

Волоконно-оптический датчик угла наклона

Б.Я.Лихтциндер, д.т.н., заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, проф. ПГУТИ,
В.Б.Попов, к.т.н., проф. ПГУТИ / inkat@inbox.ru

УДК 681.7.068:53.087.4, DOI: 10.22184/2070-8963.2025.129.5.54.56

Требования к чувствительности и стабильности характеристик волоконно-оптических датчиков постоянно возрастают. В статье дается обзор известных волоконно-оптических датчиков угла наклона и рассматривается датчик угла наклона (инклинометр), который может быть применен для контроля углового отклонения естественных и технических объектов относительно вертикали.

Общие положения

Волоконно-оптические датчики вообще и датчики угла наклона в частности становятся все более востребованными. Волоконно-оптический датчик угла наклона (инклинометр) принадлежит к категории электронных устройств, предназначенных для контактной или бесконтактной регистрации изменений физических параметров технологического процесса (температуры, давления, скорости перемещения, вибрации и других показателей) и дальнейшей передачи информации по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

Благодаря выдающимся метрологическим характеристикам, стабильности и надежности такие устройства получили широкое распространение в автоматизированных системах управления и контроля. Работа датчиков построена на свойствах оптического волокна. Последнее выступает в двух ипостасях: как чувствительный элемент и как канал передачи сигнала.

Наиболее востребованными являются сенсоры с оптическим преобразователем, в состав которых входят чувствительный оптический элемент, приемник и излучатель. Преобразователь размещается между торцами принимающих и передающих волокон, а в качестве излучателя выступает светодиод или лазерный излучатель. В датчиках с оптическим зондом применяются одномодовые или многомодовые оптические волокна. В случае, когда требуется транслировать сигнал на расстояние, волокно должно быть многомодовым [1]. Если оптоволокно выполняет функции сенсора, оно может быть и одномодовым.

Волоконно-оптические датчики характеризуются высокой надежностью и высокой чувствительностью и точностью измерений. Вне зависимости от типа волоконно-оптические датчики работают по одному и тому же принципу, основанному на распространении электромагнитной волны (светового излучения) по оптическому волокну.

Волоконно-оптические датчики могут быть точечными или распределенными. Точечные датчики в качестве базового элемента используют селективирующие зеркала. Световое излучение исходит от широкополосного источника и отражается в виде узкой полосы, оставшаяся часть светового потока передается по оптоволокну. Этот тип датчиков позволяет одновременно использовать несколько контроллеров в автоматизированной линии и обеспечивает точную передачу сигнала. Они могут применяться для контроля давления, температуры, вибрации и других показателей.

Распределенные датчики могут использоваться также для контроля уровня температуры. Опросное устройство провоцирует импульс лазера, который рассеивается при передаче по оптическому волокну. Это позволяет определить температуру в разных точках оптоволоконного канала.

Аналогичный принцип работы может быть использован для акустических датчиков, которые фиксируют колебания излучения, передаваемого по оптоволоконному каналу. Такие датчики находят применение, например, в системах контроля доступа для выявления несанкционированного проникновения в охраняемую зону [1].

Волоконно-оптические датчики широко применяются в горнодобывающей промышленности для мониторинга состояния воздуха в шахтных стволах и состояния транспортных лент; нефтедобыче для обследования температурного режима в скважинах и трубопроводных магистралях; строительстве для управления системами жизнеобеспечения в умных домах, для мониторинга состояния теплотрасс, мостов, инженерных сооружений; авиации и космонавтике для отслеживания нагрузок и температурных деформаций корпусов воздушных судов; энергетике для контроля состояния высоковольтных опор и линий электропередач. Разработка новых технологий для изготовления волоконно-оптических датчиков позволяет снижать стоимость этих приборов и все более интенсивно использовать их там, где применение других средств измерения невозможно или экономически нецелесообразно [1].

В настоящей статье рассматривается волоконно-оптический датчик угла наклона (инклинометр), который может быть применен для статического контроля абсолютного углового отклонения естественных и технических объектов относительно вертикали: антенных опор, зданий, сооружений, плотин, шахтовых стволов, мостов и других объектов, где требуется высокоточный контроль углового положения.

Обзор волоконно-оптических датчиков угла наклона

Наиболее широко для контроля абсолютного углового положения применяются жидкостные электроизмерительные устройства, главным недостатком которых являются нестабильность чувствительного элемента и его подверженность электромагнитному воздействию внешней среды, что существенно ограничивает их область применения.

Известны измерители угла наклона, рассмотренные в [2], имеющие емкости, наполненные электролитической жидкостью, в которой размещены электроды. В этих устройствах электроды ориентированы параллельно оси наклона датчика. Изменение уровня жидкости, возникающее при наклоне, вызывает изменение электрического поля, что, в свою очередь, приводит к изменению электрического сопротивления между дифференциально включенными электродами. Недостатками таких измерителей угла наклона являются их подверженность электромагнитным влияниям и нестабильность, вызванная зависимостью электрического сопротивления электролита от температуры, что отрицательно сказывается на их метрологических характеристиках.

В устройстве, рассмотренном в [3], в качестве чувствительного элемента используется маятниковый груз, подвешенный на тонкой металлической нити в электролитической жидкости. Перемещение груза относительно

неподвижных электродов, вызванное изменением угла наклона емкости, приводит к изменению электрического сопротивления между электродами. В волоконно-оптическом измерительном преобразователе абсолютного угла наклона [4] используется герметичный корпус емкости, заполненной на 2/3 вязкой жидкостью, в который встроены излучающее и приемное оптические волокна. Излучаемый световой пучок отражается от границы раздела сред "жидкость – воздух" и попадает на торец приемного оптического волокна. В результате наклон корпуса преобразователя приводит к перемещению отраженного светового пучка, и, как следствие, к изменению интенсивности излучения, вводимого в приемное волокно, что регистрируется фотоприемником на выходе измерительного преобразователя. Недостатками данного технического решения являются низкая чувствительность и сильная зависимость от характеристик жидкости и от окружающей температуры.

Волоконно-оптический датчик угла наклона, в котором оптическое волокно используется в качестве подвеса груза

Предлагаемый волоконно-оптический датчик угла наклона отличают существенно более высокая чувствительность и уменьшенная температурная зависимость от характеристик жидкости. Обеспечивается это применением дифференциальной схемы непосредственного приема излучения от подвижного торца излучающего оптического волокна торцами воспринимающих оптических волокон. При этом волокно используется одновременно в качестве оптического канала связи и для подвеса перемещаемого груза. В основу предлагаемого технического решения положена задача создания такого волоконно-оптического измерительного преобразователя абсолютного угла наклона, который исключает влияние параметров жидкости и существенно повышает чувствительность преобразователя.

Для решения поставленной задачи предлагается применить волоконно-оптический измерительный преобразователь абсолютного угла наклона, содержащий: герметическую емкость, заполненную прозрачной жидкостью; размещенный в жидкости груз, подвешенный на нити подвеса; волоконно-оптические элементы, соединенные с фотоприемниками, фиксирующие перемещение груза относительно вертикали. В качестве нити подвеса груза используется светопроводящее оптическое волокно, неподвижный конец которого связан с источником излучения, а подвижный конец закреплен на грузе и перемещается вместе с ним относительно торцов волокон, соединенных с фотоприемными элементами.

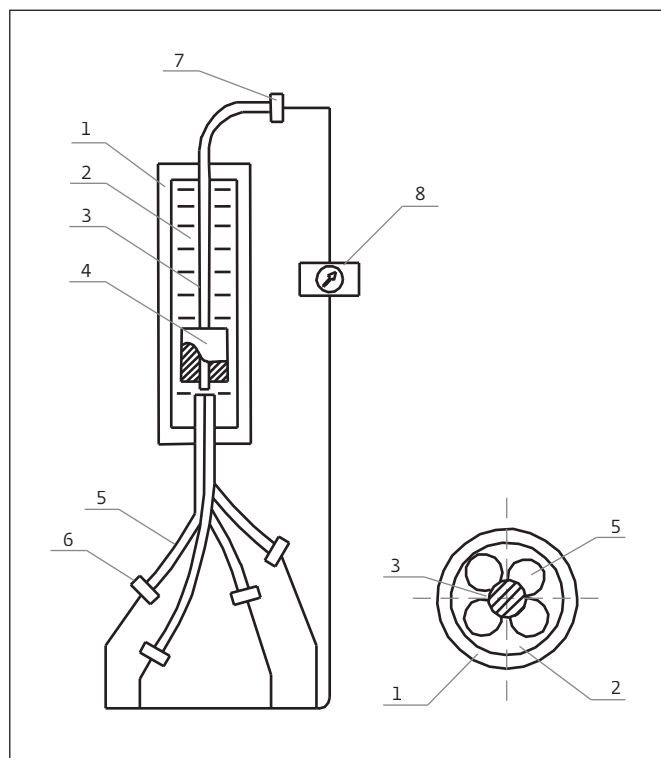


Рис.1. Схема волоконно-оптического датчика угла наклона

Рассмотрим принцип действия такого волоконно-оптического датчика угла наклона (см. рис.1).

В герметичный корпус емкости (1), заполненной оптически прозрачной демпфирующей жидкостью (2) (возможно отсутствие жидкости), помещается груз (4), подвешенный на оптоволоконной подвесе (3). Один конец волокна подвеса закреплен неподвижно на корпусе емкости и соединен с источником света (излучателем) (7). Второй конец закреплен на грузе и перемещается вместе с ним относительно корпуса на величину, зависящую от угла отклонения оси корпуса от вертикали. В нижней части корпуса неподвижно закреплены концы фотоприемных оптических волокон (5) (например, четыре волокна), торцевые поверхности которых оптически связаны с торцевой излучающей поверхностью оптоволоконной подвеса (3). Противоположные концы фотоприемных волокон оптически связаны с фотоэлектрическими приемниками (6), которые, так же, как и излучатель (7), электрически связаны с измерительным блоком (8).

Измерительный блок осуществляет электропитание излучателя и содержит измерительные цепи (например, мостовые или дифференциальные схемы), которые обрабатывают измерительные сигналы, поступающие от фотоприемников. (В случае четырех фотоприемников

производится определение значений углов отклонения по двум угловым координатам).

При перемещении груза, вызванном наклоном оси корпуса преобразователя, подвижный торцевой конец излучающего оптоволоконного датчика перемещается относительно торцевых концов фотоприемных волокон, в результате чего изменяются интенсивности освещения фотоприемников. Это приводит к изменению параметров фотоприемников (например, электрического сопротивления), что воспринимается измерительной схемой блока (8).

В случае применения мостовой или дифференциальной измерительных цепей они настраиваются таким образом, чтобы их показания были нулевыми, при нулевом отклонении оси корпуса от вертикального положения. Учитывая, что диаметр оболочки одномодовых и многомодовых оптических волокон, применяемых, например, на ВОЛС, составляет всего 0,125 мм, а угол рассеивания света для них чрезвычайно мал, торцевой конец такого оптоволоконного датчика представляет собой весьма концентрированный источник излучения, что приводит к высокой чувствительности устройства даже при весьма малых угловых отклонениях от вертикали. Так, например, при длине подвеса, равной 5 см, полная шкала отклонения может составить всего шесть угловых минут.

Таким образом, предлагаемое устройство представляет собой волоконно-оптический датчик абсолютного угла наклона (инклинометр), обладающий весьма высокой чувствительностью и стабильностью, что позволяет применять его для прецизионных дистанционных измерений абсолютного угла наклона строительных сооружений, гидротехнических конструкций, узлов машин и механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волоконно-оптические датчики. [Электронный ресурс]. URL: <https://leuze.ru/volokonno-opticheskie-dat-chiki> (дата обращения 15.07.2025).
2. Наклон и ускорение. [Электронный ресурс]. URL: <http://rentamatic.ru/naklon-i-uskorenie/inklinometry-hl-planar/inklinometry-s-analogovym-i-rs232-interfejsom/> (дата обращения 10.05.2025).
3. Наклонометры / инклинометры [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ntpgorizont.ru/product-category/tilt-meters> (дата обращения 10.05.2025).
4. Кутьчин Ю.Н., Витрик О.Б., Дышлюк А.В. Полезная модель РФ 79994 У1. Волоконно-оптический измерительный преобразователь абсолютного угла наклона.
5. Патент РФ 2024109250. Волоконно-оптический инклинометр / Лихтциндер Б.Я.

Организатор:

окружной выставочный центр

• ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ •

Техническая поддержка:

EXROTECH

MEMBER
OF THE RUSSIAN
UNION OF EXHIBITIONS
AND FAIRS



ЧЛЕН
РОССИЙСКОГО
СОЮЗА ВЫСТАВОК
И ЯРМАРОК



30 МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВЫСТАВКА

**СУРГУТ.
НЕФТЬ И ГАЗ
2025**



30th INTERNATIONAL
SPECIALIZED
TECHNOLOGICAL EXHIBITION

**SURGUT.
OIL & GAS
2025**

24-26 СЕНТЯБРЯ



г. Сургут,
СОК «Энергетик»
ул. Энергетиков, 47

+7 (3462) 94-34-54
sales@yugcont.ru
sngexpo.ru