

СКАНИРУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТОР (СИП) ДЛЯ ОБМЕРА ТРЕКОВ С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

В. М. КАЛИНИН, В. Л. МАМАЕВ, В. П. МИХЕЕВ, Б. С. РОЗОВ,
Г. В. ЧЕРЕМИСИНОВ

Рассматриваются конструктивные особенности СИП-а и точность отдельных элементов, приводятся экспериментальные результаты определения погрешности измерения на СИП-е. Описываются две возможные блок-схемы построения измерительного центра на основе СИП-ов с выводом данных на магнитную ленту.

СИП использует известный принцип, положенный в основу SMP, разработанного в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета [1]. Поэтому, не рассматривая принцип действия СИП-а, перечислим основные элементы и остановимся на их техническом исполнении. Схематично конструкция СИП-а представлена на рис. 1.

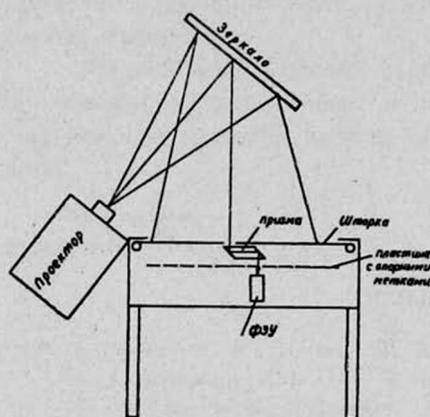


Рис. 1. Схема конструкции СИП-а.

Изображение проектируется на верхнюю поверхность стола, которая представляет собой экран, образованный двумя шторками. В экране имеется отверстие 6×6 мм². Это отверстие оператор вручную ведет вдоль измеряемого трека. Под отверстием находится вращающийся перископ. Ниже перископа расположена пластина с опорными метками, под пластиной — ФЭУ. На рисунке не показаны 3 отсчетных устройства (координат X , Y центра окна и θ -угла поворота перископа) и направляющие, обеспечивающие перемещение перископа по поверхности стола.

Рассмотрим требования к точности отдельных элементов и их конструктивные особенности. Как известно, координаты точки трека, пересекающей какую-либо метку, находятся следующим образом:

$$\begin{aligned} X_T &= X_M - R \cos \theta \\ Y_T &= Y_M - R \sin \theta, \end{aligned} \quad (1)$$

где X_T , Y_T — координаты точки на треке, X_M , Y_M — координаты опорной метки, R — плечо перископа, θ — угол поворота перископа.

Из выражения (1) видно, что погрешность определения координат точки на треке (имеется ввиду погрешность стола без учета иска-

жений в проектирующей системе) обуславливается в основном двумя факторами:

1. Погрешностью нанесения меток на пластине с опорными метками.

2. Погрешностью в определении угла θ в момент совмещения трека с опорной меткой, которая в свою очередь определяется:

а) дискретностью отсчетного устройства угла θ ,

б) погрешностью в определении середины темнового импульса, т. е. погрешностью в определении момента совмещения изображения трека с опорной меткой,

в) погрешностью установки начала отсчета угла θ ,

г) нестабильностью скорости вращения перископа.

Величину R плеча перископа нельзя считать идеально постоянной из-за непараллельности плоскости вращения перископа и пластины с опорными метками. Однако погрешностью из-за непостоянства R практически можно пренебречь, так как она значительно меньше погрешностей п. 1 и 2.

Пластина с опорными метками представляет собой фотопластинку размером 700×600 мм², на которой с помощью матрицы печатаются прозрачные опорные метки 0,3 мм. Матрица изготавливается из плексигласа толщиной 30 мм. На координатном станке сверлятся углубления и заполняются черной краской. Проблема при изготовлении отпечатков — получить касание по всей плоскости между матрицей и фотопластинкой. Точность нанесения меток составляет 25 мк.

Отсчет угла поворота перископа осуществляется с помощью магнитного барабана. На одной дорожке записан импульс начала отсчета, на второй — 2000 периодов синусоидального сигнала. При диаметре барабана 130 мм плотность записи составляет 5 пер/мм. Записать импульсы с такой плотностью не удалось ввиду плохого качества головок и магнитного носителя. Использовались магнитные головки от магнитного барабана машины М-20. Зазор между головкой и носителем 20 мк. Амплитуда сигнала с головок составляет 20 мв. Амплитудная модуляция сигнала — до 70%. Дискретность отсчета угла составляет 10, это соответствует ошибке в определении координат 100 мк (среднеквадратичная ошибка равна 30 мк). Конструкция узла магнитного барабана показана на рис. 2. Магнитный барабан выполнен совместно с ротором синхронного гистерезисного двигателя. На роторе крепится призма перископа. Скорость вращения двигателя — 1500 об/мин. Мощность, рассеиваемая в обмотке статора, не превышает 3 вт.

Отсчет координат центра окна осуществляется с помощью решеток с периодом 2,5 мм. Требуемая точность отсчета грубых координат определяется соотношением размеров окна и расстояния между опорными метками. В нашем случае размер окна — 6×6 мм², а расстояние между метками — 1 см, следовательно погрешность отсчета координат центра окна не должна превышать ± 2 мм для того, чтобы однозначно определить «имя» опорной метки. Точность отсчета с по-

мощью решеток составляет $\sim 0,7$ мм, поэтому на погрешность за счет неидеальности направляющих и неточность их установки относительно пластины с опорными метками остается ± 1 мм, т. е. требования к точности направляющих невелики. Фотоголовка отсчетного устройства содержит осветитель мощностью 2 Вт и 4 фотодиода типа ФД-3. Электронная схема состоит из УПТ, усиливающего сигнал с фотодиодов, формирователя и 10-разрядного реверсивного счетчика.

Счетчик построен на насыщенных триггерах по обычной схеме. Снос показаний в регистр буферной памяти осуществляется через диодные вентили.

Счетчики X , Y и θ опрашиваются в момент прохождения изображения трека над опорной меткой. Импульс опроса вырабатывается схемой стробирования. Схема стробирования вырабатывает импульс, соответствующий середине темного импульса с ФЭУ (рис. 3).

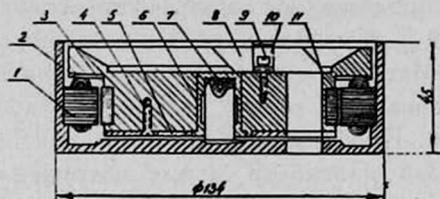


Рис. 2. Узел магнитного барабана.

- 1—статор, 2—корпус, 3—немагнитная втулка, 4—винт-М4, 5—шайба, 6—втулка, 7—шарик, 8—призма, 9—винт-М3, 10—скоба, 11—ротор.

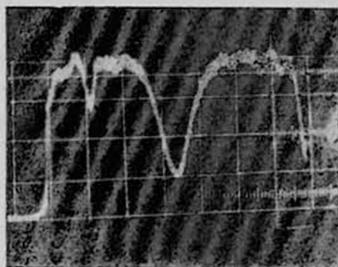


Рис. 3. Импульс с ФЭУ.

Погрешность определения середины темного импульса входит в погрешность определения координат трека и в большой степени зависит от соотношения сигнала и шума ФЭУ. Величина сигнала определяется мощностью осветителя в проекторе, плотностью пленки, диаметром и прозрачностью опорной метки. Для того, чтобы свести к минимуму влияние шумов ФЭУ, в проекторе используется лампа мощностью 400 Вт. К уменьшению влияния шумов ФЭУ приводит также ограничение сверху полосы пропускания усилителя.

Схема определения середины импульса построена на основе генератора линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН). Из темного импульса формируется прямоугольный импульс. От переднего фронта срабатывает ГЛИН. От заднего фронта ГЛИН удваивает наклон выходного напряжения. При достижении определенного уровня срабатывает схема сравнения и вырабатывает импульс для опроса счетчиков. Задержка этого импульса относительно середины темного импульса не зависит от длительности темного импульса. Эта задержка ком-

пенсирруется задержкой в цепи импульса начала отсчета, записанного на магнитном барабане.

Кроме определения середины импульса схема стробирования производит фильтрацию темновых импульсов по длительности. Слишком короткие или слишком длинные темновые импульсы не дают строба. Это значит, что шумы пленки (царапины, грязь и т. п.), отличающиеся по размерам от треков, не будут регистрироваться. Длительность темнового импульса может меняться от 150 до 300 мксек. Ошибка в определении середины темнового импульса не превышает ± 2 мксек, причем основной причиной погрешности является температурная нестабильность порога срабатывания схемы сравнения (диапазон температур $+20 \div +50^\circ\text{C}$). Эта ошибка эквивалентна погрешности 10 мк в определении координат трека.

Для определения суммарной погрешности измерения за исключением влияния оптических искажений измерялись координаты прямой тени проволоки диаметром 0,5 мм, натянутой над поверхностью стола. Результаты измерений приведены на рис 4. Если предположить, что отклонение измеренных точек от оси тени подчиняется нормальному закону распределения, то стандартное отклонение $\sigma = 50$ мк.

Блок-схема СИП-а с электроникой представлена на рис. 5. Назначение отдельных блоков следующее:

1. УВ₁ — усилитель воспроизведения, усиливает и формирует импульс начала отсчета для сброса счетчика θ в нулевое состояние;

2. *Задержка* в цепи импульса начала отсчета нужна для компенсации ошибки из-за неточной установки перископа относительно импульса начала отсчета и для компенсации задержки строб-импульса относительно середины темнового импульса;

3. УВ₂ — усилитель воспроизведения, который усиливает синусоидальный сигнал, записанный на магнитном барабане, и формирует из него счетные импульсы для счетчика θ ;

4. *Схема формирования* усиливает сигналы с фотодиодов и формирует импульсы для реверсивного счетчика координат;

5. *Схема строба* вырабатывает строб-импульс с постоянной задержкой относительно середины темнового импульса;

6. *Схема запрета* пропускает строб-импульсы за один оборот перископа при перемещении окна на 5 мм. Этим исключаются многократные замеры одних и тех же точек;

7. *Схема фазирования* позволяет опрашивать счетчики в те моменты, когда они находятся в установившемся состоянии;

8. МОЗУ служит для хранения данных перед записью их на перфокарты или перфоленту. Для наладки макета использовалось МОЗУ емкостью 256 40-разрядных чисел.

Оптимальный режим работы СИП-а обеспечивается при непосредственной связи с вычислительной машиной. В этом случае к машине предъявляется обязательное требование обладать возможностью прерывания программы для ввода данных. Ввиду того, что в нашем рас-

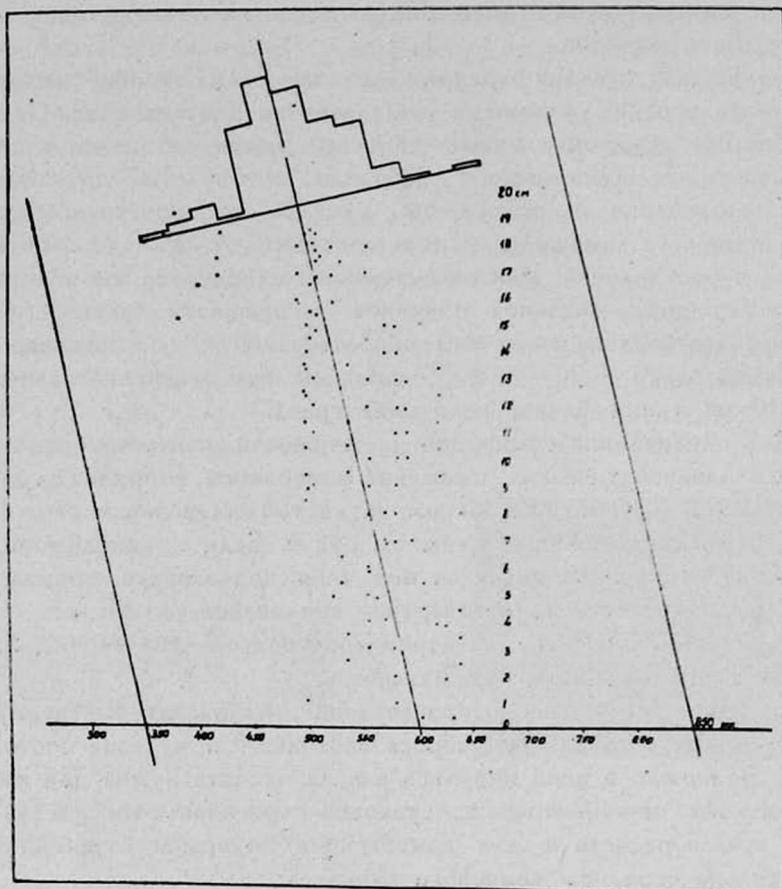


Рис. 4. Гистограмма отклонений измеренных точек от прямой линии.

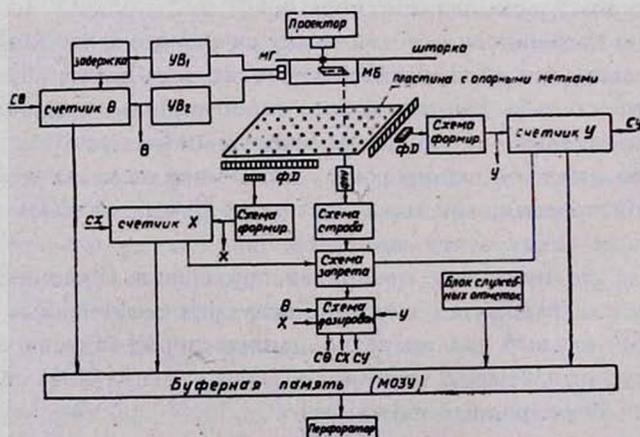


Рис. 5. Блок-схема СИП-а.

поражении нет соответствующей машины, запись данных будет производиться на магнитную ленту.

Процесс обмера события на СИП-е занимает в несколько раз меньше времени, чем процесс поиска события и подготовки к обмеру. Наиболее дорогостоящее оборудование (электроника, МОЗУ) используется только при обмере события. Поэтому имеет смысл использовать общую электронику, МОЗУ и магнитофон для нескольких СИП-ов и подключать их только для обмера. Предлагаемая блок-схема приведена на рис. 6. Электромеханический коммутатор подключает СИП-ы к общей электронике по мере готовности операторов к обмеру. Если оператор готов к обмеру, он нажимает кнопку „готов“. СИП будет подключен к электронике до тех пор, пока оператор полностью обмерит событие и нажмет кнопку „конец обмера“. Данные обмера записываются в МОЗУ от машины „Минск-22“ емкостью 4096 37-разрядных чисел. Если в МОЗУ записано более 3500 чисел, то после окончания обмера события включается магнитофон, и данные из МОЗУ переносятся на магнитную ленту. Время очистки МОЗУ составляет несколько секунд.

При работе по предлагаемой блок-схеме будут неизбежно возникать простои операторов из-за невозможности жестко синхронизировать их работу. Количество СИП-ов, объединенных по такой блок-схеме, будет определяться отношением времени, за которое оператор найдет и обмерит событие, ко времени обмера события. Время обмера одного события на СИП-е составляет $3 \div 4$ мин. Время, за которое оператор находит событие, зависит от многих факторов (размер камеры, тип события и т. п.) Если считать, что оператор на поиск полезного события тратит в среднем $8 \div 10$ мин, то по указанной блок-схеме могут работать 3—4 СИП-а. Максимальная производительность, которая может быть достигнута, определяется временем обмера события на СИП-е. Годовая производительность не будет превышать 100 тысяч событий в год (при 3-х сменной работе). Такой производительности достаточно, чтобы загрузить машину М-20, т. е. время обсчета события на М-20 по предварительным подсчетам будет не менее 3 мин. При этом большую часть времени занимает программа фильтрации.

Можно организовать работу нескольких СИП-ов по блок-схеме, приведенной на рис. 7, которая обеспечивает независимую работу каждого СИП-а. Электронный коммутатор циклически опрашивает выходные регистры СИП-ов и переносит их показания в МОЗУ, если они отличаются от нулевого. Период обращения коммутатора должен быть не больше минимального интервала между кодами с СИП-а для того, чтобы не потерять данные. Этот интервал составляет $300 \div 400$ мксек. Минимальное время, отведенное на опрос одного СИП-а, определяется временем обращения к МОЗУ (20 мксек). Максимальное количество СИП-ов, которые могут работать по такой блок-схеме,

равно $\frac{300}{20} = 15$. В рассматриваемом варианте необходимо использовать два МОЗУ, так как данные с коммутатора будут поступать непрерывно. После заполнения одного МОЗУ данные будут записываться в другое МОЗУ. В это время данные из первого МОЗУ переносятся на магнитную ленту. При работе по такой схеме 15 СИП-ов могут обеспечить обмер 500 тысяч событий в год. Недостатком второго варианта является то, что данные от СИП-ов поступают вперемежку. При обработке машина должна будет выбирать данные, относящиеся к какому-либо СИП-у по признаку номера СИП-а. Магнитная лента будет прогоняться столько раз, сколько СИП-ов использовалось при обработке.

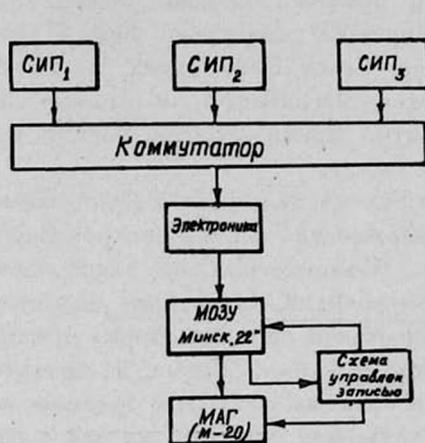


Рис. 6. Блок-схема связи с ЦВМ при последовательной работе СИП-ов.

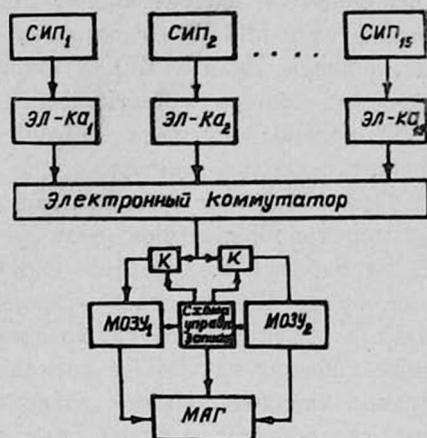


Рис. 7. Блок-схема связи с ЦВМ при параллельной работе СИП-ов.

Данная работа была выполнена на кафедре Автоматики и телемеханики МИФИ в рамках хоздоговорной работы для Института теоретической и экспериментальной физики.

В заключение авторы благодарят В. А. Карнеева, В. Н. Евгеньева, С. Д. Цейтлина, Н. В. Павлова, Т. М. Королеву, принимавших участие в разработке и изготовлении отдельных схем и узлов первого экземпляра СИП-а.

Московский инженерно-физический институт

Поступила 10 июля 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. P. G. Davey, R. I. Hulsizer, W. E. Humphrey, J. H. Munson, R. R. Ross and A. J. Schwemin, RSI, 35, 1134 (1964).

ՀԱՅՏԱՇՈՂ ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՊՐՈՆԵԿՏՈՐ (ՀԶՊ) ՊՂՊՋԱԿԱՅԻՆ
ԽՑԻԿՆԵՐՈՒՄ ՀԵՏՔԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Վ. Մ. ԿԱԼԻՆԻՆ, Վ. Լ. ՄԱՄԱԵՎ, Վ. Պ. ՄԻՔԵԵՎ, Բ. Ս. ՐՈՋՈՎ, Գ. Վ. ՉԵՐԵՄԻՍԻՆՈՎ

Քննարկված են ՀԶՊ-ի կոնստրուկտիվ առանձնահատկությունները և առանձին տարրերի ճշտությունը, բերված են ՀԶՊ-ի վրա չափման սխալի որոշման փորձառական արդյունքները: Ինկարագրված են ՀԶՊ-երի հիման վրա չափողական կենտրոնի կառուցման հնարավոր երկու բլոկ-սխեմաներ՝ տվյալների դուրս բերումով մագնիսական ժապավենի վրա:

SCANNING AND MEASURING PROJECTOR (S. M. P.)
FOR BUBBLE CHAMBER TRACK MEASUREMENT

V. M. KALININ, V. L. MAMAEV, V. P. MIKHEEV, B. S. ROSOV,
G. V. CHEREMISSINOV

Design features and accuracy of particular elements are considered and experimental results on the determination of the accuracy of measurements are set forth. Two possible block-schemes of Measuring Center Design based on S. M. P. with magnetic tape recordings are described.