



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P10-95-498

Н.П.Алексеева, В.Ф.Завьялов, Ю.Лукстиньш,
А.Т.Матюшин, И.С.Саитов, В.А.Степаненко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ СЪЕМА ДАННЫХ
ДЛЯ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ УСТАНОВКИ ГИБС

1995

Введение

В течение ряда лет специалистами ЛВТА и ЛВЭ велись работы по созданию аппаратуры для телевизионного (бесфильмового) съема данных со стримерной камеры установки ГИБС (гибридный спектрометр), а также для других спектрометров ОИЯИ / 1,2,3 /.

Целью данной работы является исследование точностных характеристик телевизионной системы (ТС), для чего на персональном компьютере (ПК) была создана методика исследования и разработано соответствующее математическое обеспечение.

В качестве эталонного объекта сканирования использовалась автономная калибровочная система с высокоточной реперной сеткой, а для получения условий, имитирующих стримерную камеру, аппаратура ТС была установлена на испытательном стенде ГИБС /4/. В этом случае объектом сканирования служила плита размером 1x2 м с 11x27 крестами и расстоянием между центрами крестов 85 мм, расстояние от плоскости плиты до объектива ТС — 2.4 м. В качестве модельного трека, расположенного в зоне прохождения пучкового трека, использовалась светящаяся нихромовая проволока диаметром 0.8 мм.

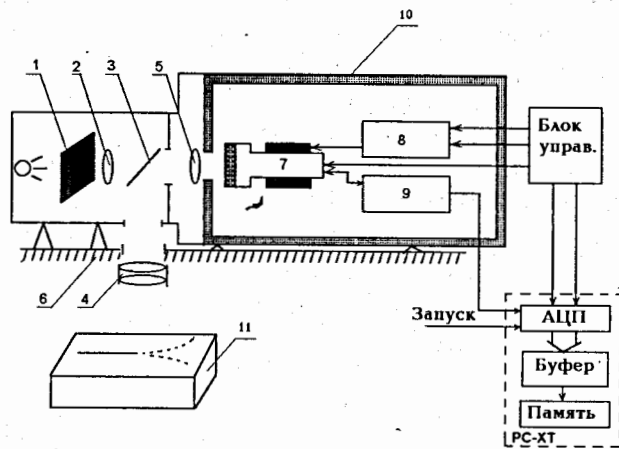
В работе обсуждаются вопросы точности калибровочных констант, точности реконструкции координат тест-объекта, стабильности аппаратуры.

I. Краткое описание аппаратуры ТС

Аппаратура ТС представляет собой комплекс оптических и электронных устройств, который предназначен для регистрации, обработки и запоминания треков, высвечиваемых в стримерной камере.

Оптический канал, а также автономная калибровочная система разработаны и изготовлены специалистами Института точной механики и оптики в г.С.-Петербурге и представляют собой довольно сложный оптический узел, созданный на основе изобретения /5/. Подробное описание и основные характеристики этого узла будут опубликованы отдельно. На рис.1 представлена блок-схема ТС и перечислены ее основные узлы.

Преобразователем световой информации в видеосигнал служит телевизионная передающая трубка с высокой световой чувствительностью. Электронные схемы обеспечивают развертку изображения в телевизионном стандарте 625 строк, 2x25 кадров/с. Размер рабочего поля на мишени ТВ-трубки 15x20 мм. При регистрации треков видеосигнал в основном, представляет собой импульсную последовательность с длительностью импульсов от 150 нс до нескольких микросекунд в зависимости от яркости и направления треков.



- 1 - реперная сетка
- 2 - оптика калибровочной системы
- 3 - полупрозрачное зеркало
- 4 - основная оптика установки ГИВС
- 5 - ТВ-оптика
- 6 - базовая плита
- 7 - ТВ-трубка
- 8 - усилители разверток
- 9 - усилитель видеосигнала
- 10- магнитный экран
- 11- тест-объект

Рис.1. Блок-схема телевизионной системы

Преобразование в цифровой код интервалов времени от начала сканирования строки до появления видеоимпульсов, превышающих заданный порог, осуществляет отсчетный канал. Он определяет X-координаты середин видеоимпульсов (треков) и передает эти данные вместе с номером сканируемой строки (Y-координаты) в буферную память ЭВМ.

Управление сканированием и накопление данных возложены на ПК Правец-16, в который добавлены 2 платы: плата отсчетного канала и плата буферной памяти. ПК синхронизируется кадровыми и строчными импульсами, а также импульсом запуска стримерной камеры, который при необходимости может быть задан автономно. Для этих целей был создан программный пакет, состоящий из нескольких аппаратно-зависимых программ, которые обеспечивают режим регистрации, накопления и запись событий в специальный файл. В пакет также входят программы инициализации, диалога, программа визуального просмотра зарегистрированных событий на дисплее ПК и некоторые другие вспомогательные программы. Использованы языки программирования Ассемблер и PLM-86.

II. Функционирование ТС с точки зрения накопления и обработки данных

Результатом сканирования и оцифровки изображения на ТВ-трубке является упакованный массив X-, Y- координат центров отсчетов на растре 625x4096 точек, дополненный блоком служебной информации (дата, номер эксперимента, номер события и пр.). В процессе регистрации наряду с выводом изображения на экран дисплея происходит запись событий в файл на диск ПК.

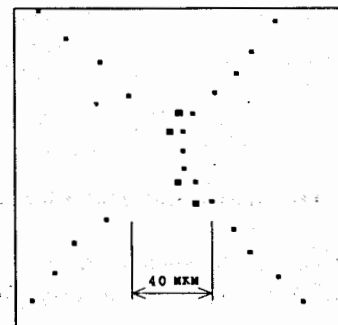


Рис.2. Влияние дискретизации на элементы изображения

При сканировании телевизионного изображения получаемый массив данных разбивается на два массива отсчетов для четных и нечетных строк кадра. Порядок следования массивов после блока служебной информации определяется наличием первого отсчета на одной из начальных строк кадра. Время между кадрами используется для упаковки данных и записи их на дискету ПК. При этом разрешающая способность системы накладывает ограничение на максимальную длительность (ширину) сигнала и минимальное расстояние между двумя сигналами (порядка 40 отсчетов из 4096 по X- координате). Если первое ограничение может быть существенно только для прямых треков, почти параллельных строкам ТВ-кадра, то второе — может вносить искажение для центров реперных крестов и близких треков (см. рис.2).

Наличие автономной калибровочной системы позволяет учитывать имеющиеся нелинейные искажения измерений (см. рис.3). Следует отметить возможность одновременной регистрации в поле кадра реперных крестов плиты стенда, модельного трека и калибровочной сетки ТВ-системы в любой комбинации или раздельно. Этого же можно достичь на ПК путем объединения различных кадров после раскодировки X-, Y- координат.

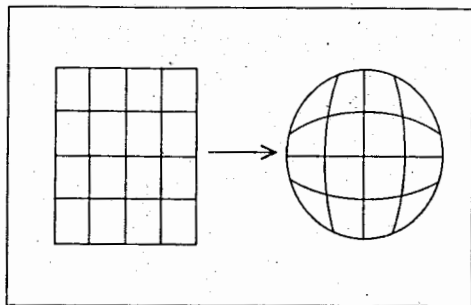


Рис.3. Нелинейные искажения ТС

При работе с оптическими трековыми детекторами (например, стримерной камерой) необходимо решить проблему учета искажений в оптическом тракте. Если бы существовала идеальная оптика, то светящаяся точка в стримерной камере, имеющая координаты X, Y , на пленке или фотопластинке изображалась бы как точка с координатами x, y , а между координатами существовала бы простая связь $(x, y) = -k(X, Y)$. Однако реальные

оптические системы вносят различные искажения, и связь между координатами становится сложнее:

$$F(x, y) = a_n X^n Y^n + a_{n-1} X^n Y^{n-1} + a_{n-2} X^{n-1} Y^n + \dots, \quad (1a)$$

где n может быть порядка 5–10.

Чтобы иметь коэффициенты a_i , можно фотографировать тест-объект, содержащий несколько десятков или сотен точек, координаты которых хорошо измерены. Трудно преодолимые технические проблемы не позволяют установить тест-объект в стримерной камере. Однако, если оптическая система конструктивно жесткая и не меняется во время эксперимента, то коэффициенты a_i являются константами, и достаточно их определить один раз, например, перед экспериментом. Для этого стримерную камеру временно заменяют на тест-объект, фотографируют реперные точки и вычисляют константы a_i , которые в дальнейшем используются для обработки всего экспериментального материала.

Такой метод применим, если изображение фиксируется жестким носителем, например, ПЗС-матрицей. При фотографировании на пленку необходимо учесть эффект усадки пленки.

Данная работа посвящена более сложной проблеме регистрации изображения телевизионной камерой. В этом случае появляются дополнительные элементы оптического тракта (объектив телекамеры, см. рис.1) и нестационарные искажения, вносимые электронной оптикой ТВ-системы. Коэффициенты a_i в формуле (1a) могут не быть константами. То есть возникает необходимость вычислять эти коэффициенты достаточно регулярно в течение эксперимента. Это невозможно из-за несовместимости стримерной камеры и тест-объекта.

Для регистрации треков в стримерной камере установки ГИБС предложена следующая схема (см.рис.1). Изображение стримерной камеры или тест-объекта передается на телекамеру полупрозрачным зеркалом (3). За зеркалом установлена пластина (1) с сеткой калиброванных крестов. Это дает возможность одновременно регистрировать координаты точек тест-объекта и крестов калибровочной пластины для получения двух полиномов вида (1a) для тест-объекта и оптического тракта (основной объектив, зеркало, объектив телекамеры, электронная оптика телекамеры). Полином для описания изображения калибровочной пластины в формуле (1a) будет иметь коэффициенты b_i , не равные a_i , поскольку характеризуют разные оптические тракты. Но нестационарный участок (телекамера) в обоих случаях общий. Отсюда можно сделать вывод, что если со временем не

меняются коэффициенты b_i , то и коэффициенты a_i сохраняются. Так как нет проблем в течение эксперимента определять коэффициенты b_i и постоянно их контролировать, то можно считать, что коэффициенты a_i постоянны, пока не меняются коэффициенты b_i .

III. Основные точностные характеристики системы

Стабильность работы оценивалась по следующим критериям:

- по отклонению центров некоторого подмножества крестов калибровочной сетки от их первоначального положения;
- по результатам калибровки с использованием отсчетов одного или двух полукадров;
- по результатам восстановления треков.

Для контроля отклонений центров крестов на ПК проведена оценка смещения X, Y - координат для разных кадров посредством попарного объединения результатов оцифровки на этапе визуализации реперных крестов. Для более точного исследования использовались крайние кресты кадра, где смещения по X, Y- координатам проявляются более сильно.

Основными причинами, влияющими на стабильность и точность работы ТС, как и любой электронной измерительной системы, являются нестабильность источников питающих напряжений и постепенное нагревание ее отдельных узлов.

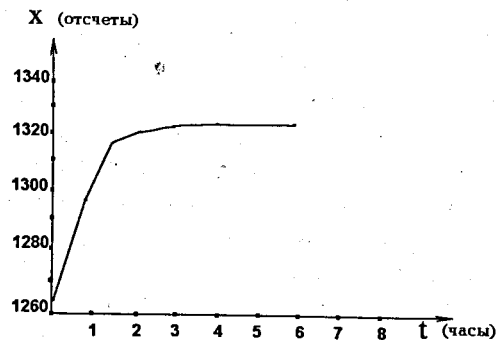


Рис.4. График дрейфа X-координаты центра крайнего креста

Сведение к минимуму этих явлений достигается жесткой стабилизацией всех питающих напряжений, тщательной настройкой электронных

схем и предварительным прогревом ТС. На рис.4 видно, что после включения аппаратура выходит на нормальный режим работы через 2–2.5 часа.

Точность калибровки ТВ-системы определяется следующими факторами:

- дисторсией изображения;
- местоположением и размерами калибруемого участка мишени телевизионной трубки;
- точностью изготовления и расположением линий реперных систем;
- степенью используемых полиномов для учета нелинейных искажений изображения по X-, Y- координатам;
- разрешающей способностью отсчетного канала.

Т.к. нелинейные искажения изображения увеличиваются по мере удаления от центра мишени ТВ-трубки (рис.3), то обычно используется центральная часть трубки, как изображено на рис.5.

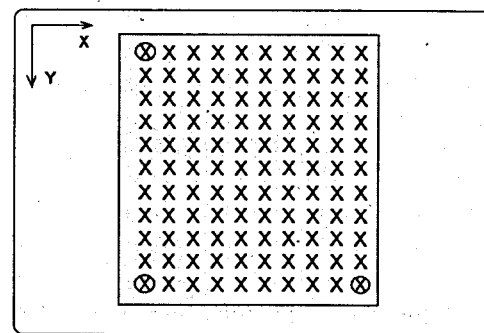


Рис.5. Местоположение калибруемой области изображения объекта на мишени ТВ-трубки

Реперные кресты автономной калибровочной системы, изготовленные на стекле с шагом между линиями 2.75 ± 10^{-3} мм, обеспечивают в рабочем поле кадра получение изображения реперной сетки размерами 9x13 крестов, что позволяет использовать для аппроксимации полиномы довольно высокой степени (до $N=8$). При ширине линий в 20 мкм на растре хорошо видно 50–70 точек для одного креста и практически нет проблем с

распознаванием центров крестов с точностью 3 – 3.5 мкм при калибровке полиномом 5-й степени.

Применение полиномов более высокой степени возможно, но требует больше времени на ПК и влечет за собой необходимость работы с большим количеством калибровочных констант. Заметного улучшения точности калибровки системы при этом не наблюдается уже при N=6. Применение полиномов степени N=2,3,4 оказалось неудовлетворительным из-за больших остаточных ошибок в узлах реперной сетки.

Известно, что для полинома 5-й степени имеем 21 коэффициент для X-координат и столько же для Y-координат:

$$\begin{aligned} X(x, y) &= a_1 x^5 y^5 + a_2 x^5 y^4 + a_3 x^4 y^5 + \dots + a_{21}; \\ Y(x, y) &= b_1 x^5 y^5 + b_2 x^5 y^4 + b_3 x^4 y^5 + \dots + b_{21}, \end{aligned} \quad (1)$$

где a_n, b_n ($n = 1, 2, \dots, 21$) – калибровочные коэффициенты.

Используя автономную калибровочную систему, было проведено исследование линейности полученных результатов и ортогональности направлений по осям X, Y по формулам (2) и (4).

Цена отсчета по осям X, Y определяется коэффициентами:

$$\begin{aligned} k_x &= \sqrt{a^2 + c^2}, \\ k_y &= \sqrt{b^2 + d^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Кроме этих коэффициентов результатом калибровки системы являются таблица остаточных отклонений центров крестов (рис.8) и среднеквадратичное отклонение на всем множестве выбранных крестов. Калибровочные коэффициенты обеспечивают преобразование точек, измеренных ТВ-системой в декартовую систему координат калибровочной сетки крестов. В результате преобразований полученные x -, y - координаты имеют определенные погрешности, которые могут повлечь за собой нарушение прямоугольности системы координат и равенства масштаба по осям X и Y. Для оценки этого явления в некоторой области рабочего поля (рис.5) было использовано аффинное преобразование (формула 3), коэффициенты a, b, c и d которого находились по МНК по 10–14 точкам:

$$xx_i = x_0 + a \cdot x_i + b \cdot y_i, \quad (3)$$

$$yy_i = y_0 + c \cdot x_i + d \cdot y_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n (n \leq 14).$$

Для этой цели выбирались центры крестов двух параллельных направлений, а линейность по x - и y - направлениям определялась по формуле (2).

Ортогональность системы координат

$$\phi = \text{arccctg} \left(\frac{a \cdot b + c \cdot d}{a \cdot d - b \cdot c} \right), \quad (4)$$

где угол ϕ по абсолютной величине должен быть близок к $\pi/2$.

Влияние неравномерности отсчетов по X- и Y- осям (STRETCH-параметр) оценивается по формуле

$$S = \left| \frac{(a - d \cdot Q)^2 + (b + c \cdot Q)^2}{a \cdot d - b \cdot c} \right|, \quad (5)$$

где

$$Q = \text{sign} (a \cdot d - b \cdot c). \quad (6)$$

Этот параметр должен быть как можно меньше. Обычно для пленочной информации с трековых камер имеем $s \approx 1 \cdot 10^{-8}$. Необходимые для вычислений коэффициенты a, b, c, d определяются из аффинного преобразования (3).

Точность восстановления реперных крестов плиты стенда ГИБС, кроме ТВ-оптики, обусловлена наличием основного оптического канала. При этом на ТВ-кадре видна центральная часть 11x20 реперных крестов, расположенных на расстоянии 85 мм друг от друга. Их изображение отличается от изображения калибровочной сетки ТВ-системы масштабом (наличием более коротких линий, образующих крест).

В данном случае была видна часть стенда длиной ~ 1.7 м (из имеющихся 2 м) в масштабе 1:80 с суммарными нелинейными искажениями двух оптических систем. Часть крестов на краях видимой области стенда имеет мало отсчетов даже при полностью открытой диафрагме, и приходится исключать их из рассмотрения.

На первом этапе мы ограничились исследованием области стенда с 9x17 крестами. Это позволило восстановить ~ 1.4 м вдоль плиты с учетом суммарных искажений всего оптического тракта. В случае определения

центра реперного креста, отдельно по МНК находились параметры 2-х прямых, образующих его плечи, а в качестве центра выбиралась **предполагаемая** точка пересечения этих прямых. Наряду с X-, Y- координатами точек всегда вычислялся коэффициент достоверности результата для каждого центра реперного креста. При восстановлении крестов задавалось их количество и три угловые точки (на рис.4 – кружки). Обработка велась на ПК автоматически со скоростью ~ 3 креста/с.

Точность калибровки на стенде ГИБС полиномом 5-й степени составляла 6 мкм при условии браковки до 25% реперных крестов. Больше браковать не имеет смысла из-за возможной потери точности.

IV. Точность восстановления прямолинейных треков

С точки зрения исследования точности измерения и распознавания модельного трека наиболее подходит вариант оценки суммарных искажений всего оптического тракта, т.к. это позволяет сразу оценить ложную кривизну заведомо прямолинейного объекта и дисперсию точек относительно прямой линии. Следует отметить еще одно обстоятельство – фильтрацию отсчетов. Среднее число видимых точек на всей длине модельного трека составляет ~ 520 шт. В калиброванную зону попадает ~ 400 точек с некоторым разбросом несмотря на эффективную систему подавления шумов в ТС. Для программы геометрической реконструкции достаточно иметь 15–20 точек на треке, но с максимальной точностью /6/.

В данном случае был реализован алгоритм автоматического слежения по треку в заданном направлении по параболе. При этом брались **реальные** отсчеты, а не усредненные значения по результатам аппроксимации по МНК в локальной области трека.

Радиус ложной кривизны трека вычислялся последовательно на всевозрастающем числе точек вдоль трека при $N \geq 4$. Т.к. точки вдоль трека расположены неравномерно, то можно утверждать следующее:

- 1) отклонения отдельных точек относительно прямой лежат в пределах вычисленных погрешностей с учетом масштаба ($\pm 350 - 450$ мкм);
- 2) для треков с числом точек $N \geq 8$ радиус ложной кривизны трека 300 – 600 метров.

V. Комплекс программ для исследования точностных характеристик ТС

Созданный комплекс программ (рис. 6) разработан на ПК с использованием языков программирования ФОРТРАН-77 и Турбо-Паскаль версия 7.0. На языке Паскаль были написаны только программы DEC, VIEWF, предназначенные для работы с упакованными файлами данных, поступающими с ТС. Это была вынужденная мера,

обусловленная ограничениями на буфер данных в трансляторах с языка ФОРТРАН. В программах CENTER, TRACK и VIEW использовались графические библиотеки, позволяющие работать в диалоговом режиме с ПК, оснащенными цветными дисплеями типа EGA и клавиатурой.

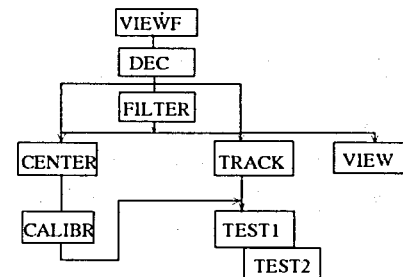


Рис.6. Структура комплекса программ

Программа VIEWF позволяет просмотреть файл упакованных данных по байтам в шестнадцатиричной и десятичной системах. Обычно эта информация записывается на диск для последующего визуального анализа всего файла данных.

Программа DEC предназначена для раскодирования упакованного события и записи его в другой файл. Есть возможность выбора требуемого события из большого файла данных. В качестве дополнительной информации программа выдает на дисплей количество прочитанных точек изображения и байтов. Скорость работы этой программы зависит от количества отсчетов и быстродействия ЭВМ. На ПК типа АТ скорость раскодировки составляет 4 кбайта/с.

Программа FILTR используется для устранения ложных отсчетов в районе пересекающихся линий.

В конце работы с данными одного события программа выдает процентное отношение бракуемых точек к их общему числу. Обычно это значение составляет 1–3%. В дальнейшем целесообразно объединить программы DEC и FILTR.

Программа CENTER предназначена для определения координат центров реперных крестов в районе, задаваемом в диалоговом режиме тремя угловыми точками (или по уже имеющемуся массиву координат центров крестов).

Отсчеты, принадлежащие центральной части реперного креста, отбрасываются в процессе автоматического распознавания на основании оценки

линейной зависимости отсчетов по МНК в несколько проходов с фильтрацией данных.

Реперные кресты сетки ТС распознаются без проблем ввиду достаточного числа отсчетов и равномерной освещенности изображения. Заметного различия между результатами для полукадров с четными и нечетными строками не наблюдалось. Центры распознаются (или бракуются) со скоростью 3–5 крестов/с.

Кресты стенда ГИБС освещены в поле кадра менее равномерно, имеются потери точек на крайних крестах. Поэтому использовали весь массив отсчетов для данного события (оба полукадра).

В качестве программы калибровки CALIBR использовали модифицированную для ПК с двойной точностью программу /7/. Эта программа позволяет вручную браковать часть реперных крестов и выбирать различные степени полиномов по каждому из направлений. Мы браковали до 20% реперных крестов и использовали полиномы 5-й степени.

Для центров реперных крестов ТС получили остаточный разброс порядка 3.5 мкм, а для центров крестов стенда ГИБС – 5.7 мкм на мишени ТВ-трубки. В масштабе стенда ГИБС 1:80 это составляет 0.5 мм, или 0.5 отсчета по Y-координате (менее точной). Это согласуется с результатами для ПЗС-матрицы 1024x1024 в случае применения бикубических сплайнов /8/.

Программа VIEW создана для визуализации части измеренных точек или всей совокупности их для события в увеличенном масштабе с плавным перемещением в поле экрана дисплея. При этом даже отдельные измеренные точки достаточно хорошо видны. VIEW – демонстрационная программа.

Программа TRACK предназначена для автоматического выбора опорных точек трека в заданном направлении. Направление и размер локальной области трека определяются по задаваемым в диалоговом режиме двум точкам на дисплее ПК. На основании оценки числа точек и корреляции отсчетов за 2–3 итерации по МНК выбирались данные с разбросом 1–2 отсчета относительно предполагаемой прямой в локальной области. Выбор реальных отсчетов возможно несколько ухудшает результаты, но дает реальную точность оцифровки изображения и калибровки ТС. Таким образом распознавались треки на одном полукадре и на целом кадре. Измерения проводились для различных углов наклона трека. Скорость автоматического выделения опорных точек трека 0.3 трека/с, или ~ 5 точек/с. Имеется специальный вариант этой программы с визуализацией процесса выбора опорных точек. В любом варианте наряду с ко-

ординатами опорной точки вычисляется коэффициент, характеризующий точность ее определения. Это дает возможность для дальнейшего редактирования, объединения нескольких массивов опорных точек для одного и того же трека с целью получения их равномерного распределения на всей длине трека.

В программе TEST на множестве реперных крестов стенда ГИБС с учетом калибровочных констант проверялись следующие параметры: ортогональность системы координат для восстановленных центров реперных крестов, линейность отсчетов по каждой координате и радиус ложной кривизны прямолинейного трека в калибруемой области. На этом этапе обработки данных есть возможность применения результатов калибровки ТС для другого сеанса с целью исследования временной стабильности работы аппаратуры.

Ложная кривизна прямолинейного трека определялась по МНК с выделением разброса отдельных точек относительно фитируемой окружности. Радиус этой окружности порядка 300–600 м. Разброс точек сопоставим с точностью измерений и калибровки ТС (~ 500 мкм).

VI. Заключение

В результате обработки нескольких сот кадров с крестами автономной калибровочной сетки ТС, прямолинейных модельных треков и реперных крестов плиты стенда ГИБС была показана стабильная работа ТС после 2.5-часового прогрева аппаратуры (рис.4). Большое время прогрева блоков объясняется наличием массивных металлических деталей кожуха ТС, созданных для защиты от магнитных полей спектрометра ГИБС.

Наблюдалось хорошее совпадение результатов оцифровки одних и тех же изображений, полученных с интервалом времени в несколько недель.

Как видно из рис.4, съем калибровочной сетки можно производить один раз в 30 минут (или после случайного отключения аппаратуры ТС).

События с реперными крестами плиты стенда ГИБС содержат до 5000 точек. Их можно рассматривать как многотрековые события с объемом оцифрованной информации в упакованном виде порядка 29 кбайт. На дискету емкостью в 1.44 Мбайт с коэффициентом сжатия информации $K_c = 10$ можно записать до 40 событий. На диске ПК объемом 200 Мбайт можно хранить до 7000 событий.

Точность калибровки оптического канала ТС – 350 мкм.

Точность калибровки на реперных крестах стенда ГИБС – 500 мкм (рис.7).

Случайный характер остаточных отклонений центров крестов хорошо виден на рис.8, на котором представлена карта остаточных отклонений

центров крестов плиты стенда ГИБС, полученная в результате сравнения X-, Y- координат центров крестов (с учетом калибровочных констант) и известных значений этих центров на плите стенда. На карте отклонения центров крестов изображены в увеличенном масштабе на всем множестве равноотстоящих друг от друга крестов. Величина отклонения и направление могут быть оценены по значению, указанному в правом нижнем углу карты. Бракованные кресты помечены кружками.

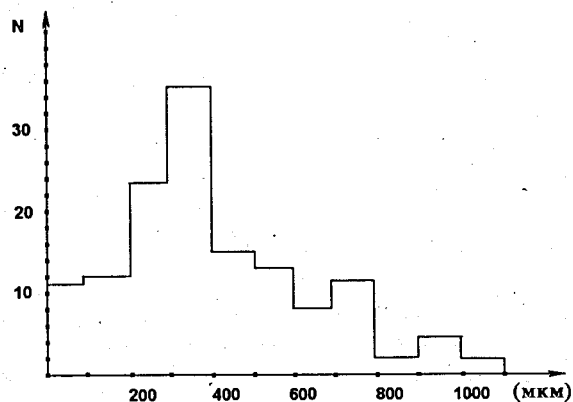


Рис.7. Гистограмма отклонений центров крестов плиты стенда после калибровки

Радиус ложной кривизны прямолинейных модельных треков на стенде ГИБС — 300–600 м. В пределах допустимых погрешностей восстанавливается ортогональность системы координат и цена отсчетов по X- и Y- осям (формулы 2,4).

Полученные результаты позволяют перейти к исследованию ТС на реальных треках стримерной камеры ГИБС, а также целесообразно сравнить точностные характеристики ТС и системы, создаваемой на основе ПЗС-матрицы. В последнее время есть примеры удачного применения в физических исследованиях указанных приборов /8,9,10/. Разработанные программы DEC, FILTER, CENTER, TRACK можно использовать для организации диалогового измерения событий на базе мощной ПК с тактовой частотой 100 мГц и диском до 1 Гбайта.

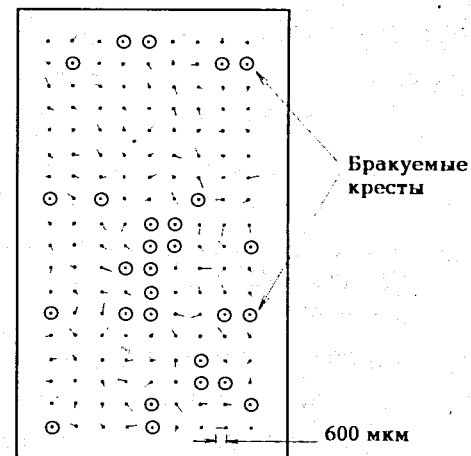


Рис.8. Карта остаточных отклонений центров крестов плиты стенда

Авторы благодарят Козубского Э.В. за консультации по оптической системе ГИБС, Графова Н.Н., обеспечивавшего работу стенда, а также Бутенко В.А. и Дроздова В.А., принимавших участие в разработке и наладке отдельных частей ТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.П.Алексеева и др. — Сообщение ОИЯИ 10-81-483, Дубна, 1981 г.
2. В.А.Бутенко и др. — Сообщение ОИЯИ 13-85-810, Дубна, 1985г.
3. Butenko V.A. et al. — In: Proc. X International Symposium on Nuclear Electronics, zfk-433, Rossendorf, 1981, p.44.
4. В.Д.Аксиненко и др.— Сообщение ОИЯИ 13-92-91, Дубна, 1982 г.
5. И.Г.Бронштейн и др. Автор. свид. СССР N1343365.
6. Дорж Л. и др. — Сообщение ОИЯИ P5-8560, Дубна, 1975.
7. Friebel W. PHE 80-9, Zheuthen, DDR, 1980.
8. Bryan Mac Kinnon et al. — FERMILAB — Pub.— 93/147.
9. Hammerslay A.P. et al. — Nucl. Instr. and Methods in Physics Research, A346, 1994, pp.312-321.
10. Owens A. et al. — Nucl.Instr. and Methods in Physics Research, A346, 1994, pp. 353-365.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1995 года.