

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P10-86-623**

**Л.П.Калмыкова, В.М.Котов, В.И.Мороз,  
А.Е.Селиванов, Г.А.Шелков, В.С.Ямбуренко**

**РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА  
ИЗМЕРЕНИЙ СОБЫТИЙ С УСТАНОВКИ РИСК  
НА СПИРАЛЬНОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ**

**1986**

## В в е д е н и е

Основная информация с пятиметрового спектрометра РИСК<sup>1/1</sup> регистрируется на фотопленке. Измерение событий может проводиться приборами, созданными для обработки снимков с пузырьковых камер. Особенности, связанные со спецификой стримерных камер и поставленной физической задачей по исследованию взаимодействия адронов с импульсом 40 ГэВ/с с ядрами<sup>1/2</sup>, вносят существенные отличия в топологию событий на снимках со спектрометра РИСК по сравнению с традиционными пузырьковыми камерами. К наиболее существенным особенностям относятся многообъективная система фотографирования, состоящая из 8 объективов, образующих четыре стереопары с неперекрывающимися по длине спектрометра полями зрения; использование в оптических каналах электронных усилителей изображения (ЭОП), обладающих значительными (~20%) дисторсиями, относительно невысоким пространственным разрешением (размер изображения стримера на фотопленке ~ 60 мкм); а использование ядерных мишеней и конвертеров для регистрации  $\gamma$ -квантов неизбежно вызывает появление в объеме стримерной камеры зон нечувствительности, вследствие чего вершина взаимодействия и точка конверсии  $\gamma$ -кванта невидимы; наблюдается высокая множественность (до 60 треков в случае свинцовой мишени) исследуемых событий.

Эти причины затрудняют эффективную обработку снимков со спектрометра РИСК на автоматических измерительных приборах, поэтому до недавнего времени главными измерительными инструментами являлись полуавтоматические устройства типа ПУОС. Обладая высокой эффективностью измерения сложных событий, ПУОСы в то же время имеют невысокую производительность.

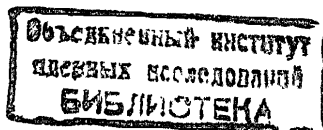
Указанные причины при наличии большого объема данных (~10<sup>6</sup> снимков), подлежащих измерению, поставили задачу применения сканирующего устройства - спирального измерителя (СИ)<sup>3/</sup> для обработки снимков с установки РИСК.

К достоинствам СИ при его применении для обработки снимков с камеры РИСК следует отнести:

1. Возможность использования автоматического режима измерения - спирального сканирования, позволяющего за 6-7 секунд полностью оцифровать весь снимок, и комплекса программ фильтрации для выделения треков исследуемого события.

2. Наличие трех систем изображения исследуемого события:

- а) всего снимка на столе оператора с увеличением в 10 раз;
- б) выбранной зоны снимка с увеличением в 200 раз и
- в) результатов оцифровки этой зоны на растровом дисплее.



3. Участие в процессе измерения оператора, имеющего возможность измерять как дополнительные точки на треках для повышения эффективности программ фильтрации, так и полностью отдельные треки события в особо сложных случаях.

4. Программы графического представления данных сканирования в режиме он-лайн<sup>/4/</sup>, дающие возможность вести оперативный контроль результатов оцифровки снимка при измерении и выбирать параметры сканирования на данном кадре в зависимости от качества изображения.

5. Наличие в составе СИ управляющей ЭВМ, позволяющей организовать развитый диалог для управления процессом измерения и автоматизировать ряд подготовительных операций по поиску кадров, занесению служебной информации, а также оказать помощь оператору при ручном режиме измерений.

Как уже указывалось выше, на снимках с РИСК отсутствует явно выраженная вершина взаимодействия, что не позволяет совместить полку спиральной развертки с центром взаимодействия. В то же время спиральное сканирование узкой прямоугольной щелью наиболее эффективно для выделения треков, выходящих из вершины события. Это потребовало изменения программ фильтрации<sup>/10/</sup> и управления сканированием применительно к особенностям снимков с камеры РИСК.

#### Основные параметры и точностные характеристики СИ

СИ представляет собой установку для измерения камерных снимков, имеющую две различные системы координат: полярную (RT) и декартову (XY). Автоматическое сканирование снимка в RT-системе производится узкой прямоугольной щелью размерами 30x250 мкм. Максимальный радиус скана в плоскости пленки 57 мм. Шаг спирали переменный, управляется из ЭВМ и имеет 14 градаций. Максимальный шаг 4400 мкм, минимальный - 230 мкм.

Точность измерения, приведенная в XY-систему после введения параметров калибровки, составляет 3-5 мкм в плоскости пленки. Измерительный XY-стол имеет две независимые каретки, которые могут перемещаться по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Рабочие перемещения по осям x и y соответственно 200 и 70 мм. Точность измерения точек трека в полуавтоматическом режиме 7-9 мкм по пленке, а точность выезда измерительного XY-стола в автоматическом режиме в заданное положение 4-6 мкм.

Фильмопротяжное устройство включает механизм смены проекций и 4 отдельных лентопротяжных блока, конструкция которых позволяет уста-

навливать рулоны пленки длиной до 300 м и шириной 50 или 35 мм. Максимальная скорость перемотки 120 м/мин, а управление поиском кадра производится как по стоп-меткам кадра, так и при помощи меток на ведущем ролике (капстане).

Каждое из указанных устройств имеет свой контроллер, систему датчиков и обслуживается набором программ библиотеки ОС СИ<sup>/5/</sup>, что позволяет автоматизировать многие подготовительные, калибровочные и измерительные процессы. В качестве источника управляющей информации для автоматизации служит магнитная лента с результатами просмотра.

Функционирование всего комплекса аппаратуры осуществляется при помощи специализированной операционной системы реального времени с широким использованием прерываний и передачи данных по каналу прямого доступа в память. Операционная система реализует также развитые средства интерактивного режима работы, имеет собственную систему динамической отладки<sup>/6/</sup>, а также набор программ функционального контроля и тестов<sup>/7/</sup>.

В состав ОС СИ входит также программное обеспечение для графического представления данных сканирования в режиме движущегося изображения<sup>/4/</sup>, дающее возможность оператору, перемещая на экране монитора выбранную область кадра, наблюдать результаты оцифровки этой же области в том же самом масштабе для оценки качества и выбора параметров сканирования (уровня дискриминации, шага спирали и т.п.). Имеется также отдельный пакет программ редактирования и контроля<sup>/8/</sup>, формирующий магнитную ленту с выходными данными СИ.

Дальнейшая обработка полученной информации производится на больших ЭВМ программами фильтрации, геометрической реконструкции и кинематической идентификации. Особенность фильтрации треков на снимках с установки РИСК заключается в том, что данные измерения не содержат координат центра взаимодействия как общей точки для всех треков данного события. Программа фильтрации выделяет точки треков измеряемого события, формируются т.н. "мастер-точки" треков, а затем, с учетом калибровочных параметров, переводит все данные в единую XY-систему координат и формирует выходной массив для дальнейшей обработки. Подробно программа фильтрации для снимков с камеры РИСК будет описана в отдельной работе.

Калибровка СИ проводится регулярно путем сканирования специальной калибровочной пластинки. Результаты этих измерений обрабатываются по программе КАЛИБР<sup>/11/</sup>. При этом определяются параметры преобразования координат из полярной системы в декартову с учетом искажений в оптико-механической системе СИ.

### Алгоритмы измерения события на СИ

Последовательность операций при измерении снимков задается программой управления. Начальные данные (номер снимка, содержащего нужное событие, номера проекций, топология и т.п.) определяются при предварительном просмотре. Эта информация используется для автоматического поиска нужного кадра, проекции, занесения служебной информации.

Обработка проекции начинается с измерения координат реперных крестов. Перемещение измерительного стола в зону расположения следующего креста производится под управлением ЭВМ. Функции оператора сводятся к точному совмещению центра изображения креста с меткой на экране телевизионного монитора.

Спиральное сканирование начинается по команде оператора для проекций, содержащих вершины взаимодействия, а также треков  $v^0$ -частиц и  $\gamma$ -квантов и автоматически для всех остальных проекций. Оцифрованное изображение снимка, переведенное в  $x-y$ -систему координат, выводится программами графики на растровый дисплей, причем центр экрана, выделенный яркой точкой, совпадает с меткой на экране монитора. Оператор сравнивает изображение снимка на столе и его оцифровку и определяет необходимость ручных измерений. Для ускорения ручных измерений треков введен режим программного автосопровождения, при котором по трем измеренным точкам трека вычисляются координаты следующей и измерительный стол автоматически перемещается в предсказанную точку. За оператором остается только точное наведение на трек. По окончании измерения всех треков оператор заканчивает обработку текущей вершины и переходит к следующей вершине (если есть  $v$ -события или  $\gamma$ -конверсии) или к следующей проекции.

В отличие от ранее обрабатывавшихся на СИ снимков, полученных в других экспериментах, ручное измерение точек треков в  $x-y$ -системе для снимков с камеры РИСК имеет особенности.

Во-первых, в выходных данных СИ (после программ фильтрации) каждому треку должна быть присвоена метка, причем на разных проекциях одни и те же треки должны иметь одинаковые метки. В качестве такой метки используется номер трека, присвоенный ему при предварительном просмотре, который в дальнейшем приписывается соответствующему треку программой фильтрации. Поэтому всегда хотя бы одна точка трека измеряется в ручном режиме. Во-вторых, отсутствие явно выраженной вершины взаимодействия требует измерения точки начала трека в ручном режиме. Координаты этой точки используются программой фильтрации для определения начальной области гистограммирования, а в дальнейшем для контроля качества найденного трека. Ранее эти функции

выполняли координаты вершины взаимодействия, также измерявшиеся в ручном режиме.

Отметим, что необходимость измерения оператором указанных выше точек определяется возможностями программы дальнейшей обработки данных сканирования.

Таблица затрат времени по этапам измерения проекции события

№ пп	Э т а п	Время (с)
1.	Поиск кадра, подготовка его к измерению	10
2.	Измерение реперных крестов, где $n_f$ - количество измеряемых крестов	$1,9 \times n_f$
3.	Выбор точки сканирования (или автоматический въезд в нее измерительного стола) и сканирование	10
4.	Ручные измерения треков (включая поиск и опознавание), $n_p$ - общее количество измеренных точек	$5 \times n_p$

Примечание. К настоящему времени среднестатистические затраты на измерение проекции составляют примерно 240 секунд при измерении в среднем 6,2 трека на проекции и 6,4 опорных точки на треке.

Видно, что основные затраты падают на ручные измерения и они значительны. Поэтому для уменьшения потери времени при исправлении ошибок (измерен не тот трек и т.п.) введены программные средства, позволяющие выполнять частичный перемер элементов события. Сюда относятся (в порядке укрупнения структуры): перемер последней измеренной точки, перемер последнего трека, перемер всех точек, перемер крестов, перемер всей проекции. Эти возможности повышают эффективность работы оператора и облегчают ее.

### Контрольные измерения

С целью определения точностных характеристик и эффективности выделения треков СИ при измерении снимков со спектрометра РИСК выполнена серия контрольных измерений, в ходе которой 70 событий были полностью измерены на СИ и на полуавтоматах ПУОС. Все отобранные для измерения события сопровождалась полным рисунком, на котором были

идентифицированы все треки как на проекциях, образующих стереопару, (TRACK-MATCH), так и на различных стереопарах (BRIDGING). Для этого в ходе просмотра при составлении рисунка каждому треку присваивался свой номер, который сохранялся на всех проекциях. Такая идентификация возможна благодаря тому, что разброс диаметров стримеров вдоль трека частицы в стримерной камере существенно превышает разброс диаметров пузырьков вдоль трека в пузырьковой камере. Вследствие этого каждый трек стримерной камеры имеет свою особую микроструктуру, по которой удается идентифицировать даже близлежащие треки частиц одного знака, что подчас невозможно в пузырьковой камере. Проведение такой предварительной идентификации треков сняло все проблемы с определением соответствующих треков при сравнении результатов измерений, выполненных на разных измерительных устройствах.

Результаты измерений обрабатывались по программам фильтрации и геометрической реконструкции системы HYDRA<sup>9/</sup>, адаптированным для стримерной камеры РИСК. Сравнительный анализ данных производился на ЭВМ ЕС-1060.

На всех приведенных далее рисунках представлены гистограммы распределений разностей величин ( $\Delta A$ ), определенных по измерениям на ПУОС ( $A_{ПУОС}$ ) и СИ ( $A_{СИ}$ ):

$$\Delta A = A_{ПУОС} - A_{СИ}.$$

На рис.1 приведены гистограммы распределений разностей величин импульсов частиц ( $\Delta p$ ) - рис.1а, угла погружения ( $\Delta \lambda$ ) - рис.1б и азимутального угла ( $\Delta \varphi$ ) - рис.1в вылета трека.

Средние величины

$$\begin{aligned} \Delta p &= (-16 \pm 17) \text{ МэВ,} \\ \Delta \lambda &= (-0,9 \pm 0,7) \text{ мрад,} \\ \Delta \varphi &= (-0,2 \pm 0,5) \text{ мрад} \end{aligned}$$

в пределах ошибок равны нулю.

На рис.2 приведена гистограмма разностей средних величин отклонений координат измеренной точки в пространстве от кривой, аппроксимирующей все измеренные на треке точки ( $\Delta R, \text{RESIDUAL}$ ). Средняя величина  $\overline{\Delta R} = (274 \pm 12)$  мкм больше нуля, что свидетельствует о более высокой точности измерения треков на СИ по сравнению с ПУОС. Среднее значение величины  $R$  составляет для данных ПУОС  $R_{ПУОС} = (940 \pm 13)$  мкм и для СИ  $R_{СИ} = (660 \pm 12)$  мкм в пространстве.

На рис.3 представлена гистограмма распределений разности числа треков ( $\Delta N$ ) первичной вершины, восстановленных программами геометрической реконструкции. Средняя величина  $\overline{\Delta N} = 0,25 \pm 0,15$  в пределах ошибок близка к нулю, однако свидетельствует о некоторой неизбежной,

по-видимому, неэффективности выделения трека при автоматическом способе измерения (СИ) по сравнению с ручным (ПУОС).

Приведенные выше результаты говорят о том, что данные измерений снимков с РИСК на спиральном измерителе дают несмещенные значения величин всех измеряемых параметров, по сравнению с измерениями на полуавтоматах ПУОС, и имеют более высокую (на  $\approx 30\%$ ) точность. Эффективность измерения треков события близка к эффективности ПУОС. Производительность СИ составляет примерно 35 стереотреков/час.

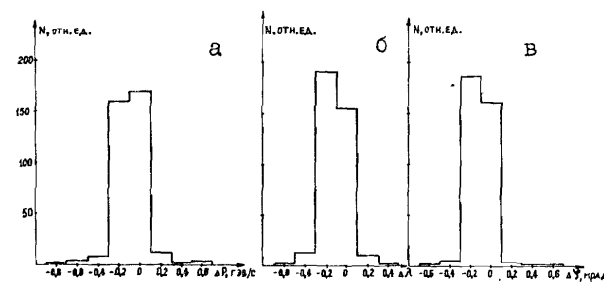


Рис.1

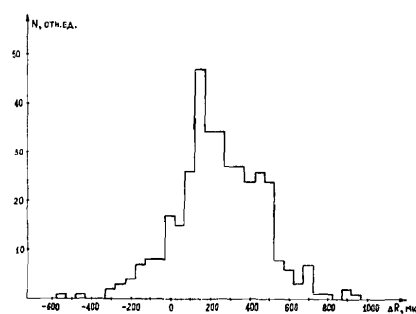


Рис.2

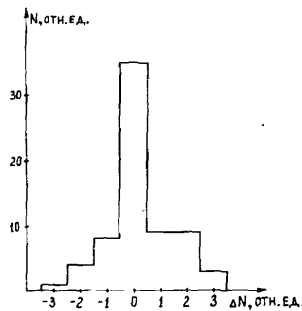


Рис.3

### Заключение

Результаты сравнительного анализа данных измерения на СИ и ПУОС событий с установки РИСК свидетельствуют о том, что параметры СИ соответствуют требованиям, предъявляемым к измерительным системам обработки снимков стримерных камер, используемых в физике высоких энергий. Эффективность обработки на СИ близка к эффективности измерительных устройств типа ПУОС, а точность и производительность СИ в рассматриваемой системе обработки в 1,5 раза выше.

В настоящее время производительность СИ составляет  $\sim 35$ , а на ПУОС 20-25 стереотреков в час. Отметим, что в СИ имеется значитель-

ний резерв повышения производительности, который заключается в реальной возможности уменьшения объема ручных измерений, временные затраты на которые сегодня, как следует из приведенных данных, составляют основное время измерения события. Используемая избыточность ручных измерений определяется сложностью событий и требованиями высокой эффективности, а также возможностями программы дальнейшей обработки и отсутствием оперативной обратной связи. Поэтому в настоящее время проведены работы по созданию канала связи СИ и ЕС-1060 и ведутся работы по созданию программного обеспечения для реализации интерактивного режима фильтрации, что значительно сократит объем ручных измерений до минимально необходимого программы фильтрации конкретно для каждого измеряемого трека.

Система СИ введена в режим массовых измерений, к августу 1986 года обработано 18 тысяч стереотреков.

В заключение авторы выражают признательность Л.С.Вертоградову, Ю.П.Мерекову, И.Фараго за полезные обсуждения, а также благодарят инженеров СИ А.А.Разину и Л.Н.Шакину за большую помощь при отладке системы измерений.

#### Литература

1. Bohm G., Vertogradov L.S., Grishkevich Ya.A. et al. Proceedings of the first International Conference on Streamer Technology. Preprint ANL-8085, page 117.
2. Бом Г., Беттхер Г., Гальм И. ЯЭ, т.35, вып.3, 1982, с.700.
3. Котов В.М. и др. ОИЯИ, IO-7939, Дубна, 1974.
4. Бондаренко О.Н., Котов В.М., Ямбуренко В.С. ОИЯИ, IO-83-500, Дубна, 1983.
5. Котов В.М. ОИЯИ, IO-8438, Дубна, 1974.
6. Котов В.М., Ямбуренко В.С. ОИЯИ, P10-13017, Дубна, 1980.
7. Буланова Г.Н., Котов В.М., Кутуев Р.Х. ОИЯИ, IO-8189, Дубна, 1974.
8. Ямбуренко В.С. ОИЯИ, IO-83-499, Дубна, 1983.
9. HYDRA System Library, CERN, 1974, HYDRA Application Library, CERN, 1974.
10. Нергуй Б., Ососков Г.А. ОИЯИ, IO-83-612, Дубна, 1983.
11. Мороз В.И., Ососков Г.А. ОИЯИ, IO-84-791, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 сентября 1986 года.

Калмыкова Л.П. и др.

P10-86-623

Результаты сравнительного анализа измерений  
событий с установки RISK на спиральном измерителе

С целью определения точностных характеристик и эффективности выделения треков спиральным измерителем /СИ/ при обработке снимков со спектрометра RISK была выполнена серия контрольных измерений. Результаты сравнительного анализа данных, полученных на СИ и ПУОС, свидетельствует о том, что параметры СИ соответствуют требованиям, предъявляемым к измерительным системам обработки снимков со стримерных камер. Эффективность обработки на СИ близка к эффективности ПУОС, а точность и производительность СИ в рассмотренной системе обработки примерно в 1,5 раза выше.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Kalmykova L.P. et al.

P10-86-623

Results of Comparative Analysis of Measurements  
on a Spiral Reader of Events from RISK Spectrometer

Check measurement series was performed in order to determine spiral reader (SR) precision and efficiency for selecting tracks from the RISK spectrometer stereofilms. The comparative analysis of SR and PUOS data has the following results: the SR characteristics satisfy the requirements for the measurement systems of streamer chamber film processing. The efficiency of SR data processing is similar to that of PUOS but the accuracy and productivity of SR are by a factor of 1.5 greater.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986