

УДК 528.48.528.1



<https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2019-6-12>

ТУҒРИ ЧИЗИҚДАН ОҒИШНИ АНИҚЛОВЧИ СВЕТОВОД АНАЛИЗАТОРЛИ ОПТИК-ЭЛЕКТРОН РЕГИСТРАТОР

Захидов Нематжон Муратович

техника фанлари номзоди, мустақил тадқиқотчи

Юлдошев Исроил Абриевич

техника фанлари доктори, доцент

Тошкент давлат техника университети

Самборский Александр Адамович

техника фанлари номзоди, доцент, бош маслаҳатчи

Давлат кадастрлари, геодезия ва картография миллий маркази

Аннотация. Мақолада геодезик створ ўлчовлар воситаларини такомиллаштиришга йўналтирилган техник қарор кўриб чиқилган. У тўғри чизикдан лазер нури билан белгиланган референт чизикқа нисбатан оғишнинг сканер пардаси ва ўлчовлар диапазонини, массанинг минимал габарит ўлчовларини сақлаб қолган ҳолда ва чизикли силжишлар тўғрисидаги маълумотни юқори тезлик билан оладиган, толали электрон регистратор энергоҳажмини ошириб берадиган электрон блок-схемаси мавжуд толали оптик анализатордан фойдаланган регистратор ёрдамида ўлчашига асосланган.

Таянч тушунчалар: геодезия, силжиш регистратори, световодли анализатор, триггер, лазер нури, толали референт чизик, ревер блоки ўзгартирувчи, импульс бурчак, кучайтиргич.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГИСТРАТОР ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ СО СВЕТОВОДНЫМ АНАЛИЗАТОРОМ

Захидов Нематжон Муратович

кандидат технических наук, независимый исследователь

Юлдошев Исроил Абриевич

доктор технических наук, доцент

Ташкентский государственный технический университет

Самборский Александр Адамович

кандидат технических наук, доцент, главный советник

Национальный центр государственных кадастров, геодезии и картографии

Аннотация. В статье рассмотрено техническое решение, направленное на совершенствование средств геодезических створных измерений. Оно основано на измерении отклонения от прямолинейности относительно задаваемой лазерным лучом референтной линии с применением регистратора, в котором использованы волоконно-оптический анализатор со сканирующей итторкой и электронной блок-схемой, обеспечивающие увеличение диапазона измерений при сохранении минимальных габаритных размеров, массы и

энергоемкости оптико-электронного регистратора с высокой оперативностью получения информации о линейных смещениях.

Ключевые слова: геодезия, регистратор смещения, световодный анализатор, триггер, лазерный луч, волоконная референтная линия, реверсный блок, преобразователь «угол-импульс», усилитель.

OPTICAL-ELECTRONIC RECORDER OF DEVIATIONS FROM STRAIGHTNESS WITH A FIBER-OPTIC ANALYZER

Zahidov Nematjon Muratovich

PhD in Technical Sciences, Tashkent State Technical University

Yuldoshev Isroil Abrievich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Tashkent State Technical University

Samborskiy Alexander Adamovich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chief Counselor

National Centre of State Cadasters Geodesy and Cartography

Abstract. *The article reviews a technical solution for the improvement of geodesic reference measurements based on measuring the deviations from straightness relative to the reference line set by a laser beam, by means of a recorder that uses a fiber optic analyzer equipped with a scanning shutter and electronic block diagram, which increases the range of measurements while retaining the minimal overall dimensions of the mass and energy consumption of fiber electronic recorder with high operational information on linear displacements.*

Keywords: *geodesy, offset recorder, fiber-optic analyzer, trigger, laser beam, fiber reference line, reverse block, pulse angle converter, amplifier.*

Введение

Достижения в области современной радиоэлектроники проникли во все виды человеческой деятельности, включая одну из самых древних наук – геодезию. Слияние геодезии и электроники привело к образованию нового понятия – геотроники, одним из направлений которой является оптоэлектроника с применением фотоэлектрических, волоконно-оптических, электронных анализаторов и сканирующих устройств.

В условиях сейсмоактивных регионов, где фактор времени зачастую оказывается решающим, к надежности, долговечности, безопасности зданий и сооружений, в том числе гидротехнических, предъявляются повышенные требования. Соответственно, возрастают требования к методам и средствам геодезического контроля за их эксплуатаци-

ей, включая ведение непрерывного мониторинга.

Практика производства инженерно-геодезических измерений при наблюдениях за осадками и деформациями инженерных сооружений основана главным образом на применении визуально-оптических приборов, которые по своей конструкции и принципу действия зачастую не обеспечивают необходимую оперативность, информативность и производительность процесса измерений, характеризуются большой трудоемкостью, требуют участия большого количества исполнителей для обеспечения необходимой точности [1].

Сегодня главным направлением совершенствования технологии инженерно-геодезических измерений является внедрение методов и средств, основанных на

применении лазерных, светодиодных, инфракрасных и других источников излучения в совокупности с фотоэлектрическими и оптико-электронными регистрирующими устройствами, и позволяющих создавать принципиально новые методы и средства автоматизации [2, 3, 4].

При автоматизации геодезических измерений в качестве референтных (опорных) линий получили применение лучевые и интерференционные линии.

Известно, что под створными измерениями подразумевается определение перпендикулярных линейных смещений относительно заданной опорной плоскости, хотя измерения часто проводятся относительно одной опорной линии.

Дифракционный метод по схеме Юнга [3] обеспечивает высокую точность измерений, порядка 30-40 мкм, однако необходимость участия исполнителя для визуального наблюдения дифракционной картины на экране ограничивает процесс автоматизации; другой недостаток метода – это небольшая дальность створа (до 80-100 м).

Дисперсионный метод, основанный на теории дифракции Фраунгофера, обеспечивает среднюю дальность створа и высокую точность; недостаток – сложность процесса автоматизации.

Интерференционный метод имеет большую, порядка 1000 м, дальность действия, высокую точность и позволяет полностью автоматизировать процесс измерений, но высокие требования к точности изготовления и применения зонных пластин, а также влияние хроматической и сферической аберрации ограничивают его применение [3, 4].

Лазерные излучатели, появившиеся в 60-х годах прошлого столетия, вызвали интерес со стороны приборостроителей вследствие ряда исключительных оптических свойств: когерентность (монохроматичность, однофазность), низкая расходимость, концентрация световой энергии в виде пучка, фокусируемость плоскостью фронтом волны с коллимирующей оптикой, на основе которых созданы излучатели для створных измерений, в которых используются только энергетическая и

геометрическая строгая форма сечения лазерного пучка [5, 6].

Для простейшей осветительной системы и излучателя сила света j_0 в нормальном направлении определяется как [7]:

$$j_0 = \tau \beta \frac{\eta D^2}{4}, \quad (1)$$

где: $\beta' = (n'/n)\beta$, β – яркость источника излучения; η , η' – показатели преломления; τ – коэффициент пропускания; D – диаметр линзы.

Коэффициент усиления оптической части m зависит как:

$$m = \tau \left(\frac{D}{d} \right)^2; \eta_0 = \Phi_0 / \Phi_{\pi}; \eta = \Phi / \Phi_{\omega}, \quad (2)$$

где: Φ – световой поток в пределах угла охвата ω ; Φ_{π} – полный световой поток; Φ – световой поток, попадаемый на объект; η_0 , η – коэффициенты использования оптической системы и светового потока.

Как видно из выражения (1), основными параметрами оптической системы является диаметр линзы (в квадратической зависимости) и его отношение к площади α источника излучения.

Преимуществом применяемых в качестве регистраторов фотодатчиков и фотодатчиков дифференциального типа, основанных на амплитудном методе сравнения, является отсутствие в них подвижных элементов, но к недостаткам относятся: ограниченный диапазон измерений вследствие зависимости оптического канала (диаметр линзы) и размеров фотодатчиков (фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов и др.) [6]; ограниченная точность измерений (дрейф нуля, температура, неоднородность). Наряду с дифференциальными датчиками, ПЗС структурами, разработаны устройства с применением механических сканирующих узлов, обеспечивающие высокую точность, широкий диапазон измерений, работа которых основана на подсчете числа импульсов в зависимости от времени (время-импульсный), поворота угла (угол-импульсный) и линейные с передвигающейся шторкой [2].

В [2] рассмотрено оптоэлектронное устройство для створных измерений с вращающимся электродвигателем и барабаном,

на боковой поверхности которого по винтовой линии вырезана щель, внутри расположено зеркало с фотоприемником и электронной схемой. Действие устройства основано на подсчете числа импульсов цифровым счетчиком от кварцевого генератора. Опыт применения этого устройства выявил ряд недостатков, главным из которых является громоздкость, обусловленная необходимостью установки зеркала диагонально, под углом 45° . При этом увеличение диапазона измерений в n раз приводит к увеличению размеров устройства в n^3 , что влечет за собой увеличение массы, энергопотребления, габаритов по трем координатам.

Анализ рассмотренных средств измерений привел к необходимости разработки фотоэлектронного измерительного устройства, в котором исключается использование зеркала с вращающимся барабаном, т.е. устройства с минимальными габаритами, массой, с высокой точностью и низкой энергоемкостью.

По мнению авторов, для этой цели может быть использован волоконно-оптический анализатор с упорядоченной гексагональной укладкой пучков волокон на входном и выходном торцах. Основными оптическими характеристиками светодиодов являются: светопропускание, числовая апертура – максимальный угол падения проходящего света, показателей преломления сердцевины и оболочки, разрешающая способность и контрастность изображения [7].

Основная часть

Авторами разработан оптико-электронный регистратор отклонения от прямолинейности со световодным анализатором; техническое решение зарегистрировано в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан за № FAP 2019. 0185.

Конструктивно регистратор (рис. 1) состоит из: несущего основания (1), выполненного из непрозрачного материала, на котором установлены концевые выключатели (2 и 3), два шкива (4), один из них закреплен к основанию посредством П-образного держателя с пружиной, через который пропущен гибкий металлический тросик (5), с вертикально закрепленной шторкой (6), приводимой

в движение в горизонтальном направлении, вдоль щели, где установлены входные торцы световодных жгутов (7), электродвигателем (8) через червячный привод с шестерней (9), связанной с одним из шкивов и винта на оси электродвигателя, где также установлен диск (10) с радиальным растром, перпендикулярно которому на некотором расстоянии установлены фотодиод (11) и светодиод (12), образующие преобразователь «угол-импульс», подключенные к электронной схеме, состоящей из фотоприемника (13), подключенного на вход усилителя (14), выход которого подключен к светодиоду (15) и входу элемента «НЕ» (16), выход связан с одним входом R-S триггера (17) и входом триггера Шмитта (18), подключенным к Т-триггеру (19) через электронный ключ (20). Выход фотодиода (11) подсоединен через второй электронный ключ (21) к пересчетной схеме (22) с индикатором (23). Схема коммутирующего блока управления электродвигателем (8) включает в себя два R-S триггера (24 и 25), связанные выходами с реверсным блоком (26). Управление производится посредством кнопочного выключателя (27 и 28), последний связан со входом «сброс»-R пересчетной схемы (22) и вторым входом R-S триггера (17). Электронная схема включает в себя также конденсаторы (29 и 30), один из них обеспечивает установку включения нижней части R-S триггера (24), а второй – установку от R-S триггера (25).

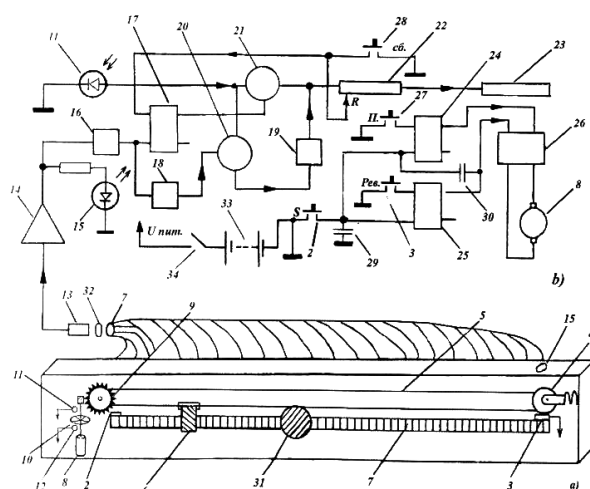


Рис. 1. Схема конструкции оптико-электронного регистратора а) и блок-схемы электронной части б)

Регистрация отклонения от прямолинейности определяется относительно референтного лазерного луча (31) (пятна), воспринимаемого через светодиодные торцевые части на входе (7) и выходные торцы через линзу (32), в фокусе которой находится фотоприемник (13). Устройство включает в себя также источник питания (33) и выключатель (34).

Работает регистратор следующим образом.

После включения источника питания (33) выключателем (34) определяют момент попадания пучка лазера (31) в зону (продольную щель), где установлены входные торцы световодных жгутов (7), при этом предварительно центрируют регистратор относительно измеряемой точки и приводят регистратор, установленный на трегере, в строго горизонтальное положение посредством уровней (на рис. 1 не показаны). Как только визуальная фиксация лазерного луча будет осуществлена посредством светодиодного индикатора (15), производят команду «Пуск» кнопочным выключателем (27), R-S триггер (24) через блок (26) включения электродвигателя (8). При этом электродвигатель (8) начнет вращение и через винт и шестерню (9), шторка (6) начнет перемещаться вдоль щели (7), поскольку сигнал от лазерного луча (31) пройдет через световоды (7), линзу (32) и фотоприемник (13), усиленный сигнал усилителем (14) включит светодиод (15), а на выходе элемента (16) установится низкий уровень и соответственно нижняя часть R-S триггера (17) примет закрытое состояние, а верхняя часть и электронный ключ (21) откроются. Импульсы, получаемые от фотодиода (11), за счет вращающегося диска (10) с прорезями от светодиода (12) начнут поступать через открытый электронный ключ (21) на пересчетную схему (22) и многоразрядный индикатор (23). Электронный ключ (20) закрыт. Как только перемещаемая горизонтально шторка (6) достигнет такого момента, когда начнет перекрывать пятно лазерного пучка (начальный сигнал), световая энергия и соответствующий сигнал от усилителя (14) начнет уменьшаться,

а на выходе элемента (16) увеличиваться и достигнет такого уровня, что верхняя часть R-S триггера (17) и электронный ключ (21) закроются, а нижняя, триггер Шмитта (18) и электронный ключ (20) откроются. Теперь импульсы начнут поступать через Т-триггер (19) с половинной частотой $n/2$, и как только шторка (6), передвигаясь, опять откроется, т.е. выйдет из зоны затемнения лазерного луча, высокий уровень от фотоприемника (13) усилителя (14) на входе элемента НЕ (16) установит низкий уровень также на входе триггера Шмитта (18), при этом выход и электронный ключ (20) закроются, поступление импульсов к пересчетной схеме (22) прекратится. Шторка (6), перемещаясь далее, достигнет концевого выключателя (3), импульс от него через R-S триггер (25) и реверсный блок (26) переключит напряжение в обратное через R-S триггер (24), отключится через конденсатор (30) и посредством электродвигателя (8) шторка (6) начнет обратное движение до исходного состояния. Когда шторка (6) достигнет концевого выключателя (7), и сигнал от него отключит оба R-S триггера (24 и 25), при этом полностью отключится электродвигатель (8). На индикаторе (23) будет отображена цифра пропорциональная величине отклонения относительно лазерного (опорного) луча.

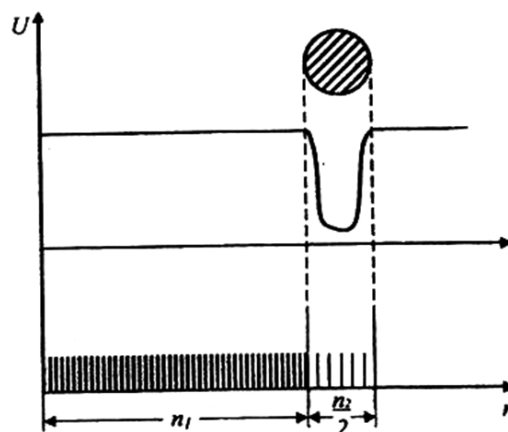


Рис. 2. График зависимости уровня видеосигнала от величины перекрытия лазерного пучка

Величина отклонения будет определяться относительно центра лазерного пучка (рис. 2), то есть

$$S = n_1 + n_2 / 2 \quad (3)$$

Как видно на рис. 2, электронная схема работает на спад-минимальный сигнал, в отличие от известных анализаторов.

Сканирование с применением гибкого стального троса вместо винтового механизма дает возможность уменьшить массу устройства. К примеру, при диапазоне 200 мм габаритные размеры устройства составят примерно 800 мм³, в то время как габариты предлагаемого устройства составляют 200 мм³, то есть в 40 раз меньше. Предлагаемое устройство позволяет использовать трос диаметром 0,5 мм, при этом, учитывая квадратичную зависимость площади от радиуса, масса троса и шкивов (4) составит всего лишь 10 грамм.

Снижение энергоемкости достигается за счет уменьшения величины трения в подшипниках барабана с винтовой щелью.

Червячный механизм выполняет одновременно роль и редуктора, и механического преобразователя вращательного движения в линейное, что дает явное преимущество перед линейным винтовым механизмом с удлиненным, в зависимости от диапазона измерений, винтом. Введенная пружина позволяет исключить ошибки линейного расширения троса.

В качестве других вариантов может быть использована прозрачная полимерная лента (1), например, из лавсановой (полиэтилентерефталатной) или нитроацетатной (ракордной) пленки с непрозрачной шторкой (2), а в качестве преобразователя линейных перемещений в импульс – лазерный датчик с линейчатой лазерной записью, сущность которого заключается в фотолитографической или фотозаписи.

Как было отмечено выше, «угол-импульсные» преобразователи имеют большое

преимущество по сравнению с преобразователями «время-импульс», для которых требуется высокая стабильность, вращения электродвигателя и генератора, в отличие от которых «угол-импульсные» преобразователи не требуют стабильности и могут работать при любой, даже изменяющейся скорости вращения.

Если ширину щели принять $n=0,5$ мм, длину $l=200$ мм, то площадь сечения $S=100$ мм². Радиус выходной части световодного жгута получим как:

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{100/3,14} = 5,6 \text{ мм},$$

соответственно диаметр – 11 мм.

Выводы

Как видно из расчетов, увеличение диапазона измерений l не приводит к кубической зависимости в отличие от аналога, что позволяет резко сократить габаритные размеры устройства.

Уменьшить величину люфта (винта и шестерни) червячного привода, влияющего на точность измерений, можно введением пружины, работающей на сокращение расстояния между ними, но сохраняя минимально необходимый коэффициент трения.

Потребляемый ток аналога составляет 350 мА, что связано с трением привода каретки с винтовым стержнем. Применяя червячный облегченный привод, потребляемый ток определим как сумму энергопотребления электропривода (50 мА) и электронной схемы на МОП (КМОП) структурах с жидкокристаллическими (ЖКИ) семисегментными индикаторами (15 мА) и светодиодного индикатора (3-4 мА), что составит ~70 мА. Как видно, энергопотребление снижается, по сравнению с аналогами, примерно в 5 раз.

Предлагаемое устройство может найти практическое применение при производстве высокоточных инженерно-геодезических измерений на объектах инженерной инфраструктуры, гидротехнических сооружениях, при монтаже высокоточного технологического оборудования.

Источники и литература

1. Елисеев С.В. *Геодезические инструменты и приборы*. Изд. 3-е. – М.: Недра, 1973.
 2. Зацаринный А.В. *Автоматизации высокоточных инженерно-геодезических измерений*. – М.: Недра, 1976. – 247 с.
 3. Ямбаев Х.К. *Специальные приборы для инженерно-геодезических работ*. – М.: Недра, 1990. – 267 с.
 4. Гауф М. *Электронные теодолиты и тахеометры*. Пер. с чешского. – М.: Недра, 1978.
 5. А.с. SU №1670403 «Фотозлектрическое устройство для измерения отклонений». Авт. Н.М. Захидов, Заяв. 12.12.1988., опубл. 1991 г. БИ № 30 G01B21/00.
 6. А.с. SU №1474466 «Фотозлектрическое устройство для измерения линейных размеров». Авт. Н.М. Захидов, публ. 1989., БИ №15 G01B21/00.
 7. *Прикладная оптика* / Под ред. Н.М. Заказнова. – М.: Машиностроение, 1988.
-

Рецензент:

Тошболтаев М., доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе и инновациям
Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства.