

Наиболее перспективной конфигурацией системы обработки изображений следует считать изображенную на рисунке. Мини-ЭВМ совершенно необходима для настройки и профилактики фотограмметрического автомата; она может взять на себя компенсацию погрешностей координатных систем (метрологическое обеспечение), использоваться как буферная память и, наконец, выполнять стандартные операции обработки небольшого объема. Именно эта ЭВМ должна быть связана с фотограмметрическим автоматом предложенным выше способом. Полупрозрачной дисплей в режиме отображения управляется непосредственно от автомата. В диалоговом режиме он является активным устройством и при помощи его клавиатуры и светового пера оператор через мини-ЭВМ управляет работой алгоритма. Эта часть системы должна рассматриваться как базовый комплект.

Для решения сложных задач система должна расширяться подключением мощной ЭВМ (типа М-4030) и устройствами отображения (графопостроители, дисплей на запоминающей ЭЛТ и пр.). Наиболее целесообразный способ организации расширенной системы — применение стандартной магистральной системы обмена.

Приведенные выше соображения легли в основу разработки нового прибора «Зенит-2», которая проводится в настоящее время в ИАиЭ СО АН СССР.

Поступила в редакцию 2 февраля 1977 г.

УДК 681.513.52 : 681.515.8

**Л. В. БУРЫЙ, С. А. КУЗНЕЦОВ, Л. Г. ЛУГОВОВ,
А. А. НЕСТЕРОВ, Б. М. ПУШНОЙ**

(Новосибирск)

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО АВТОМАТА «ЗЕНИТ»

В статье [1] описана автоматическая система ввода изображений в ЭВМ с целью его математической обработки, работающая в режиме непосредственной связи фотограмметрического автомата «Зенит» с ЭВМ. Ввод изображения осуществляется фрагментами с помощью расположенной неподвижно электронно-лучевой трубки высокого разрешения, а доступ к любому фрагменту всего изображения обеспечивается посредством механического перемещения носителя изображения.

Механическая система автомата. На рис. 1 приведена конструктивная схема механической системы автомата. Она включает в себя механизм поступательного перемещения фотоносителя и измерительную часть, смонтированные на общем массивном основании 1.

Механизм поступательного перемещения состоит из траверсы 2, установленной на неподвижных направляющих 3 и 4. На траверсе 2 расположена направляющая 5, на которой размещена подвижно рамка 6 с фотоносителем. Положение рамки 6 в горизонтальной плоскости поддерживается закрепленной в ее углу опорой 7, которая скользит по поверхности плиты 8. Таким образом, рамка (вместе с фотоносителем) имеет возможность перемещаться поступательно по двум ортогональным направлениям. Движение рамке сообщают два одинаковых узла привода 9 и 10. Для получения минимального значения момента инерции, приведенного к валу двигателя, в каждом узле привода применен спе-

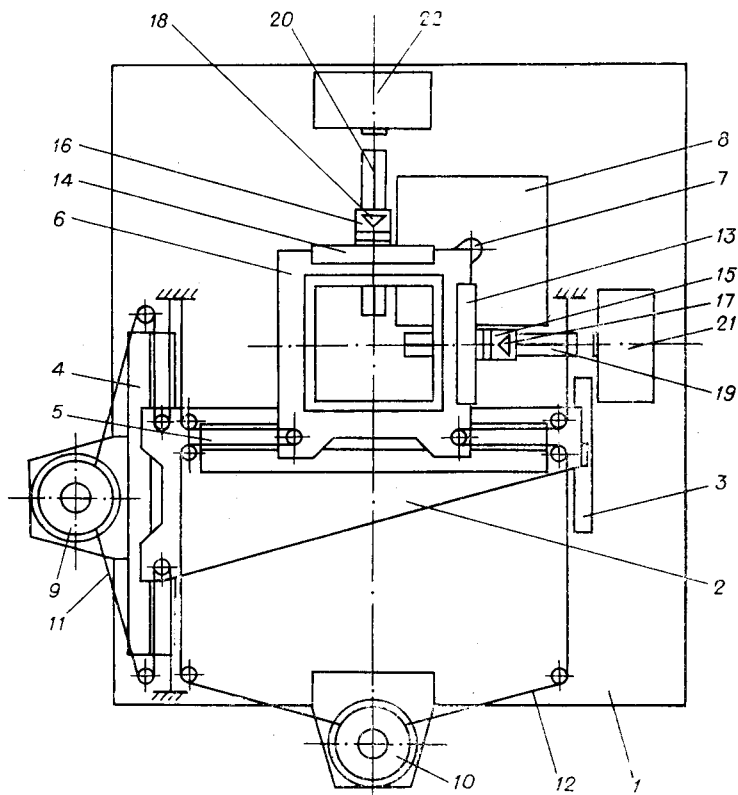


Рис. 1.

специальный электродвигатель постоянного тока с печатным якорем и в качестве преобразователя вращательного движения вала электродвигателя в поступательное движение рамки выбраны гибкие звенья в виде стальных лент. Такое решение позволило также жестко связать с основанием 1 оба узла привода 9 и 10. При этом узел привода 9 приводит в движение траверсу 2, а узел привода 10 только рамку 6 посредством лент 11 и 12 соответственно.

Измерительная часть системы состоит из двух высокоточных строго ортогональных линейек 13 и 14, жестко закрепленных вдоль двух сторон рамки 6. К этим линейкам подпружинены каретки 15 и 16, содержащие угольковые отражатели 17 и 18. Каретки могут свободно перемещаться вдоль направляющих 19 и 20. Два независимых лазерных измерителя линейных перемещений (ИПЛ) 21 и 22 установлены на основании 1 так, что их лучи направлены вдоль направляющих 19 и 20 на угольковые отражатели 17 и 18. Таким образом, лазерные измерители измеряют положение кареток 15 и 16, а соответственно и координаты рамки 6, с которой эти каретки связаны через линейки 13 и 14.

Благодаря соблюдению принципа Аббе для обеих координат в рассмотренной системе высокие требования предъявляются только к прямолинейности линейек 13 и 14 и точности угла между ними, определяющего угол между координатными осями. Отклонения по этим параметрам входят в показания ИПЛ как ошибки первого порядка. Эти ошибки очень стабильны во времени и при необходимости могут быть учтены в программе ЭВМ.

Важнейшим узлом механической системы автомата является узел привода (рис. 2). Он включает в себя фрикционный редуктор с автома-

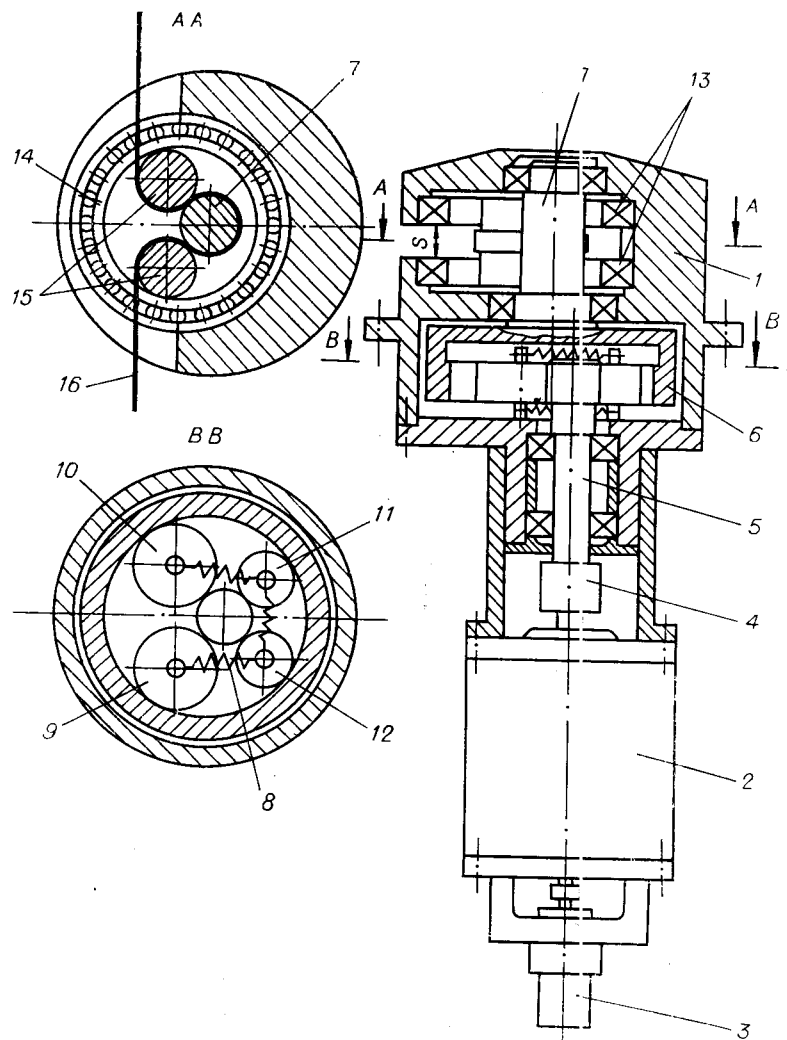


Рис. 2.

тическим нажатием катков и устройство для протягивания ленты, которые конструктивно объединены в одном корпусе 1.

Узел привода состоит из электродвигателя 2, вал которого связан с тахогенератором 3 и через муфту 4 с ведущим валом 5 редуктора. Рабочая часть этого вала находится внутри стакана 6, которым заканчивается ведомый вал 7. Оси ведущего и ведомого валов несколько смещены. Между внутренней поверхностью стакана 6 и рабочей частью вала 5 заклинено посредством пружин 8 четыре катка 9—12.

Ведомый вал 7 редуктора одновременно является ведущим шкивом устройства протяжки ленты [2]. Он расположен эксцентрично внутри шарикоподшипников 13, установленных соосно, расстояние между которыми больше ширины ленты. Между рабочей поверхностью шкива 7 и внутренними кольцами 14 подшипников 13 свободно размещены ролики 15. Лента 16 огибает шкив 7 и ролики 15 таким образом, что ролики прижимаются к кольцам 14 и одновременно прижимают ленту к шкиву. Такое конструктивное решение позволяет разгрузить опоры вала ведущего шкива от натяжения ленты и обеспечить автоматическое изменение натяжения ленты в зависимости от передаваемого тягового усилия.

Система управления. Быстродействие автомата в целом во многом зависит от структуры системы управления движением фотоносителя. Система управления построена таким образом, что высокая скорость перемещения и точность позиционирования фотоносителя достигаются использованием двухступенчатого регулятора и лазерных измерителей линейных перемещений.

Первая ступень регулирования скоростная, она содержит оптимальный по быстродействию регулятор [3] и обеспечивает перемещение рамки со скоростью порядка 1 м/с. При максимальном диапазоне перемещений 300 мм по каждой координате ошибка позиционирования составляет 0,16 мм.

Вторая, точная ступень содержит блок пропорционального регулирования и обеспечивает позиционирование с погрешностью одного дискрета лазерного измерителя перемещений, составляющего 0,32 мкм.

Отсчетная часть [4] содержит по два реверсивных 24-разрядных счетчика для каждой координаты. На входы счетчиков подаются счетные импульсы, следующие через $\lambda/2$ He-Ne лазера. Первый счетчик — счетчик координаты — предназначен для регистрации текущего значения координаты, второй — счетчик приращений — используется в системе управления. Оба счетчика связаны с ЭВМ, которая может прочесть их содержимое, а также записать в них нужные коды.

Рассмотрим работу оптимального регулятора на примере одной координаты X . При этом предполагается, что движение объекта описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка. Введем следующие обозначения: V_x — скорость перемещения рамки, U_x — управляющее воздействие по координате X .

Поведение объекта описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{X} &= V_x; \\ \dot{V}_x &= aX + bV_x + K_x U_x, \end{aligned}$$

где $|U_x| \leq 1$; a , b и K_x — параметры объекта.

Введем в рассмотрение модель объекта, работающую в «обращенном времени»:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= -Z_2; \\ \dot{Z}_2 &= -aZ_1 - bZ_2. \end{aligned}$$

Через $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$ обозначим фазовые координаты этой модели при начальных условиях $Z_1(0) = 0$, $Z_2(0) = K_x$.

В работе [5] показано, что при оптимальном по быстродействию управлении значение управляющего параметра U_x в фазовой точке (X, V_x) определяется соотношением

$$U_x(X, V_x) = -\text{sign}[\text{sign} X Z_1(T) + V_x], \quad (1)$$

где параметр T является единственным корнем уравнения

$$\int_0^T |Z_1(t)| dt = |X|. \quad (2)$$

Так как получение функций $Z_1(t)$, $Z_2(t)$ и интегрирование в (2) можно производить в ускоренном масштабе времени, то регулятор позволяет вести управление практически в функции фазовых координат управляемого объекта.

Блок-схема системы управления приведена на рис. 3, где цифрами 1—3 обозначены оптимальный и пропорциональный регулятор и силовой блок соответственно. В счетчик приращений из ЭВМ заносится требуемое приращение координаты. Система позиционирования всегда стремится

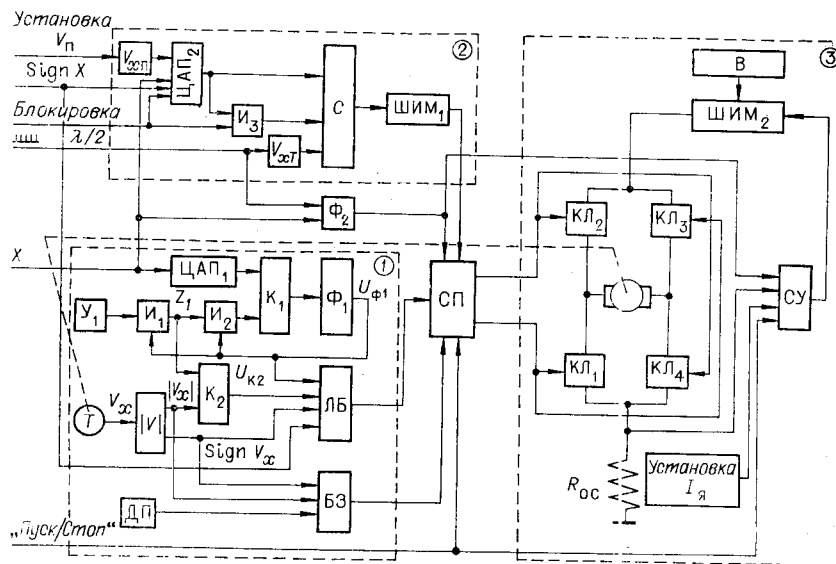


Рис. 3.

ся перемещать подвижную рамку до тех пор, пока в счетчике приращений не будет достигнут нуль. Полному перемещению в 300 мм соответствуют двадцать разрядов счетчика приращений, причем двенадцать разрядов составляют зону грубого перемещения, а восемь младших разрядов — зону точного позиционирования. Если рассогласование превышает зону точного позиционирования, то первой работает скоростная ступень регулятора.

Электронная модель оптимального по быстродействию регулятора содержит интеграторы I_1 и I_2 . Она генерирует в ускоренном масштабе времени функцию $Z_1(t)$ и решает уравнение (2) с помощью компаратора K_1 и формирователя Φ_1 . В момент выполнения равенства (2) на выходе формирователя Φ_1 генерируется строб-импульс, который разряжает интеграторы I_1 и I_2 . Компаратор K_2 сравнивает модуль скорости $|V_x|$ с функцией $Z_1(t)$.

На рис. 4 приведена временная диаграмма работы оптимального регулятора. Логический блок ЛБ решает уравнение (1) и определяет момент переключения направления тока двигателя. До момента времени t_p осуществляется разгон подвижной рамки до скорости V_p .

После переключения привода в режим торможения скорость движения рамки начинает уменьшаться и достигает некоторого порогового значения V_{x0} . Если при этом значении ошибка по координате меньше заранее выбранной величины X_0 , то оптимальный регулятор отключается и управление передается блоку пропорционального регулирования по сигналу «Зона», вырабатываемому формирователем Φ_2 . В процессе движения в режиме оптимального управления неизбежны отклонения от требуемой скорости из-за неравномерности сил трения и рамка может не достигнуть «Зоны» или перейти ее. В первом случае происходит несколько дополнительных циклов разгон — торможение, во втором случае в счетчике приращений накапливается величина координаты с обратным знаком и оптимальный привод возвращает рамку.

По мере отработки рассогласования в оптимальном режиме порог срабатывания K_1 уменьшается, что приводит к увеличению частоты решений, так как наклон $Z_1(t)$ фиксирован величиной уставки U_1 на входе интегратора I_1 . Максимальному рассогласованию 300 мм соответствует частота 400 Гц, которая возрастает приблизительно

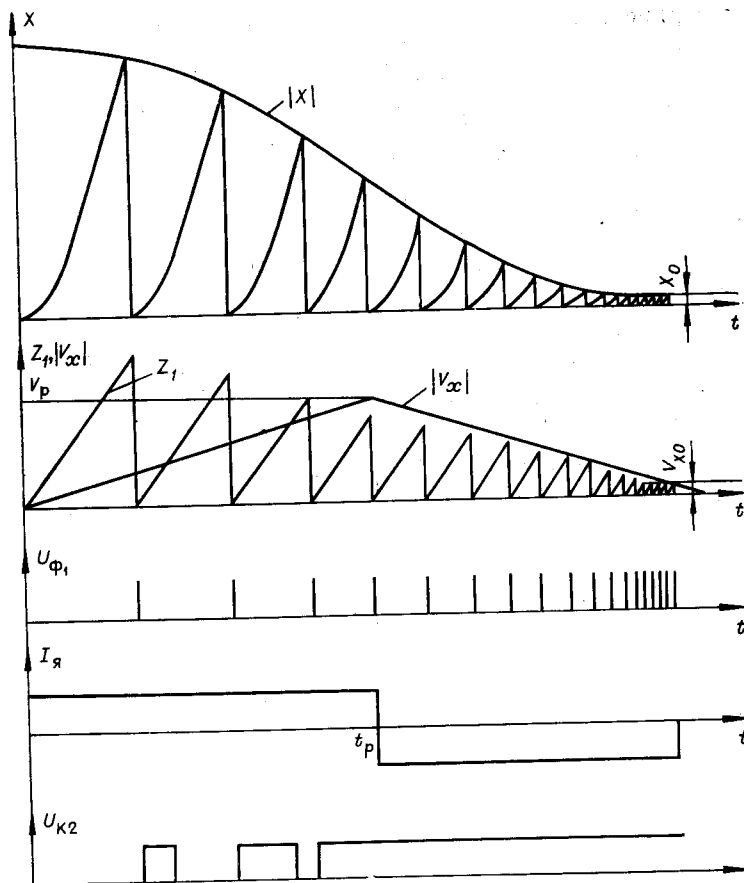


Рис. 4.

до 20 кГц при $X=0,16$ мм. С повышением частоты решений увеличивается точность позиционирования скоростной ступени.

Пропорциональный регулятор содержит цифроаналоговый преобразователь ЦАП₂, интегратор И₃, датчик скорости $V_{xт}$, задатчик программной скорости $V_{xп}$ и сумматор С. Регулятор построен по классической схеме и формирует управляющее воздействие вида

$$U_x(t) = a_1 X + a_2 \int X dt + a_3 \dot{X}.$$

Коэффициенты a_1 , a_2 и a_3 при настройке регулятора устанавливаются в суммирующем блоке С. Автономный датчик скорости $V_{xт}$ имеет диапазон от 12 мкм/с до 20 мм/с и погрешность около 5%. Время позиционирования при рассогласовании 0,16 мм составляет около 0,5 с.

Особенностью регулятора является использование в нем широтно-импульсного модулятора, который значительно снижает сухое трение в механизме перемещения рамки и тем самым улучшает характеристики системы в режиме точного позиционирования.

Непрерывное отслеживание контуров изображения и кривых произвольной формы осуществляется программным режимом механического перемещения. Режим реализуется через пропорциональный регулятор. В этом случае осуществляется блокировка интегратора И₃, а цифроаналоговый преобразователь ЦАП₂ используется как задатчик скорости

и регулятор работает как следящая система по скорости. Значение скорости может заноситься в любой подходящий тактовый момент.

Система защиты по скорости. При работе скоростной ступени управления скорость перемещения рамки достаточно высока, что требует применения специальных устройств ограничения скорости. Возникновение сбоя в ЭВМ или воздействие помех в линии связи, соединяющей ЭВМ и автомат, может привести к тому, что подвижные массы (рамка, траверса) достигнут своего крайнего положения (упора) со сравнительно большой скоростью и произойдет сильный динамический удар. В результате ударной нагрузки возможны поломки элементов механизма или, что совершенно недопустимо, деформация высокоточных деталей и нарушение их взаимного положения. Кроме того, такие ударные нагрузки могут вызвать смещение фотоносителя относительно подвижной рамки, что приведет к появлению ошибок в координатах точек изображения.

Для предотвращения подобных ситуаций электропривод оборудован специальной системой защиты. Каждая координата содержит функциональный датчик положения ДП, жестко соединенный с подвижной рамкой. Датчики выполнены таким образом, что при перемещении рамки из среднего положения в крайнее выходное напряжение датчика изменяется линейно от своего максимального значения до нуля. Выходное напряжение датчика определяет для каждого значения координаты предельно допустимую величину скорости, которая обусловлена динамическими характеристиками механической системы перемещения и мощностью силовой части привода.

Блок защиты БЗ сравнивает сигналы датчика защиты и датчика скорости. В момент времени, когда скорость превысит предельно допустимую величину, схема защиты формирует сигнал защиты, по которому блокируется сигнал управления и электродвигатель переключается в режим торможения.

Схема приоритета СП является согласующим звеном между системой управления и силовым блоком питания электродвигателей. Высшим приоритетом обладает сигнал блока защиты, на следующем уровне — сигнал «Пуск/Стоп», затем сигнал оптимального управления и, наконец, управляющий сигнал пропорционального регулятора. Таким образом, независимо от причины превышения предельной скорости блок защиты снимает электропривод с режима «Стоп» и двигатель переводится в режим торможения.

Блок питания и реверсирования двигателя. Электродвигатель каждой координаты реверсируется мостовой схемой, выполненной на мощных кремниевых транзисторах типа КТ805А. Максимальный коммутируемый ток равен 30 А.

Вращающий момент на валу электродвигателя поддерживается постоянным с помощью электронного стабилизатора тока, работающего в режиме широтно-импульсной модуляции. Величина тока задается уставкой на входе схемы управления СУ широтно-импульсным модулятором ШИМ-2. Для ограничения пускового тока электродвигателя в режиме «Стоп» ключ модулятора запирается, так как закрытые ключи $KЛ_1$ – $KЛ_4$ размыкают цепь обратной связи стабилизатора тока. Величина питающего напряжения выбрана с таким расчетом, чтобы можно было компенсировать э. д. с. самоиндукции электродвигателя на номинальных оборотах. Точность поддержания величины тока двигателя не хуже 1%. Выходной сигнал формирователя Φ_2 изменяет величину уставки тока и тем самым снижает ускорение при работе пропорционального регулятора.

Выпрямитель В питает якорную цепь и цепь возбуждения электродвигателя. Питание якорной цепи осуществляется от 12-фазного выпря-

мителя с выходным напряжением 60 В и номинальным током 20 А. Обмотка возбуждения потребляет ток 12 А при напряжении 12 В.

Конструктивно электронное оборудование размещено в двух стойках: одна из них содержит электронные блоки системы управления движением каретки, отсчетного устройства, связи с ЭВМ и управления положением электронного луча, во второй находятся выпрямители возбуждения и питания якорной обмотки, стабилизаторы тока и реверсирующие мостовые схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый Л. В., Коронкевич В. П., Нестерихин Ю. Е., Нестеров А. А., Пушной Б. М., Ткач С. Е., Щербаченко А. М. Прецизионный фотограмметрический автомат.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—89.
2. Бакланов Ю. И., Кузнецов С. А. Натяжное устройство ленточной передачи.— Авт. свид-во № 347486, Б. И., 1972, № 24.
3. Александров В. М., Нестеров А. А., Филиппова Н. П. Способ формирования управляющего воздействия.— Авт. свид-во № 276207, Б. И., 1970, № 23.
4. Алькаев М. И., Ведерников В. М., Щербаченко А. М. Программно-управляемые модули интерференционной координатно-измерительной системы фотограмметрического автомата «Зенит».— «Автометрия», 1977, № 3, с. 24—33.
5. Нестеров А. А., Филиппова Н. П. Синтез оптимального управления для линейных объектов второго порядка.— В кн.: Оптимальные и самонастраивающиеся системы. Новосибирск, Изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1971.

Поступила в редакцию 17 января 1977 г.

УДК 681.327.521

Г. М. МАМОНТОВ, А. К. ПОТАШНИКОВ, Г. Ф. СИТНИКОВ

(Новосибирск)

СКАНИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО УНИВЕРСАЛЬНОГО ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО АВТОМАТА «ЗЕНИТ»

В универсальном фотограмметрическом автомате «Зенит»* используется сочетание быстродействующего электронного сканирующего устройства (ЭСУ), выполненного на основе прецизионной электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), и механической системы перемещения плоского фотоносителя по двум координатам. При разработке ЭСУ ставились задачи: более полная автоматизация обработки фрагментов изображения; получение высокого пространственного разрешения, достаточного для обработки объектов размерами порядка 10 мкм; автоматическое измерение степени почернения эмульсионного слоя фотопластинки; универсальность устройства. Поэтому управление сканированием для анализа степени почернения эмульсионного слоя было возложено на электронную вычислительную машину.

Электронное сканирующее устройство, функциональная схема которого представлена на рис. 1, состоит из трех основных частей: цифровой логической, узла сканирования и двухлучевого блока фотометрирования (БФ). Цифровая часть, состоящая из блока сопряжения и управления (БСиУ), генератора точек (ГТ) и генератора векторов (ГВ),

* Бурый Л. В., Коронкевич В. П., Нестерихин Ю. Е., Нестеров А. А., Пушной Б. М., Ткач С. Е., Щербаченко А. М. Прецизионный фотограмметрический автомат.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—89.