

## ВЫБОР МЕТОДА КОНТРОЛЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВОЛОКОН

### Введение

При производстве микроструктурированных (МС) волокон и компонентов на их основе важным этапом является контроль конструктивно-технологических параметров, который требует специализированные методы, техническое и программное обеспечение для автоматизации процесса. Это связано с тем, что в виду сложности структуры МС волокон средства и методы контроля геометрических параметров стандартных оптических волокон (ОВ) не могут быть использованы.

Качество любой продукции закладывается при ее проектировании и затем обеспечивается при ее изготовлении. Отклонения от установленного технологического процесса изготовления МС волокон ведут к разбросу геометрических параметров периодической структуры, изменению эксплуатационных характеристик.

### Анализ существующих методов контроля геометрических параметров оптических волокон

Для обеспечения качества оптического волокна весьма эффективным является применение неразрушающих методов контроля [1]. Согласно ГОСТ 18353-79 методы неразрушающего контроля классифицируются в соответствии с физическими процессами взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля. По ГОСТ 18353-79 выделяется 9 видов НК: 1) магнитный, 2) электрический, 3) вихретоковый, 4) радиоволновой, 5) тепловой, 6) оптический, 7) радиационный, 8) акустический, 9) проникающими веществами [2]. От обычных методов контроля методы НК отличаются тем, что определение состояния контролируемых деталей производится не непосредственно, а с помощью специальных агентов, таких, например, как электромагнитные или акустические колебания, которые не вызывают повреждения контролируемых деталей.

Многообразие методов контроля порой затрудняет выбор наиболее приемлемого из них для конкретных условий измерений и контролируемого объекта. Целью сравнительного анализа и классификации оптических методов контроля является установление границ их применимости, оценка точности определения способа и выбора оптимального метода для различных условий использования.

Для определения конструктивно-геометрических параметров кварцевого микроструктурированного волокна наиболее подходящим является оптический метод контроля.

Оптический метод контроля основан на наблюдении или регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом. Он широко применяется для контроля прозрачных объектов, обнаружения макро- и микродефектов.

Погрешность данного метода лежит в диапазоне 0,1-1,0 %.

Применяется очень широко благодаря большому разнообразию способов получения первичной информации:

- 1 Наружный контроль. Возможность его применения не зависит от материала объекта.
2. Контроль прозрачных объектов. Обнаружение макро- и микродефектов, структурных неоднородностей, внутренних напряжений (по вращению плоскости поляризации).
3. Использование интерференции позволяет с точностью до 0,1 длины волны контролировать сферичность, плоскостность, шероховатость, толщину изделий.
4. Дифракцию применяют для контроля диаметров тонких волокон, толщины лент, форм острых кромок.

По характеру взаимодействия с контролируемым объектом различают следующие методы оптического контроля: прошедшего, отраженного, рассеянного и индуцированного излучения (индуцированное излучение – оптическое излучение объекта под действием внешнего воздействия, например люминесценция).

Все методы классифицированы по типу облучающего сигнала и зоны регистрации информационного сигнала [3].

Можно выделить три стадии процесса неразрушающего измерения геометрических характеристик объекта оптическим методом контроля (рис. 1):

- формирование облучающего пучка;
- взаимодействие облучающего пучка с объектом измерения;
- формирование зоны регистрации информационного сигнала

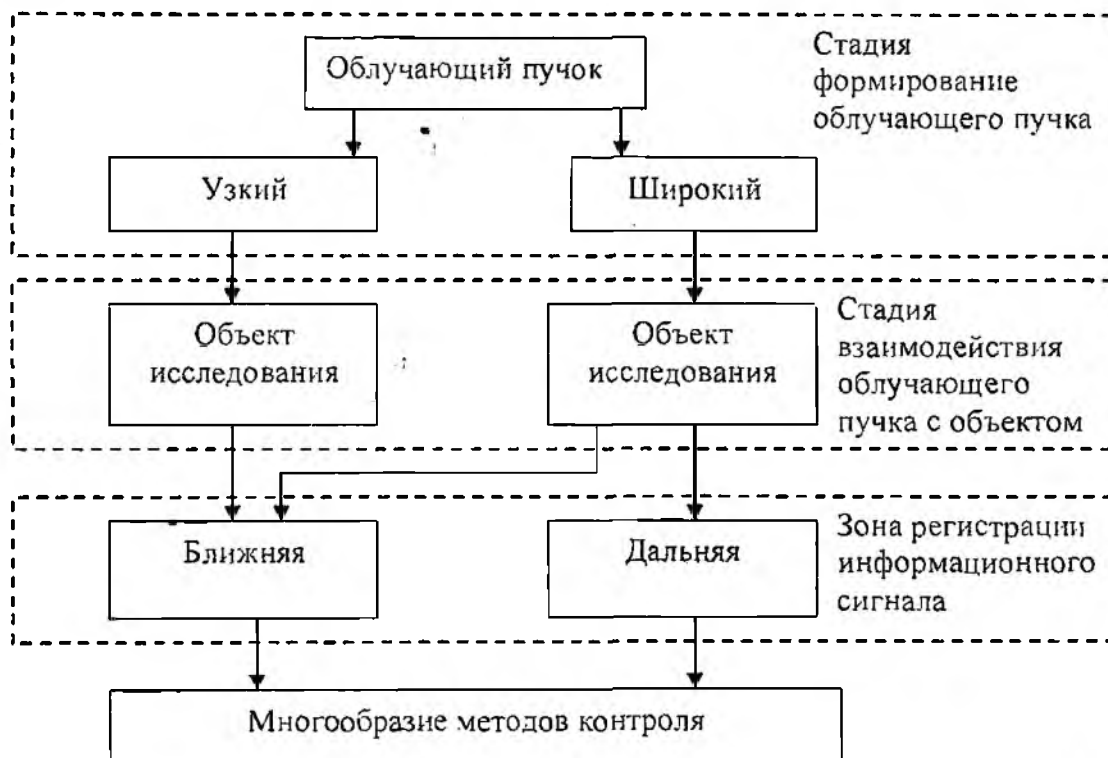


Рис. 1

В этой трехзвенной системе можно выделить два динамических звена, которые существенно изменяются при переходе от одного метода к другому. По типу облучающего пучка методы можно разделить на два класса: использующие узкий пучок (по сравнению с геометрическими размерами поперечного сечения объекта) и широкий пучок, размер которого на порядок или более превышает диаметр измеряемого объекта.

Регистрацию информационного сигнала можно осуществлять в двух областях – ближней или дальней зоне плоскости изображения.

### Постановка задачи исследования

Рациональная организация контроля должна обеспечивать:

- достаточную точность контроля, которая достигается соответствующим выбором методов и средств,
- объективность и надежность контроля,
- использование его для совершенствования разработки, производства и эксплуатации продукции

Кроме того, разрабатываемый метод контроля должен обеспечивать выполнение ряда требований

- неразрушающее действие операций контроля,

- точность и достоверность результатов;
- воспроизводимость результатов контроля;
- экономичность.

В настоящее время развитие технологии производства МСВ вышло на тот уровень, когда фирмы-производители ведут свои исследования, направленные на разработку МС волокон под конкретные применения.

Задача обеспечения требуемых свойств МСВ является комплексной, включающей как этапы проектирования структуры волокон, так и этапы их производственной реализации. Роль контроля не ограничивается аттестацией достигнутых значений параметров. В случае МС волокон он является средством управления формированием параметров как непосредственно при их изготовлении, так и при дальнейшем применении. Выбор метода контроля, его обоснование, определение характеристик базируется на количественном анализе влияния геометрических параметров на эксплуатационные свойства МСВ проведенных ранее. Целью работы является создание методов контроля геометрических параметров МСВ исходя из поставленных требований, возникающих в связи с особенностями структуры МСВ, направляющих свойств и существования того или иного режима их функционирования.

### Обоснование выбора метода и средств контроля

Для контроля геометрии торца МСВ целесообразно применить отражательный метод контроля, с последующим измерением интенсивности отраженного от торца излучения, т.к. в этом случае исключаются потери, возникающие при прохождении излучения через оптическое волокно.

При этом структуру объекта исследования можно различить тогда, когда разные его частицы по-разному поглощают или отражают свет либо отличаются одна от другой показателем преломления. Эти свойства обуславливают разницу амплитуд и фаз световых волн, прошедших через различные участки объекта, от чего, в свою очередь, зависит контрастность изображения.

Тогда простая модель формирования изображения имеет вид

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y), \quad 0 < i(x, y) < \infty, \quad 0 < r(x, y) < 1,$$

где  $i(x, y)$  – функция освещенности,  $r(x, y)$  – коэффициент отражения. Природа функции освещенности зависит от источника освещения, а функция  $r(x, y)$  определяется свойствами объектов изображаемой сцены.

Регистрацию интенсивности отраженного излучения, являющейся функцией профиля показателя преломления, в нашем случае необходимо проводить в ближней зоне.

Метод анализа в ближней зоне сигнала, отраженного от торца волокна, основан на измерении интенсивности отраженного луча вблизи торца волновода.

Анализируя распределение излучения на торце волоконного световода, можно получить ряд его характеристик.

Методы контроля, в которых использованы формирование изображения, относятся к наиболее качественным по следующим причинам:

- изображение представляет максимум информации за минимальный промежуток времени;
- открываются новые возможности применения мощных средств обработки изображений с применением вычислительной техники [4].

Укрупненная схема системы контроля геометрических параметров МСВ показана на рис. 2.

Подсистема регистрации изображения включает в себя технические средства, позволяющие произвести необходимое увеличение исследуемого объекта и качественную запись полученной информации.

Среди доступных для исследований выбран оптический микроскоп-интерферометр МИИ-4.

МИИ-4 серийно выпускается предприятием ЛОМО и предназначен для визуальной оценки и измерения параметров шероховатости отражающих объектов. Принцип и схема микроинтерферометра МИИ-4 (рис. 3) впервые были разработаны и применены для исследования качества тонкообработанных поверхностей академиком В. П. Линником.

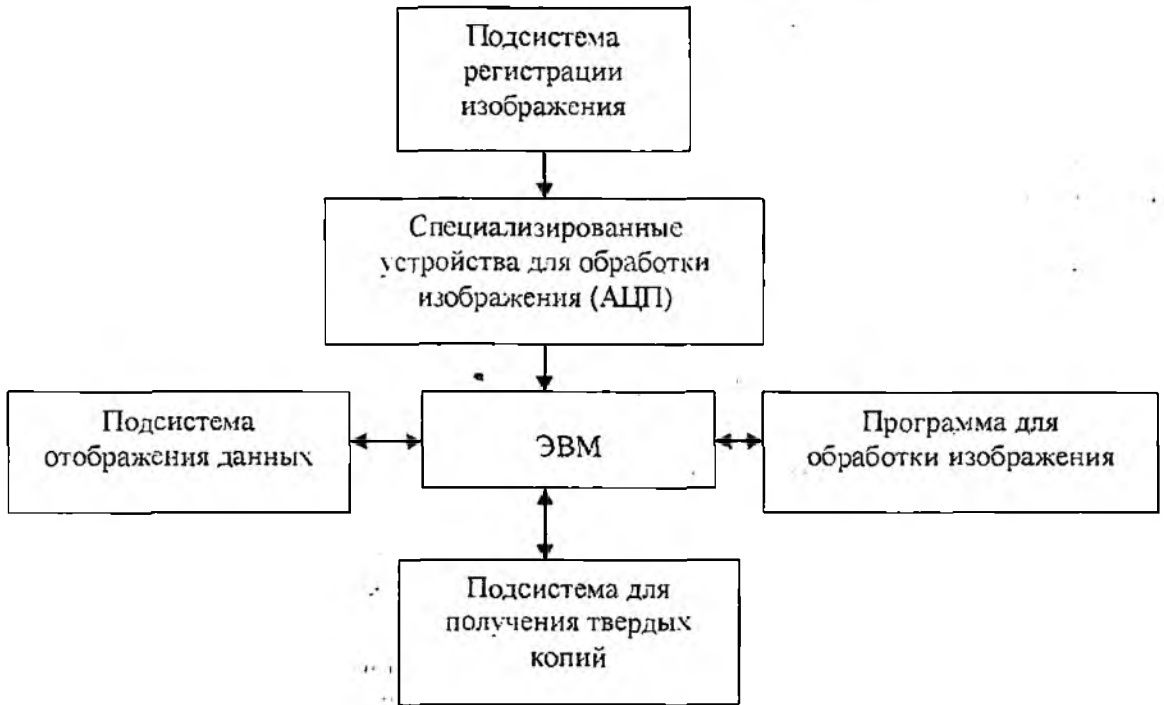


Рис 2

Важным достоинством этого интерферометра является возможность работы с широким источником пространственно-некогерентного монохроматического излучения.

Это свойство приводит к значительному уменьшению когерентных шумов и улучшению качества получаемых изображений.

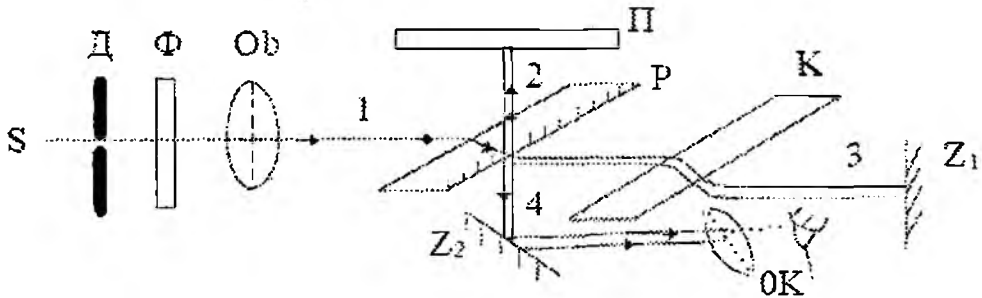


Рис 3

Пучок лучей света от источника S проходит диафрагму Д, свето-фильтр Ф и падает на полупрозрачную стеклянную пластинку Р, преломляется на передней границе сред воздух-стекло, проходит в пластинку, а на границе стекло-воздух частично отражается и преломляется свет, т.е. луч разделяется здесь на два луча. Отраженный луч (2) попадает на исследуемую поверхность П, а преломленный луч (3) попадает на эталонное зеркало  $Z_1$ . После отражения эти лучи вновь соединяются на пластинке Р в точке О и выходят из интерферометра вертикально вниз (луч 4). Образующаяся в результате интерференции картина рассматривается в окуляр О (рис 3).

Используемый в настоящее время для бесконтактного определения шероховатости поверхности микроинтерферометр МИИ-4 имеет некоторые недостатки.

1. Интерферометр МИИ-4 не предназначен для контроля оптических волокон, поэтому, в конструкции интерферометра не предусмотрено крепление оптического МС волокна, позволяющее быстро и без особого труда менять образцы волокон.

2. Оператор должен визуально оценить расстояния, геометрические параметры торца МСВ

Для устранения первого недостатка необходима модификация МИИ-4 – разработка соответствующего крепления волокна, с четкой фиксацией торца МС волокна. Последний недостаток решим с помощью создания вышеуказанного программно-аппаратного комплекса, в котором изображение с МИИ-4 будет непосредственно передаваться на ЭВМ для последующей обработки.

На основании проведенного анализа серийного образца МИИ-4 разработаны принципы и средства, позволяющие решать проблему контроля геометрии МС волокна.

Таким образом, аппаратную часть системы контроля геометрических параметров МСВ можно представить в виде схемы (рис. 4)

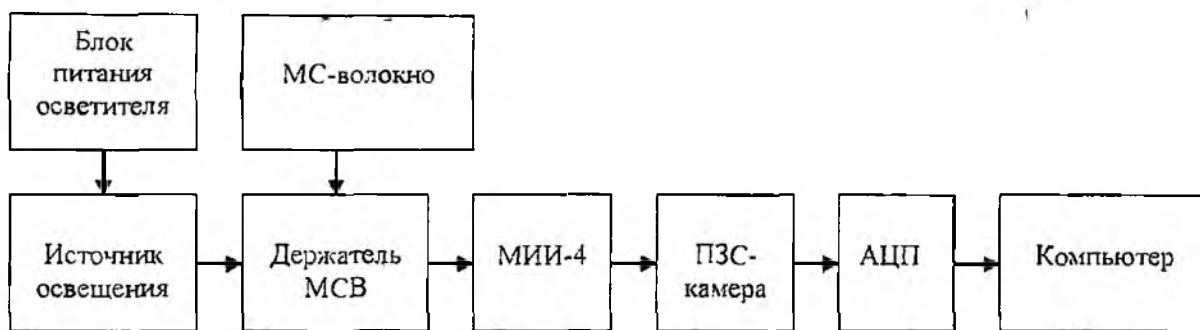


Рис. 4

Таким образом, процесс контроля геометрических параметров торца МСВ должен включать следующие этапы

- подготовка торца ОВ.
- формирование отраженного оптического сигнала при взаимодействии излучения с торцевой поверхностью микроструктурированного волокна;
- запись информации о распределении интенсивности излучения многоэлементным фотоприемником (снимок);
- восстановление изображения (устранение шумов, улучшение контраста и т.п.);
- обработка изображения с целью извлечения информации о геометрических параметрах ОВ;
- математический анализ полученных данных.

В память компьютера изображение с микроскопа вводится с помощью технических средств, включающих в себя видеодатчики (ПЗС матрица). Видеодатчики этого устройства преобразуют оптические распределения яркости изображения в совокупность электрических сигналов, а затем после аналогово-цифрового преобразования формируют массивы цифровых графических данных. Разрешающая способность создаваемого растрового изображения неразрывно связана с разрешением технических средств ввода графики. Ввод изображения в ЭВМ неизбежно связан с дискретизацией изображения по пространственным координатам  $x$  и  $y$  и квантованием значения яркости в каждой дискретной точке. Полученное таким образом изображение будет представлять матрицу чисел

$$I(x, y) = \begin{vmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & \dots & I_{1n} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & \dots & \dots \\ I_{31} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{m1} & \dots & \dots & \dots & I_{mn} \end{vmatrix}$$

где  $I_{mn}$  – значение интенсивности в соответствующей точке рисунка (рис. 5).



Рис 5

Изображение торца МСВ, полученное вышеописанным методом, нуждается в дальнейшей обработке: повышении резкости, контрастности, увеличении/уменьшении яркости, снижении шума. На рис. 6 показано трехмерное изображение распределения интенсивности излучения.

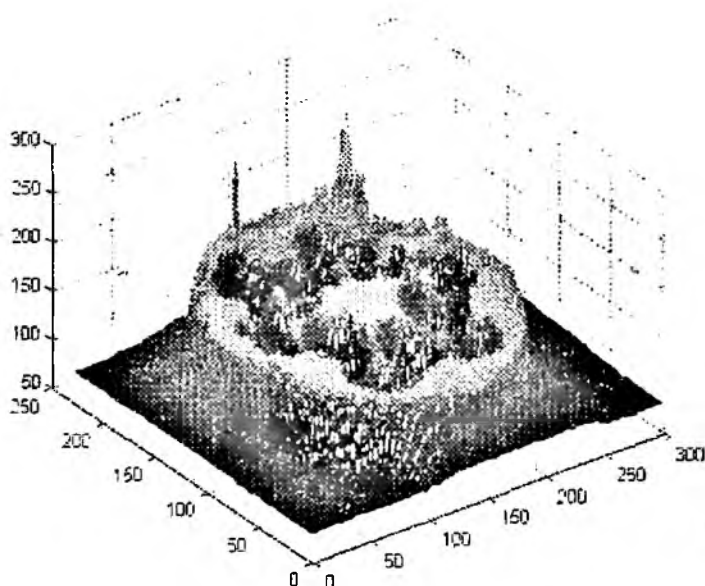


Рис 6

По полученному в ходе измерения изображению необходимо восстановить исходное изображение. Методы восстановления основаны на моделировании процессов искажения и применении обратных процедур для воссоздания исходного изображения.

Оптическое излучение, отраженное от торца оптического волокна, претерпевает некоторые преобразования при прохождении расстояния от объектива к фотоприемнику и подвергается воздействию импульсного и высокочастотного шумов. Кроме того, необходимо учитывать характеристики оптической системы МИИ-4.

### Выводы

Проанализированы существующие методы контроля конструктивно-технологических параметров оптических волокон. В результате сформированы требования к контролю геометрических параметров МС волокон, определены основные этапы, метод и средства контроля. Разработанный метод контроля включает в себя программную и аппаратную части.

Результатом технической части эксперимента является снимок торца МСВ, подлежащий дальнейшей компьютерной обработке. Полученное изображение кроме исходного изображения содержит шумовые составляющие, которые устранимы подбором соответствующего

фильтра. Поэтому дальнейшим этапом разработки метода автоматизированного контроля является создание эффективного математического аппарата обработки экспериментальных данных. Эта задача может быть решена на основе анализа цифрового изображения с применением современных компьютерных средств.

Направление дальнейших исследований связано с созданием математического и программного аппарата обработки экспериментальных данных.

**Список литературы:** 1. Судрикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве: Учеб. пособие Ч1.; ГУАП-СПб., 2007. 137 с. 2. ГОСТ 18353-79 – Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. 3. Лазарев Л.П., Мировицкая С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. М.: Радио и связь, 1988. 280с. 4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 27.10.2008*