

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 620.179:681.7.068

**В. Ф. Гоголинский, канд. техн. наук, доц., А. П. Марков, Н. М. Рыбаков,
А. А. Кеткович, канд. техн. наук, А. В. Коннов**

ИНФОРМАЦИОННО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ПРОФИЛЕЙ ПРОТЯЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Рассмотрены функциональные особенности структуры и схемной реализации бесконтактных средств автоматизированного оперативного и выборочного контроля профилей изделий со специфическими контурами поверхностей, адаптированных к эксплуатационным условиям непрерывного производства. Особое внимание уделяется физико-техническим эффектам формирования и локализации первичной информации с последующим физико-оптическим преобразованием и дистанцированием для абстрактного отображения у потребителя.

В непрерывно развивающейся технике и технологиях все больше расширяется круг задач по обеспечению контролеспособности и конкурентоспособности продукции производства. Для производственного контроля особую значимость приобретает технологический контроль и связанные с ним методы и средства аппаратного обеспечения. В современном производстве технологический контроль становится определяющей стадией на всех этапах изготовления качественной продукции. В ходе производственного процесса изменяются физико-технические параметры и режимы работы оборудования. Однако любое технологическое воздействие на объект отражается на каждой операции в соответствующем информационном процессе. И если физико-технические свойства на первичном уровне присущи непосредственно материальному объекту, то на информационном уровне они абстрагируются и их количественные и качественные характеристики проявляются уже в формализованном виде. Такая информационно-технологическая взаимосвязь позволяет представить структуру информационного процесса в виде совокупности формализованных и взаимосогласованных операций.

В приборостроении и отраслях ма-

шиностроительного комплекса больше половины продукции составляют изделия литейного производства. Для авиационно-космической, энергетической, нефтегазовой и других отраслей важное значение приобретает совершенствование аппаратуры контроля профилей и контуров протяженных изделий сложного рельефа поверхности. Специфика задач обеспечения контролеспособности определяет структуру и характерные особенности информационно-технологических преобразований первичной информации.

Многоуровневое распределение операций по формированию и преобразованию первичной информации позволяет рассматривать автоматизацию контроля как многоступенчатый преобразовательный процесс, адаптированный к определенным изделиям и реальному производству. В автоматизированном контроле с системным объединением различных по своей физической природе устройств особое значение имеют формирование источников первичной информации и структурно-алгоритмическая реализация всего преобразовательного процесса. С информационно-энергетической стороны цепь преобразований от источника до потребителя

информации должна быть кратчайшей и с минимальными энергетическими затратами. При этом весь процесс первичных преобразований строится на энергии информативного сообщения [1].

Особенности структурной организации информационно-технологических преобразований первичной информации проявляются и в том, что получение и использование информации связано не только с некоторой обособленной операцией. В современных условиях необходимо иметь информацию о сотнях и тысячах однородных или разнородных параметрах, в том числе и с ограниченным доступом к измеряемым элементам изделий [2]. Автоматизированный контроль профилей многоэлементных изделий с высокой точностью и быстродействием связан с большим объемом работ по сбору и обработке измерительной информации. С другой стороны, автоматизация позволяет высвободить оператора от весьма ответственной и рутинной работы, связанной со значительными физическими напряжениями. При этом восприятие и обработка больших объемов первичной информации в большинстве случаев обусловлены временными и технико-экономическими критериями. Высокая стоимость и особенности программно-алгоритмического обеспечения ограничивают применимость координатных измерительных машин и комплексов в условиях оперативного контроля профилей многоэлементных и протяженных изделий. Современная преобразовательная техника и малогабаритные средства машинной обработки позволяют на основе схем координатных измерений строить портативные и мобильные переносные приборы широкого диапазона практического пользования [3].

Пространственно-временное многоуровневое распределение измерительной информации накладывает жесткие условия на средства локальной связи. Эффективная дистанционная связь с местами возникновения первичной информации, блоками преобразования и ее отображения улучшает функциональные и потре-

бительские свойства преобразовательной техники, повышает надежность работы и расширяет возможности комбинирования и оперативного маневра. Качественное изменение вида и характера воспринимаемой и передаваемой информации позволяет повысить информативность, защищенность и насыщенность оперативных сигналов. С расширением рабочей полосы частот информационных каналов увеличиваются возможности аналоговой и аналогово-дискретной техники в преобразованиях и передаче больших объемов информации в ограниченное время, что особенно значимо для информационно-измерительной аппаратуры контроля многоэлементных и сложноконтурных изделий.

В общем объеме контрольно-измерительных операций машиностроительного производства значительный объем занимает контроль профилей, отклонений формы и сечений. Применимость абсолютных и относительных, прямых и косвенных измерений сложноконтурных изделий ограничена сложностью базирования самого изделия на измерительной позиции. В процессе измерений контурное изображение, как линия, очерчивающая форму изделия (или его элемента), непосредственно воспринимается чувствительным устройством и передается по цепи преобразований в соответствии с заданным алгоритмом.

Адаптация методов и схем измерений непосредственно к специфике изделия во многом обусловлено характерными особенностями профиля. Как номинальный, так и периодический профили являются случайными отображениями формы поперечного сечения элемента (изделия). При этом важное значение имеет распределение отклонений формы протяженного изделия, т. е. продольного профиля по контролируемым элементам контура. Непрерывный контроль профиля (поперечного и продольного) без разрыва процесса вытяж-

ки (формования) движущегося изделия связан с проблемами привязки контрольно-измерительных операций к технологическому процессу. Для протяженных и многоэлементных изделий такой контроль должен быть непрерывным или в исключительных случаях выборочным.

В условиях мелкосерийного производства рациональнее применение пассивного оперативного контроля. Активный контроль для серийного производства с разнообразной номенклатурой изделий представляется весьма сложной автоматизированной системой управления. Иногда информационно-измерительные средства активного контроля превосходят по сложности управляемый технологический процесс. Однако универсальность средств первичных преобразований позволяет в большинстве случаев строить унифицированные устройства оперативного пассивного и активного автоматизированного бесконтактного контроля.

Для бесконтактных схем характерны некоторые метрологические особенности:

- независимость измерений от материала предметной поверхности;
- допустимость больших смещений изделия на измерительной позиции;
- точность и динамический диапазон;
- быстроедействие и отсутствие обратного воздействия в цепи измерений.

Методы и средства контроля поперечных профилей длинномерных и сложноконтурных изделий строятся преимущественно на абсолютных измерениях и измерениях разностей. В то время как средства измерения разностей используются при определении отдельных параметров изделий, абсолютные измерения обеспечивают возможность комплексного применения. На их основе возможно также измерение размеров отдельных участков и сложных комбинаций в структуре размерной цепи.

При любом методе контроля определяющее значение имеет первичный преобразователь, чувствительный элемент которого реагирует непосредственно на

изменение пространственного положения предметной поверхности изделия. Однако для всех первичных преобразователей характерно преобразование размера в соответствующее перемещение или координату с последующим преобразованием в сигнал другой физической природы, т. е. любой первичный преобразователь рассматривается как структурная часть датчика.

В структуре бесконтактных измерений к операциям первичных преобразований (и датчикам в том числе) предъявляются некоторые специфические информационно-метрологические требования:

- чувствительность и стабильность параметров в цепи преобразований;
- явное выражение функции преобразования, преимущественно однозначное;
- быстроедействие (малая постоянная времени);
- минимальное влияние внешних дестабилизирующих факторов;
- гальваническая развязка измерительных цепей;
- простота конструкции и настройки;
- минимальное обратное воздействие (статизм) в преобразовании.

Для длинномерных и сложноконтурных изделий операционный контроль создаёт предпосылки для своевременного устранения возможности появления бракованных участков изделия (по длине и по периметру) и попадания бракованных изделий на линию сборки, сортировки и т. д. Некоторой особенностью отличаются устройства сортировки по градационным нормам, т. е. разделение размеров по дискретным полям допуска для селекционной сборки.

Первичные преобразователи и датчики в средствах оперативного контроля должны с гарантированной достоверностью информировать получателя о количественных и качественных отклонениях в параметрах обследуемого изделия. И здесь особое значение

имеют чувствительность, разрешающая способность и погрешность. Эти информационно-метрологические характеристики имеют важную роль и в технико-экономическом обеспечении требуемого качества и объемов производства при исходном материально-энергетическом обеспечении. Необоснованно завышенная точность, как и ненормированные измерительные средства, снижают потребительские свойства выпускаемой продукции и технико-экономические показатели. При этом метрологическое обеспечение производства как совокупность методов, оценок, критериев и средств, необходимых для нормирования характеристик выпускаемой продукции, имеет важнейшее государственное значение.

Комплекс мероприятий по метрологическому обеспечению включает разработку не только номенклатуры метрологических показателей и обоснованные нормы на них, но и методику поверки и аттестации измерительных модулей и средств с соответствующим оснащением монтажно-наладочными и испытательными устройствами и стендами.

При разноуровневом распределении информационных операций важное значение в преобразовательном процессе отводится математической обработке (электронно-процессорной). Программно-алгоритмическое обеспечение позволяет повысить не только быстродействие и производительность контроля, но и освободить оператора от рутинных вычислительных действий. Такое обеспечение наряду с совокупностью формализованных и/или логических преобразований сигналов позволяет выявить информационные свойства их и статические закономерности, а также определить пространственные координаты и контрастность объектов, выделить полезную информацию из неинформативных и дестабилизирующих воздействий и провести анализ этой информации.

Программно-математические возможности современной техники контроля позволяют рассматривать такие средства,

как информационно-измерительные с более высоким уровнем автоматизации операционных преобразований. Информационно-измерительные средства отличаются и более высоким уровнем унификации. В блочно-модульной структуре таких средств унификация операционных модулей предполагает унификацию межблочных связей и нормирование входных и выходных сигналов, позволяющих на их основе компоновать универсальные технические средства многофункционального назначения.

Создание универсальных измерительных средств требует и соответствующих методов и технологий контроля. Расширяя функциональную применимость современных средств преобразовательной и микропроцессорной техники, мы высвобождаем человека от непосредственного участия в самом преобразовательном процессе. Но с повышением объективности и достоверности операций по обработке и отображению ужесточаются требования по метрологическому обеспечению первичных преобразований. В этом отношении метод считывания пространственных координат элементов размерной цепи отличается своей универсальностью. На его основе можно решать самые разнообразные контрольно-измерительные задачи, начиная от простых деталей, когда измеряются, например, расстояния, углы и другие элементы, и до изделий с самыми сложными пространственными конфигурациями. Характерное для этих изделий комплексное сочетание (сопряжение) различных геометрических величин усложняет технологии и программное обеспечение таких измерений.

Информационно-метрологические характеристики координатных измерений в большей мере определяются методами формирования измерительной информации у объекта, устройствами математической обработки и другими составляющими. Разнообразная эле-

ментная база координатно-измерительной техники позволяет создавать технические средства различной степени сложности применительно к конкретным объектам и производствам. В формировании конструктивной базы координатной техники особое значение имеют принципы унификации элементов. В блочно-модульном исполнении используются частичные приборные и частичные вставные блоки, блочные каркасы, комплектные приборные и вставные модули, стойки, малогабаритные переносные пульта, микропроцессоры и другие составляющие.

При любой степени сложности технических средств более ответственной является операция съема первичной информации. Информация, потерянная на первичном уровне, в дальнейшем процессе преобразований уже не восстановится. И здесь важное значение уделяется сканированию предметной поверхности. В процессе сканирования профиля (контура) чувствительный элемент должен постоянно поддерживать информационный контакт с изделием, которое включается в единую информационно-преобразовательную цепь. При сравнительно небольших размерах приемной части чувствительного элемента и значительных размерах предметной поверхности объекта процесс сканирования предполагает взаимное изменение положения этих двух составляющих единого процесса преобразований. Применительно к конкретным условиям контроля такое перемещение может осуществлять изделие или чувствительный элемент. Для любой схемы сканирования координаты поверхности первичные элементы должны обеспечивать высокую точностную надежность, быстродействие и адаптивность к объекту, т. е. начало преобразовательного процесса должно быть максимально приспособлено к изделию, его габаритным и контурным особенностям.

На характер процесса сканирования значительное влияние оказывают чувствительность и разрешающая способность быстродействующего приемника информативного отражения. По существу при

сканировании предметной поверхности чувствительный приемник отраженного носителя информации аппроксимирует изображение элементов непрерывной поверхности с дискретностью, определяемой разрешающей способностью датчика (первичного преобразователя). В такой противоречивой ситуации, когда для повышения чувствительности необходимо существенно уменьшать размеры приемника, резко возрастают требования по увеличению энергии информативного отражения. Именно за счет этой энергии осуществляется весь процесс дальнейших преобразований информации. Применение усилительных источников по ряду информационно-метрологических особенностей первичных преобразований ограничено, так как с учетом характеристики усилителя наряду с информативным сигналом масштабируется и помеха.

Формирование информативного отображения геометрии объекта происходит в некотором энергетическом поле воздействующего (стимулирующего) источника энергии. И здесь весьма существенно установить определенное соответствие между информативным отображением и фактическим рельефом поверхности объекта. Более достоверным является представление отображения контура поверхности по отображению координаты каждой точки в принятой системе координат. В действительности контуры предметной поверхности аппроксимируются с интервалом, эквивалентным геометрическому разрешению приемника информации. Подобно микрошупу, чувствительный элемент датчика воспринимает контурную линию поверхности и по результатам микропроцессорной обработки выдается информация об абсолютной форме ее или отклонениях от запрограммированного нормального (нормированного) ее представления. Так, например, условное представление диаметра в виде максимального значения хорды окружной поверхности, как и другое представление

контура (формы) поверхности, является условным.

С точки зрения формализованного отображения при процессорной (машинной) обработке точечных представлений очень важно выбрать критерий идентичности абстрактного представления его реальному соответствию. При этом контроль сечения будет представляться некоторым заполнением энергетического поля в его бесконечно малой толщине и для оценки отклонений в поле допуска достаточно установить характер отклонения от нормы. То есть мы конкретизируем ситуацию, когда размер (контур) находится в поле допуска или выходит из него по верхней или нижней границе. В таком случае программная обработка точечных координат в допусковом контроле значительно проще, чем установление характера изменения координат поверхности относительно некоторой базовой системы координат (например, геометрической оси, центра и т. д.).

Для получения формализованного изображения контура изделия используются различные физические методы, посредством которых изменения (отклонения) в геометрии преобразовываются в функционально зависимые сигналы. И здесь могут быть применены методы непосредственной оценки, методы сравнения с эталоном (образцом) и другие.

Если методы и средства непосредственной оценки в большей мере связаны с абсолютными и координатными измерениями, то методы сравнения реализуются на схемах косвенных и относительных измерений. Особенно эффективна аппаратура относительных и косвенных измерений при контроле крупногабаритных, многоэлементных и протяженных (удлиненных) изделий.

Пространственно-временное распределение информационных операций позволяет, с одной стороны, эффективно комбинировать структуру первичных преобразований: высокочувствительные первичные устройства воспринимают изменение геометрии (размер, форма) и преоб-

разовывают в координату (перемещение); вторичные измерительные преобразователи масштабируют и преобразовывают в унифицированный выходной сигнал; с другой стороны, такое абстрагированное распределение операций и комбинационное сосредоточение функций создает дополнительные возможности при автоматизации отдельных наиболее производительных и ответственных операций в поэтапном исполнении по мере развития методов и элементной базы информационно-преобразовательной техники. И здесь определяющее значение имеют как программно-алгоритмическая оптимизация, так и оптико-электронная база для вторичных преобразований и микропроцессорной обработки. В таком распределении функций и системном объединении первичных преобразователей и датчиков могут оптимизироваться структурно-алгоритмические комбинации контактно-бесконтактных, бесконтактно-контактных и бесконтактно-бесконтактных методов и схем измерений.

С усложнением конструкций и повышением быстродействия технологических операций потребность в совершенствовании и разработке новых структур информационно-преобразовательной техники все возрастает. Как в любой многоуровневой иерархической системе в информационно-измерительных системах и комплексах выделяются обособленные функциональные уровни распределения и сосредоточения информации. При всем многообразии контролируемых изделий, функциональных блоков (модулей) и комплектующих элементов можно выделить ряд специфических с точки зрения оперативного контроля задач, характерных для определенных техпроцесса, системы, отрасли.

С учетом функциональных преимуществ и физических ограничений некоторой перспективой отличаются комбинированные схемы преобразований. Современное оптическое приборо-

строение эффективно использует достижения микропроцессорной техники и технологий, геометрической и волоконной оптики, лазерной техники и оптоэлектроники, механики и пневматики [4, 6]. В таких комбинациях обеспечиваются лучшая чувствительность и разрешающая способность, улучшенная проявляемость характерных особенностей геометрии изделий, быстродействие и помехозащищенность в преобразованиях и дистанционировании первичной информации.

Формирование равномерного плоскопараллельного светового потока (тонкого луча) малого сечения представляет некоторые конструктивные сложности, особенно для больших размеров. В то же время метрологические возможности таких схем ограничены особенностями взаимодействия светового потока с поверхностью изделия. С переходом к импульсным и когерентным источникам излучений появляется реальная возможность более эффективного использования энергии информативного излучения за счёт расщепления луча на две и более составляющих.

Более перспективными и энергоэффективными являются бесконтактные комбинированные средства контроля профилей. С их помощью элементы рельефной поверхности, профилей и контуров преобразовываются в соответствующие входные координаты первичных преобразователей. Дальнейшая цепь информационных преобразований строится на принятой элементной базе в соответствии с заданным алгоритмом. Бесконтактный съём информации наряду с улучшенными метрологическими характеристиками расширяет область применения преобразовательной техники контроля и для динамических объектов. При этом связь чувствительного элемента датчика с объектом контроля устанавливается через некоторую физическую среду, исключая непосредственный механический контакт.

В схемной реализации заданных алгоритмов важное значение имеет оптимизация структуры информационно-физических преобразований. При этом ставит-

ся задача выбора кратчайшего пути в информационной цепи преобразований от объекта до абстрактного отображения у потребителя. В таких жестких условиях должны обеспечиваться максимальная информативность и защищенность при минимальном числе преобразовательных операций. И здесь наряду с качественным первичным преобразованием более существенными являются операции дистанционной передачи и быстродействующей обработки. Если в автоматизированной обработке эта задача эффективно решается с помощью микропроцессоров, а помехозащищенное дистанционирование – с помощью оптически изолированных волокон, то проявляемость и выявляемость отклонений координат непосредственно связаны с информационно-физическими возможностями источников и приемников первичной информации. А эти свойства уже определяются характером спектрально-энергетического взаимодействия стимулирующих воздействий и материальной поверхностью объекта. На проявляемость и выявляемость источников первичной информации значительное влияние оказывают случайные многофакторные причинно-следственные связи в физико-технических и информационно-физических преобразованиях.

В большинстве случаев высокочувствительные первичные преобразователи ограничены динамическими возможностями, что весьма значимо для автоматизированных средств. Быстродействующие вторичные измерительные преобразователи зачастую ограничены динамическим диапазоном. В такой ситуации путем схемотехнических манипуляций добиваются комбинированного объединения информационно-преобразовательных преимуществ и ограничений отдельно взятых преобразователей.

В общем случае автоматизированный контроль профилей и контуров включает операционно-поисковые и

информационно-физические операции по выявлению некоторых отклонений текущих координат рельефной поверхности и сравнению этих отклонений с нормативными допусками. Физико-оптические методы обеспечивают более рациональное проявление и формирование источников первичной информации. Такие методы отличаются и своей оперативностью, мобильностью и эргономикой, так как оптическая информация более привычна и восприимчива.

Информационная структура первичных преобразований в автоматизированном контроле профилей предполагает физико-техническое приспособление к задачам оперативного контроля. В оптических средствах бесконтактного контроля на основе метода световых сечений снимается координата экстремальных значений элемента рельефа. При этом физическое поле, в котором отображается первичная информация, формируется источником выбранного спектра. В области видимого и граничащего с ним инфракрасного излучения на формирование информации существенное влияние оказывают микронеровности предметной поверхности. Нечеткое изображение грани «свет-тень», а также рассеяние света на элементах рельефа вводят неоднозначность восприятия информации и спектральное рассогласование в преобразовательной цепи.

Пневматические первичные преобразователи в ограниченных диапазонах измерений обеспечивают высокую чувствительность и точность при приемлемой динамике и точности.

В свою очередь, спектрально-энергетические особенности формирования измерительной информации в оптическом виде позволяют рационально строить преобразовательный процесс на основе бесконтактных методов с лазерными источниками и пневматическими чувствительными элементами. Бесконтактное пневматическое сканирование контура (выпуклой и вогнутой формы) с бесконтактной аэро-статической стабилизацией положения изделия на измерительной позиции от-

крывает новые возможности автоматизированного контроля профилей и контуров любой степени сложности [6, 7]. Использование преимуществ оптических и пневматических преобразований первичной информации создаёт предпосылки для активного дистанционного контроля сложнопрофильных объектов с коррекцией и/или регулированием их параметров во время формирования и вытяжки [8].

Выводы

1. Пооперационная автоматизация в преобразовательном процессе контроля профилей позволяет более эффективно строить и обновлять информационно-алгоритмическую структуру технических средств на современной элементной базе оптоэлектроники, пневматики, волоконной и микропроцессорной техники.

2. Проявляемость и выявляемость координатных отклонений рельефа предметной поверхности определяются информационно-физическими эффектами взаимодействия стимулирующих воздействий и техническими возможностями первичных преобразователей.

3. Комбинированные структуры автоматизированного контроля профилей позволяют системно объединить физически разнородные операции по информационному преобразованию первичной информации с учетом их функциональных и метрологических преимуществ и ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Активный контроль размеров / Под ред. С. С. Волосова. – М. : Машиностроение, 1984. – 223 с.
2. Фотоэлектрические преобразователи информации / Под ред. Л. Н. Преснухина. – М. : Машиностроение, 1974. – 376 с.
3. Конюхов, Н. Е. Оптико-электронные измерительные преобразователи / Н. Е. Конюхов, А. А. Плут, В. М. Шаповалов. – Л. : Энергия, 1977. – 160 с.
4. Плетнёв, С. В. Волоконно-оптические

методы и средства дефектоскопии : науч.-метод. справ. пособие / С. В. Плетнёв, А. И. Потапов, А. П. Марков. – СПб. : ЛИТА, 2001. – 312 с.

5. **Александров, В. К.** Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микрообъектов / В. К. Александров, Ю. Н. Биенко, В. Н. Ильин. – Минск : Наука и техника, 1988. – 240 с.

6. **Кеткович, А. А.** Лазерный профилометр изделий сложной формы / А. А. Кеткович, Б. А. Чичигин // Литьё и металлургия. – 2005. – № 2 (34). – С. 141–142.

7. **Гоголинский, В. Ф.** Автоматизация контроля сечений и формы эластичных и сложноконтурных изделий / В. Ф. Гоголинский, А. А. Кеткович, Б. А. Чичигин // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 2 (11). – С. 62–65.

8. **А. с. 783582 СССР, G 01 B 13/06.** Пневматический способ измерения поперечных размеров движущегося изделия и устройство для его осуществления / В. Ф. Гоголинский, А. И. Потапов (СССР). – № 1453170 ; заявл. 27.05.87 ; опубл. 23.01.89, Бюл. № 3. – 3 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 21.05.2007

**V. F. Gogolinskij, A. P. Markov, N. M. Rybakov,
A. A. Ketkovich, A. V. Konnov**
**Information and converting features of automation
of structures of lingering products control**
Belarusian-Russian University

Functional features of structure and circuit realization of contactless means of the automated operative and selective control of structures of products with specific contours of the surfaces adapted for operational conditions of process production have been considered. Special attention is given to physical and technical effects of formation and localization of the primary information with further physical and optical transformation and dissociation for abstract display at the consumer.