

поляризованный световой пучок пропускается через систему из двух положительных линз 3 и 4, составляющих телескоп. Между ними размещается коническая линза (аксикон) 5, формирующая бесселев световой пучок, проходящий через двусный кристалл 6, ось X которого лежит в плоскости оптических осей (бинормалей) двусного кристалла и перпендикулярна той бинормали, вдоль которой ориентирован кристалл. Ось Y кристалла перпендикулярна оси X кристалла и перпендикулярна плоскости оптических осей (бинормалей) кристалла. Ориентация осей X и Y кристалла однозначно задается при его изготовлении. Как правило, боковые грани кристалла, ориентированного вдоль бинормали, попарно параллельны соответственно оси X и оси Y, однако могут быть ориентированы и по-другому, что не повлияет на выполнение назначения описываемого устройства. Достаточно, чтобы входная и выходная грани кристалла были перпендикулярны одной из двух бинормалей (оптических осей) двусного кристалла, а входящий в кристалл свет мог быть линейно поляризован как в плоскости, параллельной оси X, так и в плоскости, параллельной оси Y. Если плоскость колебаний напряженности электрического поля входного пучка параллельна оси X кристалла, на выходе из кристалла получают радиально поляризованный конический световой пучок, если плоскость колебаний напряженности электрического поля входящего светового пучка параллельна оси Y кристалла, на выходе получают азимутально поляризованный конический световой пучок. С помощью положительной сферической линзы 7 конический пучок можно преобразовать в фокусной плоскости линзы в кольцевое поле, поляризацию которого удобно контролировать с помощью поляризатора-анализатора 8 и CCD-камеры 9, сопряженной с компьютером 10.

Плавное изменение угла конусности конического пучка достигается перемещением аксикона 5 внутри телескопа с помощью электромеханического узла, состоящего из механического транслятора 11, моторизованного актуатора 12 модели Z825B (производства «Thorlabs», США) и контроллера двигателя 13, сопряженного с компьютером 10. Наличие данного электромеханического узла позволяет механизировать процесс подстройки угла конусности пучка, исключив грубые касания, искажающие оптическую схему.

Устройство может быть использовано для осуществления нелинейно-частотных преобразований лазерного излучения, для управления микро- и наночастицами, высоко разрешающей микроскопии, в системах обработки и передачи оптической информации, для неразрушающего оптического контроля качества цилиндрических и конических поверхностей, а также для прецизионной лазерной обработки материалов, в том числе металлов.

1. Yuichi Kozawa and Shunichi Sato. Generation of a radially polarized laser beam by use of a conical Brewster prism. November 15 / Optics Letters. – Vol. 30. – No. 22. – 2005. P. 3063-3065.
2. Kazuhiro Yonezawa, Yuichi Kozawa, and Shunichi Sato. Generation of a radially polarized laser beam by use of the birefringence of a c-cut Nd:YVO4 crystal. July 15, 2006 / Vol. 31, No. 14 / Optics Letters, P. 2151-2153.
3. Khilo, N.A. A high-efficient method for generating radially and azimuthally polarized Bessel beams using biaxial crystals / N.A. Khilo, T.S.M. Al-Saud, S.H. Al-Khowaiter, M.K. Al-Muhanna, S.V. Solonevich, N.S. Kazak, A.A. Ryzhevich // Optics Communications. – 2012. – Vol. 285, № 24. – P. 4807-4810.

УДК 621.372.826

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ВЕКТОРНЫЙ ДАТЧИК ДЕФОРМАЦИЙ

Рябцев В.Н.¹, Гончаренко И.А.¹, Конойко А.И.², Ильюшонок А.В.¹

¹Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Для осуществления мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений предлагается оптический датчик на основе волоконно-оптических интерферометров. Датчик позволяет измерять как величину, так и направление и локализацию изгибов и напряжений исследуемых конструкций. Внедрив волоконно-оптические сенсоры в структуру сооружений, можно отслеживать изменение их состояния в

течение времени, собирая на центральном пункте слежения большое число непрерывных измерений. Использование оптических волокон в качестве чувствительных элементов позволяет создавать измерительные системы, обладающие малыми габаритами и весом; высокой механической прочностью; стойкостью к повышенным температурам, вибрациям и другим воздействиям окружающей среды; высокой скоростью

передачи данных и др. Датчики можно устанавливать непосредственно заделкой в бетон или на поверхности исследуемой конструкции при ее изготовлении или монтаже не нарушая график проведения строительных и эксплуатационных работ.

Структурная схема интерферометрического датчика представлена на рисунке 1. Датчик содержит первый 1 и второй 2 источники излучения, излучающие соответственно на длинах волн λ_1 и λ_2 , Y-образный волоконно-оптический разветвитель 3, оптически связанный с первым 1 и вторым 2 источниками излучения, первое

подводящее оптическое волокно 4, оптически связанное с Y-образным волоконно-оптическим разветвителем 3, первый X-образный волоконно-оптический разветвитель 5, оптически связанный с первым подводящим оптическим волокном 4, опорное оптическое волокно 6, оптически связанное с первым X-образным волоконно-оптическим разветвителем 5, первый Y-образный волоконно-оптический разветвитель с разделением по длинам волн 7, первое 8 и второе 9 измерительные оптические волокна, оптически связанные через первый Y-образный волоконно-оптический разветвитель с

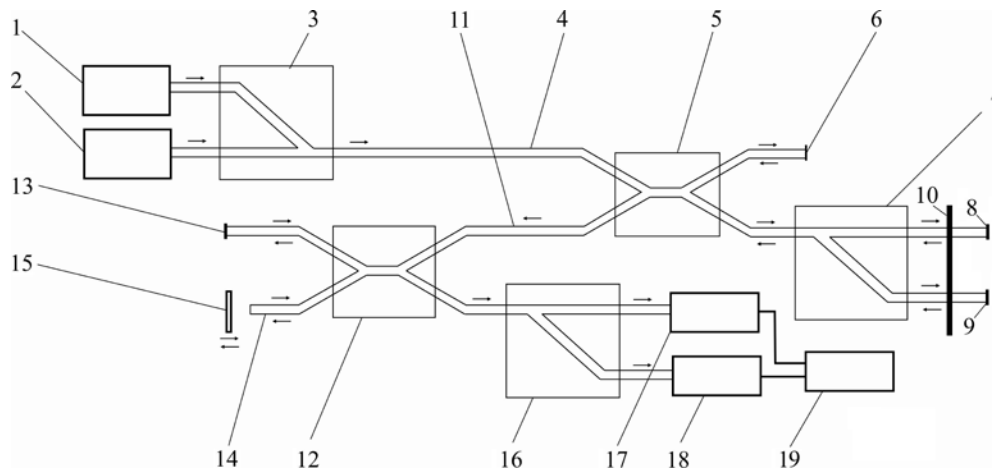


Рисунок 1 – Структурная схема волоконно-оптического интерферометрического датчика

разделением по длинам волн 7 с первым X-образным волоконно-оптическим разветвителем 5, а механически жестко соединены через соединительный стержень 10 с измеряемым объектом, второе подводящее оптическое волокно 11, оптически связанное с первым X-образным волоконно-оптическим разветвителем 5, второй X-образный волоконно-оптический разветвитель 12, оптически связанный со вторым подводящим оптическим волокном 11, первое эталонное оптическое волокно 13, оптически связанное со вторым X-образным волоконно-оптическим разветвителем 12, последовательно оптически связанные второе эталонное оптическое волокно 14 и регулируемая линия задержки 15, оптически связанные со вторым X-образным волоконно-оптическим разветвителем 12, второй Y-образный волоконно-оптический разветвитель с разделением по длинам волн 16, первый 17 и второй 18 фотодетекторы, оптически связанные через второй Y-образный волоконно-оптический разветвитель с разделением по длинам волн 16 со вторым X-образным волоконно-оптическим разветвителем 12, и электрически с блоком обработки сигналов 19. Регулируемая линия задержки 15 выполнена в виде подвижного зеркала на пьезоэлектрическом или механическом приводе.

В режиме измерения деформация измеряемого объекта через соединительный стержень 10 передается на первое 8 и второе 9 измерительные оптические волокна и вызывает их изгиб, как показано на рисунке 2. Радиусы изгибов R_1 и R_2 первого 8 и второго 9 измерительных оптических волокон и, следовательно, величина их деформации и изменения в них оптического пути для излучения с длиной волны λ_1 и λ_2 будут отличаться в зависимости от направления изгиба. Поэтому фазовые характеристики световых потоков, идущих в обратном направлении от первого 8 и второго измерительного оптического волокна, через первый Y-образный волоконно-оптический разветвитель с разделением по длинам волн 7 к первому X-образному волоконно-оптическому разветвителю 5 изменятся на соответствующие величины. Регулируемая линия задержки 15 с помощью перемещения зеркала меняет оптическую длину второго эталонного оптического волокна 14. Оптические потоки отражаются от зеркального покрытия торца первого эталонного оптического волокна 13 и от регулируемой линии задержки 15, оптически связанной со вторым эталонным оптическим волокном 14 и поступают обратно во второй X-образный волоконно-оптический разветвитель 12,

где и интерферируют. Таким образом, во втором X-образном волоконно-оптическом разветвителе получаем два интерференционных сигнала на разных длинах волн. Эти сигналы разделяются по длинам волн во втором Y-образном волоконно-оптическом разветвителе с разделением по длинам волн 16 и сигналы на отдельных длинах волн поступают на первый 17 и второй 18 фотодетекторы. Электрические сигналы с фотодетекторов, пропорциональные амплитудам световых сигналов поступают в блок обработки сигналов 19. Регистрируемый на каждом фотодетекторе сигнал является огибающей суммарной интерференционной картины и зависит от величины оптического пути световых потоков в первом 8 и втором 9 измерительных оптических волокнах. Сигнал на каждой длине волны представляет собой три пика интенсивности. Центральный пик соответствует случаю, когда оптические пути в первом 13 и втором 14 эталонном оптическом волокне равны. Боковые пики соответствуют случаю, когда оптическая разность хода световых потоков в первом 13 и втором 14 эталонном оптическом волокнах совпадает с оптической разностью хода световых потоков в опорном оптическом волокне 6 и в первом 8, либо втором 9 измерительном оптическом волокне для каждой из длин волн. Таким образом, для излучения с одной длиной волны расстояние между центральным и одним из боковых пиков соответствует величине оптической разности хода в опорном 6 и соответствующем первом 8 или втором 9 измерительных оптических волокнах. Таким образом, изменение расстояния между центральным и одним из боковых пиков соответствует величине абсолютной деформации измерительного волокна. Радиусы изгибов первого и второго измерительных волокон и, следо-

вательно, величина их деформации будут отличаться в зависимости от направления изгиба. Поэтому расстояние между центральным и одним из боковых пиков на одной длине волны будет отличаться от расстояния между центральным и боковым пиками на другой длине волны. Сравнение расстояний между пиками на разных длинах волн позволяет определить, какое из измерительных волокон имеет больший радиус изгиба (подверглось большей деформации), т.е. определить направление деформации объекта. Усреднение расстояний между центральными и боковыми пиками на двух длинах волн позволяет измерять величину деформации объекта с повышенной точностью.

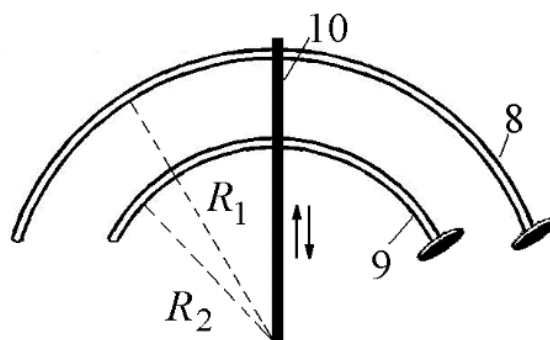


Рисунок 2 – Передача деформации измеряемого объекта на измерительные волокна

1. Inaudi D. Low-coherence deformation sensors for the monitoring of civil-engineering structures / D. Inaudi, A. Elamari, L. Pflug, N. Gisin, J. Drequet, S. Vurlillot // Sensors and Actuators. – 1994. – Vol. 44. – P. 125-130.

УДК 681

ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ В ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ ПЛОВЦОВ

Савелов И.Н., Григорьев Д.А., Исаев А.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современные спортивные тренажёрные комплексы представляют собой сложные электронно-механические устройства оснащённые информационно-измерительными и управляющими нагрузкой системами. Как правило, управляющие системы тренажёров создают нагрузку для спортсмена какой-либо определённой величины. Наиболее эффективной является реализация создания переменной (адаптивной) нагрузки, учитывающей физическое состояние спортсмена.

Для силовой подготовки спортсменов в плавании рост спортивного результата и совершен-

ствование техники плавания невозможно, без использования оборудования, позволяющего тренировать мощность гребка как с постоянной нагрузкой на всем протяжении тренировочной дистанции, так и в режиме переменной нагрузки, зависящей от скорости пловца.

Для тренировки мощности гребка в плавании существует ряд тренажеров, обеспечивающих разную степень соответствия мощности, развиваемой в упражнениях. В настоящее время существуют только тренажеры, содержащие в себе только механическую составляющую, что тем са-