

**ЛАЗЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА
ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ**

УДК 531.7:681.3.51

**В. М. ВЕДЕРНИКОВ, Л. А. ПЕТРАШЕВИЧ,
Г. Г. ТАРАСОВ, В. А. ХАНОВ, А. М. ЩЕРБАЧЕНКО**
(Новосибирск)

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
С ЛАЗЕРНЫМИ ДАТЧИКАМИ
НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЭКВМ
ТИПА «ЭЛЕКТРОНИКА-70»**

В настоящее время широкое распространение получили уникальные по своим характеристикам измерительные приборы, использующие лазерные датчики информации [1—5]. Как правило, эти приборы содержат в своем составе специализированные счетно-вычислительные устройства, которые производят вычисления значений измеряемого параметра и статистическую обработку результатов измерения.

Ряд практических прикладных задач требует расширения функциональных возможностей счетно-вычислительных устройств. Уже известны измерительные системы с лазерными датчиками, использующие в своем составе мини- и большие ЭВМ [6—8]. Эти системы отличаются высоким быстродействием, но достаточно сложны и дороги. Значительный класс прикладных задач может быть решен в измерительных системах на базе электронно-клавишных вычислительных машин (ЭКВМ). Простой язык программирования, наличие стандартных устройств ввода-вывода позволяют строить на их основе достаточно дешевые и простые автоматизированные измерительные системы [9]. Однако лучшие отечественные ЭКВМ типа «Электроника-70» не имеют электронного канала ввода данных, поэтому этот канал необходимо разрабатывать при использовании таких машин в автоматизированных измерительных системах.

В статье рассматривается обобщенная структурная схема измерительной системы с лазерными датчиками, реализованная на основе ЭКВМ «Электроника-70», приводятся разработанные принципиальные схемы блока ввода данных в ЭКВМ и интерфейса для измерительных устройств (ИУ). Описаны практически реализованные системы для измерения линейных перемещений, ускорений силы тяжести земли, углов поворота, показателя преломления воздуха, а также оценки нестабильности частоты излучения лазеров.

Обобщенная структурная схема измерительной системы представлена на рис. 1. В состав системы входят лазерные датчики $D_1 \dots D_m$, измерительные устройства $ИУ_1 \dots ИУ_m$ с интерфейсами, блок управления (БУ), ЭКВМ «Электроника-70» со стандартным цифropечатающим устройством или графopостроителем и блок ввода данных (БВД) в ЭКВМ.

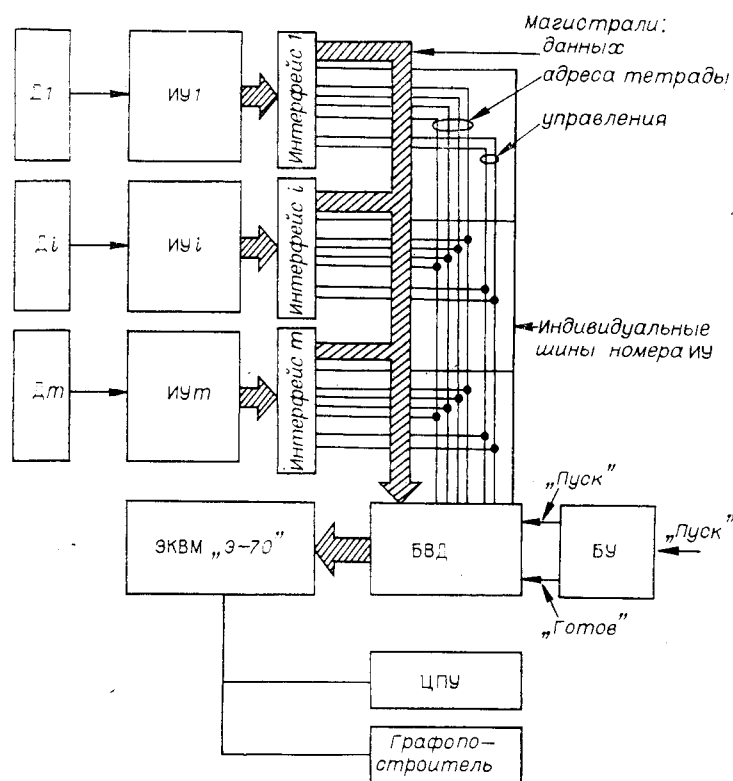


Рис. 1.

Лазерные датчики преобразуют измеряемые параметры в оптические сигналы, модулированные по синусоидальному закону. Разность фаз (или частота) электрических сигналов на выходе фотоприемников изменяется пропорционально измеряемому параметру. Измерительные устройства преобразуют значения сдвига фаз или частоты сигналов фотопреобразователей в цифровые коды, которые вводятся в ЭКВМ для последующей обработки.

Для связи измерительных устройств и ЭКВМ используется магистральный принцип, реализуемый с помощью интерфейсов, магистральных линий связи и блока ввода данных. Магистральные линии связи сгруппированы в три отдельные магистрали.

Магистраль данных (четыре шины) используется для передачи информации от ИУ к блоку ввода данных. Передача информации производится потетрадно: параллельным кодом внутри тетрады и последовательно во времени между тетрадами.

Магистраль адреса тетрады (четыре шины) совместно с индивидуальными шинами, определяющими номер измерительного устройства, используется для кодирования тетрад выбранного устройства, коды которого считываются по магистрали данных в ЭКВМ.

Магистраль управления (две шины) осуществляет синхронизацию ввода данных в ЭКВМ. Сигналы этой магистрали «Очистка» и «Строб» поступают от БВД одновременно на все измерительные устройства.

Связь БВД с ЭКВМ «Электроника-70», осуществляемая одиннадцатью двухпроводными шинами, обеспечивает ввод в ЭКВМ десятичных цифр и сигнала «Пуск». Блок управления синхронизирует работу

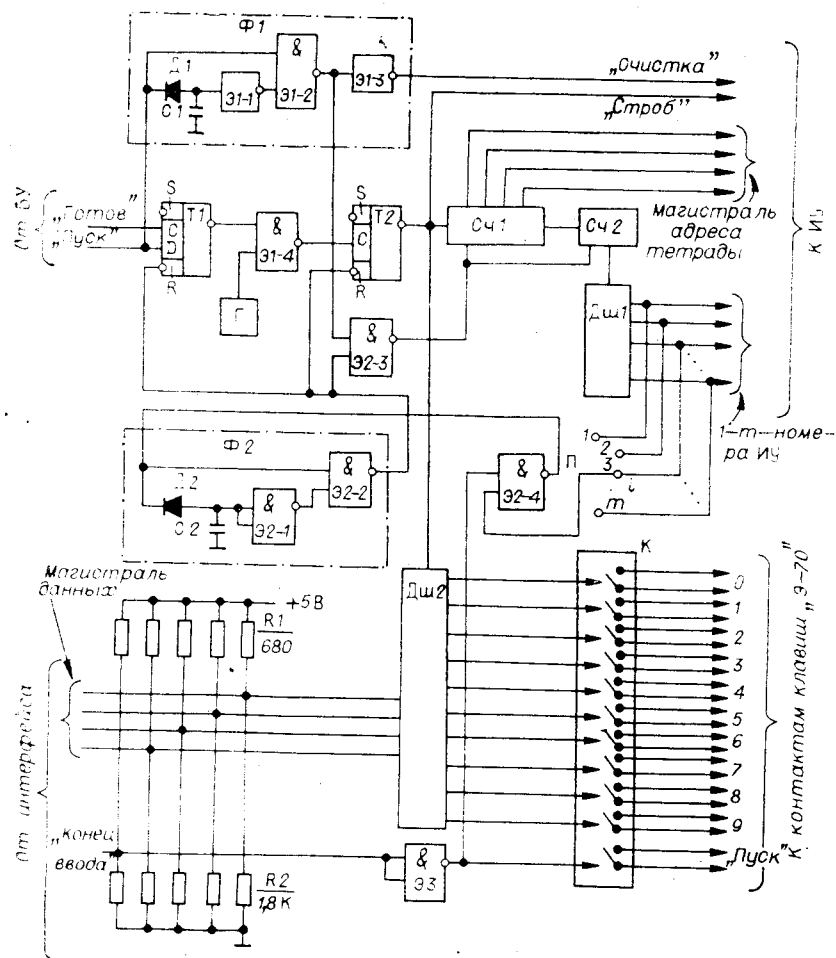


Рис. 2.

всех измерительных устройств системы, а также осуществляет запуск БВД.

На рис. 2 приведена функциональная схема блока ввода данных. Схема содержит триггер запуска Т1, генератор тактовой частоты Г, триггер строба Т2, счетчик-делитель частоты Сч1 с коэффициентом деления, равным $n+1$ (n — число опрашиваемых тетрад), счетчик Сч2, дешифратор Дш1 номера опрашиваемого прибора, дешифратор Дш2 двоично-десятичного кода в десятичный, группу ключей К, формирователи импульсов Ф1 и Ф2, группу резистивных делителей R1, R2 и переключатель П.

Рассмотрим, как работает блок ввода данных. Сигнал «Пуск», поступающий на Д-вход триггера Т1 и вход формирователя Ф1, формирует сигнал «Очистка», устанавливающий все измерительные устройства в исходное состояние. После выполнения необходимых измерений и запоминания результата измерительными устройствами блок управления формирует сигнал «Готов», который устанавливает триггер Т1 в состояние «1». При этом открывается вентиль Э1-4 и импульсы от генератора тактовой частоты начинают поступать в счетный триггер Т2 и декадный счетчик импульсов Сч1. Выходы разрядов этого счетчика подключены к шинам магистрали адреса тетрады, а выход триггера Т2 — к шине «Строб» магистрали управления. Импульсы переполне-

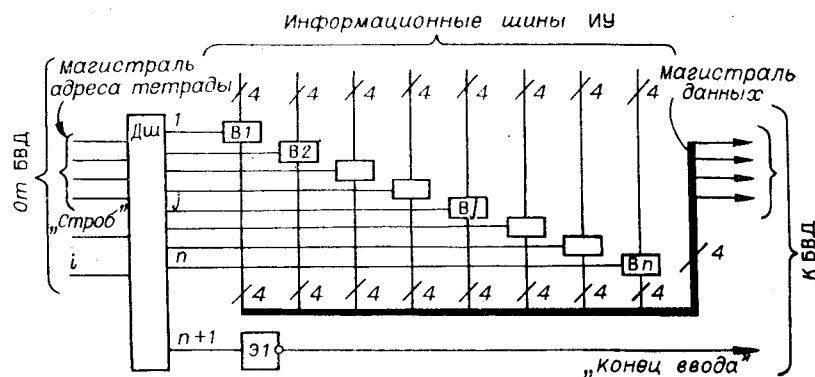


Рис. 3.

ния счетчика Сч1 поступают на вход счетчика Сч2, подключенного к дешифратору Дш1. Сигналы выходных шин дешифратора Дш1 определяют номер i опрашиваемого измерительного устройства. Информация с измерительных устройств по четырем шинам магистрали данных поступает на вход дешифратора Дш2, стробируемого сигналом триггера Т2. Дешифратор Дш2 преобразует двоично-десятичный код (8-4-2-1) тетрад в десятичный. Выходные сигналы дешифратора Дш2 и сигнал элемента Э3, вход которого подключен к шине «Конец ввода» магистрали управления, управляют группой ключей К, замыкающих контакты, коммутируемые клавишами 0-9 и «Пуск». Шины магистрали данных и шина «Конец ввода» нагружены на резистивные делители $R1, R2$. В момент совпадения сигналов, поступающих на вход элемента Э2-4 от переключателя П и элемента Э3, формирователь импульсов Ф2 устанавливает триггеры Т1, Т2, а также счетчики Сч1 и Сч2 в исходное состояние. После ввода данных от измерительных устройств начинается выполнение программы, записанной в памяти ЭКВМ. Новый цикл измерений и автоматической обработки данных возможен теперь только после подачи на вход блока управления сигнала «Пуск».

Структурная схема интерфейса для подключения измерительного прибора через шины магистрали к блоку ввода данных изображена на рис. 3. Она содержит дешифратор Дш адреса тетрады, имеющий $(n+1)$ выходов, и группу импульсно-потенциальных вентилей $B1—Bn$. Каждая группа вентилей Bj содержит по четыре вентиля, информационные входы которых подключены к выходам триггеров тетрадных буферных регистров измерительных устройств. Управляющие входы вентилей каждой группы Bj соединены с j -ми выходами дешифратора. Выходы вентилей одинакового десятичного веса соединены с общими шинами 8, 4, 2, 1 магистрали данных. Нагрузкой вентилей являются резистивные делители $R1, R2$, расположенные в блоке ввода данных. Дешифратор Дш формирует также сигнал «Конец ввода», который производит пуск программы ЭКВМ после ввода данных с каждого измерительного устройства. Блок ввода данных и интерфейсы были выполнены на микросхемах серии К155. Они позволяют вводить 10-разрядные десятичные числа от 8 измерительных устройств в ЭКВМ «Электроника-70» с частотой ввода 10 Гц.

Рассмотрим измерительные системы, реализованные на базе ЭКВМ «Электроника-70».

В системе для измерения линейных перемещений использованы узлы лазерного измерителя перемещений ИПЛ-2 [10], дополненные двумя буферными регистрами. Первый регистр подключен к реверсивному счетчику числа интерференционных полос, а второй — через дешифратор к выходам триггеров Шмитта. По сигналам

лу «Пуск», поступающему от блока управления, блок ввода данных опрашивает содержимое регистров. После ввода данных в память ЭКВМ «Электроника-70» последняя вычисляет значение величины линейного перемещения подвижной призмы интерферометра по данным первого и второго регистров. Система обладает большой гибкостью. Она позволяет, например, вводить автоматическую коррекцию результата измерения при изменении параметров окружающей среды. При измерении размеров можно получать сумму и разность нескольких размеров, запомнить максимальные и минимальные значения, производить контроль допусков, регистрировать результаты измерений в цифровой форме.

Система для измерения ускорения силы тяжести Земли g реализует один из известных баллистических методов [3], суть которого сводится к измерению с предельно малой погрешностью пути и времени движения пробной массы, как минимум, на двух интервалах, к вычислению единичного значения g , а также к статистической обработке массива единичных значений g . В системе использованы: устройство, обеспечивающее свободное падение пробной массы, лазерный интерферометр, электронное устройство для счета интервалов пути, блок управления. Все указанные блоки аналогичны блокам установки для измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести Земли, разработанной в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР. Измерения g проводились по методу двух станций. В качестве измерителей интервалов пути использовались два частотомера ЧЗ-35. Блок управления обеспечивал полную автоматизацию всех операций по подъему, установке и опусканию пробной массы (подвижного отражателя лазерного интерферометра), автоматический сброс и запуск частотомеров, отсчет результатов измерения интервалов пути в заданные моменты времени, а также запуск блока ввода данных с буферных регистров частотомеров в память ЭКВМ.

Один цикл измерений g составляет 12 с. После ввода данных в ЭКВМ она решает систему уравнений второго порядка с целью определения единичного значения g . Для уменьшения погрешности измерения проводится статистическая обработка массива единичных значений g . Малый объем памяти ЭКВМ «Электроника-70» не позволяет сохранить весь массив данных и проводить статистическую обработку данных после набора массива. Поэтому определение среднего значения \bar{g} и дисперсии σ проводились в ЭКВМ по мере вычисления отдельных единичных значений g .

Система для измерения угла поворота реализует метод измерения, подробно описанный в [4]. Она содержит стабилизированный двухчастотный He-Ne лазер [11], подвижный и неподвижный поляризаторы, фотоприемники опорного и измеряемого сигналов, фазометрическую приставку ИФ-3 [12], частотомер ЧЗ-35 и блок управления. Блок управления циклически с частотой 1 Гц производит сброс частотомера, а также запуск его и блока ввода данных. Отсчет результата измерения угла поворота производится частотомером с относительной погрешностью 10^{-2} градуса. ЭКВМ осуществляет математическую обработку результатов единичных измерений, которая сводится к преобразованию отсчета дробной части угла в пределах одного градуса к виду, представленному в минутах и секундах, усреднению результатов единичных измерений, компенсации нелинейности шкалы измерения, обусловленной нелинейностью фазометрической приставки и неизотропностью резонатора двухчастотного лазера.

В системе для оценки нестабильности частоты излучения лазера, как и в аппаратуре [5], реализован принцип фотоэлектрического смешения излучения двух лазеров и измерения их разностной частоты. В состав системы входят две стабилизированных по

частоте He-Ne лазера, светоделительная пластина, с помощью которой совмещаются лазерные лучи, широкополосный фотопреобразователь, частотомер ЧЗ-35 и блок управления. Значение разностной частоты с выхода буферного регистра частотомера периодически вводится в ЭКВМ. В зависимости от программы в ЭКВМ производится статистическая обработка поступающих данных, анализ частотного состава спектра излучения, который необходим при оценке физических свойств самих лазеров. Регистрация на цифropечатающем устройстве (ЦПУ) и графopостроителе результатов вычислений позволяет ускорить и значительно упростить процесс вычисления среднего значения разностной частоты, ее дисперсии, контролировать закон распределения значений по гистограмме.

Система для измерения показателя преломления воздуха $n_{\text{возд}}$ реализует интерференционный метод измерения. Сущность метода заключается в измерении оптической разности хода лучей при прохождении светом одинаковых геометрических путей L в средах с известным (n_0) и измеряемым ($n_{\text{возд}}$) значениями показателя преломления. Выразив отклонение $n_{\text{возд}}$ от n_0 через порядок интерференции N , длину волны излучения λ , длину геометрического пути L и суммируя его с n_0 , можно получить значение

$$n_{\text{возд}} = n_0 + \Delta n = n_0 + N\lambda / (2L).$$

В состав системы [13] входит интерферометр Жамена, двухчастотный лазер [11], фазометрическая приставка высокого разрешения ИФ-3 [12], частотомер ЧЗ-35 и блок управления.

Особенностью системы является то, что при изменении $n_{\text{возд}}$ в пределах $\Delta n = 2 \cdot 10^{-5}$ изменение порядка интерференции не превышает 1, что достигается выбором длины L измерительной кюветы.

Использование двухчастотного лазера позволило повысить точность отсчета дробной части N до $1 \cdot 10^{-3}$, что соответствует погрешности измерения $n_{\text{возд}}$ порядка $5 \cdot 10^{-8}$. Значение разности хода лучей, преобразованное в код с помощью фотоприемников, фазометрической приставки ИФ-3 и частотомера ЧЗ-35, с частотой 0,1 Гц вводится в ЭКВМ через интерфейс и блок ввода данных. ЭКВМ производит усреднение результатов отсчета единичных измерений, а также вычисляет значения Δn и $n_{\text{возд}}$.

Таким образом, используя разработанные блок ввода данных и интерфейсные блоки, а также магистральный принцип связи, можно строить достаточно простые измерительные системы на базе отечественных ЭКВМ типа «Электроника-70», позволяющие решать широкий круг экспериментальных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Коронкевич, Г. А. Ленкова. Применение лазерных интерферометров для точных измерений.— «Автометрия», 1972, № 6, с. 69—75.
2. С. А. Алякишев, М. И. Катаев. Лазерные измерители линейных перемещений для точного станкостроения.— «Обзоры по электронной технике. Электроника», 1974, вып. 6 (205). 36 с.
3. Измерение абсолютного значения гравитационного ускорения. Под ред. чл.-корр. АН СССР Ю. Е. Нестерихина. Новосибирск, Изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1972. 77 с.
4. В. П. Коронкевич, Г. Г. Тарасов, В. А. Ханов. Измерение угла поворота с помощью двухчастотного лазера.— «Автометрия», 1974, № 1, с. 68—71.
5. А. Ю. Гусев, В. Н. Дьяконов, В. Н. Окунишников, Г. М. Собстель, А. А. Франчук, В. П. Шевченко. Аппаратурная реализация устройства для получения оценки частотной стабильности ОКГ.— В кн.: Прикладной анализ случайных сигналов. Новосибирск, Изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1973, №25 с.
6. Бэрд. Управляемая ЭВМ интерферометрическая система для точных относительных измерений углов.— «Приборы для науч. исслед.», 1971, № 10, с. 126—129.

7. М. И. Алькаев, И. Ф. Клисторин, В. В. Курочкин, А. М. Щербаченко. Система на основе малой ЭВМ для измерения перемещений с помощью лазерных интерферометров.— «Автометрия», 1973, № 3, с. 52—59.
8. Л. В. Бурый, В. П. Коронкевич, Ю. Е. Нестерихин, А. А. Нестеров, Б. М. Пушной, С. Е. Ткач, А. М. Щербаченко. Прецизионный фотограмметрический автомат.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—89.
9. G. A. Hegeman. Laser/calculator system improves encoder plate measurement.— "Hewlett — Packard J.", 1973, № 6, с. 16—18.
10. В. М. Ведерников, В. П. Кирьянов, Б. Г. Матиенко, А. М. Щербаченко. Микроэлектронный счетно-вычислительный блок лазерного измерителя перемещений ИПЛ-2.— «Автометрия», 1975, № 5, с. 53—60.
11. С. Н. Атутов, В. П. Коронкевич, А. И. Лохматов, В. В. Слабко, В. А. Ханов. Стабилизация гелий-неонового лазера с внутренними зеркалами в переменном магнитном поле.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—88.
12. С. С. Кузнецкий, М. К. Чмых, С. Б. Шестаков, В. В. Кравченко, А. Е. Тертерин, А. М. Фиштейн. Фазометрическая приставка повышенной точности к цифровым частотомерам.— Труды III краевой научно-технической конференции. Красноярск, Изд. ИФ СО АН СССР, 1972, с. 265—274.
13. В. П. Кирьянов, М. А. Кокшаров, В. А. Ханов. Об одном способе построения цифрового рефрактометра.— В кн.: Системы сбора и первичной обработки измерительной информации. Новосибирск, Изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1973. 133 с.

Поступила в редакцию 27 октября 1975 г.

УДК 621.378:625.532.57

**Ю. Н. ДУБНИЩЕВ, В. А. ПАВЛОВ, А. Н. СКУРЛАТОВ,
В. С. СОБОЛЕВ, А. А. СТОЛПОВСКИЙ, Т. А. ШЕЛОПУТ**

(Новосибирск)

ШУМ НАЛОЖЕНИЯ В ЛДИС И ПУТИ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС) являются наиболее перспективными устройствами для исследования гидродинамики однофазных и двухфазных потоков. В ближайшем будущем они, по-видимому, станут не только стандартными инструментами исследователя, но и датчиками скорости систем автоматизации технологических процессов в химической промышленности, производстве проката, бумаги и т. п. В отличие от известных устройств ЛДИС обладают такими достоинствами, как высокая точность измерения средней скорости, линейная зависимость между скоростью и информативным параметром (частотой) сигнала на выходе. ЛДИС не вносят механических возмущений в исследуемый поток, что для физического эксперимента часто имеет решающее значение. Однако при больших концентрациях рассеивающих частиц на выходе ЛДИС увеличивается шум, в связи с чем снижается точность измерения пульсаций скорости. Это является недостатком ЛДИС в сравнении с термоанемометром. Шум на выходе ЛДИС наблюдается как при исследовании турбулентных, так и ламинарных потоков, когда скорость рассеивающих частиц неизменна, а градиент скорости в точке измерения отсутствует. Снижение уровня шума путем уменьшения концентрации рассеивающих частиц не всегда помогает делу, так как при этом теряется информация о высокочастотных составляющих пульсаций скорости, что, естественно, недопустимо при измерениях характеристик турбулентных потоков.