

Современное состояние и перспективы развития метрологического обеспечения машиностроительного производства

С. Н. ГРИГОРЬЕВ, Д. А. МАСТЕРЕНКО, В. И. ТЕЛЕШЕВСКИЙ, П. Н. ЕМЕЛЬЯНОВ

*Московский государственный технологический университет «Станкин»,
Москва, Россия, e-mail: rector@stankin.ru*

Рассмотрены задачи метрологических служб и производителей измерительного оборудования в условиях модернизации российского машиностроения на примере работы Центра разработки средств измерений и кафедры измерительных информационных систем и технологий МГТУ «СТАНКИН». Даны краткие характеристики последних выполненных проектов.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, интеллектуальные измерения, компьютеризированные средства измерений.

The tasks of metrological services and measuring devices manufacturers in the conditions of modernization of russian machine-building industry exemplified by work of the Measuring Devices Engineering Center of the State Engineering Center and the Department of Measuring Information Systems and Technologies of MSTU «STANKIN» are considered. Recent projects are shortly characterized.

Key words: metrological assurance, intellectual measurements, computerized measuring instruments.

Качество и конкурентоспособность продукции и производств в решающей степени определяются их метрологическим обеспечением (МО). Значимость МО особенно актуальна для высоких технологий машино- и приборостроения, в которых точность является важнейшим, а во многих случаях — определяющим показателем качества. Известно, что каждые десять лет точность изделий возрастает не менее чем на квалитет (в 1,5 — 1,6 раза). Соответственно ужесточаются требования к допускаемым погрешностям средств измерений (СИ) при решении разнообразных задач контроля и диагностики. Во многих современных технологиях значения этих погрешностей уменьшаются до микрометровых и субмикрометровых значений [1].

Другой важной функцией МО, тесно связанной с качеством и конкурентоспособностью, является обеспечение единства измерений на предприятии, которое достигается передачей размера единицы измерения от эталонов более высоких разрядов к рабочим СИ. Использование в производственных процессах тысяч и десятков тысяч СИ требует проведения огромных объемов поверочных и калибровочных операций. В связи с этим становится очевидной необходимость автоматизации и компьютеризации СИ, интегрируемых в сетевые коммуникации предприятия. Эти задачи полностью соответствуют Приказу Минпромторга России № 529 от 17.06.2009 г. «Об утверждении стратегии обеспечения единства измерений в России до 2015 года», где запланировано увеличение производительности поверочных работ в 1,7—2,5 раза и повышение точности воспроизведения и передачи размеров единиц величин в 2,5—5 раз.

Таким образом, проблема МО сводится к созданию высокопроизводительных и высокоточных СИ, решающих раз-

нообразные измерительные задачи на базе новейших информационных технологий.

Современное развитие МО идет именно по этому пути. Мировой рынок насыщен компьютеризированными СИ с высокими метрологическими характеристиками и широкими функциональными возможностями (лазерные интерферометры, координатно-измерительные машины, оптико-электронные измерительные системы и др.) [2]. Однако в последние два десятилетия из-за недостатка финансовых средств у большинства отечественных машиностроительных предприятий внимание уделялось обновлению, в первую очередь, парка технологического оборудования и лишь по остаточному принципу — измерительного оборудования. В результате к настоящему времени накопилось значительное несоответствие между возможностями современного технологического оборудования и препятствиями в задачах контроля качества изготовленной продукции. Ситуация усугубляется тем, что производство отечественного измерительного оборудования в значительной степени сократилось, ряд предприятий прекратил производство, остальные практически не выпускают современное высокопроизводительное компьютеризированное оборудование. Закупки импортного измерительного оборудования являются для отечественных машиностроительных предприятий высокочрезвычайными в финансовом отношении, зарубежные производители заинтересованы не в реальном совершенствовании метрологической базы российской промышленности, а лишь в продаже собственной продукции, что ведет к недостаточности технической поддержки в процессе эксплуатации оборудования и обучения персонала [3]. В результате массовая модернизация МО за счет импорта измерительного оборудо-

вания в современной российской экономической ситуации представляется весьма затруднительной.

В этих условиях особенно актуальна концепция совершенствования МО производства, развиваемая в МГТУ «СТАНКИН». Суть этой концепции, названной интеллектуальным компьютерным ретрофиттингом СИ (retrofitting — модернизация), рассмотрим на примере измерений линейных и угловых размеров, составляющих в машиностроении 90 — 95 % всех видов измерений. В области измерений отклонений размеров, формы, взаимного расположения и качества поверхности изделий в России накоплен огромный парк СИ, обладающих высокоточными механическими и оптическими системами, стандартизованными методиками измерений геометрических параметров, но имеющих, как правило, визуальный отсчет показаний и ручное управление, которые при длительной работе вызывают высокую утомляемость и существенное ухудшение зрения оператора, приводит к грубым ошибкам в процессе измерения (интерференционные компараторы Уверского и Кестерса, оптиметры и ультраоптиметры, измерительные микроскопы и др.). Ретрофиттинг предполагает такую модернизацию этих СИ, чтобы, не изменив технических условий и традиционных методик измерения, обеспечить их компьютеризацию и расширение функциональных возможностей с метрологическими характеристиками на уровне лучших мировых аналогов, но с существенно (не менее чем на порядок) меньшими затратами [4—6].

Это означает, что на базе традиционных СИ с использованием новейших достижений микро- и оптоэлектроники создаются измерительные информационные системы (ИИС) с компьютерной обработкой измерительной информации. Важной особенностью таких ИИС является возможность интеллектуализации измерений. Измерения становятся интеллектуальными, если их результат формируется не только на основе текущей апостериорной измерительной информации, но и на некоторых дополнительных априорных данных. Так, отечественные машиностроительные предприятия и подразделения государственной метрологической службы испытывают острую необходимость в повышении эффективности процедуры поверки концевых мер длины (КМД) и точности эталонных СИ для этой поверки. В этой связи в Центре разработки средств измерений МГТУ «СТАНКИН» совместно с кафедрой измерительных информационных систем и технологий решена задача интеллектуального компьютерного ретрофиттинга интерференционных компараторов Уверского и Кестерса, а также оптиметров. Так, созданный на базе интерферометра Уверского контактный вертикальный компьютеризированный интерферометр предназначен для автоматизированной поверки образцовых КМД в диапазоне 0,1—100 мм при соответствии стандартизованной методике поверки [7]. Интерферометр ИКПВ-К является одноконтakтным с неподвижным базирующим наконечником, имеет сертификат RU.C.27.004A № 27298 на тип прибора, зарегистрирован в Госреестре СИ под № 22357-02 и предназначен для поверки КМД 4-го и 3-го разрядов. Интерферометр ИКПВ-К2 обеспечивает контроль положений обоих подвижных измерительного и базирующего наконечников, имеет сертификат RU.E.27.004A № 21974 на тип прибора, зарегистрирован в Госреестре СИ под № 30184-05 и используется для поверки КМД 4, 3 и 2-го разрядов. Основ-

ные метрологические характеристики указанных интерферометров приведены в таблице.

Основные метрологические характеристики ИКПВ-К и ИКПВ-К2

Характеристика	ИКПВ-К	ИКПВ-К2
Цена деления, мкм	0,05/0,1	0,001/0,01
Диапазон показаний, мкм	1,75/3,5	1,75/5,25
Диапазон измерений КМД, мм	0 — 100	0 — 100
Погрешность измерения, мкм	$\pm 0,035/\pm 0,05$	$\pm 0,02/\pm 0,05$
Вариация показаний, мкм	0,02	0,01

Важной особенностью контактных интерферометров является их естественная связь с основной физической единицей длины, воспроизводимой через длину световой волны. Поэтому происходящая на некоторых предприятиях замена этих приборов приборами на базе линейных измерительных преобразователей с искусственно созданными шкалами (индуктивными, голографическими, растровыми и др.) снижает точность поверки КМД и уводит систему обеспечения единства измерений длины от естественного эталона — длины волны света [8].

Разработанные интерферометры внедрены на ведущих предприятиях авиационно-космической, оборонной, нефтегазовой и других отраслей промышленности, а также во многих российских региональных центрах стандартизации и метрологии (всего более 40 внедрений). Созданные приборы отмечены медалью «Гарантия качества и безопасности» Международного конкурса «Национальная безопасность» за создание гаммы измерительных информационных систем на базе контактных интерферометров для автоматизированной поверки эталонных концевых мер длины 2, 3 и 4-го разрядов в диапазоне 0,1 — 1000 мм с разрешающей способностью до 0,001 мм, а также золотой медалью «За единство измерений» за создание гаммы интерференционных СИ длин с субмикронной и нанометрической точностью на Всероссийской выставке «Метрология-2008».

Другим направлением работ в области ретрофиттинга является разработка ИИС на базе измерительных микроскопов [9, 10], которые реализуют следующие функции:

- формирование видеоизображения контролируемых элементов измеряемых деталей с применением оптико-электронных приборов с зарядовой связью (ПЗС-видеокамер с регулируемым оптическим и цифровым увеличением);
- ввод видеоизображения в цифровом виде в компьютер;
- отсчет координатных перемещений стола микроскопа с помощью оптоэлектронных преобразователей с автоматическим вводом информации в компьютер;
- визуализация зоны измерения на экране дисплея, формирование на нем перекрестия или марок для визирования

оптической системы на измеряемый объект при использовании координатных методов измерения;

полуавтоматическая фокусировка оптической системы на измеряемые объекты;

вывод области перекрестия и края объекта с выбираемым увеличением (режим «лупы») для точного совмещения измеряемых точек объекта с центром визирного перекрестия;

цифровая обработка в режиме реального времени видеоизображения области перекрестия и края объекта для уменьшения ошибки визирования из-за дифракции;

цифровая обработка видеоизображения с применением различных алгоритмов (дифференцирования, селекции отдельных геометрических элементов, цифровой фильтрации изображения и др.);

генерация программными средствами математических моделей шаблонов геометрических элементов сложной формы, выполняющих функции нормальных калибров (мер) при контроле элементов сложной формы;

оценка близости (отклонений) измеренных контуров сложных и малогабаритных элементов контролируемых деталей к генерируемым шаблонам с применением различных методов аппроксимации функций (метод наименьших квадратов, метод минимума отклонения, сплайн-методы);

автоматизированная компьютерная обработка измерительной информации с использованием цифровой обработки изображения при измерении малогабаритных элементов поверхностей деталей;

совместное применение информации о координатных перемещениях и видеоизображения зоны измерения для координатных измерений объектов широкой номенклатуры;

возможность оперативного протоколирования результатов измерения и вывод на печать (создание «твердых копий») увеличенных изображений сложных элементов измеряемых деталей.

Особенностью модернизации измерительных микроскопов является полное сохранение штатных измерительных устройств и методик выполнения измерений.

Метрологические исследования, проведенные совместно с сотрудниками НПЦ газотурбостроения «Салют», показали, что разработанная ИИС имеет погрешность измерения (в микрометрах) $\Delta = \pm [(2,5 \dots 3) + L/100]$, что сопоставимо с метрологическими характеристиками лучших и весьма дорогостоящих образцов, в частности, компьютеризированного измерительного микроскопа SmartScope-ZIP фирмы «Optical Gaging Product Inc» (США), стоимость которого составляет 150000 — 250000 \$. Разработка внедрена на предприятиях — НПЦ газотурбостроения «Салют», МПО им. И. Румянцева, заводе «Турбодеталь» — филиале «Газэнергосервис» и других и отмечена золотой медалью «За единство измерений» за создание гаммы интеллектуальных компьютеризированных СИ на базе инструментальных и универсальных измерительных микроскопов на Всероссийской выставке «Метрология-2009».

Значимой разработкой указанных выше Центра разработки и кафедры МГТУ «СТАНКИН» является лазерный из-

мерительно-вычислительный комплекс (ИВК), предназначенный для измерения, контроля и диагностики геометрических параметров разнообразного высокоточного оборудования: станков и станочных комплексов, координатно-измерительных машин, приборов, деталей и узлов различного назначения. Кроме того, ИВК является эффективным средством МО качества продукции, испытаний, аттестации и сертификации технологического оборудования. Созданный ИВК включает гетеродинный лазерный интерференционный преобразователь линейных перемещений, электронный блок индикации измерительной информации, многоканальный РС-совместимый интерфейс, обеспечивающий включение в структуру комплекса персонального компьютера, и соответствующее программно-математическое обеспечение.

Особенностью ИВК является агрегатно-модульный принцип построения, обеспечивающий компьютерное подключение нескольких измерительных преобразователей (линейных и круговых). Благодаря этой особенности с применением ИВК можно контролировать и диагностировать объекты с любой комбинацией до шести линейных и круговых перемещений. Оригинальное программно-математическое обеспечение реализует процедуры статистической обработки информации: спектрального, корреляционного, фрактального, регрессионного анализа, включая адаптивную робастную статистику, процедуры параметрической диагностики, табличного и графического представления результатов в реальном масштабе времени. Комплекс имеет следующие метрологические характеристики при измерении линейных перемещений: диапазон измерения 0 ... 30 м; дискретность отсчета 0,1 ... 0,01 мкм; погрешность измерения менее 1 мкм/м; скорость контролируемых перемещений 0 ... 20 м/мин.

Еще одно направление деятельности МГТУ «СТАНКИН» — разработка компьютеризированных систем МО машиностроительного производства (КСМО). Такие системы служат для автоматизированного формирования, хранения и обработки информационной базы данных, содержащей информацию о состоянии парка СИ на предприятии, а также для автоматизации выбора СИ при технологической подготовке производства. Использование КСМО, по сути, представляет собой внедрение ИПИ-технологий (CALS-технологий) в области МО производства как системы непрерывного сопровождения и поддержки жизненного цикла СИ с момента их приобретения или изготовления [11].

Основными преимуществами КСМО являются: улучшение обеспечения производства необходимыми СИ за счет планирования и осуществления своевременного обновления их парка; оптимизация затрат на приобретение (изготовление) СИ, их метрологическое обслуживание благодаря оперативному отслеживанию текущей информации о состоянии всего парка на предприятии; сокращение сроков технологической подготовки производства в 3 — 5 раз. Указанные КСМО внедрены на предприятиях — НПЦ газотурбостроения «Салют», завод «Турбодеталь».

В 2011 г. завершена совместная работа сотрудников МГТУ «СТАНКИН» и Научно-исследовательского и конструкторского института средств измерений в машиностроении

(«НИИИзмерения») по созданию координатно-измерительной машины субмикрометровой точности [12, 13]. Разработанная отечественная прецизионная координатно-измерительная машина обеспечивает замещение импорта аналогичных зарубежных образцов и ликвидирует критическую импортную зависимость в области СИ, отнесенных к технологиям двойного назначения. Внедрение данной разработки позволит оснастить российские машиностроительные предприятия универсальным контрольно-измерительным средством, предназначенным для МО производства прецизионных деталей спецтехники, в том числе деталей оборудования и приборов, создающих отечественную нанотехнологическую базу.

Л и т е р а т у р а

1. Григорьев С. Н., Телешевский В. И. Проблемы измерительной информатики в технологических процессах формообразования // Измерительная техника. 2011. № 7. С. 3—7; Grigoriev S. N.; Teleshevskii V. I. Measurement problems in technological shaping processes // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 7. P. 744—749.
2. Максин Ю. А., Телешевский В. И., Темников П. В. Система автоматизированного проектирования и изготовления средств линейно-угловых измерений на основе трехмерного параметрического моделирования // Измерительная техника. 2011. № 8. С. 13—16; Maksin Yu. A., Teleshevskii V. I., Temnikov P. V. System for computer aided design and fabrication of means of linear-angular measurement based on three-dimensional parametric modelling // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 8. P. 869—873.
3. Зеленин М. В. Совершенствование эталонной базы отечественных машиностроительных предприятий // Мир измерений. 2011. № 5. С. 6—14.
4. Телешевский В. И. Интеллектуальный компьютерный ретрофиттинг в метрологическом обеспечении производства // Конкурентоспособность машиностроительной продукции и производств: Материалы междунар. науч.-техн. семинара. М., 2005. С. 28—32.
5. Телешевский В. И. Измерительная информатика в машиностроении. Ч. 1 // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. № 1. С. 33—37.
6. Телешевский В. И. Измерительная информатика в машиностроении. Ч. 2 // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. № 2. С. 41—45.
7. МИ 2079—90. ГСИ. Меры длины концевые плоскопараллельные образцовые 3 и 4-го разрядов и рабочих классов точности 1—5 длиной до 100 мм. Методика поверки.
8. Телешевский В. И., Богомолов А. В. Компьютеризация контактных интерферометров в белом свете на основе оптической обработки изображений // Измерительная техника. 2006. № 7. С. 35—38; Teleshevskii V. I., Bogomolov A. V. Computerization of white-light contact interferometers based on optical image processing // Measurement Techniques. 2006. V. 49. N 7. P. 679—684.
9. Телешевский В. И., Шулепов А. В., Красюк О. Ю. Компьютеризация измерительных микроскопов с цифровым анализом изображений // Измерительная техника. 2006. № 8. С. 39—42; Teleshevskii V. I., Shulepov A. V., Krasnyuk O. Yu. Computerization of measuring microscopes with digital analysis of images // Measurement Techniques. 2006. V. 49. N 8. P. 797—802.
10. Телешевский В. И., Шулепов А. В., Роздина Е. М. Метод интеллектуальной компьютерной микроскопии при измерении линейных и угловых размеров изделий // Измерительная техника. 2011. № 8. С. 3—6; Teleshevskii V. I., Shulepov A. V., Rozdina E. M. Smart computer microscopy for measurement of linear and angular dimensions of work pieces // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 8. P. 853—858.
11. Телешевский В. И., Емельянов П. Н., Шишков Д. Н. Принципы построения компьютеризированной системы метрологического обеспечения производства на базе ИПИ-технологий // Приборы. 2011. № 5. С. 57—62.
12. Емельянов П. Н., Педь С. Е., Холин И. Е. Разработка эталонной координатно-измерительной машины с ЧПУ // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 8. С. 68—72.
13. Мастеренко Д. А. Выбор наилучшей оценки измеряемой величины по сильно дискретизованным наблюдениям // Измерительная техника. 2011. № 7. С. 17—20; Masterenko D. A. Choice of best estimate for the measured value from strongly discretized observations // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 7. P. 764—768.

Дата принятия 26.07.2012 г.