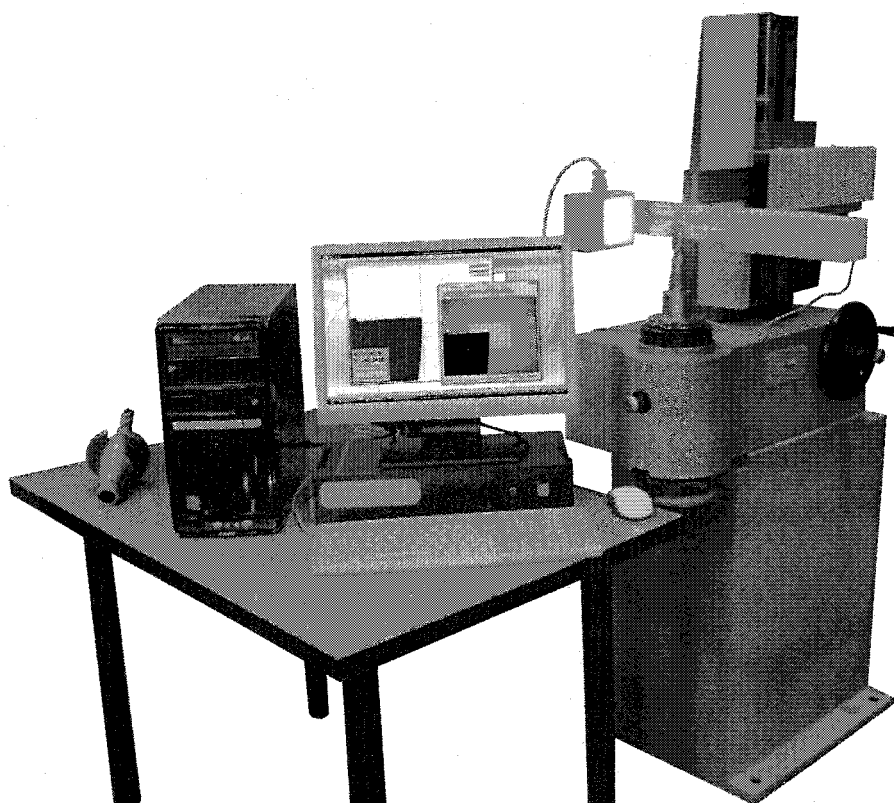


Рис. 4. Прибор для размерной настройки ИК станков СФР группы НИИК-2027К

Помимо решения задач по модернизации существующих приборов, проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по проектированию новых типов приборов для реализации измерений в автоматическом цикле.

Литература

1. *Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3 т. Т. 2: Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В. Бушуев и др.; под общ. ред. А.С. Проникова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995. - 320 с.*
2. *Кузнецов, Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. - М.: Машиностроение, 1983. — 359 с.*
3. *Каталог SANDVIK Coromant (Швеция) «Вращающийся инструмент».*
4. *Сайт Internet: www.toolmaker.ru.*
5. *Сурков И.В. Программно-аппаратный комплекс для автоматизированного контроля на базе системы технического зрения / И.В. Сурков, А.С. Курочкин // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. - С. 25-27.*

Поступила в редакцию 18 февраля 2010 г.

Сурков Игорь Васильевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов - исследование методов координатных измерений геометрических параметров прецизионных деталей и инструментов и управления точностью обработки на станках с ЧПУ. Тел.: (351) 267-93-43.

Igor Vasilyevich Surkov. Candidate of Engineering Science, associate professor of mechanical engineering department of South Ural State University. Field of research — coordinate measuring techniques for geometric parameters of precision parts and tools and working accuracy control on NC machines. Tel: (351) 267-93-43.

Курочкин Александр Сергеевич. Инженер отдела «Технология машиностроения» научно-производственного института «Уралучтех» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов - исследование методов координатных измерений геометрических параметров прецизионных деталей и инструментов.

Alexander Sergeevich Kurochkin. Engineer of mechanical engineering department of scientific and production institute "Uraluchtech" of South Ural State University. Field of research - coordinate measuring techniques for geometric parameters of precision parts and tools.

Красикова Ольга Сергеевна. Магистрант 2-го курса кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов — исследование методов координатных измерений геометрических параметров прецизионных деталей и инструментов.

Olga Sergeevna Krasikova. 2-year graduate student of mechanical engineering department of South Ural State University. Field of research - coordinate measuring techniques for geometric parameters of precision parts and tools.