

СКАНИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБМЕРА СНИМКОВ ТРЕКОВЫХ КАМЕР*

Л. А. ЛИХТЕНБАУМ, В. И. ЛЮЛЕВИЧ, О. П. ФЕДОТОВ, Т. Ф. ГОРДЕЕВА

В статье дается описание макета сканирующего устройства для обмера снимков трековых камер. Сканирование участка изображения вблизи выбранного трека производится оптико-механической системой, которая определяет положение трека относительно начала отсчета, совпадающего с визирным перекрестием.

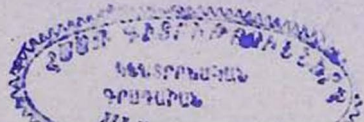
Координата участка трека измеряется электронной системой и может быть выведена в виде пробивок на перфокарте либо записана на магнитной ленте.

В последние годы в ряде крупных физических институтов возникло несоответствие между количеством снимков, получаемых при экспозиции пузырьковых камер на ускорителях, и возможностью их обработки старыми „ручными способами“.

Для решения этих проблем были созданы разнообразные полуавтоматические и автоматические измерительные установки [1, 2, 3, 4], однако довольно скоро выяснилось, что сложность и дороговизна автоматических установок, имеющих систему автоматического слежения за треком, не оправдываются тем сравнительно небольшим увеличением скорости обмера—15—20%, которое они дают.

С другой стороны, полуавтоматические установки типа микроскопов или проекторов, имеющих отсчетный канал, дают недостаточную точность, так как центровка визирной марки на треках в этих приборах осуществляется оператором и зачастую бывает недостаточно точной; необходимость визуальной центровки при каждом замере значительно снижает скорость обработки. Чтобы выбраться из этого тупика в ряде лабораторий разрабатываются системы, которые совмещают грубое прослеживание вдоль трека с автоматическим отсчетом координат. Первой из таких систем была, предложенная доктором Альваредом в Беркли, установка *SMP*. Однако *SMP* требует прямой цифровой связи с вычислительной машиной, так как получаемые ею отсчеты являются только исходными данными для получения координат точек треков. Для преобразования этих данных в координаты необходима вычислительная машина. Для работы с несколькими *SMP* используются вычислительные машины с высоким быстродействием (порядка 200—500 тысяч операций в секунду и объемом опе-

* В настоящем номере приводятся материалы Семинара по методам автоматической обработки информации с трековых камер, состоявшегося 20—23 мая 1966 г. в городе Ереване.



ративной памяти не меньше 16 тысяч ячеек). Хотя система *SMP* имеет ряд преимуществ перед другими полуавтоматическими измерительными установками, она не получила распространения в европейских лабораториях, за исключением Франции, где создается установка „Мистраль“—аналог *SMP*. В ряде европейских лабораторий и в СССР конструкторы пошли по пути разработки сканирующих систем, определяющих истинное положение трека по отношению к точке на пленке, координаты которой измеряются по перемещению измерительного столика известными способами.

К числу таких установок можно отнести разрабатываемые в Ереванском физическом институте, в ИТЭФ, в Институте атомных исследований в ПНР и т. п. (6).

Целью настоящей работы является описание разработанного в ИТЭФ макета автоматической измерительной установки со сканирующим устройством. В качестве основы для разработки автоматической измерительной сканирующей установки было использовано измерительное устройство от АИУ [7], содержащее измерительный столик с движущимися каретками, перемещение которых измеряется с помощью дифракционных решеток, осветитель с проекционной системой и светоделительной призмой-кубиком и устройство привода, включающее в себя сельсинные передачи от штурвалов на пульте управления к сельсином приемникам на измерительном столике, а также привод быстрой подачи, управляемый гониометрической ручкой. Измерительная часть автоматической измерительной сканирующей установки вклю-

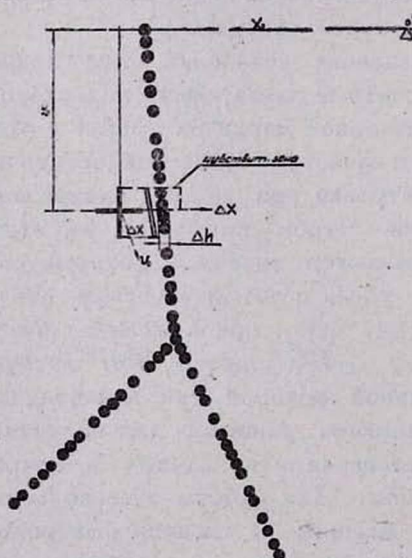


Рис. 1. Схема определения координаты на снимке.

чает в себя систему измерения положения кареток измерительного столика и систему определения положения щели сканирующего устройства.

Измерение положения какой-либо линии на пленке производится следующим образом (рис. 1).

Пусть перекрестие (визирная марка) находится в какой-то точке около трека, координаты которой измерены при перемещении столика. Таким образом, чтобы определить координаты участка трека, ближайшего к точке, в которой находится перекрестие, необходимо измерить расстояние по одной из осей координат от заданной точки до участка трека. Для этой цели используется сканирующее устройство.

Сканирующее устройство представляет собой цилиндрический барабан, на боковой поверхности которого через равные промежутки

сделаны отверстия. В этих отверстиях закреплены пластинки с прорезанными в них щелями. Одна из щелей параллельна оси барабана, а другие щели имеют последовательный увеличивающийся наклон в пределах $\pm 45^\circ$. Всего 18 щелей с угловым шагом в 5° . Как уже отмечалось, в оптическом тракте установки находится светоделительная призма-кубик, диагональная плоскость которого представляет собой полупрозрачное зеркало. Часть света от проекционного объектива отражается этим покрытием и после двухкратного отклонения призмами попадает на зеркало, укрепленное в центре барабана (рис. 2).

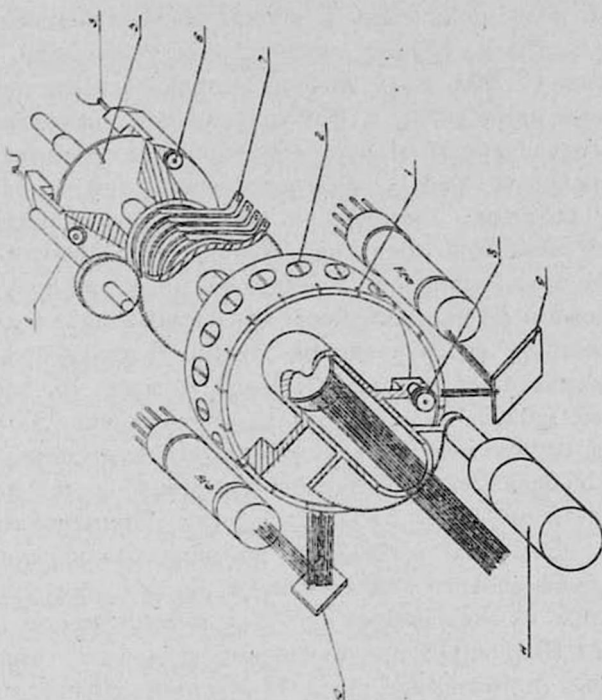


Рис. 2. Оптическая схема сканирующего устройства.

Зеркало это отклоняет световой пучок в радиальном направлении к поверхности барабана. При вращении барабана щели на его боковой поверхности пересекают световой пучок и пропускают часть света на фотоумножитель, укрепленный против места выхода светового пучка. Импульсы света, попадая на фотоумножитель, вызывают изменение фототока и на выходе ФЭУ получают импульсы напряжения. Если на поверхность барабана спроектировано изображение трека, то при пересечении щелью темного изображения трека количество света, попадающего на ФЭУ, будет уменьшаться и на выходе ФЭУ появится сигнал от трека. Если спроектировать визирную марку на поверхность барабана, то визирная линия перпендикулярная направлению отсчета будет параллельна оси барабана и будет занимать какое-то определенное и постоянное положение на его поверхности. Всякий раз,

когда при вращении барабана щель будет пересекать изображение визирной линии, будет появляться видеосигнал на ФЭУ. Если вслед за пересечением визирной линии щель пересечет изображение трека, то вслед за сигналом от визирной линии появится сигнал от трека. Чтобы определить расстояние от трека до визирной линии, нужно подходящим способом измерить промежуток времени между двумя видеосигналами. Для измерения времени используется таймирующий генератор, запускаемый передним фронтом сигнала, соответствующего моменту прохождения щелью изображения визирной линии. Такова логика измерения расстояния.

На самом деле, получение в одном канале видеосигнала от визирной линии и трека трудно осуществить технически. В сканирующем устройстве ИТЭФ роль визирной линии играет система из щелей, освещаемых лампочкой, и фотоприемников, находящихся внутри барабана в металлическом кольце, которое может занимать два положения, отличающиеся на 90° , соответственно двум направлениям сканирования. Положение лампочки и фотодиода совпадает с положением проекции визирной линии перекрестия. На боковой поверхности барабана кроме трековых щелей, предназначенных для получения видеосигнала, прорезаны еще параллельные оси барабана щели для получения сигнала, соответствующего визирной линии. В дальнейшем этот сигнал будем называть сигналом А. Щелей А тоже 18, соответственно числу трековых щелей. Таким образом, прохождению любой трековой щели перед фотоумножителем всегда предшествует появление сигнала А. Выше было сказано, что наклон трековых щелей по отношению к оси барабана меняется в пределах $\pm 45^\circ$. Применение щелей разного наклона позволяет произвести угловое различение треков, так как амплитуда трекового видеосигнала и его длительность очень сильно меняется в зависимости от угла между треком и щелью. По данным Плесса (Беркли) [8] при изменении угла на 2° амплитуда изменяется в 2 раза (при ширине щели 15 микрон, равной ширине трека, и длине 2 мм). При увеличении угла между щелью и треком увеличивается длительность видеосигнала.

Таким образом, выбирая щель, наклон которой ближе всего соответствует наклону трека можно получить максимальный видеосигнал при минимальной длительности, что позволяет улучшить разрешение на загруженных снимках.

Для выбора щели нужного наклона в сканирующей головке предусмотрен следующий механизм. На отдельном диске, связанном с барабаном, находится щель, назовем ее щель В и сигнал от нее назовем соответственно сигналом В. Диск со щелью В находится внутри кольца, в котором укреплены две лампочки и два фотодиода соответственно для двух направлений сканирования.

Кольцо с лампочками и фотодиодами связано передачей с рулем, определяющим направление вектора скорости перемещения снимка на каретке измерительного столика.

При перемещении кареток, при котором перекрестие (визирная марка) находится около трека, т. е. направление вектора скорости параллельно касательной к треку в данной точке, кольцо с фотодиодами устанавливается в таком положении, что сигнал В (от вращающегося диска со щелью В) предшествует прохождению щели нужного наклона перед трековым фотоумножителем.

При изменении угла наклона трека кольцо с фотодиодами поворачивается, при этом появление сигнала В будет соответствовать во времени появлению сигнала от другой трековой щели, более соответствующей наклону нового участка трека.

Временная диаграмма сигналов сканирующего устройства, показанная на рис. 4, позволяет проследить последовательность выбора нужной зоны.

Электроника выбора зоны, блок-схема которой представлена на рис. 3, пропускает сигнал А в том и только в том случае, если он следует за сигналом В. Сигнал А является запускающим сигналом для одновибратора, вырабатывающего прямоугольный сигнал зоны, который используется для управления работой таймирующего генератора, вырабатывающего счетные импульсы, используемые при определении координат.

Прежде чем перейти к описанию блок-схемы электроники для определения координат трека, необходимо остановиться на ошибках. Возможна такая ситуация, что сигнал считывания координаты x_0 , зарегистрированной в счетчике x , получающийся из переднего фронта импульса начала зоны сканирования, совпадает по времени с приходом счетного импульса в счетчике x . В этом случае считывание координаты x_0 должно быть задержано на время, необходимое для окончания переходных процессов в счетчике. Однако, если просто задержать момент считывания координаты x_0 , то за время задержки в счетчике Δx нако-

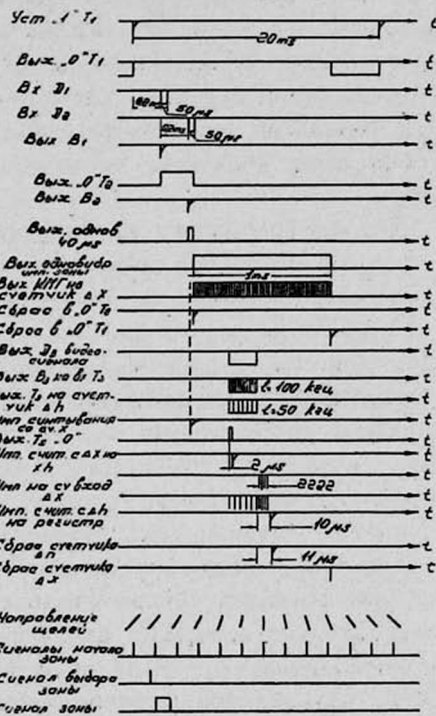


Рис. 4. Временная диаграмма определения координаты.

пится $\frac{\Delta t}{T}$ количество импульсов от тактового генератора (здесь Δt — время задержки). В этом случае при переносе координаты x_0 в счетчик Δx возникнут ошибки, так как счетчик Δx не обладает свойствами сумматора. Для того чтобы избежать неправильного суммирования

координаты x_0 и отсчета тактовых импульсов за время Δt в счетчике Δx , необходимо на время задержки Δt запретить работу тактового генератора, при этом координата будет заводиться в пустой счетчик Δx , куда после фиксированной задержки Δt начнут поступать и импульсы тактового генератора. Ясно, что если не восполнить потерю тактовых импульсов за время Δt , координата будет определена с ошибкой в $\frac{\Delta t}{\tau}$ отсчетов, где τ — период тактового генератора.

Поскольку величину Δt можно сделать постоянной и равной, скажем, 4τ , то и число потерянных импульсов будет постоянным, поэтому можно необходимое число импульсов добавлять в окончательный отсчет. Для реализации этого вводится элемент задержки импульса начала зоны сканирования, запускающего генератор зоны. В качестве элемента задержки используется одновибратор O_2 . Добавку недостающих импульсов можно делать в остановленный счетчик Δh после окончания всех переносов, т. е. после среза видеосигнала. Для реализации добавки можно использовать импульс, сформированный из среза видеосигнала, который затем пропускается через 4-х секционную линию задержки. От каждой секции линии делается отвод с помощью диодов, включенных по схеме „или“, тогда за время полной задержки, которое можно сделать меньше периода повторения тактовых импульсов, можно получить 4 сигнала, которые заводятся на счетный вход счетчика, увеличивая его отсчет на необходимую величину.

Как уже говорилось, сканирующее устройство определяет добавку по одной из осей координат (скажем x), т. е. расстояние между точкой с координатами x_0, y_0 , которые уже измерены по перемещению измерительного столика, и точкой трека, которая получается при пересечении трека линией сканирования. Если измерение координаты производится при неподвижном измерительном столике, т. е. при неподвижном изображении, то линия сканирования пересекает трек в точке, имеющей ту же координату y_0 , что и визирная марка, поэтому координата точки трека будет $x_0 + \Delta x; y_0$. Координата определяется с точностью лучшей, чем 2 отсчета.

В случае, когда определение координат трека производится при движущемся измерительном столике, т. е. движущемся со скоростью v_0 относительно визирной марки изображения, измерение координаты Δt производится с ошибкой, так как за время t перемещения сканирующей щели до трека изображение сдвинется на величину, определяемую v_0 и t . Если направление скорости v_0 все время остается параллельным треку, то расстояние между визирной маркой и треком не изменится и при измерении расстояния до движущегося трека не возникает дополнительной ошибки. Так как на самом деле направление скорости v_0 лишь приблизительно параллельно треку с точностью до угла α , то при движении изображения относительно визирной марки расстояние между визирной маркой и треком будет изменяться,

и за время перемещения сканирующей щели t до трека расстояние изменится на величину

$$\Delta s = v_0 t \sin \alpha,$$

$$\Delta s \leq 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ мм при } t \leq 10^{-3} \text{ сек, } v_0 \leq 5 \text{ мм/сек и } \alpha \leq 30^\circ,$$

что легко достижимо, и при скорости движения 5 мм/сек — максимальная скорость движения, ошибка составляет величину меньшую одного отсчета.

На самом деле $t=1$ мсек — максимальное время — длительность развертки и реальное время t всегда будет меньше 1 мсек.

Учитывая, что ошибка при измерении координат на движущемся изображении невелика, был избран следующий способ определения координат трека.

Таймирующий генератор, схема которого представлена на рис. 7, является частью электронной схемы для измерения промежутка времени между передним фронтом сигнала A и срезом видеосигнала от трека или, что то же самое, для измерения координат трека.

Сигнал A , как уже говорилось, есть сигнал начала зоны сканирования, получающийся от щели A . Сигнал A поступает на вход дискриминатора D_2 , который формирует прямоугольный сигнал начала зоны. Далее, для получения короткого запускающего сигнала сигнал от дискриминатора D_2 дифференцируется и поступает на вход вентиля B_2 , отпираемого триггером T_2 после прихода импульса начала отсчета, сформированного дискриминатором D_1 .

Сигнал с выхода вентиля B_2 запускает одновибратор-формирователь импульса зоны, который своим передним фронтом сбрасывает в положение 0 триггер T_2 . Далее импульс зоны поступает на вход импульсно-модулированного генератора, вырабатывающего пачку импульсов, частота повторения которых равна 260 кГц, в течение действия импульса зоны.

Срез импульса зоны сбрасывает в 0 триггер T_1 , разрешающий прохождение сигнала начала отсчета через вентиль, и таким образом после окончания зоны сигнал начала отсчета блокируется.

Передний фронт импульса зоны через дифференцирующую цепочку подается на блок запрета и с его выхода на входы вентиля $B_{9.10.11.12}$, управляемые триггером T_4 . Если триггер T_4 находится в состоянии 1, открыт вентиль $B_{9.10}$ и сигнал формирователя считывания поступает на вход считывающих вентилях $B_{x_{1-13}}$, которые по потенциальным входам связаны с триггерами реверсивного счетчика x . Импульс формирователя $\Phi_{9.11}$ проходит через вентили $B_{x_{1-13}}$, связанные с триггерами счетчика Δx , находящимися в состоянии 1 и, попадая на единичные входы триггеров счетчика Δx , переводит их в положение единица. Таким образом, число, зарегистрированное счетчиком x , переносится в пустой счетчик Δx .

Прежде чем дать описание блок-схемы, поясним логику образования координаты.

Логика образования координаты построена следующим образом.

В момент начала импульса зоны запускается таймирующий генератор, вырабатывающий импульсы с частотой 260 кГц. Одновременно координата x_0 перекрестия переносится в счетчик Δx , в который с небольшой задержкой начинают поступать импульсы таймирующего генератора, период повторения которых выбран таким, что за время между двумя импульсами щель перемещается на расстояние эквивалентное 2,5 мк по пленке.

В момент пересечения щелью изображения трека образуется видеосигнал, передний фронт которого используется для считывания показаний счетчика Δx , в котором к этому времени оказывается зарегистрированным количество импульсов, измеряющее расстояние края изображения трека от перекрестия плюс x координата перекрестия. Иными словами, к приходу переднего фронта видеосигнала на счетчике Δx оказывается число $x_0 + \Delta x$, где $\Delta x = n = \frac{t_1}{\tau}$, t_1 — время

от начала зоны до момента возникновения переднего фронта видеосигнала. После прихода переднего фронта видеосигнала координата $x_0 + \Delta x$ переносится параллельным способом в счетчик Δh , куда с небольшой задержкой начинают поступать импульсы с периодом повторения 2τ , получаемые пересчетом на два импульсов таймирующего генератора. Импульсы с периодом 2τ поступают на вход счетчика Δh в течение действия видеосигнала. Таким образом, в момент окончания видеосигнала на счетчике оказывается зарегистрированным число $x_0 + \Delta x + \Delta h$, где $\Delta h = \frac{t_2}{2\tau}$, где t_2 — длительность видеосигнала, иными

словами, $\Delta h = \frac{1}{2} \frac{t_2}{\tau}$, т. е. Δh равно количеству отсчетов импульсов за время равное половине длительности видеосигнала. Так как τ эквивалентно двум с половиной микрон по пленке, то Δh равно полуширине трека, а $x_0 + \Delta x + \Delta h$ есть координата середины трека.

Вернемся к описанию блок-схемы сканирующего устройства. Как уже говорилось, показания счетчика Δx через систему вентилей $B_{x, \dots}$ и систему схем „или“ 1—15 переносится по сигналу, соответствующему переднему фронту импульса зоны, на счетчик. На счетный вход счетчика Δx поступают сигналы таймирующего генератора. Счетчик Δx считает тактовые импульсы в течение действия импульса зоны, но в момент появления видеосигнала срабатывает дискриминатор D_3 , связанный с видеоси́лителем.

Передний фронт дискриминаторного сигнала вызывает срабатывание триггера T_5 , который отпирает вентиль B_6 . На импульсный вход вентиля B_6 поступает сигнал с импульсно-модулированного генератора. Пройдя вентиль B_6 , сигнал импульсно-модулированного генератора поступает на формирователь Φ_5 и сбрасывает в „0“ T_5 , с выхода

которого на импульсный вход вентиля B_1 приходит сформированный сигнал, поступающий с выхода B_1 на вентили считывания. Таким образом, первый же тактовый импульс, следующий за передним фронтом видеосигнала, считывает показания счетчика Δx , т. е. $x_0 + \Delta x$, и переносит их в пустой счетчик. Счетный вход счетчика Δh через задержку ΛZ_2 связан с формирователем Φ_3 , на который подаются дифференцированные сигналы от переключений триггера T_3 , вызываемых импульсами таймирующего генератора. Таким образом, T_3 вырабатывает импульсы в результате пересчета на два импульсов тактового генератора, т. е. период повторения импульсов, поступающих на вход счетчика, равен 2τ . Время, в течение которого поступают импульсы на вход счетчика Δh , равно длительности видеосигнала, так как прежде чем попасть на счетный вход триггера T_3 , импульсы от генератора проходят вентиль B_3 открытый только в течение действия видеосигнала, к концу которого на счетчике Δh оказывается зарегистрированным число $x_0 + \Delta x + \Delta h$, т. е. координаты середины трека. Считывание показаний счетчика Δh производится сигналом, сформированным из среза видеосигнала и задержанным на одновибраторе O_3 . После считывания координат счетчик Δh сбрасывается в 0 тем же сигналом, но задержанным на линии задержки ΛZ_1 .

Таким образом, система подготавливается к определению координаты следующего трека, если он есть в чувствительной зоне сканирующего устройства.

После окончания импульса зоны формирователем формируется сигнал сброса счетчика Δx .

В качестве регистрирующего устройства на первом этапе предполагается использовать входной перфоратор от М-20. В этом случае схема вывода информации со счетчика Δh будет представлять собой регистр на триггерах и реле. При таком выводе можно будет определять координаты только одного трека в зоне. Иначе говоря, оператор должен будет следить, чтобы в зоне был один трек, либо измерять только координаты трека ближайшего к перекрестию.

В дальнейшем предполагается вводить координаты на буферное запоминающее устройство, которое будет играть роль разравнивателя. Таким буферным устройством может быть оперативная память анализатора АИ-4096, из которой координаты будут выводиться на магнитную ленту.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность за постоянное внимание и содействие работе академику А. И. Алиханову, член-корреспонденту В. В. Владимирскому, а также всем товарищам, принимавшим участие в работе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю. А. Каржавин, И. В. Чувило, С. С. Кирилов, В. Д. Инкин, И. А. Голутвин, В. Д. Неустроев, В. Д. Степанов, Б. П. Тулаев, И. В. Колесов, В. Я. Алмазов, Ю. П. Прокофьев, И. Шингал. ПТЭ, № 5 (1963).
2. Е. М. Андреев, П. Гиршл, И. А. Зарубин, Г. М. Кадыков, С. М. Коренченко, В. М. Лачинов, А. Г. Морозов, К. Г. Некрасов, Р. Позе, М. И. Попов, В. В. Смирнов, Н. С. Толстой. ПТЭ, № 3 (1961).
3. Л. М. Барков, К. Н. Мухин, В. А. Суетин, Р. С. Шляпников. ПТЭ, № 6, 1963.
4. G. K. Bysheva, V. S. Kaftanov, L. L. Lichtenbaum, V. A. Milekin, B. N. Moiseev, O. P. Fedotov, Proceedings of an Intern. Conf. on Instr. for High-Energy Physics, 1960.
5. P. G. Davey, R. I. Hulsizer, W. R. Humphrey, J. H. Munson, R. R. Ross, A. J. Schwemlin, RSI, 35, 1134 (1964).
6. Л. Л. Лихтенбаум. Материалы симпозиума по обработке камерных снимков, Дубна, 1964 г.
7. Л. Л. Лихтенбаум, Б. Н. Моисеев, В. С. Кафтанов. ПТЭ, № 3 (1963).
8. И. Плесс. Вопросы физики элементарных частиц, под ред. А. И. Алиханяна. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1966, стр. 708.
9. А. Ф. Белов, А. Л. Белоус, К. Ф. Кузнецов, С. С. Курочкин, В. Н. Саличко. Цифровая система накопления и обработки информации (АИ-2048), Атомиздат, М., 1963 г.

ՀԵՏՔԱՅԻՆ ԽՑԻԿՆԵՐԻ ԼՈՒՍԱՆԿԱՐՆԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ
ՀԱՄԱՐ ՀԱՅՏԱԾՄԱՆ ՍԱՐՔ

Լ. Լ. ԼԻԽՏԵՆԲԱՍՈՒՄ, Վ. Ի. ԼՅՈՒԼԵՎԻՉ, Օ. Պ. ՖԵԴՈՏՈՎ, Տ. Ֆ. ԳՈՐԴԵԵՎԱ

Հոդվածում տրված է հետքային խցիկների լուսանկարների չափման համար հայտածող սարքի մակնախ նկարագրությունը: Ընտրված հետքի մոտակայքի պատկերի մասի հայտածումը կատարվում է օպտիկա-մեխանիկական սխեմանով, որը որոշում է հետքի դիրքը տարադիտական խաչածևի հետ համընկնող հաշվարկի սկզբի համեմատ:

Հետքի տեղամասի կոորդինատը չափվում է էլեկտրոնային սխեմանով և կարող է դուրս բերվել պերֆոկարտայի վրա ծակումների տեսքով կամ գրվել մագնիսական ժապավենի վրա:

A SCANNING AND MEASURING DEVICE FOR THE
EVALUATION OF PHOTOGRAPHS

L. L. LICHTENBAUM, V. I. LYULEVICH, O. P. FEDOTOV and T. F. GORDEEVA

The track chamber picture scanning and measuring device is described in the present paper.

A mechanical system is used to measure the distance between a centering mark and a point of the track element.

The measurements are made by means of an electronic system; the data obtained are fed to a card punch or magnetic tape recorder.