

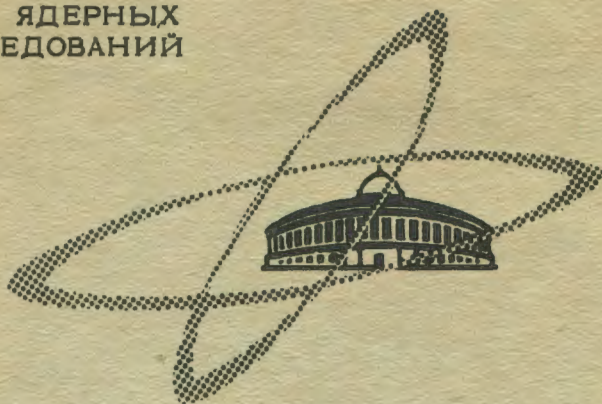
Б - 955

3/IX - 68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P10 - 3910



И.Быстрички, Ф.Легар, Я.Чех, З.Яноут

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

КОНТРОЛЬ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ
С ИСКРОВЫХ КАМЕР

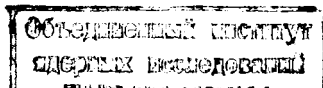
1968

P10 - 3910

И.Быстрички, Ф.Легар, Я.Чех, З.Яноут

КОНТРОЛЬ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ
С ИСКРОВЫХ КАМЕР

Направлено в "Чехословацкий физический журнал"



1. В в е д е н и е

Любой автоматический или полуавтоматический прибор для обработки камерных снимков вносит в результаты измерений статистические и систематические погрешности. При использовании автомата статистические ошибки зависят только от теоретической предельной точности данного прибора и качества обрабатываемого материала. Систематические ошибки могут быть устранены на основании соответствующей калибровки. В случае применения полуавтоматического устройства в оба типа погрешностей вносит существенный вклад оператор. Благодаря этому, вопрос устранения возможных погрешностей является более общим в случае полуавтоматического устройства.

Ниже рассматривается обработка снимков с искровых камер на полуавтоматическом приборе ПИП-35/1,2/, хотя выводы данной работы касаются обработки на любом полуавтомате.

2. Работа на полуавтомате и источники ошибок

На рис. 1 показан основной вид трека с искровой камеры, принимаемый в обработку.

На полуавтомате ПИП-35 определяются направления всех прямых участков трека в искровой камере следующим образом. На поворотный экран с полосатым растром проектируются две проекции трека в искровой камере. Оператор, поворачивая экран, последовательно устанавливает

полосы раstra так, чтобы они были параллельны соответствующим участкам трека. Нажатием "кодовой" кнопки закодированное направление трека пробивается на перфоленте. При переходе на следующий снимок (кадр) после хотя бы одного измерения пробивается признак конца измерения. Результаты обрабатываются на электронной счётной машине, которая считает данный случай логически правильным, если все измерения трека соответствуют заданным критериям. При этом погрешности, вносимые в просмотр оператором, всегда превышают погрешности полуавтомата (приблизительно в шесть раз).

Таким образом, качество работы оператора почти целиком определяет качество полученных результатов. В некоторых условиях работа оператора может быть настолько некачественной, что обработанный материал вообще не может быть использован. Вопрос качества просмотра в лучшем случае решается после длительного процесса обработки и вычисления результатов. Во многих случаях выделить ошибки оператора невозможно.

На основании материалов, полученных с искровых камер в экспериментах по измерению параметров Вольфенштейна R_{pa} , D_{pp} поляризацией R_{pa} , R_{pp} и R_{cp} погрешности, возникающие при просмотре, можно разделить на следующие группы:

- 1) статистические погрешности, вносимые оператором;
- 2) систематические ошибки оператора;
- 3) нарушение оператором числа и логической последовательности пробивок на перфоленте;
- 4) ошибки, обусловленные погрешностями в работе электроники полуавтомата и перфоратора:
 - а) случайные,
 - б) систематические;
- 5) систематические погрешности, возникающие из-за неправильной юстировки оптики полуавтомата.

В настоящей работе не рассматриваются ошибки, обусловленные погрешностями в работе измерительной аппаратуры, используемой в данном физическом эксперименте.

3. Методы определения и устранения погрешностей

Ошибки п.3 можно непосредственно исключить, пользуясь критериями, заданными в программе обработки на электронной вычислительной машине (например, количество пробивок на один кадр должно быть определенным). Оператор имеет всегда возможность повторным измерением такую ошибку исправить.

Ошибки п.4а рассматриваются в приложении 2.

Ошибки п.4б обнаруживаются и устраняются при периодической проверке работы всей установки.

Ошибки п.5 можно определить на основании известных оптических методов и точной оптической юстировкой свести их к минимальным значениям.

Ошибки п.п. 1 и 2 в принципе устранить нельзя.

Статистические погрешности оператора можно определить на основании измерения большого количества экспериментального материала. Можно также уже в течение процесса обработки повлиять на их величину, в основном усовершенствованием метода просмотра.

Более трудным является определение систематических ошибок, так как не существует абсолютного метода контроля просмотра. Существуют только методы, на основании которых можно свести систематическую ошибку к минимальным значениям.

В дальнейшем будут рассмотрены методы определения ошибок п.п. 1 и 2 и возможности их измерения.

4. Измерение статистических и систематических ошибок

Просмотровый и измерительный прибор ПИП-35 дает возможность определения статистических ошибок, возникающих в процессе просмотра^{х/}.

^{х/} Хотя в настоящей работе утверждается, что систематическую ошибку, возникающую при просмотре, в принципе нельзя исключить и во многих случаях ее нельзя даже точно определить, существуют методы постановки физического эксперимента, при помощи которых можно влияние систематических ошибок устранить полностью.

При ручном просмотре на диаскопе такой возможности практически не существует. Был проведен ряд измерений с целью определения ошибок, указанных выше. На рис. 2,3,4 показаны результаты многократного измерения углов проекции одного трека θ_1 и θ_2 . На тех же рисунках показан статистический разброс вычисленных пространственных углов θ и ϕ , где

$$\theta = \text{arc tg } \sqrt{\text{tg}^2 \theta_1 + \text{tg}^2 \theta_2},$$

$$\phi = \text{arc tg } \frac{\text{tg } \theta_1}{\text{tg } \theta_2}.$$

Статистический разброс измерений, показанный на рис. 2 и 3, соответствует измерениям, сделанным опытными операторами. На рис.4 приведены результаты менее опытного оператора. Средние значения измеряемых углов в обеих проекциях, полученные 4 операторами, показаны в табл. 1.

Из сравнения полученных данных вытекает, что ширина гауссовского распределения и среднее значение проекции углов θ_1 , θ_2 зависит от опыта оператора. Разброс средних углов свидетельствует о систематической ошибке оператора. Метод ее уменьшения рассматривается ниже. Ошибка среднего значения вычислялась по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n(n-1)}},$$

где $\Delta_i = \bar{\theta} - \theta^i$, n - число всех измерений, $\bar{\theta}$ - среднее арифметическое, θ^i - данное измерение, $i = 1, 2, \dots, n$.

Статистический разброс при измерении углов проекций трека, зависит также от абсолютной величины этих углов и от наклона трека относительно пластин искровой камеры. Качество просмотра, определяемое разбросом многократного измерения одного угла естественно зависит от качества просмотра отдельных участков трека. Нашей целью является измерение качества просмотра в течение обработки независимо от величины угла рассеяния. Из-за этого был принят метод случайного контроля измерения, который состоит в следующем.

В процессе просмотра предлагаем оператору измерить некоторые треки повторно. Приказ к повторному просмотру дается после первого просмотра так, чтобы оператор заранее не знал, что данный кадр будет контролироваться. Информация на перфоленте, соответствующая повторному измерению, помечена признаком и не входит в конечный результат. Математическая обработка результатов измерения проводится на ЭВМ "Минск-22" и М-20 по программе, ранее описанной в работе/3/. При этом используется существующая в ОИЯИ связь между обеими вычислительными машинами. В программах для ЭВМ "Минск-22" предусмотрена возможность вычисления разностей координат соответствующих участков трека основного и контрольного измерений в определенном порядке. В результате получаются гистограммы разностей:

- а) для входного трека,
- б) для трека рассеянной частицы (при угле рассеяния $\leq 8^\circ$),
- в) для трека рассеянной частицы (при угле рассеяния $> 8^\circ$).

Одновременно выдается список случайных ошибок перфоратора, число исправленных и число не исправленных ошибок оператора. В программе ЭВМ М-20 добавлена печать гистограмм дифференциального и интегрального углового распределения по θ_1 , θ_2 , θ и ϕ . Результат случайного контроля всех участков трека показан на рис. 5. Программа обработки на ЭВМ обеспечивает также одновременную выдачу списка случайных ошибок перфоратора, печать числа исправленных и числа не исправленных ошибок оператора. То есть указанный метод полностью обеспечивает контроль работы всех операторов и приборов уже в течение просмотра (см. Приложение II).

На основании полученных гистограмм можно определить среднеквадратичную ошибку одного измерения среднего угла излома трека. Так как измерения отдельных участков трека являются линейно независимыми, то

$$\Delta \bar{\theta} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

где Δ_1 и Δ_2 - среднеквадратичные ошибки измерения входного и выходного участков трека (т.е. полуширина на полувысоте гауссовского распределения).

Электронное устройство, обеспечивающее случайный контроль статистических ошибок просмотра, показан в Приложении I. Выше указанный метод определяет только статистические погрешности просмотра и не может дать никаких количественных сведений о систематических погрешностях в работе оператора. Даже определение средних углов проекций при многократном просмотре одного трека может дать только качественную оценку систематической ошибки, связанной с одним углом излома трека.

Предполагаем, что систематические погрешности в работе оператора возникают на основании привычек, выработанных во время длительной "шаблонной" работы, и свойственны только данному оператору. Поэтому двойной или многократный просмотр, осуществлённый разными операторами, не может определить или устранить систематических погрешностей, так как мы не знаем закономерностей возникновения этих ошибок^{x/}.

Метод определения систематических погрешностей в работе данного оператора при помощи калибровочной пленки с заранее известным результатом практически нельзя применить из-за того, что моделирование треков в рабочих условиях искровой камеры очень трудно.

Методом, который дает возможность количественно оценить систематические погрешности, является зеркальный переверот снимков при сохранении всех условий просмотра. Это означает взаимную замену проекций с одновременным изменением знаков углов излома. Ориентация трека в камере при этом не меняется. Просматривая один и тот же экспериментальный материал два раза в прямой и зеркальной проекциях соответственно, можем оценить систематическую ошибку оператора. Предполагая, что весь экспериментальный материал имеет статистический характер, можно его просматривать по частям в прямом и зеркальном изображении. Результат такого просмотра может привести только к уменьшению систематической ошибки.

^{x/}Систематические погрешности могут зависеть от наклона трека, шага полосатого раstra полуавтомата, длины трека, вертикального и горизонтального положения трека, от рабочей обстановки, настроения и особенностей психики оператора.

Для этих целей многократно измерялся интегральный спектр углового распределения $f(\theta, \phi)$ излома треков в искровой камере. Интегральный спектр делился на части:

$$M_1(\theta_{\max}) = \int_{\theta=0}^{\theta_1} \int_{\phi=0}^{\pi} f(\theta; \phi) d\theta d\phi ,$$

$$N_1(\theta_{\max}) = \int_{\theta=0}^{\theta_1} \int_{\phi=\pi}^{2\pi} f(\theta, \phi) d\theta d\phi ,$$

$$P_1(\theta_{\max}) = \int_{\theta=0}^{\theta_1} \int_{\phi=\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} f(\theta, \phi) d\theta d\phi ,$$

$$Q_1(\theta_{\max}) = \int_{\theta=0}^{\theta_1} \int_{\phi=\frac{3\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} f(\theta, \phi) d\theta d\phi .$$

Все измерения также проводились в прямом и зеркальном изображениях, результаты показаны на рис. 6.

Видно, что систематический сдвиг измеренных величин находится в пределах статистических ошибок измерения.

Указанный метод не дает возможности уменьшить систематическую ошибку только в том случае, если оператор постоянно увеличивает или уменьшает абсолютное значение угла излома трека в обеих проекциях.

5. Обсуждение результатов

Из разбора возможных погрешностей вытекает, что в течение всего просмотра необходимо контролировать статистический разброс измерений, выполняемых каждым оператором, и просмотр организовать таким образом, чтобы уменьшить систематические ошибки оператора. Одновременно нужно осуществлять постоянный контроль за работой электронной установки и особенно перфоратора, а также контроль за логическими ошибками оператора.

Метод контроля, предложенный в настоящей работе, удовлетворяет всем требованиям правильного просмотра. Электронная схема совместно с системой программ для ЭВМ обеспечивает выполнение данной задачи с потерей времени просмотра равной $\sim 10-15\%$. Систематические ошибки в принципе нельзя полностью устранить, но просматривая часть экспериментального материала в прямом и часть в зеркальном изображении, систематические ошибки можно существенно уменьшить. Существует ряд физических экспериментов, в которых даже относительно маленькие систематические погрешности в работе оператора при просмотре могут существенно влиять на физический результат измерения. Для дальнейшего уменьшения или полного устранения систематической ошибки является необходимым создание прибора с полностью автоматизированным измерением углов излома трека.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Ю.М.Казаринову и М.Малы за ценные советы и Е.Дудовой, Я.Скуровой и Я.Чеховой за помощь в работе.

Приложение I

Электронная схема для случайного контроля

Принципиальная электронная схема блока случайного контроля дана на рис. 7. Для описания ее работы на рис. 8 приведена блок-схема.

Формирователь ϕ_1 запускается импульсами при нажатии кодовой кнопки полуавтомата ПИП. Формирователь ϕ_2 запускается импульсами с блокинг-генератора БГ, их частоту можно менять при помощи сопротивления R_1 . Импульсы с ϕ_1 и ϕ_2 подаются на схему совпадений CC_1 , на выходе которой выделяются их случайные совпадения. Количество случайных совпадений можно менять изменением длины импульсов ϕ_1 и ϕ_2 (конденсаторами C_1 и C_2 - рис. 7) и частоты БГ (сопротивлением R_1 рис.7). Случайный импульс с CC_1 перевернет триггер TP_1 . Последний управляет блокировкой питания БП и отключит питание мотора перемотки кадров. При нажатии кнопки перемотки кадр остается на месте и это является приказом к повторному просмотру. Перед повторным просмотром оператор должен нажать "кнопку марки" и просмотр-

реть кадр еще раз. Повторный просмотр обозначается на перфоленте "маркой". Чтобы оператор не мог искусственно увеличить количество контролируемых случаев, марка включается через схему совпадения СС₂ через которую "марка" проходит только тогда, когда выключено питание мотора случайным импульсом. После второго просмотра с включенной "маркой" при нажатии кнопки перемотки через схему совпадений СС₃ пройдет сигнал признака конца кадра, который перевернет триггеры ТР₁ и ТР₂ в начальное положение. Перемотка сработает, и дальше просмотр будет продолжаться обычным образом до следующего случайного совпадения импульсов из ϕ_1 и ϕ_2 .

Приложение II

Надежность работы электронного устройства вместе с перфоратором можно проверить следующим образом:

Если провести два измерения при одном и том же положении кодового диска, разница между этими измерениями Δ должна лежать в пределах двух шагов циклического кода (кода Грея). Разница больше чем в два шага свидетельствует о неисправности установки. Измерения можно провести во всем диапазоне углов 0-2 π поворотного экрана таким образом, чтобы основные и контрольные измерения проводились бы без поворота экрана.

После обработки на ЭВМ в идеальном случае все значения должны лежать в трех каналах гистограммы - 1, 0, + 1. Практически будет также пренебрежимо малое количество случаев в каналах - 2 и + 2 из-за того, что нельзя исключить незначительный поворот кодового диска под влиянием механической тряски в течение измерения. Значения Δ больше чем ± 2 обусловлены или неисправностями установки или "грубой" ошибкой оператора.

В табл. 2 показаны два теста из разных полуавтоматов.

Из таблицы видно, что в обоих тестах количество ошибочных измерений оператора вместе с ошибками установки меньше 0,5%.

Л и т е р а т у р а

1. Ф.Легар, М.Малы, О.Сгон. ПТЭ, 5, 78 (1966).
2. Я.Чех. Препринт ОИЯИ, Р10-3122, Дубна, 1967.
3. И.Быстрички, Ф.Легар, П.Либи, М.Малы, О.Сгон, И.Фриш. Препринт ОИЯИ, Р-2223, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 июня 1968 года.

Таблица 1

Оператор	Среднее значение в градусах		Средне- квадратичная ошибка в гра- дусах		Примеч.
	$\bar{\theta}_1 \pm \Delta \bar{\theta}_1$	$\bar{\theta}_2 \pm \Delta \bar{\theta}_2$	$\pm \Delta \theta_1$	$\pm \Delta \theta_2$	
1	16,901±0,023	-15,492±0,021	±0,738	±0,691	Рис. 2
2	17,513±0,016	-14,992±0,011	±0,413	±0,286	Рис. 3.
3	16,456±0,048	-15,362±0,057	±1,375	±1,634	Рис. 4
4	16,664±0,043	-14,018±0,043	±±1,301	±1,300	

Таблица 2

Тест надежности работы электронного устройства
и перфоратора (ошибки п. 4а)

	Δ					Число ошибок	Число пробивок
	-2	-1	0	+1	+2		
Уст. 1	-0	142	2269	50	13	29	5006
Уст. 2	7	42	2412	85	10	18	5148

Рис. 1. Вид трека на снимке с искровой камеры.

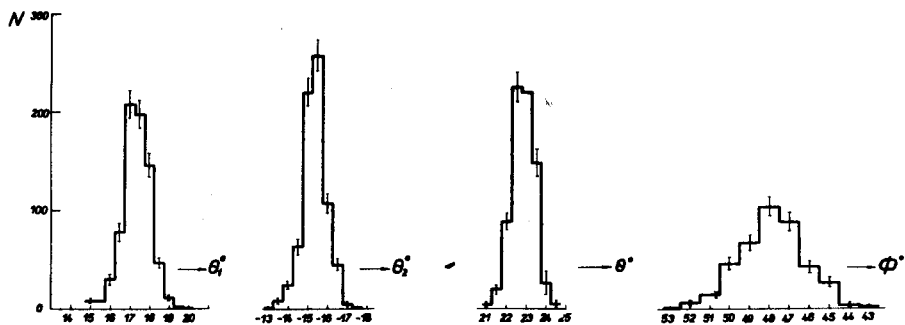


Рис. 2

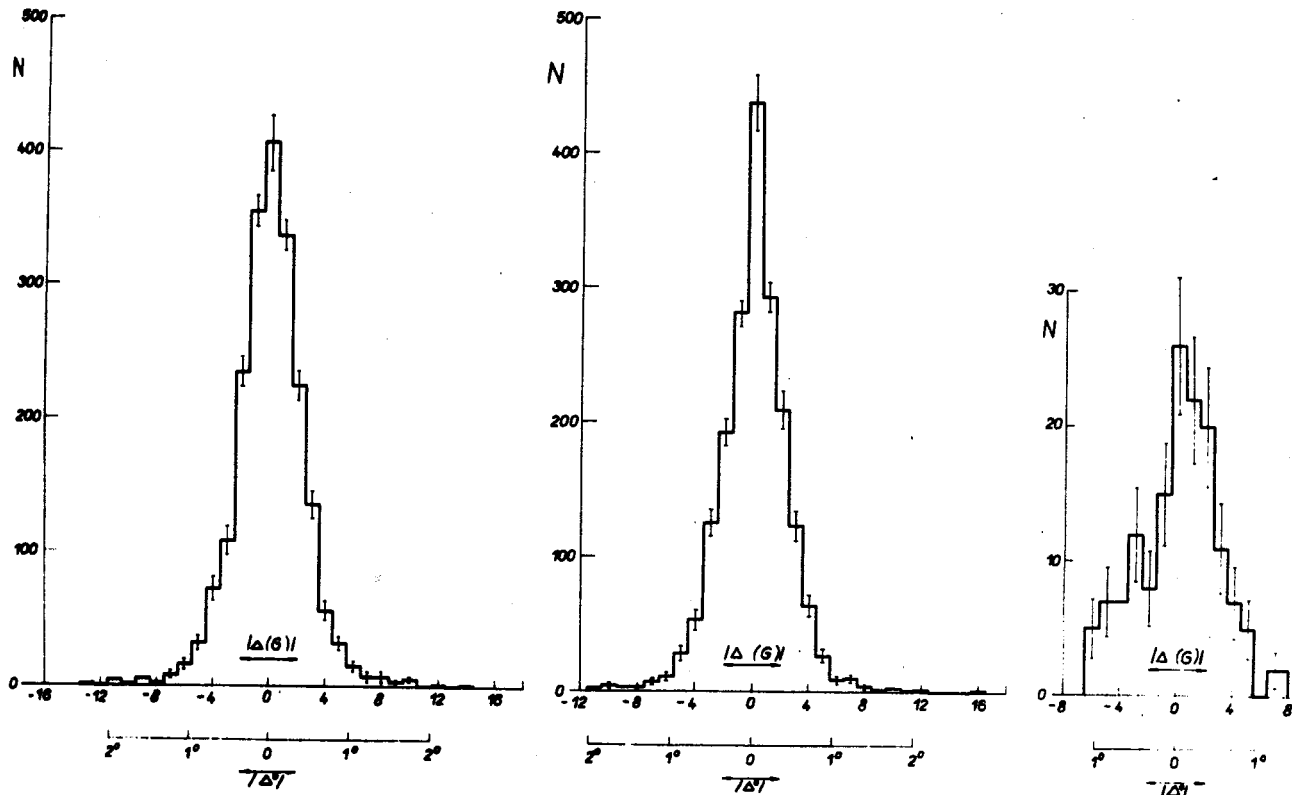


Рис. 5. Гистограммы, полученные на основании случайного контроля.
 $\theta(G)$ - деление по шагам одиннадцати-разрядного кода Грея
(одно деление = $360/2048$ градусов).

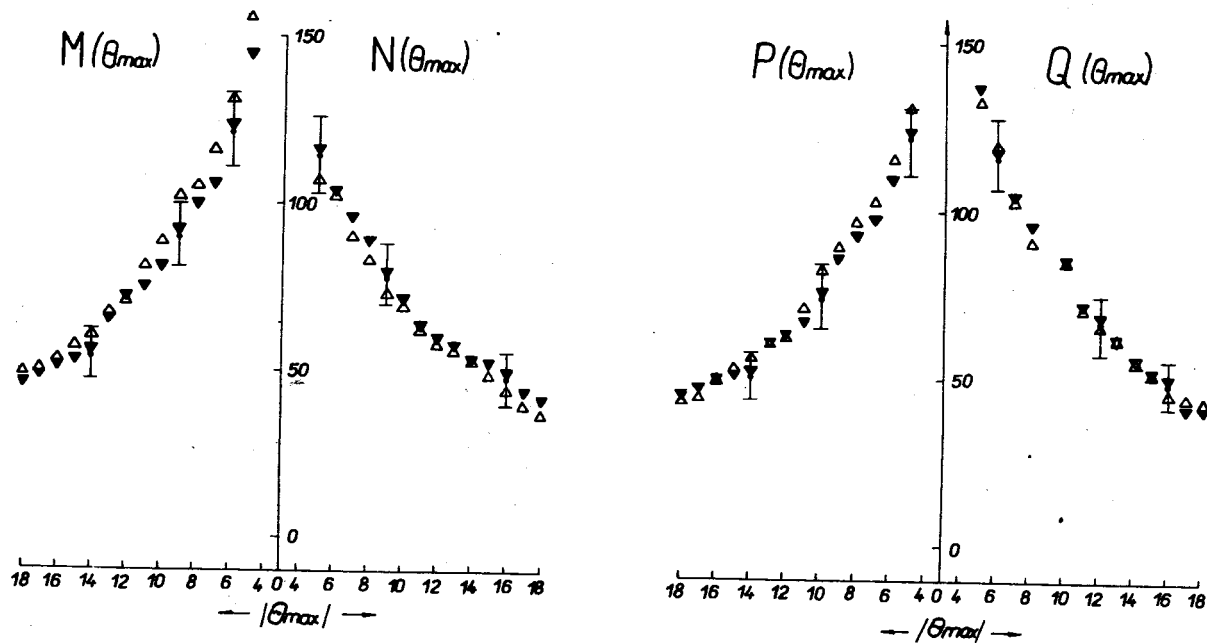


Рис. 6. Результаты измерения спектра углового распределения $f(\theta, \phi)$, измеренные в прямом (Δ) и зеркальном (∇) изображениях.

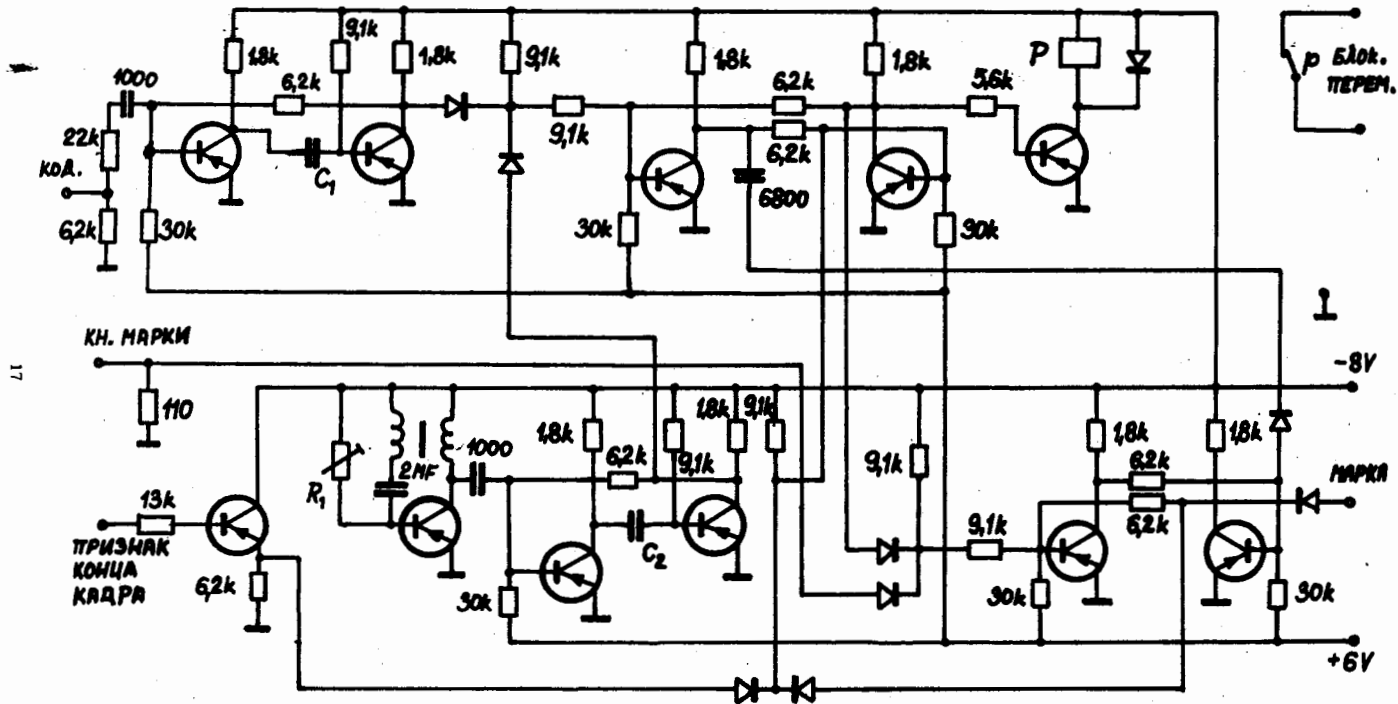


Рис. 7. Принципиальная электронная схема случайного контроля.

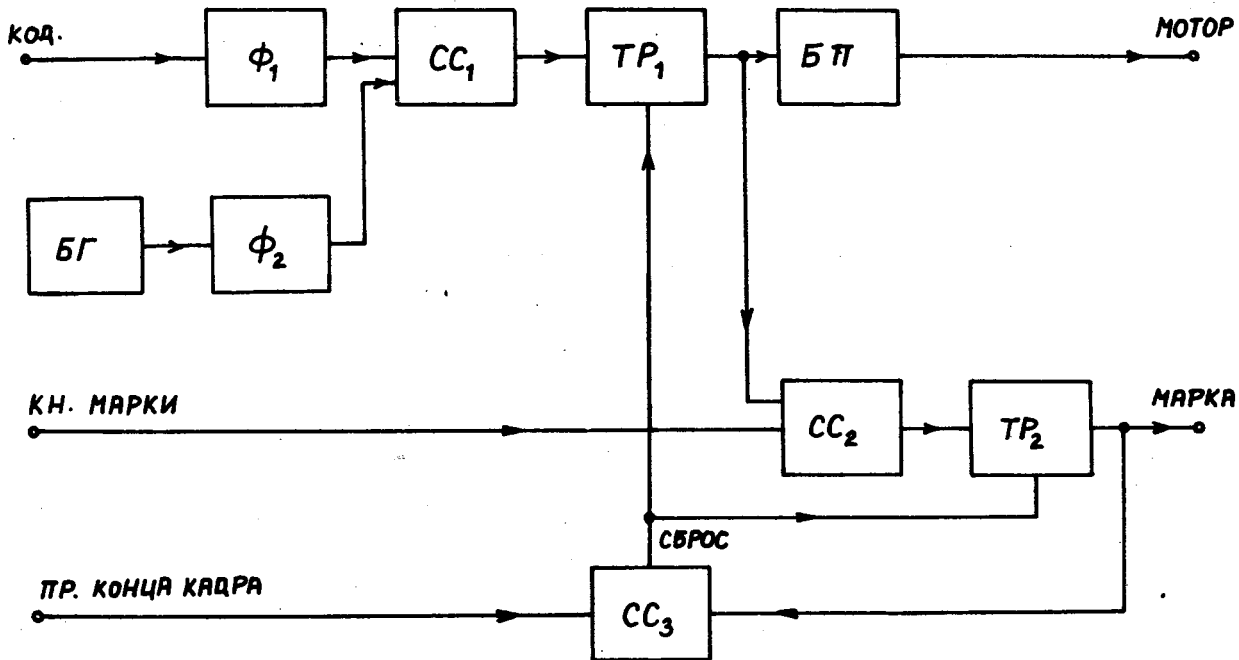


Рис. 8. Блок-схема случайного контроля.