

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р - 2889



И.М. Иванченко, Н.А. Круткова, В.И. Мороз,
Т.Г. Останевич, Г.Н. Тентюкова

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
КООРДИНАТ ТОЧЕК ТРЕКОВ
ПО ДВУМ СТЕРЕОПРОЕКЦИЯМ

1966

Р - 2889

И.М. Иванченко, Н.А. Круткова, В.И. Мороз,
Т.Г. Останевич, Г.Н. Тентюкова

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
КООРДИНАТ ТОЧЕК ТРЕКОВ
ПО ДВУМ СТЕРЕОПРОЕКЦИЯМ

1. Описание оптической системы

Пусть в результате измерения координат точек на проекциях следа в камере j_1 -м (условно - левым, "л") объективом и j_2 -м (условно - правым "п") объективом получены наборы $(x_{лiэ}; y_{лiэ}), i=1, \dots, I_л$ и $(x_{пиэ}; y_{пиэ}), i=1, \dots, I_п$.

Координаты $x_{лiэ}; y_{лiэ}$ определены в системе координат $(x_л; y_л)$ ^x, которая связана с оптическими осями объективов и с системой координат (X, Y, Z) , заданной в камере так, как это показано на рис. 1. Мы считаем при этом, что оптические оси объективов параллельны между собой и направлены по оси Z , а все поверхности раздела оптических сред перпендикулярны оптическим осям.

Выбрав начало отсчета оси Z на нижней поверхности верхнего стекла камеры (см. рис. 2), мы запишем следующие соотношения, связывающие координаты пространственной точки $M(X, Y, Z)$ с ее проекциями левым и правым объективами ^{/3/}:

$$\begin{aligned} x_л &= \frac{X - B_л}{Z K_{лл} \Psi_{лл} + K_л \Psi_л}, & x_п &= \frac{X - B_п}{Z K_{пп} \Psi_{пп} + K_п \Psi_п}, \\ y_л &= \frac{Y - C_л}{Z K_{лл} \Psi_{лл} + K_л \Psi_л}, & y_п &= \frac{Y - C_п}{Z K_{пп} \Psi_{пп} + K_п \Psi_п}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $(B_л, C_л), (B_п, C_п)$ - координаты точек пересечения оптических осей с плоскостью XOY .

В выражениях (1) принято, что характеристики оптической системы объектив - оптические среды камеры заданы в виде:

^{x)} Задача перехода от системы координат измерительного прибора (микроскопа или полуавтомата) к системе $(x_л; y_л)$, используемой в настоящей работе рассматривается в /1/ и /2/.

$$K_{1л} \Psi_{1л} = r_{л}^{-1} \operatorname{tg} \gamma_{л} \cdot K_{1п} \Psi_{1п} = r_{п}^{-1} \operatorname{tg} \gamma_{п}; \quad (2)$$

$$K_{л} \Psi_{л} = r_{л}^{-1} R_{л} \cdot K_{п} \Psi_{п} = r_{п}^{-1} R_{п} \quad (3)$$

где сделаны следующие обозначения:

r – расстояние между изображением на пленке пространственной точки $M(XYZ)$ и оптической осью;

γ – угол, образуемый линией проектирования в камере точки M с осью Z (оптической осью);

R – расстояние между точками пересечения плоскости XOY с оптической осью и линией проектирования точки M .

$$K_{л} = \left. \frac{\partial R_{л}}{\partial r_{л}} \right|_{r_{л}=0} = 0, \quad (4)$$

$$\Psi_{л} = (R_{л} r_{л}^{-1}) \left(\frac{\partial R_{л}}{\partial r_{л}} \right)^{-1} \Big|_{r_{л}=0} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R_{л}}{\partial r_{л}^2} r_{л}^{-1} \right) \Big|_{r_{л}=0} \left(\frac{\partial R_{л}}{\partial r_{л}} \right)^{-1} \Big|_{r_{л}=0} r_{л}^2 + \quad (5)$$

$$+ \frac{1}{24} \left(\frac{\partial^4 R_{л}}{\partial r_{л}^4} r_{л}^{-1} \right) \Big|_{r_{л}=0} \cdot \left(\frac{\partial R_{л}}{\partial r_{л}} \right)^{-1} \Big|_{r_{л}=0} r_{л}^4.$$

$$K_{1л} = \left. \frac{\partial \operatorname{tg} \gamma_{л}}{\partial r_{л}} \right|_{r_{л}=0} \quad (6)$$

$$\Psi_{1л} = (r_{л}^{-1} \operatorname{tg} \gamma_{л}) \left(\frac{\partial \operatorname{tg} \gamma_{л}}{\partial r_{л}} \right)^{-1} \Big|_{r_{л}=0} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2}{\partial r_{л}^2} r_{л}^{-1} \operatorname{tg} \gamma_{л} \right) \Big|_{r_{л}=0} \left(\frac{\partial \operatorname{tg} \gamma_{л}}{\partial r_{л}} \right)^{-1} \Big|_{r_{л}=0} r_{л}^2 + \quad (7)$$

$$+ \frac{1}{24} \left(\frac{\partial^4}{\partial r_{л}^4} r_{л}^{-1} \operatorname{tg} \gamma_{л} \right) \Big|_{r_{л}=0} \cdot \left(\frac{\partial \operatorname{tg} \gamma_{л}}{\partial r_{л}} \right)^{-1} \Big|_{r_{л}=0} r_{л}^4.$$

($K_{п}$, $K_{1п}$, $\Psi_{п}$, $\Psi_{1п}$ получаются аналогично соответствующим левым величинам). Отметим, что в сделанных выше предположениях функции ψ и ψ_1 – четные относительно r .

Настоящая программа допускает как задание выражений $K\psi$ и $K_1\psi_1$ в виде разложения в ряд^{х)}, так и задание выражений $K\psi$ и $K_1\psi_1$ в виде произвольных функ-

^{х)} Коэффициенты разложения могут быть получены по результатам обработки измерений фотографий проекций тест-объекта, например, сетки Готье.

ций от r , которые могут быть получены из какой-либо модели оптической системы.

Приведем в заключение экспериментально определенные коэффициенты оптической системы^{х)} 24-литровой пропановой камеры ОИЯИ^{/5/} и выражения (8-11) для K , K_1 , Ψ , Ψ_1 , полученные из модели оптической системы, в которой объектив заменяется толстой линзой без дисторсии зрачка в парааксиальном пучке^{/8/}.

$$K_{л} \Psi_{л} = 8,2392 (1 - 2,22487 \cdot 10^{-4} r^2 - 4,788 \cdot 10^{-6} r^4),$$

$$K_{п} \Psi_{п} = 8,2996 (1 - 1,9755 \cdot 10^{-4} r^2 - 5,25 \cdot 10^{-6} r^4),$$

$$K_{1л} \Psi_{1л} = 0,11854 (1 - 3,4634 \cdot 10^{-3} r^2 + 4,6963 \cdot 10^{-5} r^4),$$

$$K_{1п} \Psi_{1п} = 0,11892 (1 - 3,24504 \cdot 10^{-3} r^2 + 4,1625 \cdot 10^{-5} r^4);$$

$$K_{л} = \frac{H + d_1 n_1^{-1}}{h + d_3 n_3^{-1}}, \quad (8)$$

$$K_{1л} = \frac{n_2^{-1}}{h + d_3 n_3^{-1}}, \quad (9)$$

$$? \quad \Psi_{л} = \frac{H}{H + d_1 n_1^{-1}} + \frac{h d_1}{H + d_1 n_1^{-1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_1^2 h^2 + r_{л}^2 (n_1^2 - 1)}}, \quad (10)$$

$$\Psi_{1л} = (1 + r_{л}^2 (n_2^2 - 1) n_2^{-2} h^{-2})^{-1/4}. \quad (11)$$

Выражения для $K_{п}$, $K_{1п}$, $\Psi_{п}$, $\Psi_{1п}$ получаются заменой в (8-11) индекса "л" на "п".

Следует отметить, что величины n_2 и H (см. на рис. 2) подбирались экспериментально и не равны измеренным^{хх)}.

II. Соответствующие и несоответствующие точки

Мы считаем, что измеренные на проекциях точки могут быть отнесены к одному из двух типов – соответствующих точек или несоответствующих точек.

^{х)} Эти коэффициенты, определенные В.Ф. Вишневым и В.И. Морозом, были использованы в программе геометрического восстановления "1-35".

^{хх)} Выражения (8-11) с подобранными в работе^{/4/} величинами n_2 и H были использованы в программах "1-33" и "1-34".

К соответствующим точкам мы относим такие измеренные точки, которые являются заведомыми проекциями на левый и правый кадры одной и той же пространственной точки. Такими точками могут быть, например, начала следов.

Разумеется, число измеренных соответствующих точек на левом и правом кадрах должно быть заведомо одним и тем же, а сами эти точки должны быть отмечены определенным образом (см. VII).

К несоответствующим точкам относятся все остальные точки, т.е. такие, относительно которых нельзя сказать, что они являются проекцией одной пространственной точки.

Задачей настоящей программы является:

1. Определение в пространстве камеры координат $(X; Y; Z)$ всех соответствующих точек.
2. Определение координат $(X; Y; Z)$ всех точек, заданных на левом кадре.

III. Переход в систему координат левого-правого объективов

Для упрощения выкладок перейдем от систем координат $(X; Y; Z)$, $(x_L; y_L)$, $(x_P; y_P)$ к системам координат $(X'; Y'; Z')$, $(x'_L; y'_L)$, $(x'_P; y'_P)$, которые получаются из исходных поворотом на угол ϕ вокруг оси Z и оптических осей соответственно^{х)}. Угол ϕ определяется по формулам

$$\sin \phi = \frac{C_P - C_L}{\sqrt{(C_P - C_L)^2 + (B_P - B_L)^2}},$$

$$\cos \phi = \frac{B_P - B_L}{\sqrt{(C_P - C_L)^2 + (B_P - B_L)^2}}.$$

Формулы перехода от $(x_L; y_L)$ к $(x'_L; y'_L)$ и от $(x_P; y_P)$ к $(x'_P; y'_P)$ имеют вид:

$$\begin{aligned} x'_L &= \cos \phi \cdot x_L + \sin \phi \cdot y_L, \\ y'_L &= -\sin \phi \cdot x_L + \cos \phi \cdot y_L. \end{aligned} \quad (13)$$

^{х)} Предложение использовать для восстановления пространственных координат поворот на угол ϕ и обратный поворот было сделано в работе /6/.

$$x'_P = \cos \phi \cdot x_P + \sin \phi \cdot y_P,$$

$$y'_P = -\sin \phi \cdot x_P + \cos \phi \cdot y_P.$$

Очевидно, что $g'_L = g_L$ и $g'_P = g_P$. Система $(X'; Y'; Z')$ такова, что ось OX' параллельна на O_L O_P . Для новой системы координат справедливы формулы:

$$\begin{aligned} x'_L &= \frac{X' - B'_L}{Z K_{1L} \Psi_{1L} + K_L \Psi_L}; & x'_P &= \frac{X' - B'_P}{Z K_{1P} \Psi_{1P} + K_P \Psi_P}; \\ y'_L &= \frac{Y' - C'}{Z K_{1L} \Psi_{1L} + K_L \Psi_L}; & y'_P &= \frac{Y' - C'}{Z K_{1P} \Psi_{1P} + K_P \Psi_P}. \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь величины B'_L, B'_P, C' определены как

$$\begin{aligned} B'_L &= \cos \phi \cdot B_L + \sin \phi \cdot C_L, \\ B'_P &= \cos \phi \cdot B_P + \sin \phi \cdot C_P, \\ C'_L &= C'_P = C' = -\sin \phi \cdot B_L + \cos \phi \cdot C_L. \end{aligned} \quad (15)$$

В штрихованной системе координат для почти тождественных объективов ($K_{1L} \approx K_{1P}$, $K_L \approx K_P$) и хорошо исправленной оптической системы (Ψ_1 и Ψ - слабые функции от r , приближенно равные единице) получаем $y'_L \approx y'_P$ для соответствующих точек.

IV. Определение координат по соответствующим точкам

Как уже отмечалось, для каждой такой точки мы имеем 4 величины $(x'_{L\alpha}, y'_{L\alpha})$, $(x'_{P\alpha}, y'_{P\alpha})$, которые мы считаем измеренными с одинаковыми дисперсиями измерительных ошибок.

Для получения оценок искомых параметров воспользуемся принципом максимума правдоподобия. Предполагая, что ошибки величин x'_L, y'_L, x'_P, y'_P распределены по нормальному закону, получим оценки для X', Y', Z' из условия минимума функционала

$$\chi^2 = (x'_{L\alpha} - \frac{X' - B'_L}{Z K_{1L} \Psi_{1L} + K_L \Psi_L})^2 + (x'_{P\alpha} - \frac{X' - B'_P}{Z K_{1P} \Psi_{1P} + K_P \Psi_P})^2 +$$

$$+ (y'_{лэ} - \frac{Y' - C'}{ZK_{1л}\Psi_{1л} + K_{л}\Psi_{л}})^2 + (y'_{пэ} - \frac{Y' - C'}{ZK_{1п}\Psi_{1п} + K_{п}\Psi_{п}})^2.$$

Таким образом, уравнениями для определения X' , Y' , Z' будут

$$\frac{\partial X'^2}{\partial X'} = 0, \quad \frac{\partial X'^2}{\partial Y'} = 0, \quad \frac{\partial X'^2}{\partial Z'} = 0. \quad (17)$$

Учитывая, что ψ и ψ_1 - слабые функции от r , получим:

$$[x'_{лэ} - \frac{X' - B'_л}{A_л}] \frac{1}{A_л} + [x'_{пэ} - \frac{X' - B'_п}{A_п}] \frac{1}{A_п} = 0,$$

$$[y'_{лэ} - \frac{Y' - C'}{A_л}] \frac{1}{A_л} + [y'_{пэ} - \frac{Y' - C'}{A_п}] \frac{1}{A_п} = 0,$$

$$[(x'_{лэ} - \frac{X' - B'_л}{A_л})(x' - B'_л)] \frac{K_{1л}\Psi_{1л}}{A_{л}^2} + [(x'_{пэ} - \frac{X' - B'_п}{A_п}) \times$$

$$(x' - B'_п)] \frac{K_{1п}\Psi_{1п}}{A_{п}^2} + [y'_{лэ} - \frac{Y' - C'}{A_л}] \frac{K_{1л}\Psi_{1л}(Y' - C')}{A_{л}^2} +$$

$$+ [y'_{пэ} - \frac{Y' - C'}{A_п}] \frac{K_{1п}\Psi_{1п}(Y' - C')}{A_{п}^2} = 0. \quad (18)$$

Здесь

$$A_л = Z'K_{1л}\Psi_{1л} + K_{л}\Psi_{л},$$

$$A_п = Z'K_{1п}\Psi_{1п} + K_{п}\Psi_{п}.$$

Для получения оценок искомых параметров можно, например, воспользоваться программой И.Н. Сирина^{17/}. Обращаем внимание на то, что при получении соотношений (1) не предполагается близость оптических характеристик объективов.

Теперь предположим, что объективы близки по своим оптическим характеристикам. В этом случае $A_л \approx A_п$, $K_{1л}\Psi_{1л} \approx K_{1п}\Psi_{1п}$.

Упростим выражения (18), пренебрегая разницей в множителях при квадратных скобках.

После упрощений получим систему:

$$(x'_{лэ} - \frac{X' - B'_л}{A_л}) + (x'_{пэ} - \frac{X' - B'_п}{A_п}) = 0,$$

$$(y'_{лэ} - \frac{Y' - C'}{A_л}) + (y'_{пэ} - \frac{Y' - C'}{A_п}) = 0,$$

$$(x'_{лэ} - \frac{X' - B'_л}{A_л})(x' - B'_л) + (x'_{пэ} - \frac{X' - B'_п}{A_п})(x' - B'_п) +$$

$$+ [(y'_{лэ} - \frac{Y' - C'}{A_л}) + (y'_{пэ} - \frac{Y' - C'}{A_п})](Y' - C') = 0. \quad (19)$$

Система (19) эквивалентна следующей системе:

$$x'_{лэ} - \frac{X' - B'_л}{A_л} = 0,$$

$$x'_{пэ} - \frac{X' - B'_п}{A_п} = 0,$$

$$(y'_{лэ} - \frac{Y' - C'}{A_л}) + (y'_{пэ} - \frac{Y' - C'}{A_п}) = 0. \quad (20)$$

Из первого и второго уравнений системы (20) имеем:

$$Z' = \frac{B'_п - B'_л - (x'_{лэ}K_{1л}\Psi_{1л} - x'_{пэ}K_{1п}\Psi_{1п})}{x'_{лэ}K_{1л}\Psi_{1л} - x'_{пэ}K_{1п}\Psi_{1п}}. \quad (21)$$

$$X' = Z'x'_{лэ}K_{1л}\Psi_{1л} + x'_{лэ}K_{л}\Psi_{л} + B'_л.$$

Из третьего уравнения получаем:

$$Y' = \frac{Y'_{лэ} + Y'_{пэ}}{\frac{1}{A_л} + \frac{1}{A_п}} + C'.$$

Следует отметить, что полученное решение системы (20) является одним из частных решений переопределенной системы (14) и это частное решение достаточно близко к оптимальному решению, даваемому методом наименьших квадратов. Сравнивая выражение (21) с формулами восстановления пространственных координат^{/4,5/}, содержащими в знаменателе выражение $p = x_{л} - x_{п} \frac{y_{л}}{y_{п}}$, легко видеть, что формулы^{/4,5/} дают значительно большие дисперсии пространственных координат, чем (21), особенно для области, близкой к линии базы, где величины y малы.

V. Определение X', Y', Z' для несоответствующих точек

Пусть на левом кадре задана измеренная точка $(x'_{л}, y'_{л})$, тогда первые два уравнения системы (14) мы можем рассматривать как два уравнения плоскостей в пространстве (x', y', z') , пересечение которых дает прямую A - геометрическое место точек, проектирующихся в $(x'_{л}, y'_{л})$. Считая в системе (14) $(x'_{л}, y'_{л})$ фиксированными, исключим из данной системы X', Y', Z' ; таким образом, мы получим зависимость

$$F(x'_{п}, y'_{п}, x'_{л}, y'_{л}) = 0, \quad (25)$$

которая выражает собой проекцию определенной выше прямой A на правый кадр. Выражение (25) в явном виде можно записать следующим образом:

$$y'_{п} = y'_{л} \cdot \epsilon, \quad (26)$$

$$\epsilon = \frac{K_{1л} \Psi_{1л} [\kappa K_{1п} \Psi_{1п} x'_{п} - (B'_{п} - B'_{л})]}{K_{1п} \Psi_{1п} [\kappa K_{1л} \Psi_{1л} x'_{л} - (B'_{п} - B'_{л})]},$$

где

$$\kappa = \frac{K_{л} \Psi_{л}}{K_{1л} \Psi_{1л}} - \frac{K_{п} \Psi_{п}}{K_{1п} \Psi_{1п}}.$$

Легко видеть, что, если $K_{1л} = K_{1п}$, $K_{л} = K_{п}$, $\Psi_{1л} = \Psi_{1п} = 1$, $\Psi_{л} = \Psi_{п} = 1$, то $\epsilon = 1$. В этих условиях проекция прямой A на правый кадр вырождается в прямую, проходящую параллельно оси $x'_{п}$.

Для нахождения точки $(x'_{п}; y'_{п})$, являющейся квазиответствующей для $(x'_{л}; y'_{л})$, мы должны решить систему двух уравнений с двумя неизвестными $x'_{п}$ и $y'_{п}$:

$$x'_{п} = f(y'_{п}), \quad (27)$$

$$y'_{п} = y'_{л} \epsilon.$$

Первое из выражений (27) описывает кривую, которая аппроксимирует точки, измеренные на правой проекции трека. В настоящей работе для этого используется интерполяционный полином второй степени, строящийся по трем точкам.

При построении интерполяционного полинома для каждой точки $(x'_{л}; y'_{л})$ выбираются такие измеренные точки на правом снимке, которые удовлетворяют условию

$$y'_{пj} < y'_{л} < y'_{пj+1}. \quad (28)$$

Третьей точкой берется точка с номером $j-1$ или $j+2$.

Если условие (28) не может быть выполнено ни для какого номера j , то проводится экстраполяция этим же полиномом по трем ближайшим точкам.

Систему (27) достаточно просто можно решить методом итераций:

$$\begin{aligned} x'_{п}^{(\nu+1)} &= f(y'_{п}^{(\nu)}), \\ y'_{п}^{(\nu+1)} &= y'_{л} \epsilon^{(\nu)}. \end{aligned}$$

При этом мы полагаем

$$y'_{п}^{(0)} = y'_{л}.$$

Процесс итераций оканчивается, если

$$\max(|x'_{п}^{\nu+1} - x'_{п}^{\nu}|, |y'_{п}^{\nu+1} - y'_{п}^{\nu}|) < \xi_0, \quad (29)$$

где ξ_0 - заданная неточность решения.

Если соотношение (29) не выполняется ни при каких $\nu \leq N$, то считается, что для $(x'_{л}; y'_{л})$ нет квазиответствующей точки на правом кадре.

В процессе итераций может оказаться, что

$$y'_{п}^{(\nu)} \in [y'_{\min} - \delta \Delta y; y'_{\max} + \delta \Delta y], \quad (30)$$

где

$$y'_{\min} = \min_i (y'_{пi}),$$

$$y'_{\max} = \max_i (y'_{пi}),$$

$$i = 1, \dots, I_{п}.$$

$I_{п}$ - количество измеренных точек на правом кадре,

$$\Delta y = \frac{\sum_{i=1}^{I_{\Pi}-1} |y_{\Pi i+1} - y_{\Pi i}|}{I_{\Pi}-1}$$

g - константа, определяющая область допустимой экстраполяции.

Если выполняется (30), то и в этом случае считаем, что для (x'_l, y'_l) нет квазисоответствующей точки на правом кадре. Хотя эти отказы встречаются весьма редко, все же представляет интерес отметить условия, способствующие их возникновению.

Будет выполняться (30), или не будут сходиться итерации, тем чаще, чем больше дисперсия измерительных ошибок точек на левом и правом кадрах, чем меньше расстояние между измеренными точками на правом кадре, чем меньше угол между проекцией следа на правый кадр и осью x'_Π .

После нахождения (x'_Π, y'_Π) для получения X', Y', Z' используются формулы (21).

VI. Определение пространственных координат

Для получения величин X, Y, Z для всех измеренных точек, соответствующих и квазисоответствующих, делается поворот на угол $-\phi$:

$$\begin{aligned} X &= X' \cos \phi - Y' \sin \phi, \\ Y &= Y' \sin \phi + X' \cos \phi, \\ Z &= Z'. \end{aligned}$$

VII. Описание программы

Программа оформлена как стандартная подпрограмма в системе ИС-2.

Информация к программе:

$k, \pi_1, \pi_2, \pi_3, 52; a, N_{\text{СП}}, m$
 $k+1, \pi, 52; a, a^*, R_1$
 $k+2, \pi, 52; b, b^*, R_2$
 $k+3, \pi, 52; f_l, a_{1\text{ВХ}}, a_{1\text{ВЫХ}}$
 $k+4, \pi, 52; f_\Pi, a_{2\text{ВХ}}, a_{2\text{ВЫХ}}$
 $k+5, \pi, 52; C$

Здесь m - количество точек на левом (правом) кадре в восьмеричной системе;

$a(a^*)$ - начало массива;

R_1 - начало массива результатов - пространственных координат, восстановленных по квазисоответствующим точкам;

$b(b^*)$ - начало массива;

R_2 - начало массива результатов - пространственных координат, восстановленных по соответствующим точкам;

f_l - адрес сосчитанной функции $K_l \psi_l$, следом за ней должна быть $K_{1l} \psi_{1l}$;

$a_{1\text{ВХ}}; a_{1\text{ВЫХ}}$ - вход и выход арифметической части f_l ;

f_Π - адрес сосчитанной функции $K_\Pi \psi_\Pi$, следом за ней должна быть $K_{1\Pi} \psi_{1\Pi}$;

$a_{2\text{ВХ}}, a_{2\text{ВЫХ}}$ - вход и выход арифметической части f_Π ;

C - начало массива $V_l, V_\Pi, C_l, C_\Pi, \xi_0, g$.

Текущее значение $r_l^2 (r_\Pi^2)$ при вычислении $f_l (f_\Pi)$ может быть выбрано в нужную ячейку при-помощи команды

400 ; 0000, 0000, $\langle r_l^2 (r_\Pi^2) \rangle$.

Результаты выдаются в следующем виде:

Массив $R_1: N; X_1; Y_1; Z_1; \dots; X_N; Y_N; Z_N$.

Здесь N - количество точек.

Массив $R_2: X_{N_1}; Y_{N_1}; Z_{N_1}; X_{N_2}; Y_{N_2}; Z_{N_2}; \dots$

Режимы работы программы

$\pi_2 = 0$ Полученные результаты не печатаются.

$\pi_2 = 1$ Печать результатов.

$R_1 \neq 0$ } Пространственные координаты вычисляются по квазисоответствующим точкам. Признаком соответствующих точек служит наличие единицы в 45-м разряде координаты.

$R_2 \neq 0$ } Все точки считаются квазисоответствующими.

$R_1 = 0$ } Все точки считаются соответствующими.

$R_1 = 0$ } Запрещенная комбинация, происходит останов: 0,77; 7777, 7777, 0000.

Программа допускает модифицированные адреса.

Авторы благодарят В.Ф. Вишневого, В.Б. Виноградова, Н.Н. Говоруна,

Е.П. Жидкова, В.Г. Иванова, Э.М. Иванченко, Г.И. Макаренко, А.П. Стельмаха за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. Н.Ф. Маркова, В.И. Мороз. Компенсация деформации пленки и переход в базовую систему координат. ОИЯИ Б2-2918, Дубна, 1966;
В.А. Загняйко, В.Н. Шигаев. Нахождение параметров преобразований для перехода в систему координат фотоснимка и определение коэффициентов усадки пленки методом максимума правдоподобия. Препринт ОИЯИ, 2527, Дубна, 1965.
2. В.Ф. Вишневский и др. Препринт ОИЯИ, Р-1468, Дубна, 1965;
О.В. Благонравова и др. Препринт ОИЯИ, 2005, Дубна, 1965.
3. Ван Ган-чан, М.И. Соловьев, Ю.А. Шкобин. ПТЭ. № 1, 41-43 (1959).
4. Е.Н. Кладницкая. Препринт ОИЯИ 796, Дубна, 1961.
5. Н.А. Бuzдавина и др. Препринт ОИЯИ, 2095, Дубна, 1965.
6. Е.Н. Кладницкая, Г.И. Макаренко, В.М.И. Соловьев. Геометрическое восстановление пространственной картины в двухметровой пропановой пузырьковой камере. ОИЯИ, Б-2800, Дубна, 1966.
7. С.Н. Соколов, И.Н. Сялин. Препринт ОИЯИ Д-810, Дубна, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 августа 1966 г.

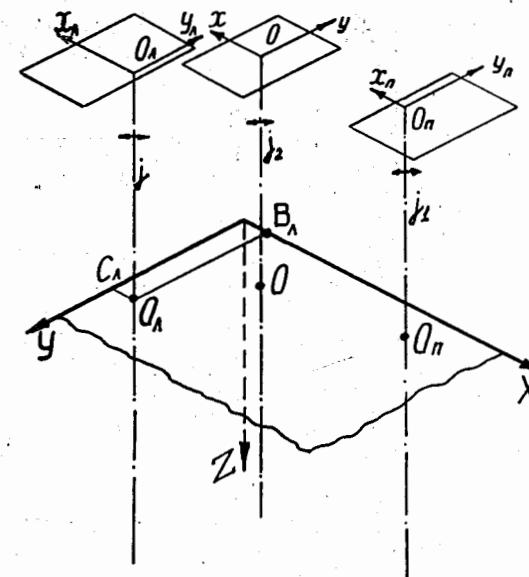


Рис. 1. Расположение координатных осей в камере и на проекциях объективов. Оси $0x$ и $0y$ проходят через точку пересечения оптической оси с плоскостью кадра и параллельны осям OX и OY . На остальных кадрах оси вводятся аналогично. Через C_L и B_L обозначены координаты точки пересечения оси левого объектива с плоскостью $Z = 0$.

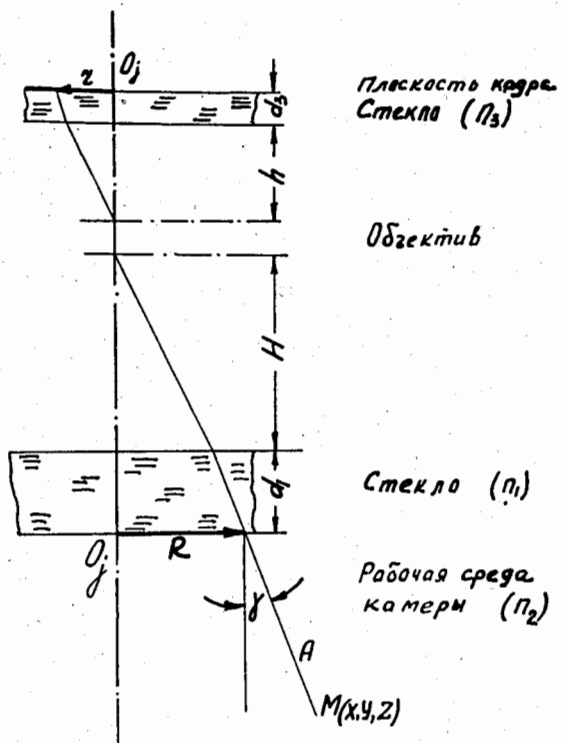


Рис. 2. Изображение плоскости, в которой лежит оптическая ось O_j O_j и луч A , проектирующий точку $M(x, y, z)$.