

ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М. К. ЯНГЕЛЯ

На правах рукописи

ЗАСЛОНКО ИРИНА КОНСТАНТИНОВНА

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МЕЖМОДОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

01.04.03. -радиофизика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков-1992

7021.33
Работа выполнена в Харьковском ордена Трудового Красного
Знамени институте радиоэлектроники им. академика М. К. Янгеля.

Научный руководитель:

- кандидат технических наук, профессор М. М. Быков.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук Н. В. Замерец;

- доктор технических наук В. И. Карпенко.

Ведущая организация - Научно - исследовательский
институт Точного Машиностроения

Защита состоится " " 1993 г. в часов на заседании
регионального специализированного совета К. 068. 37. 02 при
Харьковском ордена Трудового Красного Знамени институте радио-
электроники им. академика М. К. Янгеля по адресу:

310726, г. Харьков, пр. Ленина, 14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского
института радиоэлектроники.

Автореферат разослан " M " маю 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

В. М. Безрук
В. М. Безрук.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00815150 (K)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Достижения последних лет по созданию оптических волокон с малыми потерями привели к возникновению новой области измерительной техники, основанной на широком применении световодных датчиков, обычно именуемых волоконно-оптическими. Волоконно-оптические датчики (ВОД) обладают рядом ценных качеств: высокой чувствительностью, помехоустойчивостью, малой массой и габаритными размерами, возможностью придавать измерительному волокну самую различную форму.

Широчайшее применение во всех областях измерительной техники находят интерферометрические волоконно-оптические датчики, позволяющие фиксировать изменение фазы колебания с точностью до $\sim 10^{-4}$ рад. На их основе создаются измерители гидроакустического давления, температуры, магнитного поля, скорости вращения, акселерометры и т. д.

Большинство исследований, касающихся разработки интерференционных ВОД, посвящены волоконно-оптическим датчикам на одномодовых волокнах.

Однако одномодовые датчики обладают рядом недостатков. Использование одномодовых волокон для выполнения датчиков вызывает значительные технические трудности при вводе излучения в волокно, диаметр сердцевины которого мал и составляет < 10 мкм.

Требования на изготовление, вставку и установку отдельных компонентов (светоделителей, поляризаторов и т. д.) оказываются трудновыполнимыми. Они могут быть удовлетворены только при переходе к цельноволокнистой конструкции датчиков. Однако

изготовление направленных ответвителей, поляризаторов, фазовых модуляторов и других элементов на основе одномодовых волокон сильно тормозится технологической сложностью их выполнения.

Большое влияние на работоспособность датчиков оказывает изменение состояния поляризации в одномодовом оптическом волокне и оптических элементах, которое происходит при изменении температуры и механических воздействиях. Поэтому для интерференционных датчиков требуются одномодовые оптические волокна, сохраняющие состояние поляризации света. Однако промышленное серийное производство таких одномодовых оптических волокон с постоянными геометрическими и структурными характеристиками пока еще недостаточно освоено.

Поэтому большой интерес вызывает теоретическое и экспериментальное исследование интерференционных датчиков на многомодовых оптических волокнах. Выработка на основе этих исследований принципов построения многомодовых датчиков является важной и актуальной задачей в научном и практическом аспекте.

Цель работы -

исследование процессов, происходящих в датчиках на основе интерферометров Маха-Цендера и Саньяка на многомодовых оптических волокнах, разработка на базе этих исследований принципов построения таких датчиков, а также создание и экспериментальное исследование моделей цельноволоконных корреляционных интерференционных датчиков на многомодовых оптических волокнах.

Научная новизна состоит в следующем:

1. Обоснована связь скорости изменения спекловой интерференционной картины на выходе многомодового световода с его межмодовой дисперсией и предложен новый способ ее определения, позволяющий определять межмодовую дисперсию световодов любой длины.

2. Получено, что изменение спекловой интерференционной картины на выходе интерферометра Маха-Цендера носит квазипериодический характер.

3. Исследовано распространение излучения во вращающейся среде и определены фазовые набег мод в многомодовом интерферометре Саньяка.

4. Определено влияние связи мод на характеристики интерференции в интерферометре Саньяка.

5. Установлен характер влияния нестабильности оптического пути и частоты излучения лазера на изменчивость спекловой интерференционной картины и определены способы ее стабилизации.

6. Обоснована необходимость использования в качестве устройства корреляционной обработки спекловой интерференционной картины динамической амплитудной маски и предложены конкретные варианты ее реализации.

7. Разработаны макеты корреляционных датчиков гидроакустического давления и угловой скорости вращения на многомодовом оптическом волокне.

Новизна работы подтверждена авторским свидетельством N 1462219 "Способ измерения межмодовой дисперсии в многомодовом световоде".

Практическая ценность работы.

Исследование условий формирования спекловой интерференционной картины, причин и характера ее изменения проведено для определения требований к ширине спектра излучения лазера и межмодовой дисперсии многомодового оптического волокна, а также позволило сформулировать основные принципы построения фазовых датчиков на основе многомодовых оптических волокон.

Получены соотношения для фазовой чувствительности многомодовых световодов к различным воздействиям, что позволяет оптимизировать их конструкцию, выбирая материалы сердцевины и оболочки световодов, а также отношение их диаметров с целью получения требуемой чувствительности.

Установление характера влияния нестабильностей параметров окружающей среды и длины волны излучения лазера на изменчивость спекловой интерференционной картины позволяет разработать методы ее стабилизации для любых видов фазовых датчиков физических величин на основе многомодовых волокон.

Предложено производить корреляционную обработку выходной спекловой интерференционной картины и разработан новый тип датчиков на основе интерферометров Маха-Цендера и Саньяка, не уступающих по чувствительности одномодовым датчикам.

На защиту выносятся следующие основные положения

1. Исследование зависимости корреляционной функции интенсивности излучения на выходе интерферометра Маха-Цендера на многомодовом оптическом волокне от изменения давления, температуры и длины волны излучения.
2. Исследование зависимости корреляционной функции интенсивности излучения на выходе многомодового световода от изменения параметров окружающей среды и способ определения межмодовой дисперсии световода по скорости изменения его выходной спекловой картины излучения.
3. Результаты исследования влияния связи мод на суммарную интенсивность излучения и корреляционную функцию интенсивности излучения на выходе интерферометра Саньяка, составившие основу разработки фазового датчика угловой скорости на многомодовом оптическом волокне.

4. Принципы построения и результаты исследования корреляционных интерферометрических датчиков на основе многомодовых оптических волокон.

Реализация результатов исследований

Диссертационная работа является частью плановых исследований, проводившихся в Харьковском институте радиоэлектроники им. М. К. Янгеля, некоторые ее результаты вошли в отчеты по хозяйственным темам.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на научно-технической конференции "Быстродействующие элементы и устройства волоконно-оптических и лазерных информационных систем" г. Севастополь, 1990, и научно-технической конференции "Волоконно-оптические информационные и измерительные устройства и системы" г. Севастополь, 1991.

Публикации

По результатам выполненных в диссертационной работе исследований опубликовано 6 работ.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка использованных источников.

Материалы диссертации изложены на 124 страницах машинописного текста и содержат 23 рисунка, 2 таблицы и библиографию из 100 наименований.

Первый раздел диссертации посвящен аналитическому обзору литературы, содержащей теоретические и экспериментальные исследования вопросов создания фазовых датчиков на основе многомодовых оптических волокон.

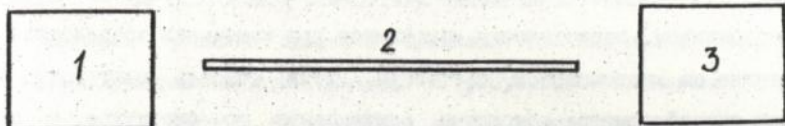
Они привлекательны простотой конструкции, удобством согласования с источниками излучения и доступностью элементной базы.

Как известно из литературных источников, интерференционные датчики строятся по схемам трех типов (Рис1).

- на основе одноволоконного интерферометра.
- на основе двухплечевого интерферометра Маха-Цендера,
- на основе интерферометра Саньяка,

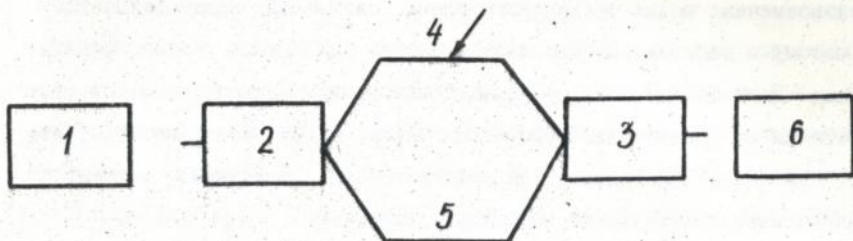
В датчиках на основе одноволоконного интерферометра (Рис 1а), вследствие внешнего воздействия на световод, изменяются разности фаз мод на его выходе. Как следствие, изменяется и картина их интерференции. Если возбудить в таком датчике две или несколько мод, то интенсивность его выходного излучения будет периодически изменяться с изменением внешнего воздействия. Однако период этого изменения будет определяться разностью продольных констант распространения возбуждаемых мод. И чувствительность такого датчика значительно (на два порядка) ниже чувствительности одномодовых датчиков. Действительно, период изменения интенсивности излучения в одномодовых датчиках определяется продольной константой распространения одной моды, которая значительно больше разности констант.

Датчик на основе двухплечевого интерферометра Маха-Цендера представлен на рис.1б. Непрерывное излучение лазера 1 делится направленным ответвителем 2 в отношении 1:1 на два потока, распространяющихся по опорному 4 и сигнальному 5 плечам интерферометра. Затем, по прохождении направленного ответвителя 3 они интерферируют. Интенсивность результирующего излучения регистрируется фотоприемником 6. Воздействие на сигнальное плечо приводит к изменению оптического пути распространения излучения. Разности фаз мод, распространяющихся по различным плечам интерферометра изменяются. В случае выполнения датчика на



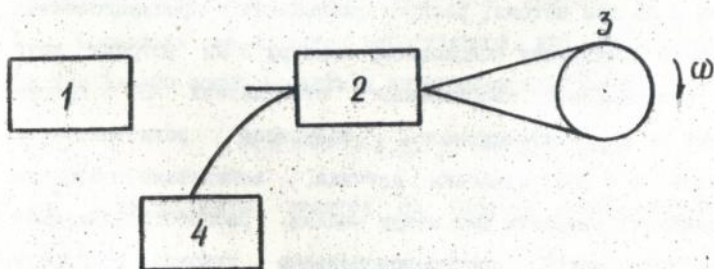
а)

1 - лазер, 2 - многомодовый световод, 3 - фотоприемник.



б)

1 - лазер, 2, 3 - направленные ответвители, 4, 5 - сигнальное и опорное плечи интерферометра, 6 - фотоприемник.



в)

1 - лазер, 2 - направленный ответвитель, 3 - катушка с волокном, 4 - фотоприемник.

Рис.1. Схемы датчиков на основе интерферометров а) одноволоконного, б) Мача - Цендера, в) Саньяка.

одномодовом волокне интенсивность излучения, регистрируемого фотоприемником, периодически изменяется при изменении воздействия. В датчике на многомодовом световоде, если считать световоды в плечах интерферометра абсолютно одинаковыми по структуре и по длине (с точностью до долей микрона), можно получить, что суммарная интенсивность излучения на его выходе тоже периодически изменяется. Это происходит пока разности фаз, возникающие в разноименных модах сигнального плеча световода мало отличаются. Поэтому в работах, посвященных датчикам на основе интерферометра Маха-Цендера на многомодовых световодах заимствованы схемные решения из области одномодовых датчиков. В них предлагается судить о величине внешнего воздействия по изменению суммарной интенсивности излучения на выходе датчика.

Это изменение в реальных датчиках слабо проявляется, вследствие различия фазовых скоростей мод, особенно при неравенстве длин плеч интерферометра и наличии неоднородностей.

В датчиках на основе интерферометра Саньяка (рис.1в) излучение лазера 1 делится в отношении 1:1 направленным ответвителем 2 на два потока, распространяющихся в противоположных направлениях по замкнутому волоконному контуру 3 на встречу друг другу. По прохождении направленного ответвителя 2, потоки интерферируют и интенсивность излучения регистрируется фотоприемником 4. При вращении датчика, вследствие эффекта Саньяка, возникает разности фаз между модами, распространяющимися на встречу друг другу, пропорциональные угловой скорости вращения. В одномодовом датчике Саньяка интенсивность излучения периодически изменяется с изменением скорости вращения.

Теоретического исследования фазовых сдвигов в модах световода, вызванных его вращением не производилось. В известных из литературы исследованиях конструкция датчиков Саньяка на

многомодовых световодах аналогична одномодовым. Предложено судить о величине угловой скорости вращения по изменению выходной суммарной интенсивности. Однако, в результате экспериментальных исследований авторам не удалось получить высокой чувствительности таких датчиков.

Таким образом, предложенные в настоящее время датчики на многомодовых волокнах не могут конкурировать с одномодовыми по чувствительности.

Спекловая картина на выходе интерферометра является следствием интерференции множества мод, распространяющихся в нем. Обозначим $u(x, y, F_0)$ двумерное распределение интенсивности излучения в спекловой картине, где F_0 характеризует некоторое начальное значение измеряемого внешнего воздействия. Изменение этого воздействия приводит к изменению разностей фаз мод в интерферометре. В результате происходит изменение выходной спекловой интерференционной картины датчика: спеклы сдвигаются, изменяют свои размеры и конфигурацию. Для измерения величины изменения внешнего воздействия достаточно зарегистрировать изменение спекловой интерференционной картины.

Поскольку она является нерегулярной, для определения изменений в ней удобно воспользоваться интегралом корреляции

$$K(\Delta F) = \iint u(x, y, F_0) u(x, y, F) dx dy,$$

где интегрирование ведется по площади всей интерференционной картины.

Таким образом, в диссертационной работе предлагается судить о величине внешнего воздействия на интерферометр по изменению его выходной спекловой картины излучения.

Ставится задача разработки принципов построения корреляционных интерференционных датчиков на многомодовом оптическом волокне,

не уступающих по чувствительности одномодовым. Для решения этой задачи необходимо:

1. Определить изменение фазы i -ой моды световода, вызванное воздействием на него изменения температуры и давления.
2. Определить фазовые сдвиги в каждой из мод многомодового световода вызванного его вращением.
3. Исследовать зависимость суммарной интенсивности излучения и корреляционной функции интенсивности излучения на выходе датчиков всех типов от изменения давления, температуры и угловой скорости вращения.
4. Исследовать факторы, влияющие на стабильность спекловой картины на выходе интерференционных датчиков.
5. Собрать макеты датчиков, основанных на предложенном принципе и провести их экспериментальное исследование.

Во втором разделе исследованы условия возникновения спекловой картины излучения на выходе многомодового оптического волокна. Определена фазовая чувствительность волокна к изменению температуры и давления, а также зависимость характера изменения спекловой интерференционной картины от параметров многомодового световода.

В предложенном методе необходимо, чтобы на выходе многомодового световода наблюдалась спекловая интерференционная картина. Это налагает определенные ограничения на ширину спектра источников излучения, применяемых в датчиках. Была найдена зависимость контраста интерференции от ширины спектра излучения лазера и показано, что для наблюдения спеклов на выходе многомодового световода длиной z и числовой апертурой NA длина когерентности излучения источника должна удовлетворять условию:

$$l_{\text{ког}} \geq n_1 (NA)^2 z / 3.$$

В интерферометрах важно знать фазовую чувствительность световода к различным воздействиям. Однако последовательная теория фазовой чувствительности многомодовых световодов не разработана. Обычно для определения изменения их фаз используют результаты, полученные для фазовой чувствительности одномодовых волокон. Иногда их корректируют, вводя экспериментально полученные поправки. Поэтому важно было исследовать зависимость изменения фазы i -ой моды многомодового световода от изменения температуры и давления, действующих на него.

В результате получено, что изменение фазы i -ой моды, вызванное некоторым внешним воздействием ΔF (здесь температура ΔT или давление ΔP), определяется формулой:

$$\Delta\varphi_i = \beta_i A_F z \Delta F, \quad (1)$$

где A_F - коэффициент, отражающий природу физического воздействия, зависящий от коэффициентов Пуассона и модулей Юнга материалов сердцевин и оболочки и одинаковый для всех мод световода.

На основе решения системы уравнений для напряжений, деформаций и смещений внутри двухслойной цилиндрической структуры определены зависимости A_T и A_P от отношения диаметров сердцевин и оболочки световодов при различных значениях модулей Юнга и Пуассона их материалов.

$$\frac{\Delta\varphi_i}{A_i z} = \left(1 - \frac{n^2}{2} [p_{12} - \nu_1 (p_{11} + p_{22})]\right) \frac{2E P}{E_1} \frac{L + Hb}{M + Kb^2 + Gb},$$

где $b = (w^2 / a^2)$,

$$L = \nu_2 (2\nu_1^2 + E\nu_2 - \nu_1 + E + 1) + 2\nu_2 \nu_1^2,$$

$$H = \nu_2 \nu_1 - \nu_2 - 4\nu_1^2 \nu_2 - \nu_2^2 E - \nu_2 E + 4\nu_2^2 \nu_1 E + 2E\nu_1,$$

$$M = 2\nu_1^2 + E\nu_2 - \nu_1 + E + 1,$$

$$K = 2(E\nu_2 - \nu_1)^2 + (E-1)^2 - (E-1)(E\nu_2 - \nu_1),$$

$$G = 2\nu_1 \nu_2 E - 2\nu_1^2 - E\nu_1 - 2\nu_2 E + 2\nu_1 + E^2 + E + \nu_2^2 E^2 - 2.$$

$$\frac{\Delta \Psi_i}{\beta_i \bar{x}} = \left\{ 1 + \frac{n^2}{\bar{x}^2} [p_{1,2} - \nu_1 (p_{1,1} + p_{1,2})] \right\} [(\alpha_2 - \alpha_1) F + \alpha_1] + \frac{1}{n_1} \left[\frac{\partial n_1}{\partial T} \right] \Delta T,$$

$$\text{где } F = \frac{Vb^2 + Jb + Y}{Rb^2 + Db + Y},$$

$$V = 1 - \nu_1 + 2\nu_1^2 - E(1 + \nu_2 - 2\nu_1 + 2\nu_1 \nu_2),$$

$$J = E(\nu_2 - 2\nu_1 + 2\nu_1 \nu_2) - 2(1 - \nu_2 - 2\nu_1^2),$$

$$Y = 1 - \nu_1 + 2\nu_1^2 + E,$$

$$R = E^2(1 - \nu_2 + 2\nu_2^2) - E(2 - \nu_1 - \nu_2 + 4\nu_1 \nu_2) + 1 - \nu_1 + 2\nu_1^2,$$

$$D = E^2 - 2(1 - \nu_1 + 2\nu_1^2) + E(1 - \nu_1 - \nu_2 + 4\nu_1 \nu_2),$$

$$b = (w^2 / a^2), \quad E = E_1 / E_2.$$

Здесь $p_{1,2}$, $p_{1,1}$ - коэффициенты Пококельса, ν - отношение Пуассона, E , E - модули Юнга сердцевин и оболочек.

Анализ этих зависимостей показал, что фазовая чувствительность к давлению световодов, у которых модуль Юнга материала оболочки меньше, чем материала сердцевин, выше и растет с увеличением диаметра оболочки.

Фазовая чувствительность к изменению температуры может принимать как положительное, так нулевое и отрицательное значения, если подбирать соответствующим образом состав стекол для световодов и отношение диаметров сердцевин и оболочек.

Полученные результаты могут быть полезны при проектировании конструкции многомодовых световодов с оптимальной чувствительностью к определенным физическим воздействиям.

В формуле (1) коэффициент A_F одинаков для всех мод световода. Поэтому, поскольку коэффициенты продольного распространения мод β_1 мало отличаются по величине друг от друга: $(\beta_1 - \beta_k) / \beta_1 \ll 1$. И при изменении внешнего воздействия от нуля фазы мод изменяются почти синфазно. Следовательно, происходит слабое изменение распределения интенсивности на выходе световода по сравнению с первоначальным (при $\Delta F = 0$). При дальнейшем увеличении внешнего воздействия синфазность изменения разности фаз мод постепенно нарушается и распределение интенсивности становится некоррелированным первоначальному.

Таким образом, по изменению распределения интенсивности в спекловой интерференционной картине на выходе многомодового световода можно судить о величине внешнего воздействия, пока оно не приведет к хаотичному изменению разностей фаз мод.

Было обнаружено, что скорость изменения распределения несет информацию о межмодовой дисперсии многомодового световода и предложен новый способ ее определения, позволяющий без разрушения световода определять межмодовую дисперсию световодов любой длины.

В третьем разделе рассмотрены основные характеристики интерферометров Маха-Цендера и Саньяка на многомодовых волокнах - наиболее распространенных чувствительных элементов интерференционных датчиков.

Анализ процессов, происходящих в них проведен на основе модели плоского диэлектрического световода. Правомерность такого подхода подтверждается довольно точным совпадением экспериментальных и теоретических результатов. Принято, что фаза i -ой моды носит случайный характер и определяется выражением:

$$\Phi_i = \beta_1 z + \varphi_i$$

где z - длина световода, β_1 - продольная постоянная распро-

странения i -ой моды световода, φ_i - случайная фаза i -ой моды.

Неопределенность фазы φ_i обусловлена процессами связи мод из-за случайных изгибов и неоднородностей в многомодовом световоде. Поэтому в модели принято, что случайная фаза φ_i равномерно распределена на интервале $[-\pi, \pi]$, φ_i не зависит от φ_m для всех $i \neq m$.

Изменение внешнего воздействия на световод приводит к изменению фаз мод и интерференционная картина на выходе интерферометра изменяется.

Происходит сдвиг спеклов, изменение их размеров, перераспределение энергии между спеклами. Было получено, что суммарная интенсивность излучения на выходе интерферометра практически не изменяется.

Предлагается судить о величине внешнего воздействия по изменению спекл-структуры выходного излучения интерферометра. Его можно охарактеризовать корреляционной функцией интенсивности излучения (КФИИ).

$$K(\Delta F) = \langle I(x, F) I(x, F + \Delta F) \rangle,$$

где F - параметр, характеризующий внешнее воздействие,

$I(x, F)$ - одномерное распределение интенсивности по торцу световода.

Впервые получено, что зависимость КФИИ от изменения давления на выходе интерферометра Маха-Цендера имеет вид:

$$K(\Delta P) = \frac{(1 + 2\cos(kn_1 A \Delta P))}{4(2N+1)^2} \sum_{i=-N}^N \sum_{m=-N}^N \exp \left[j \frac{\pi^2 (i^2 - m^2) A \Delta P}{2W^2 kn_1} \right],$$

где ΔP - изменение давления, A - коэффициент, характеризующий чувствительность световода к давлению, W - диаметр сердцевины световода, k - волновое число, n - показатель преломления сердцевины.

световода.

Таким образом, корреляционная функция интенсивности излучения на выходе интерферометра промодулирована гармонической функцией, аргументом которой является разность фаз волн, прошедших по разным плечам интерферометра. Это обусловлено малостью разностей констант распространения по сравнению с самими константами. То есть зависимость КФИИ на выходе интерферометра на многомодовом световоде от изменения давления аналогична зависимости интенсивности излучения на выходе интерферометра на одномодовом световоде.

В интерферометре Саньяка разности фаз мод, возникающие вследствие его вращения равны. Однако при наличии связи мод на неоднородностях волокна и в направленном ответвителе происходит обмен энергией между модами. Это приводит к изменению не только амплитуд, но и фаз мод, которое следует учитывать при определении суммарной интенсивности и корреляционной функции интенсивности излучения на выходе интерферометра.

Амплитуда и фаза i -ой моды были найдены из системы уравнений для связанных электромагнитных волн.

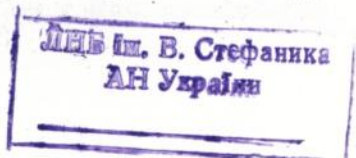
$$\frac{\partial E}{\partial z^2} = j\beta_1 E_1 - j\kappa E_2$$

$$\frac{\partial E}{\partial z^2} = j\beta_1 E_1 - j\kappa (E_{i+1} + E_{i-1})$$

$$\frac{\partial E}{\partial z^2} = j\beta_1 E_N - j\kappa E_{N-1}$$

где N - число всех мод, распространяющихся по световоду,
 κ - коэффициент связи (при моделировании взят $\kappa \approx 0,002/\lambda$).

Введенное слагаемое с $j\kappa$ учитывает приток энергии в i -ую моду



из соседних.

В результате расчета суммарной интенсивности излучения и КФИИ впервые получено, что первая характеристика остается практически постоянной, а вторая периодически изменяется при изменении скорости вращения. Причем период изменения равен периоду изменения интенсивности на выходе интерферометра Саньяка на одномодовом световоде.

Таким образом, различие фазовых скоростей мод и связь мод приводит к неизменности суммарной интенсивности излучения на выходе интерферометров. Изменяется только интерференционная функция интенсивности излучения. Следовательно необходимо производить корреляционную обработку спекловой интерференционной картины излучения на выходе интерферометра. Тогда датчики на многомодовом волокне будут обладать чувствительностью, не уступающей чувствительности одномодовых.

С этой целью предлагается формировать перед фотоприемником амплитудную маску, прозрачные области которой соответствуют ярким спеклам в интерференционной картине. Рис2.

Четвертый раздел посвящен изучению причин нестабильности интерференционных датчиков на многомодовых волокнах и определены способы их компенсации.

Спекловая интерференционная картина на выходе датчика на многомодовом световоде нестабильна. Случайное изменение во времени множества физических параметров, влияющих на фазы мод световода, приводит к медленному изменению распределения интенсивности излучения.

Оно перестает соответствовать амплитудной маске при отсутствии воздействия.

К дрейфу нуля интерференционного датчика приводит нестабильность длины волны излучения, изменение оптического пути

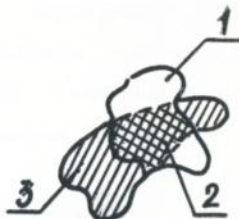


Рис.2.

Амплитудная маска. 1 - прозрачная область амплитудной маски, 2 - часть яркого спекла, попадающего в прозрачную область, 3 - часть яркого спекла, непадающего в непрозрачную область амплитудной маски.

распространения мод.

В результате исследования влияния этих факторов на дрейф нуля датчиков определены требования к стабильности частоты излучения лазера для датчиков на основе интерферометров Саньяка и Маха-Цендера, а так же к стабильности внешнего давления и температуры окружающей среды.

Получено, что стабильность спекловой интерференционной картины на выходе датчиков значительно возрастет, если интерферометр выполнять на градиентных оптических волокнах.

Показано, что основной вклад в дрейф нуля датчика вносит нестабильность температуры. Поэтому желательно оптимизировать конструкцию световода, используемого в интерферометре, подбирая материалы для сердцевины и оболочки световодов и отношения их диаметров так, чтобы фазовая чувствительность к температуре стремилась к нулю.

Обоснована необходимость обновления амплитудной маски в процессе измерения, то есть амплитудная маска, применяемая в многомодовых корреляционных фазовых датчиках, должна быть динамической.

В разделе 5 проведено экспериментальное исследование предложенных корреляционных интерферометрических многомодовых датчиков.

Для этого разработано устройство корреляционной обработки спекл-структур, позволяющая определять корреляционную функцию интенсивности излучения на выходе датчика и визуально наблюдать за изменениями в спекловой интерференционной картине. Рис 3. При этом спекловая интерференционная картина с выхода интерферометра проецируется на мишень видикона телевизионной камеры 1. Телевизионный сигнал с камеры 1 после прохождения порогового устройства 2, где происходит бинарное квантование по уровню,

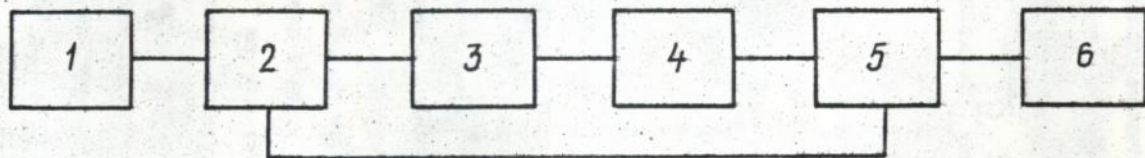


Рис.3

Устройство корреляционной обработки спекла-структур излучения: 1 - камера, 2 - пороговое устройство, 3 - адресно-коммутирующая схема, 4 - запоминающее устройство, 5 - полусумматор, 6 - интегратор.

поступает на вход адресно-коммутирующей схемы 3. В режиме записи этот сигнал запоминается оперативным запоминающим устройством ЗУ, емкостью 128 кБит. Таким образом, в ЗУ формируется массив, соответствующий начальному распределению спеклов в интерференционной картине. В режиме считывания ЗУ выдает информации поэлементно на схему совпадения 5, на второй вход которой поступает бинарный сигнал непосредственно с порогового устройства 2. Завершается обработка сигнала аналоговым интегрированием с помощью устройства 6.

Экспериментально исследована чувствительность различных многомодовых волокон к изменению параметров окружающей среды. Получено, что спекловая картина на выходе градиентного световода значительно стабильнее, чем ступенчатого.

Проведено экспериментальное исследование корреляционных датчиков на многомодовом оптическом волокне на основе одноплечевого интерферометра, интерферометра Маха-Цендера, и интерферометра Саньяка (гироскопа). Получены зависимости КФИИ от изменения растягивающего усилия на выходе первых двух и от угловой скорости вращения на выходе интерферометра Саньяка.

Разработана конструкция гидрофона, датчика гидроакустического сигнала. Чувствительным элементом гидрофона является двухплечевой интерферометр Маха-Цендера с длиной плеч 400 м, выполненный на градиентном световоде. Конструктивно он представляет собой цилиндрическую полу коробку с крышкой, имеющей отверстия для вывода входного и выходного концов интерферометра. (Рис 4) Световод сигнального плеча уложен концентрическими кольцами на внешней стороне дна цилиндрической коробки и приклеен, световод опорного плеча и ответвители находятся внутри коробки и тоже приклеены. С этой целью использовался резиновый клей, который не вызывает возникновения напряжений в световоде. Входной и выходной концы

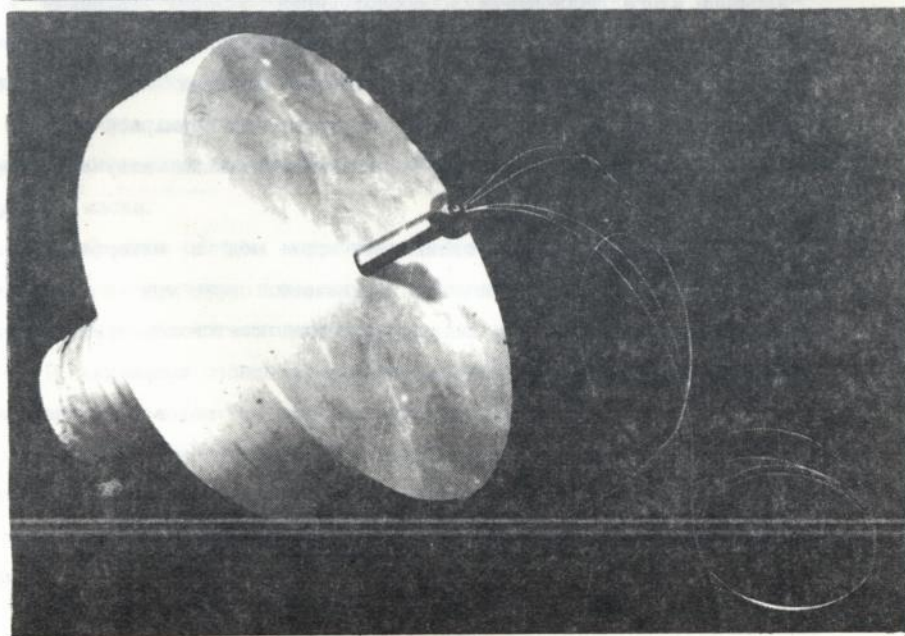
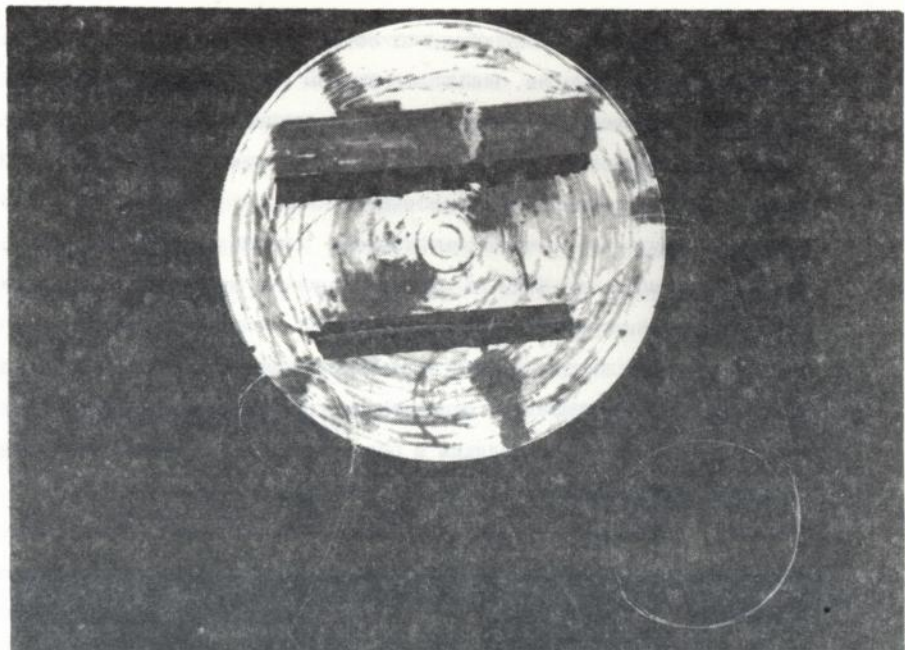


Рис. 4. Волоконно-оптический гидрофон.

интерферометра были изолированы от соприкосновения с водой, чтобы понижение ее уровня не вызывало изгибы волокна, приводящие к изменению спекловой интерференционной картины. Корреляционная обработка спекловой выходной картины датчика производилась с помощью фотоэлектрохромной пластинки.

В результате экспериментальных исследований гидрофона получена зависимость КФИ на его выходе от изменения давления, вызванного понижением уровня воды.

Результаты экспериментов хорошо согласуются с теоретическими выводами, что подтверждает адекватность предложенной теоретической модели процессам, происходящим в реальных датчиках на многомодовых оптических волокнах.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, имеющие научную новизну и практическую значимость:

1. В итоге теоретических исследований фазовых датчиков на многомодовых оптических волокнах на основе одноплечевого интерферометра, интерферометров Маха-Цендера и Саньяка в качестве чувствительных элементов получены выражения для суммарной интенсивности и корреляционной функции интенсивности излучения на выходе таких датчиков.

2. Показано, что хотя сдвиги фаз всех мод в интерферометре Саньяка на многомодовом световоде одинаковы, связь мод в направленном ответвителе и на неоднородностях световода приводит к постоянству суммарной интенсивности его выходного излучения.

3. Предложен новый способ определения межмодовой дисперсии многомодового световода.

4. Показано, что заимствование технических решений из области одномодовых датчиков не является перспективным, поскольку суммарная интенсивность выходного излучения датчиков на многомодовых

световодах практически (с точностью 2%) не зависит от изменения внешнего воздействия. Экспериментально подтверждается, что наблюдение за одним спеклом или частью интерференционной картины приводит не только к потерям значительной части энергии излучения, но и к нестабильности характеристик интерференции.

5. Предложено судить о величине внешнего воздействия на интерференционный датчик на многомодовом световоде по изменению его выходной спекловой интерференционной картины и разработан новый тип датчиков на многомодовых оптических волокнах - корреляционный. Показано, что он не уступает одномодовым датчикам по чувствительности.

6. Разработаны конкретные схемные решения корреляционных датчиков гидроакустического давления и угловой скорости вращения на многомодовых световодах, созданы макеты и проведено их экспериментальные исследования.

7. Рассмотрены основные источники нестабильностей, приводящие к дрейфу нуля датчиков на основе многомодовых световодов, определены требования к стабильности длины волны излучения лазера и температуры окружающей среды и предложены способы их компенсации. Обоснована необходимость применения динамической амплитудной маски.

8. Создана система корреляционной обработки излучения, имеющего спекл-структуру, позволяющая наблюдать изменения в распределении интенсивности выходного излучения.

9. Показано, что предложенные корреляционные интерференционные датчики на основе многомодовых оптических волокон не уступают по чувствительности одномодовым датчикам и имеют по сравнению с ними следующие преимущества:

а) освоенность в серийном производстве многомодовых волокон, простота изготовления сварных направленных ответвителей и ввода

излучения в многомодовый световод с высокой эффективностью позволяет создать цельноволокнистую конструкцию датчиков, что позволит им работать в условиях вибраций и перепада температур.

б) не возникает проблем (фидинг и т.п.), связанных с несохранением состояния поляризации свойственных датчикам на одномодовых оптических волокнах.

По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, список которых приведен ниже.

1. Быков М.М., Горшков Б.Г., Заслонко И.К., Кошута С.М. Квази-периоидический характер интерференционных картин в двухплечевом интерферометре на многомодовых световодах. // Квант. электр., 1989, N 1, с.108.

2. Боднар В.В., Быков М.М., Заслонко И.К. Метод температурной стабилизации волоконно-оптического интерферометрического датчика давления. // Научно-техническая конференция "Быстродействующие элементы и устройства волоконно-оптических и лазерных информационных систем. г.Севастополь, 3-5 мая 1990,Сб. тез. докл. СФ РДНТП с.88.

3. А.с. N 1462219 Способ измерения межмодовой дисперсии в многомодовом световоде. Быков М.М., Горшков Б.Г., Заслонко И.К.

4. Боднар В.В., Быков М.М., Заслонко И.К. Волоконно-оптический корреляционный датчик давления на многомодовом световоде. // Научно-техническая конференция "Быстродействующие элементы и устройства волоконно-оптических и лазерных информационных систем. г.Севастополь, 3-5 мая 1990,Сб. тез. докл. СФ РДНТП с.88.

5. Быков М.М., Горшков Б.Г., Заслонко И.К. Исследование корреляционного волоконно-оптического кольцевого интерферометра на многомодовом световоде. // Изв. Вузов, Радиофизика, 1991, N 5, с.602.

Подп. к печ. 0325-25 Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10
Уч.-изд. л. 10 Тираж 100 экз. Зак. № 448 Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.

465668

AB 27.554