

1157-736
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ
ГОС. КОМИТЕТА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

А.П.Тришин, Ю.П.Журенко

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ 6-МЕТРОВОГО СПЕКТ-
РОМЕТРА

Москва 1972 г.

А н н о т а ц и я

Описана программа для вычисления параметров геометрического восстановления для 6-м спектрометра ИТЭФ.
Даны инструкции к пользованию программой.

Abstract

The computer program for calculation of space reconstruction parameters for ITEP 6-m spark chamber spectrometer is described. Work instructions are presented.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Введение.	4
II. Обозначения и ячейки.	5
III. Вводимый материал.	8
IV. Идентификация и счет Y_n, Z_n	9
V. Блок привязки.	9
VI. Рассылка и браковка.	15
VII. Оптимизация параметров преобразования	16
VIII. Поправки на искажения в зеркалах.	18
IX. Проверка и выдача констант.	19
X. Пользование программой.	20
XI. Некоторые результаты.	23
XII. Литература.	23

Abstract

The computer program for calculation of space reconstruction parameters for ITEP 6-m spark chamber spectrometer is described. Work instructions are presented.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Введение.	4
II. Обозначения и ячейки.	5
III. Вводимый материал.	8
IV. Идентификация и счет Y_n , Z_n	9
V. Блок привязки.	9
VI. Рассылка и браковка.	15
VII. Оптимизация параметров преобразования	16
VIII. Поправки на искажения в зеркалах.	18
IX. Проверка и выдача констант.	19
X. Пользование программой.	20
XI. Некоторые результаты.	23
XII. Литература.	23

1. ВВЕДЕНИЕ

*расширение
ресур.*

Описываемая программа предназначена для вычисления параметров геометрического преобразования от фотографии события в искровом спектрометре и реальному пространству.^{*)} Основой для обработки параметров преобразования является серия контрольных фотографий системы реперов и нитей, координаты которых в пространстве камеры хорошо известны. За один цикл счета получается набор параметров для одной стереопроекции одной камеры. Вводимый материал усредняется по нескольким кадрам (до 16). Число зеркал, через которые производится съемка, и их расположение несущественны.

На рис. 1. показана схема фотографирования и расположение объектов с известными координатами в пространстве (репера, нити). Прижимные кресты печатаются на кадре контактным способом и служат для привязки кадра перед его обработкой. Координаты крестов в системе пленки ($\xi \eta \zeta = 0$) известны.

$(X_0 Y_0 Z_0)$ - начало координат системы пленки.

$(X_c Y_c Z_c)$ - координаты центра проекции (центра объектива).

Число и расположение реперов и нитей должно обеспечивать с некоторой переопределенностью однозначное вычисление параметров преобразования. Конкретный вариант расположения может быть любым - в частности, нити могут располагаться не в одной плоскости, а в двух и т.д.

*) Рабочее название программы - КИСКА (Константы ИСКровых Камер).

Пусть ось X совпадает с осью падающего пучка и направлением преимущественного движения частиц в спектрометре. Магнитное поле направлено по оси Z . Тогда для измерения импульсов и углов требуется знать с особой точностью Y -координату искр. Нитя натягиваются вдоль оси X с некоторым небольшим шагом Δy по всему снимаемому объему, и обзор контрольных фотографий обеспечивает в дальнейшем пространственное восстановление с нужной точностью по Y .

II. ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЯЧЕЙКИ.

В памяти машины Раздан - 3 переменным отведены следующие ячейки:

00101 - 00103 $\epsilon \gamma \alpha$ - угол между изображением нити и осью η (для разных проекций).

00121 - 00137 X и k . - X^c -координаты центров искровых камер.

00140 - 00177 $\xi_{кр\pi}^{\wedge}, \eta_{кр\pi}^{\wedge}$ - эталонные координаты прижимных крестов левой проекции.

00200 - 00237 $\xi_{кр\pi}^{\wedge}, \eta_{кр\pi}^{\wedge}$ - то же для центральной проекции.

00240 - 00277 $\xi_{кр\pi}^{\pi}, \eta_{кр\pi}^{\pi}$ - то же для правой проекции.

00300 - 00317 X_p^1
 00320 - 00337 Y_p^1
 00340 - 00357 Z_p^1 } геодезические координаты реперов I-й камеры.

00363 - 00374 $\theta^1, \varphi_1^1, \varphi_2^1, x_0^1, y_0^1, z_0^1$ - начальные условия для констант I-й камеры.
 $\xi^1, \eta^1, \epsilon^1, h^1$

00400 - 00474 - то же для 2-й камеры

01700 - 01774		- то же для 13-й камеры.
02101 - 02177	$Y_{вх}$	} геодезические координаты нитей на входе и выходе из спектрометра.
02201 - 02277	$Z_{вх}$	
02301 - 02377	$Y_{вых}$	
02401 - 02477	$Z_{вых}$	
04601 - 04637	$\xi_{кр}, \eta_{кр}$	- измеренные координаты прижимных крестов.
05001 - 05075	H	- ячейки, где указаны номера нитей, участвующих в получении констант.
05076	"кресты"	- ячейка, где указано, какие строки вводимого массива занимают "прижимные" кресты. ^{х)}
05077	$(p, 0, 0)$	- число строк с начала вводимого массива, где могут быть "прижимные" кресты.
05100	$(i, 0, 0)$	- число прижимных крестов.
05101	$(n, 0, 0)$	- число реперов.
05102	$(m, 0, 0)$	- число нитей.
05103	$(z, 0, 0)$	- допустимое число бракуемых кадров.

х)

Номер строки, которая служит "прижимным" крестом, указывается единицей в соответствующем разряде, отсчитываемом с правого конца ячейки. Например, код (0,0, 00360) означает, что в качестве "прижимных" крестов используются 5 + 6 строки массива.

05I60	Эт Ф	- эталон браковки реперов.		
05I6I	Эт Ф	- эталон браковки нитей.		
05I66	d	- ширина камеры, см.		
05'67	Эт ГЛ	- эталон сглаживания табли-		
		цы.		
05I7I	Z _B	- координата верхней плос-		
		кости камер.		
05I72	У _Л	- левая граница интервала,		
		в котором вычисляются по-		
		правки к У.		
05I73	Δ У	- шаг, с которым натянуты		
		нити (шаг таблицы попра-		
		вок).		
05240 - 05234	Δ M _{II}	- интервалы допустимого из-		
		менения параметров преоб-		
		разования при оптимизации.		
05260 - 05300	M _{II}	- полученные параметры пре-		
		образования.		
0540I - 05477	Σ P	} усредненные координаты ре-		
0550I - 05577			Σ P	перов на пленке.
0560I - 05677	Σ A	} усредненные координаты то-		
0570I - 05777			Σ A	чек на нитях (по три точки
0600I - 06077	Σ H	} на каждом отрезке изобра-		
0610I - 06177			Σ H	жения).
0620I - 06277	Σ B	}		
0630I - 06377			Σ B	
0640I - 06477	X P	} геодезические координаты		
0650I - 06577			Y P	реперов в пространстве.
0660I - 06677			Z P	

6701 - 6777	$\begin{matrix} Y_H \\ Z_H \end{matrix}$	}	- координаты нитей в центре данной камеры.
7001 - 7077			
7401 - 7477	δy		- поправка к У-координате.
7501 - 7577	K		- поправка на поворот изображения нити в зеркалах.
7601 - 7677	$\begin{matrix} X_p \\ Y_p - Z_p \end{matrix}$	}	- восстановленные координаты реперов данной камеры после введения всех поправок.
7701 - 7777			

До привязки вводимый материал занимает ячейки, начиная с 32000. После привязки преобразованные значения координат рассылаются в следующие ячейки:

10001 - 10077	$\xi_p^{(1)}$	}	репера I-го кадра
10101 - 10177	$\eta_p^{(1)}$		
10201 - 10277	$\xi_A^{(1)}$	}	нити I-го кадра
10301 - 10377	$\eta_A^{(1)}$		
10401 - 10477	$\xi_H^{(1)}$	}	А, Б - крайние точки
10501 - 10577	$\eta_H^{(1)}$		
10601 - 10677	$\xi_B^{(1)}$	}	Н-центральная точка отрезка нити в камере.
10701 - 10777	$\eta_B^{(1)}$		

Материал 2-го кадра занимает II-ю тысячу, и т.д. до 27-й тысячи включительно (всего может поместиться 16₁₀ кадров).

III. ВВОДИМЫЙ МАТЕРИАЛ.

Фотографии нитей и реперов обмеряются на АИУ; на полученных перфокартах обе координаты (ξ, η) каждой точки запакованы в одну строчку. Порядок обмера для каждой камеры таков: 1) заголовок; 2) ξ прижимных крестов; 3) η реперов; 4) η нитей, причем на каждой нити обмеряется три точки - в центре и по краям отрезка, видимого в цели магнита. Это делается с целью вычислить не только поправку к ко-

ординате δy , но и поправку на поворот изображения нити в зеркале.

В дальнейшем счет производится по I5-I6 измерениям одной и той же камеры (I5-I6 кадров). После съезда привязки и распаковки ξ и η материал рассылается в ячейки 10000 - 27777.

IV. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И СЧЕТ Y_n, Z_n .

Колоде обмеренных кадров предшествует идентификатор (№ серии; № камеры; № проекции). В соответствии с этим программа выбирает нужные числа (геодезические координаты реперов, начальные условия) и посылает их в рабочие ячейки. Затем вычисляются координаты нитей для камеры с данным номером:

$$Y_n = Y_{Bx} + \frac{X_{3k} - X_{Bx}}{X_{Bnx} - X_{Bx}} (Y_{Bnx} - Y_{Bx})$$

$$Z_n = Z_{Bx} + \frac{X_{3k} - X_{Bx}}{X_{Bnx} - X_{Bx}} (Z_{Bnx} - Z_{Bx})$$

V. БЛОК ПРИВЯЗКИ^{x)}

Постановка задачи.

Заданы координаты "n" крестов $X_i^{изм}, y_i^{изм}$ ($i = I+I2$) измеренных в какой-то произвольной системе координат и координаты эталонных крестов $\tilde{X}_i^{этал}, y_i^{этал}$, заданные в фиксированной системе координат. Требуется найти параметры преобразования системы координат, состоящего из

^{x)} Обозначения этого раздела слегка отличаются от принятых в остальной части статьи.

поворота, параллельного переноса и растяжения пленки, не-
 одинакового по взаимно-перпендикулярным направлениям:

$$x' = \sigma_1 (x \cos \alpha + y \sin \alpha + \xi') = ax + by + \xi$$

$$y' = \sigma_2 (-x \sin \alpha + y \cos \alpha + \eta') = -b(1+\varepsilon)x + a(1+\varepsilon)y + \eta$$

обеспечивающего минимум функционала:

$$J^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i' - x_i^{пр})^2 + (y_i' - y_i^{пр})^2}{\Delta z_i^2}$$

(В преобразовании автоматически учтено условие

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1; \text{ При этом: } \sigma_1^2 = a^2 + b^2$$

$$\sigma_2^2 = \sigma_1^2 (1 + \varepsilon)^2$$

σ_1^2 и σ_2^2 - квадраты относительного растяжения пленки по осям X и Y соответственно.

Минимум J^2 обеспечивается параметрами преобразования $a, b, \xi, \eta, (1 + \varepsilon)$, удовлетворяющими следующей системе алгебраических уравнений:

$$1. [L + (1 + \varepsilon)^2 M] a + [1 - (1 + \varepsilon)^2] N \cdot b = A + (1 + \varepsilon) P$$

$$2. [1 - (1 + \varepsilon)^2] N a + [M + (1 + \varepsilon)^2 L] \cdot b = B - (1 + \varepsilon) F$$

$$3. 1 + \varepsilon = \frac{P \cdot a - F \cdot b}{M a^2 - 2abN + L b^2}$$

$$4. \xi = K \left[\sum_{i=1}^n \frac{x_i^{пр}}{\Delta z_i^2} - a \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{исх}}{\Delta z_i^2} - b \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{исх}}{\Delta z_i^2} \right]$$

$$5. \eta = K \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^{пр}}{\Delta z_i^2} + b(1 + \varepsilon) \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{исх}}{\Delta z_i^2} - a(1 + \varepsilon) \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{исх}}{\Delta z_i^2} \right]$$

Здесь $1/\Delta z_i^2$ - статвесы отдельных крестов

$$K = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta z_i^2}$$

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{исх}}{\Delta z_i^2} - K \left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i^{исх}}{\Delta z_i^2} \right)^2$$

$$M = \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм}{}^2}{\Delta z_i^2} - K \left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм}}{\Delta z_i^2} \right)^2$$

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{изм} y_i^{изм}}{\Delta z_i^2} - K \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{изм}}{\Delta z_i^2} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм}}{\Delta z_i^2}$$

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм} y_i^{стал}}{\Delta z_i^2} - K \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм}}{\Delta z_i^2} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{стал}}{\Delta z_i^2}$$

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{изм} y_i^{стал}}{\Delta z_i^2} - K \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{изм}}{\Delta z_i^2} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{стал}}{\Delta z_i^2}$$

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{изм} x_i^{стал}}{\Delta z_i^2} - K \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{изм}}{\Delta z_i^2} \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{стал}}{\Delta z_i^2}$$

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм} y_i^{стал}}{\Delta z_i^2} - K \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{изм}}{\Delta z_i^2} \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{стал}}{\Delta z_i^2}$$

Решение системы.

Заметим, что первые 3 уравнения образуют замкнутую систему нелинейных уравнений относительно a , b , ε . По желанию можно задать 2 режима работы блока:

1. Привязка с одинаковым растяжением по осям. В этом случае полагаем $\varepsilon = 0$ и система переходит в линейную систему 2 уравнений относительно "а" и "б".
2. Привязка с различным растяжением, но решается методом итераций. Если среди исходной информации есть недробокачественная (плохо измерены кресты), то итерационный процесс может оказаться расходящимся, т.к. ε может быть довольно большим по абсолютной величине. Чтобы избежать этого, в программе предусмотрен автоматический переход в режим с " $\varepsilon = 0$ " при поиске плохого замера. После того, как плохой крест исключен из рассмотрения, автоматически производится возврат в режим работы, заданный программистом.

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКОМ.

Блок написан в относительных адресах и занимает вместе с рабочими ячейками ячейки

$B_{\text{прив}} + 0 + B_{\text{прив}} + 723$. Кроме того, блок использует индексные регистры ИР-0, ИР-1 + ИР-10, ИР-16, ИР-17.

Перед обращением к блоку необходимо занести в ИР16 константу (6, $B_{\text{конст.привязки}}$, $B_{\text{привязки}}$) и занести в ячейки

- $B_{\text{прив}} + 55$: (информация, N доп.к выбросу преобраз. проекций, B крестов)
- $B_{\text{прив}} + 56$: (N крестов, B крестов измер., $B_{\text{крестов эт.}}$)
- $B_{\text{прив}} + 57$: (N проекц-1, N крестов доп.к выбросу, Z результат прив.).

Затем обратимся к блоку командой:

5 I3I I6 00100 00101

После выхода из блока проверяем содержимое ячейки $B_{\text{прив}} + 0$. Если ее содержимое равно "0", то привязка не прошла, т.е. забраковано проекций больше допустимого значения. Если в ячейке $B_{\text{прив}} + 0$ содержится (0, 0, F), то привязка прошла.

Исходные данные для работы блока располагаются по адресам $B_{\text{кр.изм}}$ (измеренные кресты)

$B_{\text{кр.этал.}}$ (эталонные кресты)

в следующем порядке:

$X_1 Y_1 X_2 Y_2 X_3 Y_3 \dots X_n Y_n$

Если какой-либо крест оказался неизмеренным, то рекомендуется координаты этого креста заменить нулями, т.к. это сократит время счета.

Массив $B_{\text{крестов преобразов.}}$ состоит из 3 N крестов

ячеек и имеет структуру: X_I преобр., Y_I преобр., Δz^2 , X_2 преобр. . . . По желанию можно в одни и те же ячейки памяти записывать $X_{\text{преобр.}}$, $Y_{\text{преобр.}}$, Δz^2 от разных проекций.

По адресу Брезульт.прив. записаны результаты работы блока, причем для каждой проекции имеет следующие данные:

$$\chi^2, N \text{ крестов, } a, b, I + \varepsilon, \xi, \eta, \sigma_1^2, \sigma_2^2$$

Может оказаться так, что несмотря на то, что привязка в целом прошла, отдельные проекции окажутся забракованными.

Для забракованных проекций $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = 0$.

Кроме того, в ячейках $B_{\text{прив}} + 55 + B_{\text{прив}} + 57$ задана информация о количестве крестов (программа может обработать не более 240_{10} крестов), о допустимом числе выбрасываемых крестов и о допустимом числе выброшенных проекций.

Содержимое "информация" в ячейке $B_{\text{прив}} + 55$ задает режим работы блока и включает некоторые отладочные печати:

- 48 разряд = I: растяжение по обеим осям пленки одинаково
- 47 разряд = I: есть запись $X_{\text{кр}}, Y_{\text{кр}}, \Delta z^2$ по адресу $B_{\text{кр}}$ преобр
- 46 разряд = I: есть переадресация записи $X_{\text{кр}}, Y_{\text{кр}}, \Delta z^2$ для разных проекций
- 45 разряд = I: есть печать измеренных крестов при браковке проекции
- 44 разряд = I: есть печать результатов работы блока при браковке проекции
- 43 разряд = I: есть печать результатов привязки для всех проекций при браковке случая из-за различия по σ_i^2 для разных проекций
- 42 разряд = I: есть печать N кр, $a, b, I + \varepsilon$ при итерациях (решение системы)
- 41 разряд = I: есть печать результата для всех вариантов

в процессе перебора крестов

- 40 разряд = I: есть печать $X_{кр} Y_{кр} \Delta \tau^2$ для всех вариантов счета
- 39 разряд = I: есть печать наилучшего результата привязки при постоянном числе крестов, по которым производится привязка
- 38 разряд = I: есть печать $X_{кр} Y_{кр} \Delta \tau^2$ для наилучшего результата при фиксированном числе крестов
- 37 разряд = I: есть печать окончательного результата работы блока
- 36 разряд = I: есть печать $X_{кр} Y_{кр} \Delta \tau^2$ для окончательного результата.

Браковочные печати.

Если в процессе счета были выброшены кресты, то печатаем 22222 0 N проекции
... N выброш. крестов.

Если проекция бракуется, то печать

22222 . . . 222

2222 0 N кр

номера выброш. крестов.

Если забракован весь случай, то печать

222222 . . 2

222222 . . 2

По базису констант привязки следует занести в двоичном виде:

0) "I"

1) $\delta (I + \epsilon.)$ - эталон на прекращение итераци.

2) $(\Delta \tau^2 / \Delta \tau_{гр}^2)$ - допустимое отклонение креста от эталонного.

$\sigma_1^2 \min$	}	границы на коэффициент растяжения пленки
$\sigma_1^2 \max$		
$\sigma_2^2 \min$		
$\sigma_2^2 \max$		

n крестов \min

$\Delta \sigma_i$ - доп. расхождения на σ_i

$\max |\Delta \varepsilon|$ - допустимая граница на $\Delta \varepsilon$ (иначе переходим
в режим с $\varepsilon = 0$)

n крестов \min - \min число крестов при работе
с разным растяжением.

$1/\Delta z_1^2$	}	ср. вес отдельных крестов.
$1/\Delta z_2^2$		

VI. РАССЫЛКА И БРАКОВКА.

Если данный кадр прошел привязку, то координаты реперов и точек на нитях распаковываются и рассылаются:

I-й кадр - в I0-ю тысячу, 2-й - в II-ю и т.д. Общее число кадров сосчитывается в ячейке CS104 в виде (S, 0, 0).

После ввода всех кадров измеренные со слишком большой ошибкой координаты отбраковываются; выбрасываются те измерения реперов, после исключения которых получается минимальное значение величины:

$$\varphi = \frac{1}{S} \sum_s \left[(\xi - \xi_{ср})^2 + (\eta - \eta_{ср})^2 \right]$$

Что касается нитей, то при измерениях на АИУ точки имеют значительный разброс вдоль нити, поэтому критерием браковки является наименьшее удаление точки от среднего положения нити в целом; соответствующая величина имеет вид:

$$\Psi = \frac{1}{s(1+t\bar{g}\alpha)} \sum_s (\xi - \eta \operatorname{tg} \alpha - \xi_{cp} + \eta_{cp} \operatorname{tg} \alpha)^2$$

где α - угол между изображением нити и осью η для данной проекции.

УП. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.

В качестве независимых параметров преобразования от пленки (ξ, η, ζ) к пространству (X, Y, Z) выбраны следующие величины:

- $\vartheta, \varphi_1, \varphi_2$ - эйлеровы углы поворота от системы (ξ, η, ζ) к системе (X, Y, Z)
- X_0, Y_0, Z_0 - координаты начала системы (ξ, η, ζ) в системе (X, Y, Z) ;
- ξ_c, η_c, ζ_c - координаты центра объектива (центра проекции) в системе пленки;
- h - коэффициент дисторсии.

Восстановление точки в пространстве проводится следующим образом. Сперва вводится поправка на дисторсию

$$\begin{aligned} \xi &= \xi' - h (\xi' - \xi_c) [(\xi' - \xi_c)^2 + (\eta' - \eta_c)^2] \\ \eta &= \eta' - h (\eta' - \eta_c) [(\xi' - \xi_c)^2 + (\eta' - \eta_c)^2] \end{aligned}$$

Затем вычисляется матрица преобразования (угловая часть):

$$(M) = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \vartheta \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 & \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \vartheta \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 & \sin \vartheta \sin \varphi_1 \\ -\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \cos \vartheta \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \vartheta \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & \sin \vartheta \cos \varphi_1 \\ \sin \vartheta \sin \varphi_1 & -\sin \vartheta \cos \varphi_1 & \cos \vartheta \end{pmatrix}$$

и вычисляются преобразованные координаты центра проекции:

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_c \\ \eta_c \\ \zeta_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

Далее вычисляются преобразованные координаты точки на пленке:

$$\begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \\ z - z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & x_0 - x_c \\ m_{21} & m_{22} & y_0 - y_c \\ m_{31} & m_{32} & z_0 - z_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ 1 \end{pmatrix}$$

(сокращенная запись для точек в плоскости пленки, $\zeta = 0$).

После этого проводится луч до пересечения с плоскостью репера:

$$x_p = x_c + (z_p - z_c) \frac{\bar{x}}{\bar{z}} ; \quad y_p = y_c + (z_p - z_c) \frac{\bar{y}}{\bar{z}}$$

(z_p - геодезическая координата репера). Кроме координат реперов вычисляются таким же образом Y - координаты некоторой части нитей (9 нитей в данном варианте программы). Номера этих нитей указываются в ячейках, начиная с 05001, в первом адресе.

Далее, составляется функционал (большие буквы - геодезические координаты)

$$\Phi = \sum [(x_p - X_p)^2 + (y_p - Y_p)^2] + \sum (y_n - Y_n)^2$$

который минимизируется путем варьирования десяти переменных

$\psi, \varphi, \psi_2, x_0, y_0, z_0, \xi_c, \eta_c, \zeta_c, h$. Минимизация производится с помощью программы ПОИСК [1]. Точность полученных констант преобразования зависит от эталона ε на изменение Φ за одну итерацию (ячейка 30460). При

$\varepsilon = 10^{-5}$ счет занимает 2-3 минуты; При $\varepsilon = 10^{-7}$ точность немного выше, но счет продолжается около получаса.

УШ. ПОПРАВКИ НА ИСКАЖЕНИЯ В ЗЕРКАЛАХ.

При идеальных зеркалах набора десяти констант $\nu, \varphi_1, \varphi_2 \dots$ было бы достаточно для пространственного восстановления. В нашем случае, однако, из-за несовершенства зеркал (каждая камера фотографируется через два зеркала) отступления координат восстановленных точек от геодезических координат могут достигать 2 мм.

В программе геометрического восстановления луч проводится до верхней плоскости камеры, а затем в его координату Y вводятся поправки:

$$y' = y + \delta y + k(x - x_{ч.к.})$$

Таблица значений δy получается путем восстановления центральных измеренных точек на нитях (нити натягиваются в верхней плоскости камер с шагом 5 см по Y) и сравнения восстановленных координат с геодезическими Y_n . Угловые коэффициенты K вычисляются по формуле:

$$k = \frac{y_5 - y_1}{d}$$

В числителе стоит разность координат восстановленных точек на краях отрезка нити, видимого в пределах камеры; ширина камеры.

Таблицы δy и K дважды сглаживаются формулой:

$$\delta_i' = \frac{1}{4}(\delta_{i-1} + 2\delta_i + \delta_{i+1})$$

причем точки с отклонением от гладкой кривой больше заданного^{х)} заменяются значением, взятым по гладкой кривой.

^{х)} Эталон сглаживания, ячейка 05I67.

IX. ПРОВЕРКА И ВЫДАЧА КОНСТАНТ.

Константы (параметры преобразования) и поправки проверяются путем геометрического восстановления координат всех реперов в пространстве. В координаты U вводятся поправки по таблицам δy_j и K , вычисляемые линейной интерполяцией. В ячейки, начиная с 760I, заносятся значения X_p ; начиная с ячейки 770I - $(Y_p - Y_p^*)^2$.

Выходная печать имеет вид:

1. Идентификатор (№ серия, № камеры, № проекции).
2. Печать привязки.
3. Адрес 3I737 - счетчики "ПОИСКА"; первый счетчик - число обращений к блоку счета Φ .
4. Адрес 3I20I - нормированные переменные "ПОИСКА"
 $0 \leq X_i \leq 1$, соответствующие десяти переменным преобразования $\vartheta, \varphi_1, \varphi_2, \dots$; начальные условия для них $X_{i, \text{нач}} = 0,5$.
5. Адрес 30424 - минимальное значение Φ .
6. Адрес 5260 - параметры преобразования в форме, удобной для геометрического восстановления

$M_{11}, M_{21}, M_{31}, M_{12}, M_{22}, M_{32}, X_c - X_c, Y_c - Y_c, Z_c - Z_c, Z_B - Z_c$
(Z_B - координата верхней плоскости камер, к которой относятся поправки), $X_c, Y_c, Z_c, \xi_c, \eta_c, h, X_{\text{ц.к.}}$

ж) В данном варианте программы поправки к координатам первого и последнего реперов вычисляются по координатам самих этих реперов, т.к. они расположены вне объема, занимаемого нитями. Поэтому соответствующие значения $Y_p - Y_p^*$ равны нулю.

7. Адрес 740I - таблица δy .
8. Адрес 750I - таблица K.
9. Адрес 760I - X_p
10. Адрес 770I - $Y_p - Y_p$
11. Адрес 660I - $Z_p \equiv Z_p$ (геодезическая координата).
12. Адрес 5363 - независимые параметры преобразования

$$\vartheta, \varphi_1, \varphi_2, x_0, y_0, z_0, \xi_c, \eta_c, \zeta_c, h$$

Выдаваемая перфорация состоит из 5 карт; первая содержит только идентификатор ("флаг"), на остальных 4-х пробиваются в двоичном виде параметры П-6 (адрес 5260) и таблица δy и K, причем каждое значение δy закодировано в одну строчку с соответствующим ему значением K, сдвинутым на 24 разряда вправо.

X. ПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММОЙ.

Подготовка карт обмера на АЛУ.

Колода измеренного материала собирается так:

1. Несколько "пустых" карт (50-я позиция).
2. Идентификатор ("флаг"):

A 32000

F, 0, F

№ серии, № камеры, № проекции

3. Стоп ввода (5I-я позиция).

4. 2 пустые карты и A 32000.

5. Заголовок.

6. Привидимые кресты.

7. Репера.

8. Нити - несколько карт.

9. Стоп ввода.

10. 2-й кадр

I -й кадр

Последний кадр

Конец колоды:

A 32000

(I , I, I)

Стоп ввода.

Подготовка чисел.

Все необходимые массивы чисел (см.разд. П и У) набираются в десятичном виде с адресами. Для перевода необходимо подготовить карту с информацией:

A 04540

Число массивов; С, С

Число чисел I-го массива; I-й адрес до перевода, после перевода.

Число чисел 2-го массива; - " - - " -

.....

Колода чисел собирается так:

1. Несколько "пустых" карт.

2. Признак "чисел":

A 32000

с; F , F .

3. Информационная карта.

4. Числа.

5. Стоп ввода.

В данном варианте программы одновременно вводятся все числа для всех 12-ти камер спектрометра и всех трех проекций. Исключение составляют начальные условия, разбитые на 3 группы по числу проекций. Вместе с общими числами вводятся начальные условия для левой проекции; при счете центральной и правой проекции нужно подкладывать соответствующие карты сзади колоды общих чисел (перед стопом ввода).

Инструкция для работы на машине.

1. Очистить I-й зуб.
2. Ввести программу "ЧИСЛА".
3. Поставить на ввод "числа".
4. Закрыть КЛ1 и КЛ3 ^{х)}.
5. Включить выводящий перфоратор.
6. Итти с 02000. Будет перевод чисел и счет 0 0.
7. Поставить на ввод первую колоду (I-я проекция, I-я камера), нажать "ПУСК". Будет счет 2-5 мин., печать и перфорация. Перфорацию вынуть и надписать.
8. Поставить на ввод 2-ю колоду, прокатать "ПУСК" и т.д.

При сбое или замятии карт поставить слова колоду с измеренным материалом и итти с 02000. Если это не поможет, перезапустить программу и повторить счет данной камеры.

Если счет продолжается слишком долго, можно получить результат таким способом: ОПАК 30035, пуск со СЧАЕ 30055. Будет немедленная печать и перфорация. Конечно, качество констант при этом будет несколько худшим, чем если бы счет был доведен до конца.

х) функции клавиш таковы:

КЛ1 - обход печати Z_y до сглаживания;

КЛ2 - обход вычисления Z_y и K ;

КЛ3 - обход печати ввода;

КЛ4 - обход печати констант Z_y и K ;

КЛ5 - обход печати $X_p, Y_p - Y_r, Z_p$ после проверки;

КЛ6 - обход перфорации.

1. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

Программа ПОИСК использовалась для вычисления параметров преобразования с самого начала работы 6-и спектрометра. Получены константы для девяти серий измерений. 12 камер спектрометра имеют размеры ($Y \times Z$) 150 x 80 см. В верхней плоскости каждой камеры ($Z = +40$) располагаются восточно 2 репера ($Y = \pm 74$). В нижней плоскости ($Z = -40$) камер три репера ($Y = 0, \pm 49$). После каждой серии измерений проводится контрольная съемка всех реперов и этиц нацеливаются вдоль оси X (направление луча) с шагом 5 см в верхней плоскости камер ($Z = +40$). При таком расположении точность восстановления наклонная в нижней плоскости, где расположены нижние репера. Тем не менее получена удовлетворительная точность восстановления координат нижних реперов - ср. кв. ошибка Y-координаты 0,5 мм. При использовании всех трех проекций это дает ср. кв. ошибку пространственного восстановления для средней плоскости не хуже 0,2 мм.

Авторы выражают глубокую благодарность А.А. Пономареву, участвовавшему в разработке алгоритма программы, Н.И. Борисовой, написавшей блок счета Y , Z (разд. IV), А.И. Благородову, К.А. Тростниковой и В.П. Акуловой за помощь в работе с программой.

Л и т е р а т у р а

1. А.Н. Гринин. "Программа ПОИСК для ЭВМ Раздан-3".
Препринт ИТЭР № 855, Москва 1971.

Поступила в печать 10/1-72г.

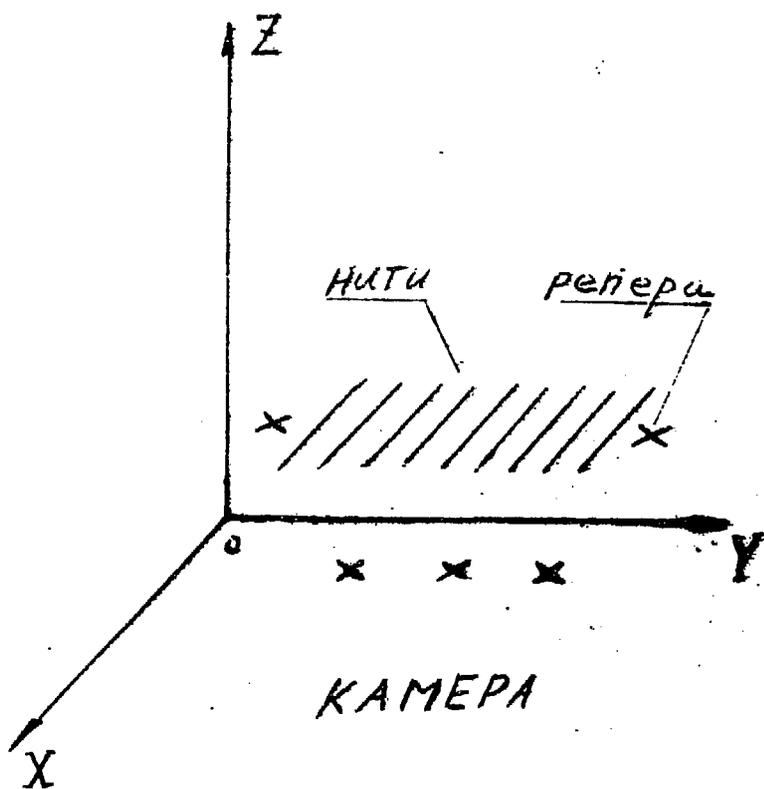
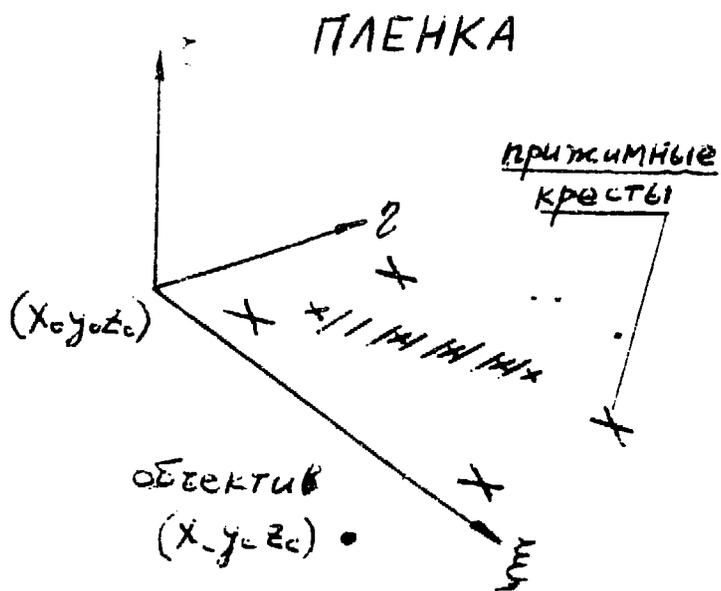


Рис. 1

