

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 681.7.068: 531.717.55

**В. Ф. Гоголинский, канд. техн. наук, доц., А. П. Марков, Е. М. Патук,
Е. В. Пивоварова**

КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Анализируются способы мониторинга сложнопрофильных поверхностей на основе комбинированных методов бесконтактных измерений размеров и форм геометрических тел.

Введение

Мониторинг как способ оценки текущего состояния поверхностей геометрических тел включает систему оценивания, наблюдения, контроля, регулирования и управления параметрами и свойствами отдельных участков или всего изделия с учетом воздействия определенного фактора или группы факторов. В условиях производства и эксплуатации различных изделий технологическими нормативами определены параметры, критерии и технологии оценки состояния поверхностей геометрических тел. Однако любое технологическое воздействие, как и воздействие окружающей среды и внешних технических систем, вызывает изменение пространственно распределенных геометрических параметров поверхностей. Эти изменения проявляются в характерных физико-технических признаках поверхностей элементов геометрического тела. И если физико-технические свойства и признаки поверхностей присущи материальному телу, то на информационном уровне они абстрагируются и формализуются в некотором информационном поле. Для характеристики случайных отклонений и свойств поверхностей в большинстве случаев пользуются интенсивностью флуктуаций источников информации и корреляционной функ-

цией ввиду незначительности среднего значения флуктуационного поля.

Пространственно-временное изменение свойств сложнопрофильных поверхностей изначально проявляется в некоторых технологических сообщениях, совокупно отражающих определенные признаки зарождающихся дефектов. С появлением таких сообщений проявляется первичная информация об изменяющихся свойствах и параметрах поверхностей [1, 2].

Технологическая информация и ее особенности в мониторинге сложнопрофильных поверхностей

Динамическое состояние элементов геометрического тела характеризуется пространственно-временной изменчивостью параметров поверхностей. В первичной информации, отражаемой каждым участком или зоной поверхности, отображается физическая сущность происходящих изменений геометрического тела. В мониторинге сложнопрофильных поверхностей необходим оперативный обмен информацией об изменяющихся состоянии и свойствах между информационно-преобразовательной и управляющей системами.

Эффективность информационных процессов обусловлена количеством сведений, содержащихся в конкретном

сообщении о происходящих изменениях, особенно об экстремальных (аварийных) ситуациях. Особенности технологической информации связаны с физическими эффектами проявляемости и выявляемости аномальных отклонений параметров поверхности по первичным признакам и сигналам. При всем различии в физической природе между сообщением (материальным) и сигналом (абстрактным) обеспечивается определенное их соответствие. В этих условиях потребитель информации, на которого она ориентирована в формализованном сигнале, воспринимает его адекватное отображение в виде технологического сообщения.

При выборе физических эффектов выявления информативных источников особое внимание уделяется информативности и чувствительности приемников информативных излучений в фоновой обстановке обследуемой зоны (области) поверхности. Если информативность технологических признаков изменяющейся поверхности определяется природой и параметрами формирующейся поверхностной неоднородности, то чувствительность обусловлена многофакторной зависимостью спектрально-энергетических взаимодействий и преобразований информативных излучений [3].

Структура комбинированных преобразований

В комбинированных структурах преобразований преимущественно используется многоуровневое распределение операций с сигналами различной физической природы. Формализованное распределение информационных преобразований по уровням позволяет моделировать информационный процесс как системно объединенную структуру с соответствующей целью и критериями. В согласованной структуре параметры выходных величин предшествующих элементов одновременно являются входами последующих, что связано с нали-

чием и учетом определенных сред и локальных связей.

Изменение поперечного или продольного профиля поверхности геометрического тела функционально связано с соответствующим изменением координаты чувствительного элемента первичного преобразователя или датчика. При этом для взаимосогласованных взаимодействий устанавливается информационный контакт с поверхностью, элемент которой встраивается в единую информационно-преобразовательную цепь (информационный канал). От первичной адаптации к специфике и условиям предметной поверхности зависит энергоинформативность и эффективность всех дальнейших преобразований. Наряду с разрешающей способностью и чувствительностью адаптера, необходим прием максимальной энергии источника информации. За счет этой энергии осуществляется весь преобразовательный процесс на первичном уровне.

Создание адаптивных структур обусловлено особенностями профилей сложноконтурных поверхностей, их геометрией, характером изменений в поле допусков и конструкцией геометрического тела. Восприятие координат пространственно-распределенной поверхности с высокой точностной надежностью и быстродействием обеспечивается координатными способами и структурами относительных и абсолютных измерений. Однако такой преобразовательный процесс связан с большими объемами оперативной обработки измерительной информации. Современная комбинированная преобразовательная техника позволяет проводить высокоэффективный контроль портативными мобильными средствами с использованием техники и технологий микропроцессорной обработки информации.

В сравнении со схемами прямых измерений более энергоинформационными являются структуры на основе схем относительных измерений. Если в абсолютных измерениях требуется вы-

сокостабильная метрологическая база, то в схемах относительных измерений воспринимается не сама пространственная координата профиля (контура), а ее отклонение относительно базовой координаты или соответствующего образца (эталона) [4, 5].

В отличие от контактных, в бесконтактных методах адаптером устанавливается информационный контакт через среду. Бесконтактные структуры особенно эффективны для размерного контроля геометрических параметров внутренних и наружных поверхностей микро- и макроизделий, жестких и эластичных конструкций в статическом и динамическом режимах.

Применимость бесконтактных проекционных, интерференционных и голографических способов и схем обусловлена высокими точностными возможностями. Они занимают монопольное положение в технологиях аттестации и сертификации образцовых изделий, средств поверки, в микро- и нанотехнологиях.

Комбинированные бесконтактные способы особенно перспективны в мониторинге сложнопрофильных и протяженных изделий. На их основе реализуются структуры информационных бесконтактных преобразований с присутствием их отличительными преимуществами:

- точность и широкий динамический диапазон;
- нет необходимости в жесткой фиксации изделия на измерительной позиции;
- отсутствие обратного воздействия в цепи преобразований;
- универсальность поверхностей для различных материалов.

В комбинированных схемах относительных измерений отклонений координат профилей особое значение имеют метрология датчика, конструкция его чувствительного элемента и функциональная схема первичных преобразований. При этом к первичным преобразо-

ваниям предъявляются повышенные требования по таким характеристикам:

- высокая чувствительность к изменениям профиля;
- определенность и стабильность пооперационных преобразований;
- быстродействие и помехозащищенность;
- простота и технологичность конструкции;
- мобильность, комфортность и эргономика.

В системном объединении преимуществ современных комбинированных преобразований оптимизируются структуры и конструкции на основе достижений пневматики и гидравлики, геометрической и волоконной оптики, лазерной и микропроцессорной техники, электромеханики и оптоэлектроники. В такой систематизации при минимальных энергетических и материальных затратах при высокой мобильности обеспечивается требуемая чувствительность, быстродействие и производительность преобразований и дистанционных локальных связей.

Оптические способы бесконтактного контроля профилей строятся на основе преобразования изображений и преобразования линейных координат. Большую достоверность представляют отображения контура изменяющегося профиля по отображению линейной координаты каждой точки поверхности. Однако реальный контур аппроксимируется системой с интервалом, эквивалентным геометрическому разрешению приемника (чувствительного элемента первичного преобразователя) [6].

В моделях с точечным отображением поверхности контроль изменений профилей будет представляться некоторым заполнением энергетического поля в его бесконечно малой толщине. При этом для оценки реального профиля достаточно установить отклонение профиля в поле допуска, а не в абсолютном сечении геометрического тела. Такой подход к решению метрологической задачи бесконтактных оптических изме-

рений обеспечивает применимость способов относительных измерений неэлектрических величин [7].

Комбинированные структуры информационных преобразований позволяют строить способы бесконтактных измерений на основе высокочувствительных пневматических преобразований с масштабированием и оптико-электронной обработкой на последующих уровнях.

Пневматические следящие преобразования (рис. 1) реализуются на основе пневматического уравнивания расходов P_u и P_{np} измерительной камеры 1 и камеры противодействия 2. Их равновесие обеспечивается за счет гибкой мембраны 3 и жестко связанных с ней подвижных штоков 5 и полым штоком 10 с отверстиями для пневматической связи с выходным дросселем 8. За счет гибких сильфонов создается возвратно-поступательное движение штоков при изменении зазора h_x между

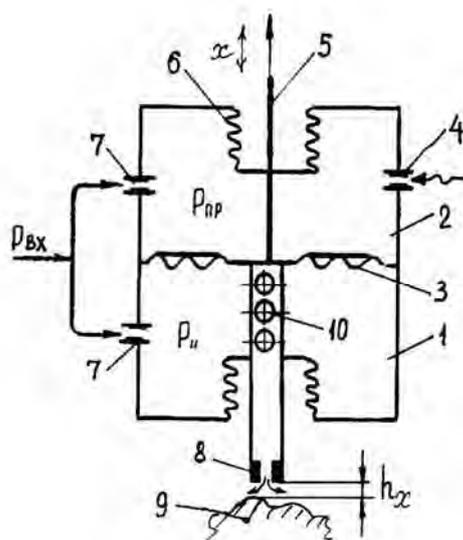


Рис. 1. Схема пневматического следящего преобразователя: 1 – камера измерительная; 2 – камера противодействия; 3 – мембрана гибкая; 4 – дроссель противодействия; 5 – шток подвижный; 6 – сильфоны сопряженные; 7 – дроссель входной; 8 – дроссель выходной; 9 – профиль геометрической поверхности; 10 – шток полый с отверстиями

На изделии 5 при подаче воздуха с давлениями $P_{1вх} \div P_{4вх}$ через дроссели 2, связанные с питающими камерами 3 че-

дросселем выходным и поверхностью изделия 9. В отличие от подвижного штока 5, шток 10 выполнен полым с калибровочными отверстиями, через которые измерительная камера сообщается с выходным дросселем 8.

В такой конструкции уравнивающего преобразования изменение профиля преобразуется в перемещение x подвижного штока. С помощью дросселей 7 камеры запитываются воздухом, а дросселем 4 регулируется величина зазора h_x .

Бесконтактный принцип первичных пневматических преобразований эффективно используется в конструкциях с одновременной аэростатической стабилизацией движущегося при съеме координат изменяющегося профиля (сечения). За счет бесконтактных аэростатических опор положение профиля поверхности движущегося геометрического тела непрерывно ориентировано относительно приемника в виде измерительного щупа (рис. 2).

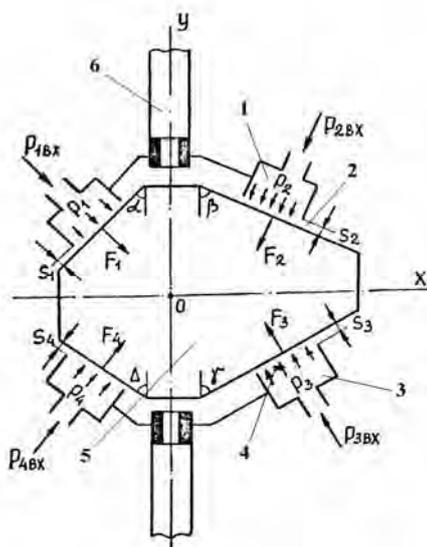


Рис. 2. Схема следящего преобразования продольных профилей (сечений) с аэростатической стабилизацией положения: 1 – направляющие аэростатические; 2 – дроссели выходные; 3 – камеры питающие; 4 – каналы; 5 – изделие профильное; 6 – измерительный щуп

рез каналы 4, воздействуют усилия $F_1 \div F_4$. Посредством этих воздействий положение изделия стабилизируется от-

носителю измерительных пневматических щупов 6. Избыточные давления $P_1 \div P_4$ воздуха на опорные поверхности изделия равны давлениям воздуха в питающих камерах 3. При этом зазор S_i между опорной поверхностью изделия и поверхностью питающей камеры, обращенной к изделию выбирается из условия стабилизации:

$$P = \frac{P_{ex}}{1 + k^2 \cdot S_i^2},$$

где P – давление воздуха в питающей камере; P_{ex} – давление воздуха на входе питающей камеры; k – коэффициент, определяемый геометрическими параметрами проходного сечения входного канала питающей камеры и параметрами проходного сечения зазора S_i между питающей камерой и поверхностью изделия.

Заключение

На основе пневматических бесконтактных первичных преобразователей эффективно реализуются структуры информационных преобразований по схемам относительных измерений разностей. Они более употребительны при сравнительном контроле отдельных участков контуров поверхностей геометрического тела и его эталона.

Оперативный контроль в производстве и эксплуатации изделий со сложнопрофильными поверхностями позволяет высокопроизводительно отслеживать процессы формообразования и своевременно корректировать реаль-

ный профиль при выходе из поля нормируемого допуска.

В таком пространственно-временном управлении процессом формообразования упреждается выход бракованных по отдельным участкам профилей геометрического тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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.
2. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е. И. Марукович и [др.] ; под общ. ред. Е. И. Маруковича. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 152 с.
3. **Гоголинский, В. Ф.** Информационно-преобразовательные особенности автоматизации контроля профилей протяженных изделий / В. Ф. Гоголинский, А. П. Марков, Н. М. Рыбаков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 4. – С. 121–129.
4. **Конюхов, Н. Е.** Оптоэлектронные измерительные преобразователи / Н. Е. Конюхов, А. А. Плют, В. М. Шаповалов. – Л. : Энергия, 1977. – 160 с.
5. Фотоэлектрические преобразователи информации / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Л. Н. Преснухина. – М.: Машиностроение, 1974. – 376 с.
6. **Потапов, А. И.** Структура бесконтактного контроля профилей сложноконтурных изделий / А. И. Потапов, А. П. Марков, В. Ф. Гоголинский // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий : межвуз. сб. – СПб. : Изд-во СЗТУ. – 2007. – Вып. 14. – С. 24–34.
7. **Марков, П. И.** Волоконно-оптические преобразователи в приборах технологического контроля / П. И. Марков, В. М. Шаповалов. – Минск : Наука и техника, 1984. – 112 с.

Белорусско-Российский университет
Институт технологии металлов (ИТМ) НАН Беларуси
Материал поступил 16.03.2010

**V. F. Gogolinsky, A. P. Markov,
E. M. Patuk, E. V. Pivovarova**
**Combined techniques and means of the
monitoring of complex contour surfaces**

Techniques of complex contour surfaces monitoring are analyzed based on the combined methods of non-contact measurements of sizes and forms of geometrical bodies.