

# 40 лет ИТМ НАН Беларуси

А. П. МАРКОВ, В. Ф. ГОГОЛИНСКИЙ, А. А. АЗАРКО, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Е. М. ПАТУК ИТМ НАН Беларуси

УДК 521.74

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И МЕТАЛЛУРГИИ

*The models of interrelations of emissions with surfaces and ways of transformation of revealed technological characteristics in commutated structure of pneumatic-optical conversions are considered.*

**Введение.** В единой системе контроля качества литья важное значение имеют пространственно распределенные геометрические параметры поверхностей сложнопрофильных геометрических тел. Пространственно-временные изменения свойств любого геометрического тела первоначально проявляются в некоторых технологических признаках отклонений от нормируемых параметров, в совокупности отражающих качественное состояние поверхностей.

В технологиях литейного производства и металлургии практически невозможно представить процесс или предмет без поверхности как геометрической границы, одновременно определяющей и соединяющей элементарные части тела, более сложные структуры и образования. От процессов, происходящих в этой достаточно тонкой приграничной поверхностной зоне, зависит разрешение различных противоречивых явлений, ход которых может отразиться как на любом объекте управления, так и на окружающей его среде. Всякая поверхность отличается особенностями макроскопических свойств, которые формируются и зарождаются на микроуровнях.

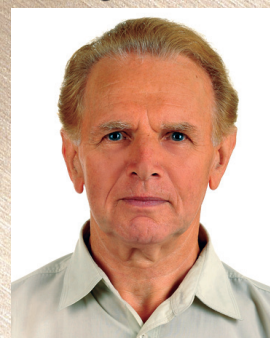
Ведущую роль в современных технологиях литейного производства и металлургии играют поверхностные процессы. В проблеме рационального применения материалов и энергии важное значение приобретают процессы интегрирования разнообразных свойств в локализованной приповерхностной зоне (области) геометрического тела. В приграничной области на границе раздела двух фаз более эффективно проявляются особенности взаимодействия различных воздействий (теплоэнергетических, оптических и других излучений) с элементами геометрического тела. Наряду с рациональным использованием свойств металлических поверхностей существует проблема создания геометрических элементов с заданными свойствами.

Активность металлических поверхностей во взаимодействии с излучениями особенно проявляется в микроскопической структуре приповерхностного слоя. Всякие их изменения в этой области геометрического тела в дальнейшем отображаются уже на макроуровнях.

Необходимость изучения процессов взаимодействия излучений с геометрическими телами превратила поверхность металлов в своеобразный полигон для соз-



Марков А. П.



Гоголинский В. Ф.



Азарко А. А.



Патук Е. М.

дания физических методов мониторинга и оценки качества продукции литья и металлургии.

**Особенности моделирования первичной информации.** Оценка качества поверхностей предполагает формализацию их свойств в виде первичной информации. Для ее формирования на обследуемый участок или зону поверхности воздействуют излучением, спектрально-энергетические параметры которого в большей мере способствуют обнаружению технологических отклонений и источников первичной информации, пространственно распределенных по поверхности.

В приповерхностном слое более эффективно спектрально-энергетическое взаимодействие излучений с элементами геометрического тела. Трудности близкого наблюдения за текущими изменениями свойств, проявляющимися в спектрально-энергетических характеристиках отображаемого информативного излучения, обусловили развитие и использование физических эффектов проявления микро- и макроскопического состояний поверхностей. Целенаправленное использование свойств поверхностей геометрических тел и запрограммированное управление этими свойствами требуют современных методов и средств моделирования и натуральных испытаний.

Результаты косвенных измерений в натуральных испытаниях связаны с большими объемами количественной обработки косвенной информации и ее интерпретации. Для этого используются математические модели, способные адекватно описывать исследуемые явления в условиях многофакторных взаимовлияющих зависимостей большого числа переменных.

Сложные зависимости моделей описания поверхностных элементов геометрических тел отражают специфику конструкции и их свойства. Они имитируют изделие, пока не созданы алгоритмы решения конкретных математических задач взаимозависимости изменения характеристик геометрического тела и свойств поверхности. Имитируя ту или иную ситуацию натурального эксперимента или проектных изысканий, создается возможность получить количественные результаты и прогнозировать изменение геометрического тела в экстремальных условиях. Сочетание и сбалансированное использование всех известных методов моделирования и технологического контроля, включая микропроцессорные методы обработки и интерпретации результатов, способствуют повышению эффективности исследований и испытаний новых разработок и творческой активности специалистов разных профессий.

**Поверхность как объект контроля.** Всякое геометрическое тело как материальная конструк-

ция является системой большого числа в той или иной степени функционально взаимозависимых элементов поверхности. Система этих элементов находится в некотором пространственно-временном положении относительно окружающей среды и других сопрягаемых поверхностей. С учетом особенностей и взаимосвязей элементов поверхности могут быть использованы современные эффекты взаимодействия излучений и современная элементная база. Эти особенности необходимы для выделения основных характеристик геометрического тела и набора определяющих геометрических параметров поверхности его элементов. При этом в математических моделях описания свойств таких поверхностей учитываются особенности структуры материалов, специфика конструктивных переходов и межэлементных связей, проявляющихся в тех или иных технологических отклонениях. Учет таких особенностей позволяет четко и предметно формулировать задачи и условия математического моделирования.

Образующаяся в процессе изготовления поверхность элементов геометрического тела с некоторым приближением соответствует расчетной. Микроструктура материала и технологии изготовления обуславливают наличие микронеровностей, конструктивных ступеней и изгибов в приповерхностном слое. В общем случае поверхностный слой может изменять свою структуру как спонтанно, так и под внешними механическими, тепловыми, а также воздействиями среды. Пространственно-временная изменчивость структуры материала в основном проявляется в изменениях геометрической структуры поверхности. Изменчивость структуры материала и поверхности в общем случае непредсказуема.

**Моделирование взаимодействия излучений в приповерхностном слое.** Особенности взаимодействия излучения с поверхностью адекватно отображаются в поверхностной реакции. Элементарный процесс взаимодействия лучистого потока происходит между компонентой, проникающей в ближайшие к поверхности приповерхностные слои, и компонентой, отраженной поверхностью. На каждую составляющую лучистого потока приповерхностные слои реагируют соответственно структуре элемента поверхности. И для интенсификации проявления этой структуры в широком спектрально-энергетическом диапазоне воздействующего излучения используют специфику его взаимодействия с элементами поверхности до микроуровней. Систематическое изучение этой реакции на информационно-физических моделях с помощью современных физических методов контро-

ля свойств поверхности и приповерхностного слоя позволяет получить информацию о своеобразии этого многостадийного процесса.

Множественность стационарных состояний, динамика проявления и выявления нарушений поверхностной сплошности в условиях постоянного изменения геометрических параметров поверхности ставят задачу изучения этих макроскопических явлений на микроуровне спектрально-энергетического взаимодействия по совокупному эффекту всех составляющих лучистого потока. Последовательное изучение этих эффектов в условиях многофакторных взаимовлияний структуры, микрорельефа, отклонений геометрических параметров и лучистого потока позволяет достичь более высокой степени в познании структурных особенностей (свойств) поверхности и изменяющихся свойств материала.

Реакция поверхности на воздействие составляющих лучистого потока представляет собой совокупность взаимозависимых элементарных процессов. Их математическое моделирование создает предпосылки для повышения эффективности проявления отклонений геометрических параметров поверхности и своевременного обнаружения реакции отклонения на элементарные составляющие лучистого потока. Каждый элементарный процесс взаимодействия протекает на поверхности независимо, что позволяет провести декомпозицию многоэлементного процесса – разделить его на более простые составляющие, промоделировать их в отдельности, определить влияние каждой составляющей, а затем синтезировать всю совокупность. Все нюансы этого процесса учитываются при обкатке математической модели. На этом этапе осуществляется параметрическая идентификация математических моделей. Эти параметры моделей являются своеобразным отражением отклонений геометрических параметров поверхности. В дальнейшем такая модель может быть использована для прогноза поведения системы в широком диапазоне параметрических изменений поверхности и определения оптимальной структуры и состава самой системы.

Поверхность любого элемента геометрического тела является не только пространственно-временным местом процессов взаимодействия излучений, но и активным их участником. Физико-математическая модель таких процессов учитывает геометрическую структуру тела, материал и химический состав, энергетические свойства поверхности и воздействующего излучения. При этом выделяется полный набор параметров, описывающих свойства поверхности, и набор величин, характеризующих ее состояние.

Сложная информационно-физическая реакция поверхности на воздействие лучистого потока – это многостадийный процесс с многофакторными связями. Формализованное описание элементарных стадий (операций) с указанием информационно-физического превращения геометрических параметров и их отклонений в информативные излучения представляется в виде функциональной схемы. Для поэтапного математического моделирования в соответствии с такой схемой определяются зависимости выходных параметров элементарных стадий от входных, включающих геометрические параметры поверхности и их отклонения.

Модель поверхности представляет собой упорядоченную совокупность макронеровностей, центры которых случайным образом группируются на отдельных выступах и впадинах с характерными гранями. При этом макронеровности поверхностей связаны между собой и на микроуровне с приповерхностным слоем. Взаимодействие элементов геометрического тела в некоторой мере обуславливает концентрацию поверхностных отклонений и изменение свойств материала.

Функциональные схемы преобразований являются символическим представлением пооперационных стадий и их связей. В них отражаются структура функциональных элементов и их взаимосвязи с формализованным определением сущности взаимных превращений в их координатах. По существу распределение информационно-физического процесса строится на двух уровнях. На первом уровне изменение свойств материальной поверхности проявляется в отклонениях элементов геометрического тела. Здесь формируется источник потенциально зарождающегося дефекта. На втором уровне этот источник абстрагируется и отображается в первичной информации, которая генерируется отклонением при его взаимодействии с воздействующим излучением. В спектрально-энергетическом отображении информативного излучения сосредоточены количественные и качественные характеристики изменяющихся геометрических параметров элементарной поверхности.

При этом исходят из предположения, что элементарные поверхностные процессы происходят на самой поверхности; элементарная поверхность геометрического тела энергетически однородна; отсутствует взаимодействие между элементами конструкции геометрического тела; свойства элементарной поверхности не меняются при воздействии излучением.

**Особенности моделирования неидеальной поверхности.** Учет всесторонних взаимосвязей между компонентами лучистого потока и отклоне-

ниями поверхности непосредственно связан с информационно-физическими эффектами спектрально-энергетического взаимодействия с неидеальной поверхностью.

Распределенные модели неидеальной поверхности позволяют получить подробную информацию об изменениях микро- и макроскопического состояния поверхности в их взаимосвязи со спектрально-энергетическими параметрами излучателя. При этом скажется резкое усложнение моделей, так как моделирование процессов по отдельным параметрам и их отклонениям связано с ростом числа переменных и их связей с другими параметрами. Более подробная первичная информация служит основанием для оценки локальных связей между всеми макропараметрами поверхности и информационно-преобразовательной системы. Но все эти параметры и связи для конкретной поверхности точно не известны. Для их определения необходима параметрическая идентификация математической модели, что связано с решением весьма сложных обратных задач.

Следует отметить, что учет взаимовлияний различных отклонений поверхности и взаимодействий с составляющими лучистого потока усиливает нелинейность уравнений математической модели, что особенно значимо для распределенных моделей неидеальной поверхности.

Математическое моделирование позволяет выявить факторы сложных информационно-технологических зависимостей отклонений геометрических параметров поверхности и их макроскопических связей с приповерхностным слоем. При этом в характере спектрально-энергетического взаимодействия лучистого потока с элементами неидеальной поверхности геометрического тела заложена информация о неоднородностях изменяющейся поверхности.

Эффекты взаимодействия излучений с неидеальной поверхностью проявляются не во всем спектральном диапазоне лучистого потока. Существуют диапазоны неоднородностей и спектров, когда процессы взаимодействия могут быть описаны на основе точечных моделей. В этом случае нет смысла проводить исследования на основе распределенных моделей.

**Информативная проявляемость технологических признаков.** Пространственно-временное изменение свойств геометрического тела проявляется в некоторой совокупности характерных технологических признаков. Изменяются рельеф поверхности, профили элементов, сечение и другие геометрические параметры. При взаимодействии с излучением эти изменения абстрагируются и отображаются в спектрально-энергетических па-

раметрах информативного излучения. Пространственное расположение и характер информативных излучений связаны с адаптацией излучателя к многообразному признаковому пространству поверхностных неоднородностей. Ориентация приемника информативного излучения обеспечивает оптимальную выявляемость, что позволяет эффективно обнаруживать и идентифицировать поверхностную неоднородность. Однако в спектрально-энергетической трансформации информативных излучений абстрагируется не только полезная технологическая информация. Сопутствующие ей помехи снижают информативность излучений. Снижение уровня информативной неопределенности и повышение объема полезной информации связаны с параметрической согласованностью всех операций информационных преобразований. Высокий уровень информативности поверхностных неоднородностей обеспечивается физическими эффектами взаимодействия излучений с технологическими признаками изменяющихся свойств. Формирование источников первичной информации по отклонениям геометрических параметров поверхности позволяет снизить энергозатратность излучателей и вести мониторинг с использованием автономных и мобильных источников энергии.

Информативная выявляемость поверхностных неоднородностей обуславливается способностью системы трансформации воспринимать информативное излучение, по спектрально-энергетическому уровню превышающее помехи и порог чувствительности адаптера. В этом отражается восприимчивость технических средств к пространственно-временной изменчивости геометрических параметров поверхности. Но такой изменчивостью может отличаться не только источник информации, но и фоновая обстановка. При этом из-за хаотических флуктуаций снижаются не только информационная проявляемость и выявляемость, но и достоверность, и оперативность мониторинга.

Пространственно-временная неопределенность и случайное распределение первичных признаков аномальных отклонений геометрических параметров поверхности определяют некоторую специфику контроля размеров, формы, сечений и отдельных зон сложнопрофильных изделий. В соответствии со спецификой геометрического тела и задач мониторинга поверхностей структура информационных преобразований определяется уровнями распределенных операций (рис. 1).

Некоторую сложность представляют пространственное обнаружение и локализация технологических признаков и источников генерируемой информации в реальном времени. Для протяженных геоме-

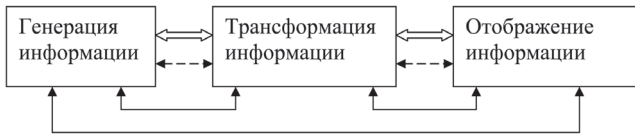


Рис. 1. Уровни информационных преобразований, локальные связи:  $\Leftrightarrow$  оптические;  $-\!-\!\rightarrow$  механические;  $\rightarrow$  электрические

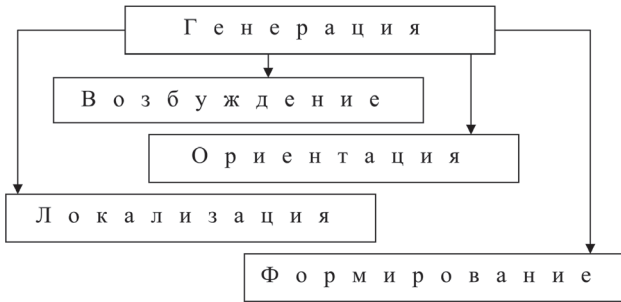


Рис. 2. Структура первичного уровня информационных преобразований

трических тел особую проблему составляют рациональная организация информационных потоков, их распределение и направление, трансформация и обработка больших объемов информации. Однако пространственно-временная изменчивость геометрических параметров поверхностей позволяет проводить селективный прием информации по отличительным признакам. В такой реализации для каждой пространственной точки элемента поверхности требуется свой информационный канал, что существенно усложняет иерархическую структуру технических систем и технологий мониторинга.

Задачи и структура первичного уровня связаны с качественной генерацией информативных носителей в поисковой обстановке соответствующих участков поверхности (рис. 2).

**Методы и схемы первичных преобразований.** В трансформации технологических изменений и их признаков определяющую роль играют преобразования измерительной информации и метрология методов. Бесконтактные комбинированные преобразования при своей высокой чувствительности и энергоэффективности в большей мере соответствуют условиям автоматизации при большом динамическом диапазоне и высокой точности.

В разнообразии структуры измерительных преобразований преобладают два принципиально отличающихся между собой метода. Более простая структура реализуется в методе прямых преобразований, когда все преобразования производятся только в одном направлении и всякая величина предшествующего преобразователя одновременно является входной величиной последующего преобразователя. В такой одноканальной структуре результирующая чувствительность всей цепи преоб-

разований определяется произведением чувствительностей всех преобразователей. С метрологической стороны суммарная погрешность преобразований в равной мере определяется погрешностями системно объединенных преобразователей.

Более достоверную трансформацию информативных сообщений обеспечивают методы уравнивающего преобразования, когда с помощью обратной цепи *II* создается величина, однородная с измеряемой. Наличие обратного уравнивания способствует некоторой компенсации потерь измерительной информации на каждой операции цепи *I* прямых преобразований и в локальных связях. При достаточно малом пороге чувствительности суммарная погрешность преобразования определяется исключительно погрешностью обратного преобразователя. В такой структуре в отличие от первичного преобразователя вводится преобразователь уравнивания (см. рис. 1).

Изменение  $x_u$  геометрического параметра поверхности *I* изделия  $x_z$  и эталона является входными величинами цепей *I* и *II*, которые воспринимаются одновременно чувствительными элементами 2 первичных преобразователей 3. Их выходы воспринимаются измерительными преобразователями 4, информативные сигналы одной физической природы которых сопоставляются в двухвходовом преобразователе 5. При противоположных входах  $y_u$  и  $y_z$  результирующий сигнал  $y_n$  несет информацию о величине и характере отклонений геометрического параметра поверхности реального изделия относительно его эталона (образца) (рис. 3).

В такой структуре эффективно реализовываются способы следящего сканирования, сличения, противопоставления, широко используемые в информационно-измерительной технике.

Наряду с быстродействием и метрологической совместимостью первичных преобразователей чув-

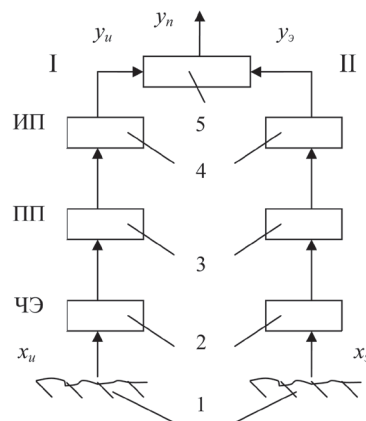


Рис. 3. Структура уравнивающего преобразования: 1 – элемент поверхности; 2 – приемник; 3 – первичный преобразователь; 4 – измерительный преобразователь; 5 – преобразователь уравнивания

ствительные элементы их должны максимально адаптироваться к условиям геометрического тела, чтобы оказывать минимальное дестабилизирующее воздействие на генерацию первичной информации [1, 2].

Современная техника и технологии бесконтактного размерного контроля позволяют комбинировать структуры первичных преобразований на эффектах различной физической природы. При этом в мониторинге протяженных поверхностей особыми преимуществами отличаются бесконтактные методы на основе пневматических и комбинированных пневмооптических и оптико-электронных технологий.

Пневматические первичные преобразователи обеспечивают высокую чувствительность при ограниченных диапазонах бесконтактных измерений размеров и форм элементов поверхностей. Следящий пневмооптический преобразователь расширяет принципиальные возможности бесконтактных измерений с некоторой компенсацией ограничений пневматики. При этом оптические измерительные датчики также реализуются на бесконтактных методах датчиковой аппаратуры преобразований перемещений [3].

Дифференциальные пневматические системы осуществляют первичные преобразования изменений геометрических параметров поверхности в соответствующую координату индикатора. Логометрический принцип сопоставимых измерений позволяет отслеживать отклонения геометрического параметра в сравнении с эталоном элемента поверхности в заданных допусках.

Бесконтактный измерительный преобразователь исключает какие-либо обратные воздействия на процесс пневматических преобразований и реализуется по структуре спектрально-энергетических световодных преобразований. В такой комбинации существенно снижаются порог чувствительности преобразователей и аддитивная составляющая погрешности.

Высокое быстродействие, селективность, плотность и коммуникабельность при дистанционной трансформации и микропроцессорной обработке первичной информации обеспечивают оптико-волоконные способы и технологии. Системная совместимость и высокая разрешающая способность способствуют повышению выявляемости, чувствительности и расширению метрологических диапазонов технических средств [4, 5].

Технологии и средства волоконной оптики с использованием достижений оптоэлектроники и микропроцессорной техники позволяют рационально реализовывать информационно-преобразовательные операции в мониторинге геометрии

сложнопрофильных поверхностей. Оптико-волоконные преобразования в большей мере адаптированы к целям и задачам оперативной оценки изменений геометрических параметров.

**Структура комбинированных преобразований.** Функционально-экономическая оптимизация информационных преобразований расширяет возможности технических систем мониторинга при минимальных материальных затратах. Формализованная структура отдельных операций и всего информационно-преобразовательного процесса позволяет выявить узкие места и интерпретировать результаты с характеристиками, превышающими возможности реальных систем.

Трансформация текущего состояния материальной поверхности в формализованное его отображение связана с различным диапазоном электромагнитных излучений, при взаимодействии которых с элементарной неоднородностью поверхности формируется информативное излучение. Дальнейшая цепь информационных преобразований строится на физических эффектах и локальных связях функциональных элементов структуры, системно сгруппированных для реализации заданного алгоритма.

Более перспективными и энергоэффективными являются структуры бесконтактных комбинированных преобразований. При этом ставится задача высокочувствительного восприятия генерируемой первичной информации с ее надежной и помехозащищенной трансформацией в пункты потребления. В жестких условиях мониторинга состояния поверхностей требуется максимальная информативность источников при минимальных затратах на их обнаружение и пооперационные преобразования. Наряду с качественным приемом информативных излучений элемента поверхности более существенными являются операции дистанционирования и быстродействующей обработки.

В автоматизированном мониторинге эти задачи эффективно решаются с помощью микропроцессоров и оптически изолированных светопроводящих волокон. Однако проявляемость и выявляемость отклонений координат элементов поверхности, с которыми связана достоверность восприятия, обусловлены информационно-физическими и структурно-алгоритмическими реализациями в основном первичных преобразований, а их возможности связаны с эффектами спектрально-энергетического взаимодействия излучений с материальной поверхностью.

В ряде информационно-преобразовательных средств высокочувствительные и стабильные первичные преобразования ограничены динамическими возможностями структуры, а быстродействующие

вторичные преобразователи зачастую ограничены динамическим диапазоном. Путем схематических манипуляций комбинируются структуры информационных преобразований, системно объединяющих преимущества одних и компенсирующих недостатки других. При этом если эффективный прием информативных сообщений связан с ориентацией чувствительного приемника, то для слабых полей поверхностных участков (зон) особо значимо их проявление в реальных условиях. И здесь весьма существенно как распределение мощности во времени, так и в пространстве. В таких структурах спектрально-энергетическое взаимодействие излучателей и элементов поверхности играет определяющую роль в структурной реализации операций трансформации информативных излучений.

В технике и технологиях мониторинга протяженных поверхностей важное значение имеют профили и контуры отдельных элементов. В их структуре определяющими являются операционно-поисковые операции по выявлению признаков отклонений геометрических параметров рельефной поверхности. При этом комбинированные способы информационно-физических преобразований при своей оперативности и мобильности максимально адаптируются к специфике геометрического тела и метрологической совместимости преобразователей.

Среди оптико-электронных и пневмооптических способов бесконтактного скопирования поверхностей широкое применение находят методы следящего сканирования и уравнивающего преобразования, схемные и конструктивные реализации которых хорошо отработаны в информационно-преобразовательной технике [5–8].

К оптическим способам относятся фотокомпенсационные, фотоследящие и фотоимпульсные. В виде отдельной группы в приборостроении выделяются телевизионные, лазерные и растровые.

Если в фотоимпульсных способах длительность развертки изображения светового импульса определяется геометрическим параметром изделия, то в фотокомпенсационных сравниваются два световых потока. Один световой поток частично формируется элементом поверхности, а другой – подвижной заслонкой. Отклонение геометрического параметра определяется линейной координатой заслонки при полной фотокомпенсации (равенстве световых потоков). В фотоследящих способах положение каждой границы профилей и контуров фиксируется бесконтактной следящей системой [4].

Высокое пространственное разрешение с большим быстродействием обеспечивает лазерная контрольно-измерительная техника, основанная на способах бегущего луча, дифрактометрии, интер-

ферометрии, триангуляции и т. д. Современная элементная база оптоэлектроники обеспечивает дискретность фотоприемников 0,007–0,12 мм с числом элементов (пикселей) до 4096. Спектральный диапазон таких светоприемников составляет 0,4–1,2 мкм при линейной световой характеристике, что обеспечивает высокую точность в пределах 0,1 – 0,2 размера пикселя [2].

В бесконтактных пневмооптических способах высокоразрешающие первичные преобразователи метрологически совместимы с бесконтактными измерительными преобразователями (вторичными). Ограниченный диапазон высокочувствительного пневматического преобразователя компенсируется большим динамическим диапазоном оптико-электронных преобразований перемещений.

В оптических способах световых сечений изменение координаты рельефа поверхности отображается в физическом поле, формируемом излучателем выбранного спектрального состава при взаимодействии с поверхностью. В области видимого и граничащего с ним инфракрасного излучений на формирование первичной информации сказываются негативно микронеровности рельефа.

Структура оптико-волоконной трансформации первичной информации объединяет ряд операций информационно-преобразовательного процесса типа:

- выделение и локализация сообщений об аномальных изменениях;
- формирование и каналирование сигналов;
- дистанционная трансформация с электрическими выходами;
- спектрально-энергетическое согласование функциональных элементов всей информационной системы.

В таком алгоритме структурная реализация системы мониторинга предполагает высокочувствительные первичные преобразователи и датчики геометрических параметров поверхности, измерительные и вторичные преобразователи, локальные линии связи и оконечные устройства (модули). Пространственно-временная распределенность источников информации, схемная совместимость, отсутствие обратных воздействий последующих функциональных элементов на предшествующие, помехозащищенность и надежность трансформации информативных излучений (сигналов) обуславливают создание компактных структур и интегрированных компонентов. Все они объединяются в едином блочно-модульном исполнении, адаптированном к специфике параметров поверхности и элементам геометрического тела.

Современная информационно-преобразовательная техника позволяет эффективно трансформировать

признаки разнородных физических параметров и не оптической природы. При этом для высокочувствительного проявления и обнаружения используются интенсивные и экстенсивные физические величины, отражающие реальное состояние и свойства поверхностей элементов геометрического тела.

### Выводы

1. Пространственно-временная изменчивость геометрических параметров поверхности позволяет эффективно реализовать разноуровневые по операционным преобразованиям изменений контуров и профилей сложных геометрических тел.

2. Во взаимодействии внешних излучений с поверхностью сосредоточена технологическая проявляемость и информационная выявляемость координатных изменений изделий со специфическим рельефом поверхности.

3. Комбинированные структуры первичных преобразований максимально адаптированы к задачам и условиям мониторинга сложнопрофильных поверхностей.

4. Более эффективна трансформация информативных признаков изменяющихся поверхностей способами следящего сканирования и уравнивающего преобразования первичной информации.

### Литература

1. Активный контроль размеров / Под ред. С. С. Волосова. М.: Машиностроение, 1984.
2. Александров В. К., Биенко Ю. Н., Ильин В. Н. Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микрообъектов. Мн.: Наука и техника, 1988.
3. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е. И. Марукович и др.; Под общ. ред. Е. И. Маруковича. Мн.: Белорусская наука, 2007.
4. Марков П. И., Шаповалов В. М. Волоконно-оптические преобразователи в приборах технологического контроля. Мн.: Наука и техника, 1984.
5. Марков П. И. Применение волоконно-оптических приборов размерного контроля. Мн.: БелНИИТИ, 1981.
6. Миросников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособ. для приборостроительных вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1983.
7. Фотоэлектрические преобразователи информации / Под ред. Л. Н. Преснухина. М.: Машиностроение, 1974.
8. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб. и доп. Л.: Энергия, 1975.