

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.145.35+53.07

Ю. Н. БАДЛЕВСКИЙ, А. А. БРЫЗГАЛИН

(Москва)

МЕТОД И УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ФИГУР В ПОЛЕ СКАНИРОВАНИЯ

I. При исследованиях микроскопических объектов (в биологии, медицине, гранулометрии, металлографии), а также физических полей (в экспериментальной физике и дефектоскопии) одним из существенных параметров, характеризующих состояние системы, является количество объектов (фигур) в поле видимости сканирующей системы. Динамика исследуемых процессов и большой объем вычислительных работ накладывают ограничения на время получения информации о числе исследуемых объектов, что влечет за собой необходимость автоматизации процесса счета [1]. При решении задачи автоматического счета числа объектов в каждом конкретном случае приходится рассматривать вопросы о выборе подходящей системы съема информации, об обеспечении удовлетворительного для обработки уровня сигнал/шум и выборе уровня квантования сигнала по амплитуде. Однако если эти вопросы решены и на выходе сканирующей системы образуются электрические сигналы в двоичной форме («да», «нет»), то задача обработки этих сигналов становится универсальной и сводится к созданию алгоритмов и устройств, которые дают возможность производить автоматический счет числа фигур независимо от вида исследуемых полей (световые, тепловые, магнитные, нейтронные и т. д.).

В настоящей работе рассматривается именно эта последняя универсальная часть задачи. Предлагаемое решение основано на методе узкой строки и критерии перекрытия [2—4] и позволяет определять количество фигур произвольной формы со сплошным растровым заполнением (без отверстий внутри контура фигуры).

II. На выходе сканирующей системы формируются видеосигналы, длительность которых равна времени прохождения сканирующего элемента по фигуре вдоль линии сканирования — строки (рис. 1). Определение количества фигур сводится к установлению принадлежности хорд, секущих фигуру, с разных строк к одной и той же или к различным фигурам. При ширине фигуры, большей, чем расстояние между соседними строками, импульсы, лежащие на соседних строках, относятся к одной фигуре, если они накладываются по времени друг на друга (критерий наложения или перекрытия).

Введем некоторые определения. Будем считать, что фигура имеет столько «развитий», сколько имеется в ней случаев наложения хорды с

предыдущей строки на две хорды и более последующей, столько «ветвей», сколько при наличии развитий имеется наложений, и столько окончаний, сколько в фигуре имеется хорд, которые не накладываются на хорды последующей строки. Тогда алгоритм определения числа фигур будет иметь вид

$$N = n_{\text{ок}} + n_{\text{разв}} - n_{\text{ветв}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{ок}}$ — количество окончаний; $n_{\text{разв}}$ — количество развитий; $n_{\text{ветв}}$ — количество ветвей. Из (1), в частности, следует, что для одной фигуры произвольной формы с указанными выше ограничениями

$$N = n_{\text{ок}} + n_{\text{разв}} - n_{\text{ветв}} = 1. \quad (2)$$

Докажем справедливость соотношения (2). Для этой цели введем некоторые дополнительные определения. Фигурой нулевого порядка (элементарной фигурой) будем называть такую, которая после разбиения строками на хорды имеет не более одного развития. Фигурой первого порядка назовем такую, которая состоит из произвольного конечного числа фигур нулевого порядка, объединенных сверху одним общим развитием. Фигурой второго порядка назовем такую, которая состоит из произвольного конечного числа фигур первого порядка и произвольного конечного числа фигур нулевого порядка, объединенных сверху одним общим развитием. Фигурой n -го порядка назовем такую, которая состоит из произвольного конечного числа фигур $(n-1)$ -го порядка и произвольного конечного числа фигур порядка ниже $(n-1)$ -го объединенных сверху одним общим развитием.

Для доказательства соотношения (2) достаточно показать его справедливость для фигуры n -го порядка. Фигура нулевого порядка включает в себя, по определению, два случая: $1/n_{\text{разв}} = 0$ и $2/n_{\text{разв}} = 1$. Очевидно, для первого случая всегда $n_{\text{ветв}} = 0$, так как отсутствие развитий влечет за собой отсутствие ветвей и, следовательно, $n_{\text{ок}} = 1$, т. е. соотношение (2) справедливо. Для второго случая число ветвей всегда в точности равно числу окончаний ($n_{\text{ветв}} = n_{\text{ок}}$), так как в фигуре с одним развитием каждая ветвь имеет одно окончание. Следовательно, соотношение (2) тоже справедливо.

Итак, мы показали, что для фигуры нулевого порядка

$$N_i^{(0)} = 1, \quad (3)$$

где i — число окончаний.

Для фигуры первого порядка, состоящей из двух элементарных фигур, число $N = N_2^{(1)}$ можно определить следующим образом: каждая из фигур нулевого порядка вносит в (1) по $N_i^{(0)}$ плюс одно развитие за счет хорды, объединяющей две фигуры нулевого порядка в

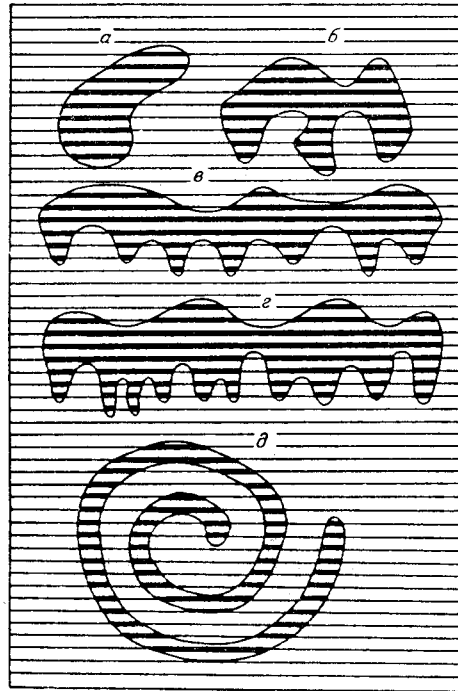


Рис. 1.

фигуру первого порядка, плюс две новые ветви, образованные хордами, являющимися развитиями для элементарной фигуры. С учетом (3) это дает

$$N_2^{(1)} = 2 N_i^{(0)} + 1_{\text{разв}} - 2_{\text{ветв}} = 1. \quad (4)$$

Для фигуры первого порядка, состоящей из трех элементарных фигур, с учетом (3) имеем

$$N_3^{(1)} = 3 N_i^{(0)} + 1_{\text{разв}} - 3_{\text{ветв}} = 1, \quad (5)$$

а для фигуры, состоящей из четырех элементарных фигур,—

$$N_4^{(1)} = 4 N_i^{(0)} + 1_{\text{разв}} - 4_{\text{ветв}} = 1. \quad (6)$$

На основании соотношений (4)—(6) можно предположить, что для фигуры первого порядка, состоящей из произвольного конечного числа m ($m \geq 2$) фигур нулевого порядка, имеет место соотношение

$$N_m^{(1)} = m N_i^{(0)} + 1 - m = 1. \quad (7)$$

Докажем справедливость (7) по индукции. При $m=2$ соотношение (7) принимает вид (4) и, следовательно, оно справедливо. Пусть соотношение (7) верно при $m=k$, т. е. $N_k^{(1)} = k N_i^{(0)} + 1 - k = 0$. Тогда оно верно и для $m=k+1$, так как с учетом (3)

$$N_{k+1}^{(1)} = (k+1) N_i^{(0)} + 1 - (k+1) = 1,$$

а следовательно, оно верно и при любом натуральном $m \geq 2$, что и требовалось доказать.

Проводя аналогичные рассуждения, приходим к выводу, что для фигуры второго порядка, объединяющей сверху общей хордой p фигур первого порядка и q фигур нулевого порядка, с учетом (3) и (7) справедливо выражение

$$N_{p+q} = p N_m^{(1)} + q N_i^{(0)} + 1 - (p+q). \quad (8)$$

Продолжая эту процедуру n раз, по аналогии с предыдущим находим, что для фигуры n -го порядка, состоящей из p фигур $(n-1)$ -го порядка, q фигур $(n-2)$ -го порядка и т. д. и из t фигур нулевого порядка, объединенных сверху одним общим развитием, с учетом (3), (7), (8) и аналогичных им формул для фигур более высокого порядка имеет место соотношение

$$N_{p+q+\dots+t}^{(n)} = p N_k^{(n-1)} + q N_l^{(n-2)} + \dots + t N_i^{(0)} + 1 - (p+q+\dots+t), \quad (9)$$

что и требовалось доказать. Тем самым доказана справедливость (2), а следовательно, и (1).

Легко заметить, что охваченный данным доказательством класс фигур не включает в себя фигуры спирального типа (см. рис. 1, ∂). Не приводя подробного доказательства, отметим, что соотношения (1) и (2) справедливы и для фигур спирального типа. Доказательство в этом случае строится так же, как и приведенное выше, с тем лишь отличием, что порядок фигуры зависит от количества витков спирали и увеличивается с увеличением числа витков.

На рис. 1 приведены примеры фигур нулевого (a , b), первого (θ), второго (z) порядков и спирального типа (∂). Легко видеть, что здесь $n_{\text{разв}} = 12$, $n_{\text{ветв}} = 31$, $n_{\text{ок}} = 24$ и $N = 12 + 24 - 31 = 5$.

III. Для схемной реализации алгоритма (1) его удобно представить в виде

$$N = n_{\text{ок}} - A, \quad (10)$$

где $A = n_{\text{ветв}} - n_{\text{разв}}$ — число «превышений».

Для определения числа окончаний, развитий и ветвей нужно сравнивать видеосигналы с двух соседних строк, что ведет к необходимости запоминания видеосигналов с верхней (предыдущей) строки. Обозначим начала и концы видеосигналов верхней строки соответственно через V_n и V_k , нижней — H_n , H_k .

Функциональная схема запоминания и формирования строки представлена на рис. 2. Для синхронизации работы устройства от сканирующей системы поступают сигналы начала кадра K_n , конца кадра K_k и начала строки C_n .

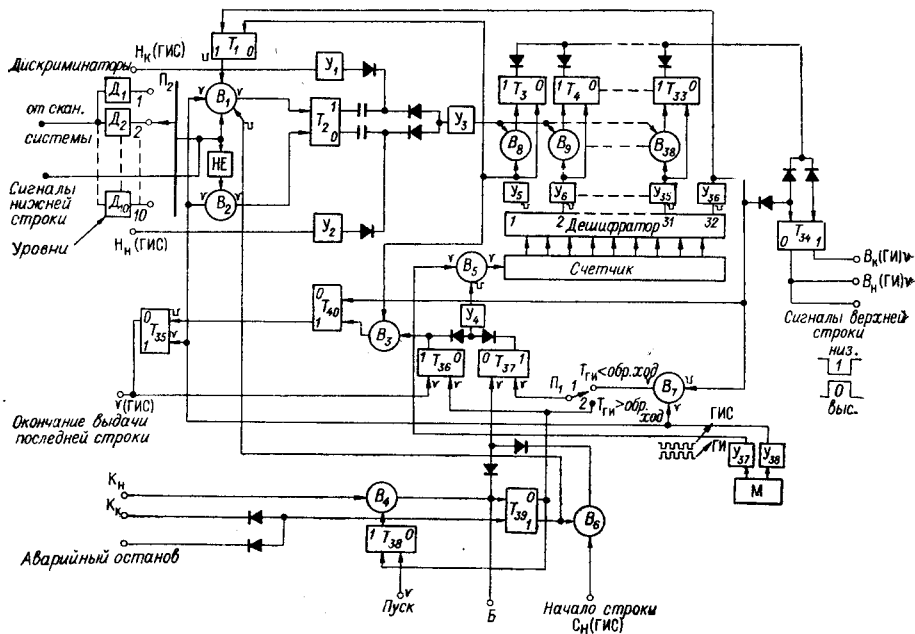


Рис. 2.

После прихода команды «пуск», осуществляемой с пульта управления, триггер T_{38} переводится в состояние «0» (см. временную диаграмму на рис. 3) и вентиль V_4 оказывается открытым (триггеры запускаются отрицательными импульсами по базе, вентили срабатывают от отрицательных импульсов).

Первый импульс начала кадра K_n проходит через вентиль V_4 и переводит триггеры T_{39} и T_{37} в состояние «0». При этом на вентили V_1 , V_5 и V_6 подается разрешение. Теперь главные импульсы (ГИ) с мультивибратора M поступают на счетчик. Поочередно, синхронно со сканированием включаются шины дешифратора. Передний фронт импульса с шины дешифратора устанавливает соответствующий триггер из регистра $T_3 - T_{33}$ в положение «0», освобождая регистр триггеров для записи новой информации. Стираемая же информация поступает на счетный вход триггера T_{34} . При наличии видеосигнала на выходе V_1 пройдет ГИС (главный импульс сдвинутый) и переведет триггер T_2 в состояние «1», в результате чего на нулевом выходе триггера T_2 возникнет отрица-

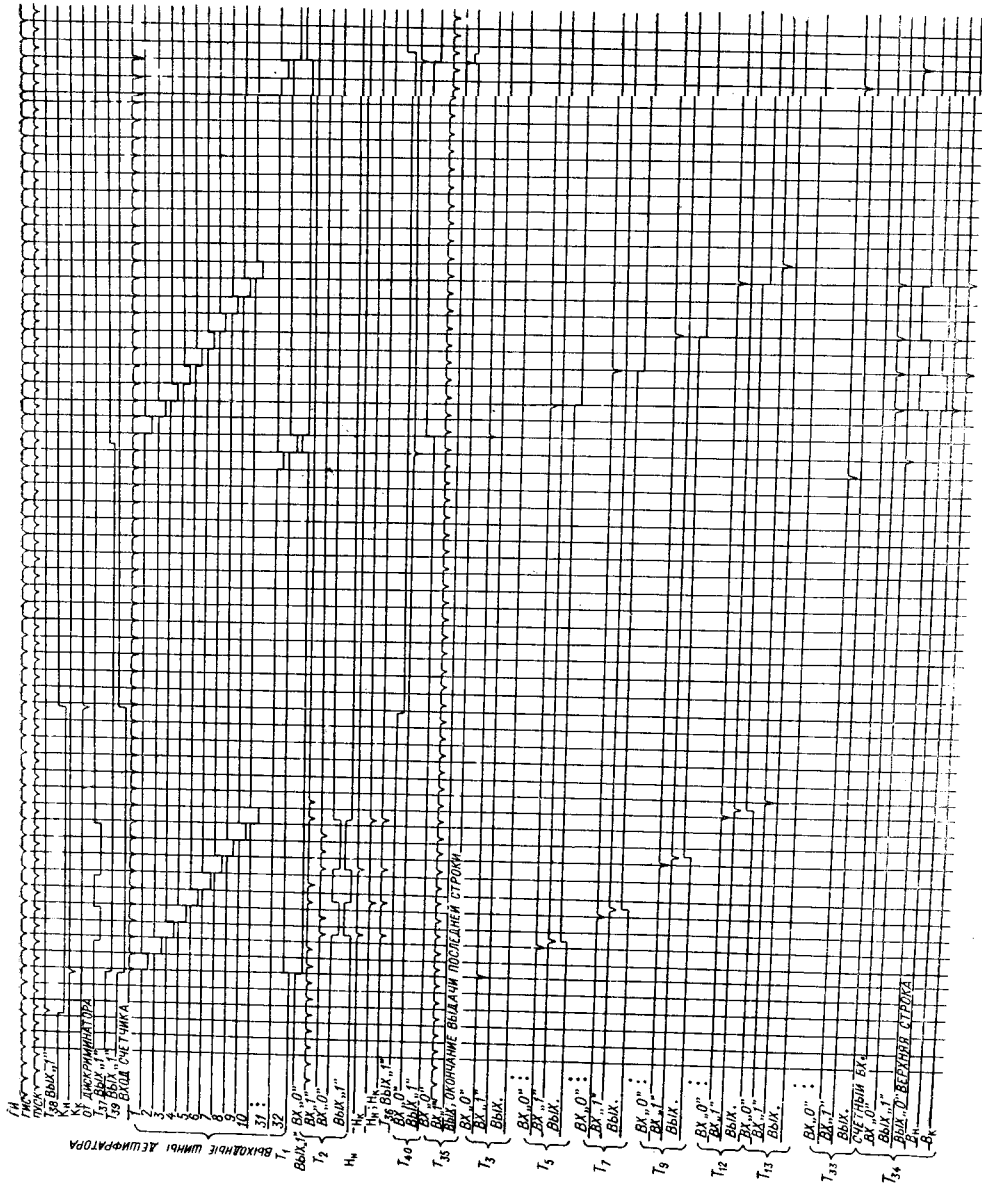


Рис. 8.

тельный импульс. Передний фронт этого импульса поступает на регистр вентилей $V_8 - V_{38}$ и через один из них, находящийся в данный момент времени в открытом состоянии, переводит соответствующий триггер из регистра триггеров $T_3 - T_{33}$ в состояние «1», запоминая, таким образом, начало видеосигнала H_n с нижней строки.

Для того чтобы первый импульс поступил на регистр вентилей $V_8 - V_{38}$ только после включения первой шины дешифратора, т. е. после начала работы счетчика, необходим триггер T_1 , который переводится в состояние «0» передним фронтом импульса, приходящего с первой шины дешифратора. С выхода T_1 подается разрешение на клапан V_1 . Гашение триггера T_1 происходит после прихода импульса с шины 32 дешифратора. До тех пор, пока длится видеосигнал, на единичный вход T_2 будут поступать ГИС, подтверждая состояние триггера. После окончания видеосигнала открывается клапан V_2 и первый же пришедший ГИС переводит T_2 в состояние «0». На единичном выходе триггера T_2 возникает отрицательный импульс, передний фронт которого поступает на регистр вентилей $V_8 - V_{38}$ и через один из них, на который в данный момент времени подается разрешение с дешифратора, переводит соответствующий триггер из регистра триггеров $T_3 - T_{33}$ в состояние «1», запоминая конец видеосигнала H_k . Таким образом, начала и концы всех видеосигналов данной строки запоминаются на соответствующих триггерах. После окончания строки, которая заканчивается в момент, когда шина 31 находится в рабочем состоянии, сигнал с шины 32 переводит триггер T_1 в состояние «1», закрывая клапан V_1 , и поступает на клапан V_7 . Первый же приходящий ГИС проходит на триггер T_{37} (переключатель Π_1 находится в положении «1»), устанавливая его в положение «1» и снимая тем самым разрешение с клапана V_5 . Происходит останов счетчика до прихода следующей строки. Это необходимо в том случае, когда период ГИ $T_{ГИ}$ меньше обратного хода сканирующего устройства: $T_{ГИ} < T_{обр. хода}$. Однако при $T_{ГИ} < T_{обр. хода}$ подобного ожидания не требуется и переключатель Π_1 переводится в состояние «2». При этом триггер T_{37} остается в положении «0», а клапан V_5 остается открытым на протяжении всего кадра.

В случае $T_{ГИ} < T_{обр. хода}$ с приходом импульса начала следующей строки C_n триггер T_{37} вновь устанавливается в положение «0» и вновь на клапан V_5 подается разрешение: начинается новый цикл работы дешифратора. При этом, как было указано выше, информация, записанная в регистре триггеров от верхней строки, последовательно стирается и передается на счетный вход триггера T_{34} . Очевидно, что с нулевого выхода триггера будут сниматься отрицательные импульсы, длительность которых равна длительности видеосигналов с верхней строки. Таким образом, осуществляется запоминание и формирование строки. Передний фронт импульса с выхода «0» триггера T_{34} свидетельствует о начале видеосигнала с верхней строки V_n , а с выхода «1» — о конце видеосигнала V_k с верхней строки.

По окончании кадра, т. е. с приходом импульса K_k , триггеры T_{38} и T_{39} переводятся в состояние «1». Клапаны V_1 и V_6 закрываются, триггер T_{36} устанавливается в положение «0», давая разрешение на клапаны V_3 и V_5 . Триггер T_{37} устанавливается в положение «1» либо через клапан V_7 ($T_{ГИ} < T_{обр. хода}$), либо от триггера T_{39} ($T_{ГИ} > T_{обр. хода}$). К этому моменту на регистре триггеров $T_3 - T_{33}$ запоминаются видеосигналы с последней строки. Следовательно, дешифратор должен еще раз опросить регистр триггеров и выдать имеющуюся на нем информацию на триггер T_{34} .

При выдаче последней строки импульс с первой шины дешифратора переводит триггер T_{40} в состояние «1» (вентиль V_3 открыт). По окончании опроса дешифратора импульс с шины 32 переводит триггер T_{40} в состояние «0»; триггер T_{40} , в свою очередь, переводит T_{35} в состояние «0», выдавая импульс «окончания выдачи последней строки». На этом заканчивается работа схемы запоминания и формирования строки.

На рис. 4 представлена схема вычитания превышений. Из схемы видно, что окончания формируются при помощи вентиля V_1 , V_2 и триггера T_1 следующим образом. Поступивший на единичный вход триггера T_1 импульс V_n опрокидывает триггер и тем самым подает разрешение на вентиль V_2 . При отсутствии видеосигналов на нижней строке, т. е. при закрытом вентиле V_1 , импульс конца видеосигнала V_k с верхней строки проходит через вентиль V_2 и поступает на счетчик окончаний СчОк. Если же на интервале между V_n и V_k окончится видеосигнал с нижней строки, т. е. на V_1 поступит разрешение, то ГИС, пройдя через V_1 , вернет триггер T_1 в исходное состояние и снимет разрешение с вентиля V_2 . Импульс V_k не пройдет через вентиль V_2 и, таким образом, окончание не будет сформировано.

Формирование превышений осуществляется при помощи триггера T_2 и вентиля V_3 и V_4 следующим образом: поскольку превышение представляет собой число, на единицу меньшее количества ветвей при наличии развития, то первое совпадение сигнала с верхней строки и N_k с нижней даст команду разрешения на счет ветвей. С выхода вентиля V_3 эта команда поступает на единичный вход триггера, опрокидывает его и дает разрешение на вентиль V_4 , поэтому при отсутствии импульса V_k (сигнал с верхней строки еще не окончился) импульсы N_n , количество которых будет равно превышению, поступают на счетчик превышений СчА. Эта процедура повторяется в каждом случае развития. Если же до импульса N_n приходит импульс V_k , что свидетельствует об отсутствии развития, триггер T_2 возвращается в исходное состояние и разрешение с вентиля V_4 снимается.

Если в процессе счета происходит переполнение счетчиков СчА или СчОк, необходимо автоматически прекратить счет и остановить работу устройства. Импульс переполнения с любого счетчика поступает на вентиль V_7 и далее на триггер T_5 (этот триггер импульсом K_n предварительно устанавливается в положение «0») и опрокидывает его. В результате зажигается сигнальная лампа и подается команда «аварийный останов». С вентиля V_8 снимается разрешение. Команда «аварийный останов», как и команда «конец кадра», подается на триггер T_{39} (см. рис. 2), после чего схема запоминания строки начинает работать так же, как и после прихода команды K_k . Отличие состоит лишь в том, что в последнем случае команда «окончание выдачи последней строки» не поступает на схему вычитания превышений, поскольку вентиль V_8 (см. рис. 4) закрыт. Схема может быть запущена вновь лишь после гашения счетчиков СчОк и СчА и возвращения триггера T_5 в исходное состояние, что осуществляется с помощью кнопки K_2 «сброс».

При отсутствии переполнения счетчиков команда «окончание выдачи последней строки» поступает на триггер T_3 (см. рис. 4), в результате чего вентиль V_5 открывается, триггер T_4 перебрасывается в положение «0», закрывая вентиль V_7 и давая разрешение на вентиль V_6 .

Далее необходимо осуществить операцию вычитания из числа окончаний число превышений. Эту операцию можно заменить операцией сложения, если использовать дополнительный код числа превышений $A_{доп}$. Тогда ГИ через вентиль V_5 поступают одновременно на СчОк и

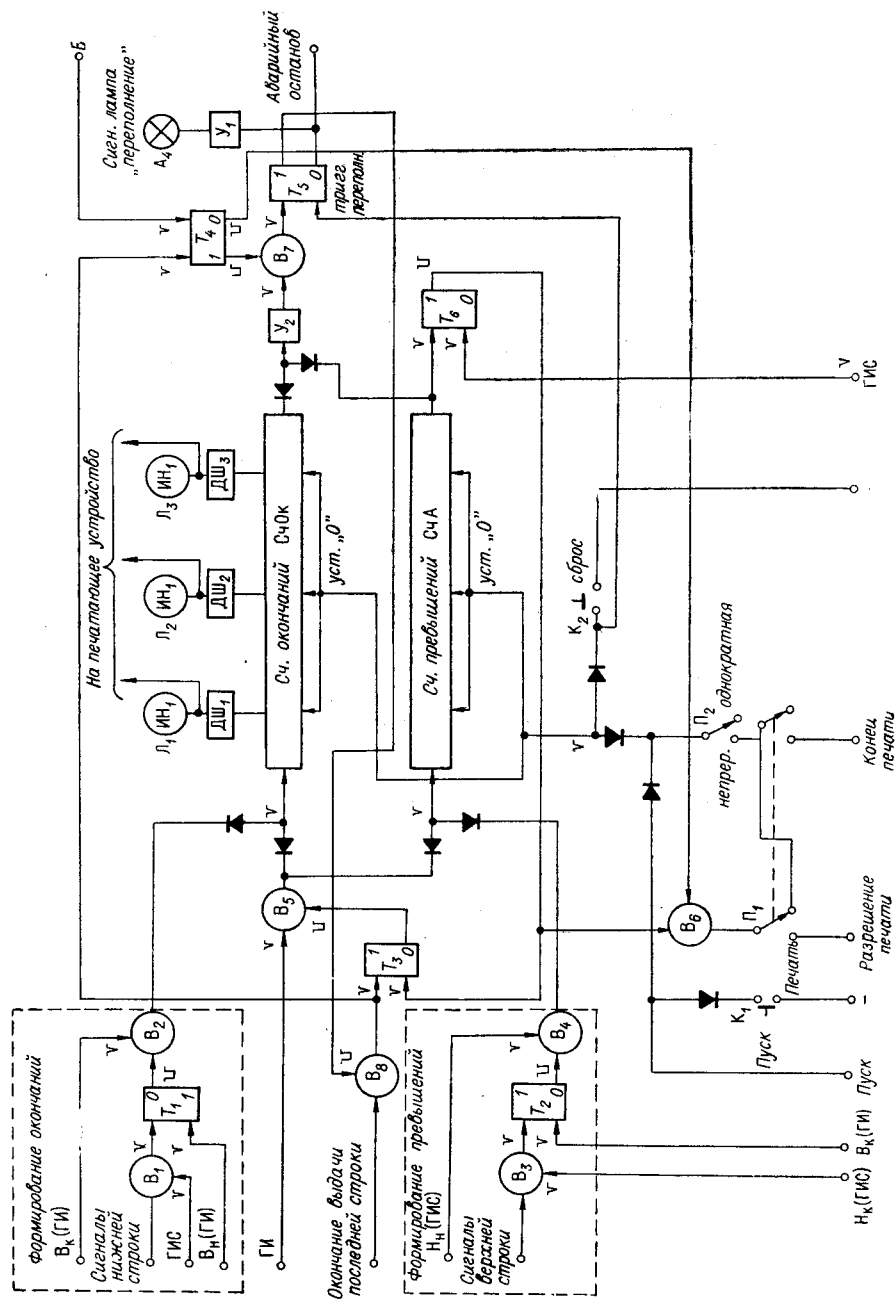


Рис. 4.

СчА до тех пор, пока на выходе счетчика СчА не возникнет импульс переноса со старшего разряда. Количество импульсов, поступивших к этому моменту на СчОк будет равно $A_{\text{доп}}$. Импульс переноса со старшего разряда СчА устанавливает триггер T_6 в состояние «1». Первый же ГИС вернет его в прежнее состояние, а возникший на выходе T_6 импульс вернет триггер T_3 в исходное состояние и тем самым закроет вентиль B_5 . На индикаторных лампах $L_1 - L_3$ будет зарегистрирован результат.

Разрешающая способность вдоль строки, т. е. минимальная длительность видеоимпульса (ширины фигуры), регистрируемая устройством, зависит от выбранного количества уровней квантования по времени вдоль строки и в данном устройстве составляет $1/32$ часть от длительности строки. Следовательно, две фигуры, лежащие на какой-либо строке на расстоянии меньшем, чем $1/32$ ее часть, будут приняты за одну. Однако это ограничение не является принципиальным и разрешающая способность вдоль строки может быть увеличена до желаемой путем увеличения числа элементов запоминания строки. Данное устройство позволяет автоматически считать до 999 фигур за время одного кадра. В рассмотренной схеме предусмотрена возможность работы устройства с блоком электромеханической печати.

В зависимости от положения переключателей P_1 и P_2 (см. рис. 4) возможны следующие режимы работы устройства: 1) непрерывный с печатью; 2) непрерывный без печати; 3) однократный с печатью; 4) однократный без печати. При работе в режимах 3 и 4 перед пуском (кнопка K_1 «пуск») должна быть нажата кнопка K_2 «сброс», гасящая счетчики СчА и СчОк. Данное устройство в зависимости от положения переключателя P_2 (см. рис. 2) позволяет автоматически производить подсчет количества фигур на одном из десяти уровней чувствительности, определяемых дискриминаторами $D_1 - D_{10}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Р. Иванецкий, Л. Л. Литинская, В. Л. Шихматов а. Автоматический анализ микрообъектов. М., «Энергия», 1967.
2. D. W. Gillings. Determination of size of particles. Br. Pat. 719773.
3. Ю. Ф. Коркунов. Способ автоматического счета числа объектов. Авторское свидетельство № 149513.— Бюллетень изобретений, 1962, № 16.
4. А. А. Брызгалин. Определение с помощью ЭЦВМ количества и площадей фигур, полученных на экране ЭЛТ.— Приборы и средства автоматизации, 1967, № 7.

*Поступила в редакцию
15 февраля 1968 г.,
окончательный вариант
29 июля 1968 г.*