

записи 5 (96) м/с (К, пиксел/с); полное время записи 60 мин (max); шаг дискретизации 25, 50, 100 мкм; погрешность 2 мкм на шаг и 15 на 300 мм; число воспроизводимых полутонов > 16; тип носителя — термочувствительные носители, полимерные пленки с маскирующим покрытием толщиной до 5 мкм; толщина подложки носителя 0,1—0,5 мм; источник входных данных — магнитная лента, гибкий магнитный диск, последовательный канал RS-232; энергетические требования 220 В, 50 Гц, 1500 Вт.

Образец устройства находится в опытной эксплуатации на участке печатных плат ИАиЭ СО АН СССР. В 1990 г. на нем изготовлено более 200 фотошаблонов для многослойных печатных плат.

Авторы выражают признательность В. А. Белаго за активное участие в создании и производственных испытаниях устройства, Д. А. Грицнко, В. И. Печуркину и Ю. А. Шишлову за помощь, оказанную при разработке и наладке устройства, а также В. И. Герасько, И. М. Арсенину и А. А. Янтимирову за ценные консультации по оптимизации взаимодействия аппаратных и программных средств обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баев С. Г., Бессмельцев В. П., Коронкевич В. П., Ткачук Ю. Н. Оптическая регистрация информации на бумаге при помощи CO₂- и ИАГ-лазеров // Квантовая электрон.—1984.—11, № 2.
2. Баев С. Г., Бессмельцев В. П. Запись в реальном времени рефракционных полутоновых транспарантов на полимерных пленках // Автометрия.—1986.—№ 2.
3. Андреев В. М., Баев С. Г., Бессмельцев В. П. и др. Исследование процессов лазерного термохимического формирования металлических проводников на диэлектрических подложках // Автометрия.—1990.—№ 3.
4. Горлин Г. Б., Парицкий Л. Г., Тиснен Т. В. Фотографическая система для регистрации 10,6 мкм излучения // ЖТФ.—1987.—57, № 1.
5. Григорьянц А. Г., Соколов А. А. Лазерная обработка неметаллических материалов.—М.: Высш. шк., 1988.
6. Noguchi Masaru. Efficient use of laser power in heat-mode recording // Appl. Opt.—1982.—21, N 15.—P. 2665.
7. Орловский Е. Л. Передача факсимильных изображений.—М.: Связь, 1980.—Гл. 8.

Поступила в редакцию 17 декабря 1990 г.

УДК 621.376.52

М. А. Боков, А. Н. Максимов, К. Г. Шумилов, В. И. Юрлов

(Новосибирск)

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Объектом исследований является система, созданная на основе акусто-оптического преобразователя линейных смещений (АОПЛС), предназначенная для высокоточных автоматизированных измерений положений объектов относительно друг друга. Цель работы — экспериментальное исследование макета системы в условиях тоннеля метрополитена на прямолинейном участке длиной 102 м. Изложены принципы действия одно- и двухкоординатных АОПЛС и специфика работы системы в режиме одновременного измерения положений промежуточной и последней точек дистанции. Показано, что такой режим, характерный для систем с АОПЛС, позволяет в 3 раза повысить точность измерений.

Одной из характерных черт современного технического прогресса является постоянное повышение требований к техническим средствам

контроля и измерения геометрических параметров в машиностроении, судостроении, самолетостроении, маркшейдерском деле и в других отраслях. Чаще всего эти требования сводятся к увеличению точности, быстродействия, повышению степени автоматизации, обеспечению возможности работы в реальном масштабе времени без вмешательства или присутствия человека. При этом часто приходится сталкиваться с необходимостью одновременного контроля нескольких точек относительно общего опорного светового пучка (ОСП), задающего на момент измерений единую систему отсчета. Для решения этих задач необходимо создание геодезических информационно-измерительных систем (ГИИС), отвечающих перечисленным выше требованиям. Согласно современным представлениям, наиболее эффективными средствами измерений являются ГИИС, работающие на основе лазерных ОСП. Один из основных элементов ГИИС — датчик (первичный преобразователь) смещения контрольной точки относительно оси ОСП. В последнее время появился положительный опыт успешного использования в качестве таких датчиков акустооптических преобразователей линейных смещений (АОПЛС), созданных на базе акустооптических модуляторов (АОМ) света [1—5]. АОМ представляет собой прозрачные плоскопараллельные пластинки с высоким качеством поверхностей, установленные перпендикулярно оси ОСП, так что последний проходит через них, не испытывая искажения. Вдоль ОСП может быть установлено несколько АОПЛС в контрольных точках объекта с модуляторами, как бы нанизанными на один ОСП. Измерение смещений контрольных точек может производиться одновременно за время от 10^{-4} до 10^{-1} с. Кроме того, АОПЛС в аналоговом виде (без привлечения ЭВМ) осуществляет интегральную весовую обработку распределения интенсивности света в поперечном сечении ОСП, близкую по форме к определению математического ожидания (первого начального момента) в теории вероятностей [6]. Таким образом, созданная на основе АОПЛС система может полностью отвечать предъявляемым требованиям, изложенным в начале работы.

В [3] описан принцип действия однокоординатного АОПЛС, измеряющего поперечное смещение x_0 контрольной точки относительно ОСП. Фазометр на выходе АОПЛС измеряет фазовый сдвиг φ между опорным сигналом и сигналом на выходе фотоприемника на частоте Ω , зависящий от величины x_0 следующим образом:

$$\varphi = x_0 \frac{\Omega}{V}, \quad (1)$$

где V — скорость ультразвуковых волн.

Используя теорию акустооптических процессоров, можно показать, что измеряемая величина x_0 соответствует некоторому центру ОСП, определяемому из уравнения [6]

$$\int_{-\infty}^{\infty} xI(x + x_0)dx = 0. \quad (2)$$

Здесь $I(x)$ — распределение мощности света в поперечном сечении ОСП.

Как известно, такой центр является начальным моментом первого порядка и может быть определен на основании уравнения (2) как

$$x_0 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} xI(x)dx}{\int_{-\infty}^{\infty} I(x)dx}. \quad (3)$$

Такая интегральная оценка аналогична процедуре определения центра тяжести тел в механике или математическому ожиданию в теории вероятностей.

Для измерения смещений по двум поперечным координатам x и y применяется АОПЛС с двухкоординатным АОМ (рис. 1). Двухкоординатный АОМ имеет два пьезопреобразователя, расположенных на двух взаимно перпендикулярных боковых гранях. Пьезопреобразователи формируют два взаимно перпендикулярных ультразвуковых пучка, распространяющихся вдоль осей x и y .

ОСП дифрагирует на обоих пучках. Для измерения фазовых сдвигов φ_x, φ_y , характеризующих величины смещений x_0, y_0 в соответствии с выражением (1), установлены два фотоприемника (ФП) и два электронных блока (ЭБ), таких же, как в однокоординатном АОПЛС [3].

В [3] описана система на основе АОПЛС для совместного измерения смещений множества контрольных точек объекта, расположенных вдоль ОСП. Измерения в контрольных точках могут производиться одновременно или поочередно, но наибольший интерес представляет собой режим, когда одновременно измеряются смещения в трех точках: первой, последней и какой-либо промежуточной. Он позволяет полностью исключить ошибки, обусловленные нестабильностью пространственного положения (НПП) ОСП и существенно снизить ошибки, обусловленные случайной рефракцией ОСП в атмосфере. На рис. 2 приведены графики распределения составляющей погрешности измерений, вызванной случайной рефракцией, рассчитанные для нормального распределения отклонений ОСП от идеальной прямой [7]. На графике по оси ординат отложено значение относительной среднеквадратической погрешности $\sigma_x/\sigma_{x\max}$, а по оси абсцисс — относительная координата контрольных точек в направлении вдоль ОСП z/L , где L — длина контролируемого профиля. Кривая 1 соответствует обычному режиму измерений поочередно во всех точках профиля, кривая 2 — режиму одновременного измерения в трех точках: первой, последней и последовательно во всех промежуточных точках. Из рис. 2 видно, что применение такого режима в 4—5 раз снижает максимальную погрешность, вызванную атмосферной рефракцией. При этом погрешность, обусловленная НПП ОСП, полностью исключается. Часто на практике величиной флуктуаций положения ОСП в первой контрольной точке можно пренебречь, так как она обычно располагается вплотную к формирователю опорного светового пучка (ФОСП), а НПП ОСП имеет главным образом угловой характер. В этом случае достаточно одновременного измерения только в двух точках: последней и очередной промежуточной.

Для экспериментальных исследований был разработан и изготовлен действующий макет ГИИС. Он состоял из ФОСП и двух АОПЛС. В

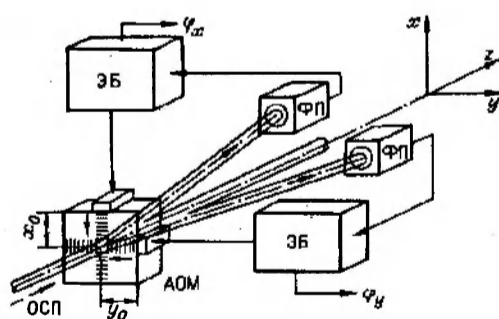


Рис. 1

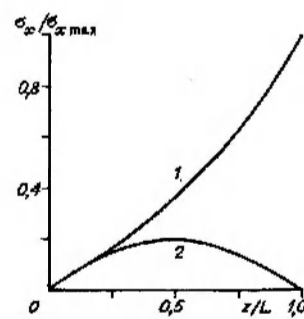


Рис. 2

каждый АОПЛС в соответствии с рис. 1 входил двухкоординатный АОМ, два фотоприемника и два электронных блока.

Исследования ГИИС проводились на прямолинейном стометровом участке тоннеля метрополитена. Аппаратура ГИИС устанавливалась на устойчивые металлические штативы с геодезическими знаками (ГЗ), имеющими специальные втулки для принудительного центрирования приборов. Втулки обеспечивали однозначность позиционирования приборов при многократной повторной их установке с погрешностью не более $\pm 0,006$ мм. На участке располагалось пять штативов с аппаратурой в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

Диаметр ОСП был рассчитан согласно [8] и составлял 8 мм посередине дистанции и 12 мм в начале и конце ее.

Перед началом испытаний ГИИС была исследована инструментальная точность собственно АОПЛС в лабораторных условиях на оптической скамье ОСК-2 при различных значениях ширины ОСП. При этом, как и следовало ожидать, с расширением пучка погрешность увеличивалась и составляла около 15 мкм для ширины ОСП 8 мм и около 25 мкм — для 12 мм.

При исследовании макета ГИИС в тоннеле АОПЛС-1 устанавливался поочередно в первую, вторую и третью точки профиля, АОПЛС-2 постоянно находился на пятом штативе. В каждой точке производилось 10 отсчетов одновременных измерений фазовых сдвигов фазометрами АОПЛС-1 и АОПЛС-2. С этой целью вся аппаратура была включена постоянно, а фазометры выполняли синхронное одновременное измерение по команде от кнопки. Смещения для каждой контрольной точки вычислялись по формуле

$$\Delta_{ij} = K_2 \varphi_{2ij} \frac{l_j}{L} - K_1 \varphi_{1ij}, \quad (4)$$

где i — порядковый номер измерения в одной точке; j — номер точки; K_1, K_2 — коэффициенты пересчета фазового сдвига в линейное смещение в соответствии с формулой (1) для первого и второго АОПЛС; φ_1, φ_2 — фазовые сдвиги, измеренные одновременно первым и вторым АОПЛС соответственно; l_j — расстояние от излучателя до контрольной точки с номером j ; L — расстояние от первого до пятого штатива. Расстояния имели следующие значения: $l_1 = 2$; $l_2 = 50$; $l_3 = 98$; $L = 100$ м.

Среднеквадратические погрешности получаемых смещений σ_j вычислялись по внутренней сходимости результатов в каждом цикле и были усреднены по 15 циклам, проведенным в процессе исследований.

Расчет по формуле (4) позволил исключить ошибки, вызванные угловой нестабильностью пространственного положения ОСП, и существ-

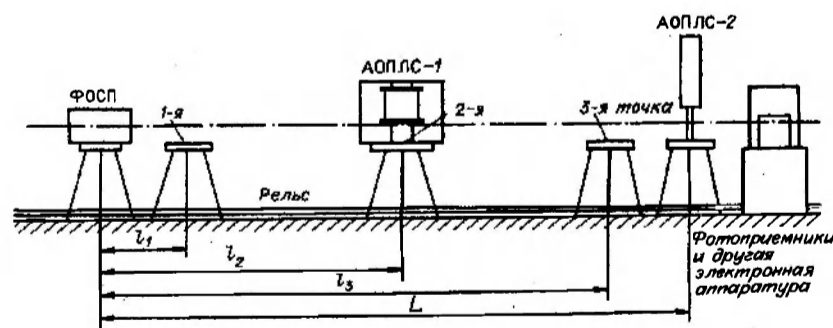


Рис. 3

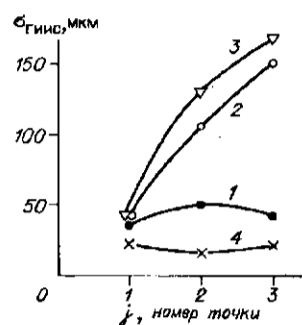


Рис. 4

венно снизить ошибки, вызванные случайной рефракцией ОСП на трассе, как это показано на рис. 2.

Для сравнительной оценки данного метода были рассчитаны значения смещений $\tilde{\Delta}_{ij}$ обычным методом без исключения указанных выше ошибок. При этом вместо формулы (4) применялось выражение

$$\tilde{\Delta}_{ij} = K_1 \varphi_{1ij} \quad (5)$$

Среднеквадратические погрешности смещений в точках $\tilde{\sigma}_j$ определялись по девяти циклам.

Для оценки значения фактора одновременности рассчитывались значения смещений Δ'_{ij} с исключением ошибок по формуле (4) при неодновременном измерении АОПЛС-1 и АОПЛС-2, когда временной интервал между этими измерениями составлял примерно 5—10 с. Затем таким же образом были вычислены среднеквадратические погрешности σ'_j .

На рис. 4 приведены графики среднеквадратических погрешностей, усредненных по всем циклам измерений, характеризующие их распределения вдоль контролируемого профиля по трем точкам. Первая точка соответствует началу дистанции, вторая — середине, а третья — концу, как показано на рис. 3. Кривая 1 соответствует режиму с исключением ошибок при одновременном измерении и расчете смещений по формуле (4), кривая 2 — режиму без исключения ошибок при расчете по формуле (5), кривая 3 — режиму с исключением ошибок, но при неодновременном (до 10 с) измерении φ_1 и φ_2 . Из сопоставления кривых 2 и 3 можно сделать вывод, что неодновременность измерения φ_1 и φ_2 порядка 5—10 с практически сводит к нулю эффект исключения ошибок. Это значит, что флуктуации ОСП происходят гораздо быстрее. Кривая 4 показывает распределение собственных инструментальных ошибок ОСП, которые также входят в погрешности ГИИС (кривые 1—3).

Из сравнения рис. 2 и 4 можно заключить, что экспериментальные данные, полученные при испытаниях ГИИС, имеют хорошее совпадение с теоретическими расчетами из [7].

Как видно из рис. 4, применение режима «исключения ошибок» при одновременном измерении φ_1 и φ_2 позволяет в 3 раза снизить максимальную среднеквадратическую погрешность измерений ГИИС и довести ее до величины порядка 50 мкм посередине дистанции 100 м. При этом в начале и конце дистанции погрешность имеет меньшее значение. Такой режим измерений и обработки позволяет осуществить в настоящее время только описанная в данной работе ГИИС, основанная на применении АОПЛС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1427179 СССР. Устройство для контроля прямолинейности /В. И. Юрлов.— Заявл. 05.06.86; Оpubл. 30.09.88, Бюл. № 36.
2. А. с. 1460606 СССР. Устройство для измерения перемещений /В. И. Юрлов, А. Н. Максимов.— Заявл. 03.06.87; Оpubл. 23.02.89, Бюл. № 7.
3. Зубринов И. И., Шелопут Д. В., Шумилов К. Г., Юрлов В. И. Акустооптический преобразователь линейных смещений и возможности его применения // Автометрия.—1989.—№ 5.
4. А. с. 1499122 СССР. Устройство контроля угловых перемещений /В. И. Юрлов, В. В. Пузырев, А. Н. Максимов.— Заявл. 03.09.87; Оpubл. 07.08.89, Бюл. № 29.
5. Шумилов К. Г., Юрлов В. И. Применение акустооптического эффекта для определения деформаций инженерных сооружений // Геодезия и фотограмметрия: Сб. науч. тр.—Ростов-на-Дону: РИСИ МВ ССО РСФСР, 1988.

6. Юрлов В. И. Анализ работы акустооптического преобразователя линейных смещений // Автометрия.—1991.—№ 2.
7. Леонов В. В. Анализ методов измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей.—М.: Изд-во стандартов, 1982.
8. Климов Ю. М. Оптические схемы лазерных опорных систем // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.—1988.—№ 3.

Поступила в редакцию 23 ноября 1990 г.

УДК 681.327.68

В. С. Соболев, И. В. Филимоненко

(Новосибирск)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАКТА ЧТЕНИЯ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ

Методом матричного анализа оптической схемы тракта чтения устройства магнитооптической памяти получены выражения, связывающие отношение сигнал/шум на выходе фотоприемника с коэффициентами пропускания частично поляризующего кубика (ЧПК) и углами поворота осей ЧПК и анализатора по отношению к плоскости поляризации падающего света. Методом конфигураций для каждого заданного значения угла керровского вращения диска и величин фонового шума определены оптимальные параметры ЧПК и углы ориентации ЧПК и анализатора, при которых отношение сигнал/шум достигает своего максимального значения. Задача решена с помощью ЭВМ, так как полученные выражения являются трансцендентными функциями четырех переменных.

Известно, что в устройствах магнитооптической памяти (МОП) из-за малости углов керровского вращения и ограничений, накладываемых на мощность лазерного излучения, отношение сигнал/шум (С/Ш) получается низким [1]. Вследствие этого большую актуальность приобрели вопросы оптимизации оптико-электронного тракта чтения. В работах [2, 3] решена задача повышения отношения С/Ш путем оптимизации слоистой структуры магнитооптического диска (МОД); в [4] найдены оптимальные углы поворота осей анализатора относительно плоскости поляризации оптического сигнала, при которых отношение С/Ш достигает максимального значения.

К настоящему времени уже определились основные конфигурации оптических головок, которые можно свести к схеме, представленной на рис. 1. Эта схема включает в себя лазер, светоделительный кубик (СДК) или частично поляризующий кубик (ЧПК), анализатор (А) и фотодетектор (ФД). Поэтому представляется возможным решить задачу оптимизации тракта записи—чтения в целом с учетом возможности вариаций параметров всех элементов схемы.

Ниже представлены результаты решения указанной задачи: найдены оптимальные параметры всех элементов оптической схемы, что позволяет инженеру правильно выбрать параметры тракта для заданных параметров МОД.

Будем считать, что излучение лазера представляет собой плоскополяризованную световую волну с амплитудой E_0 и

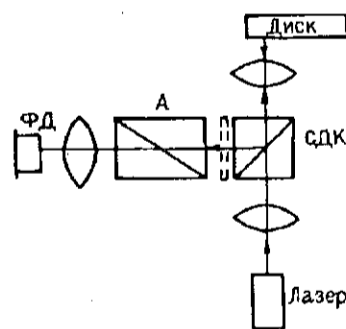


Рис. 1