

С. 379
А-655
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2053



Е.М. Андреев, В.Г. Иванов

ОБ ИСКАЖЕНИЯХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ФОТОГРАФИРОВАНИИ
ТРЕКОВ ЧЕРЕЗ СРЕДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ
ОПТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

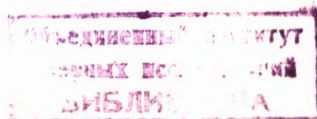
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

1965

3181/3 нр.

Е.М. Андреев, В.Г. Иванов

ОБ ИСКАЖЕНИЯХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ФОТОГРАФИРОВАНИИ
ТРЕКОВ ЧЕРЕЗ СРЕДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ
ОПТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ



Фотографирование треков в пузырьковых камерах обычно производится через воздух, плоскопараллельные стеклянные пластины и рабочую жидкость объективами, оптические оси которых перпендикулярны поверхностям раздела этих сред. Если фотографирование производится объективами, рассчитанными для съемки в воздухе, то из-за преломления световых лучей на границах раздела различных сред получаемые на фотопленке изображения снимаемых предметов оказываются искаженными.

В связи с тем, что в метровой пропановой пузырьковой камере ПК-200 Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ съемка треков производится через воздух, стекла, воду и пропан^{1/1} при проектировании системы фотографирования были произведены оценки возникающих в этом случае искажений. Расчеты производились в рамках геометрической оптики в соответствии с методикой восстановления пространственной картины событий в пузырьковых камерах^{2/1}.

Хотя конкретные вычисления выполнены для определенного объектива ("Руссар-33" с фокусным расстоянием 100 мм), метод расчета искажений является общим и может быть использован как типовый при проектировании пузырьковых камер, аналогичных по конструкции ПК-200.

Если поверхности раздела сред, через которые производится фотографирование, перпендикулярны оптическим осям объективов (рис. 1), то в соответствии с законами геометрической оптики радиус-вектор R точки M с координатами X , Y , Z в пространстве объекта выражается через толщины и показатели преломления этих сред следующей формулой:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} = d_0 \cdot \operatorname{tg} \beta + \frac{d_1 \cdot \sin \beta}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \beta}} + \frac{d_2 \cdot \sin \beta}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \beta}} + \frac{Z \cdot \sin \beta}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}}. \quad (1)$$

Здесь

$$\operatorname{tg} \beta = r/f; \quad (2)$$

d_0 , $d_1 = d'_1 + d''_1$, d_2 и Z — толщины сред в рассматриваемом конкретном случае (воздуха, стекла, воды и пропана);

n_1 , n_2 и n — показатели преломления стекла, воды и пропана;

r — радиус-вектор изображения точки M на снимке стереопары;

f — фокусное расстояние объектива.

При съемке в воздухе выражение, связывающее R и радиус-вектор r_0 "идеального" изображения точки M на пленке, имеет следующий вид:

$$R = (d_0 + d_1/n_1 + d_2/n_2 + Z/n) \cdot r_0/f - . \quad (3)$$

Разность между радиус-векторами реального и "идеального" изображений точки M определяет дисторсию, вносимую средами с различными показателями преломления, и легко находится из выражений (1) - (3):

$$\Delta r = r - r_0 = \frac{f}{(d_0 + d_1/n_1 + d_2/n_2 + Z/n)} [(d_1/n_1 + d_2/n_2 + Z/n) 1/f - \left. - \frac{d_1}{\sqrt{(n_1^2 - 1)r^2 + n_1^2 f^2}} - \frac{d_2}{\sqrt{(n_2^2 - 1)r^2 + n_2^2 f^2}} - \frac{Z}{\sqrt{(n^2 - 1)r^2 + n^2 f^2}} \right] r . \quad (4)$$

Из (4) видно, что смещение реального изображения точки M относительно идеального зависит не только от параметров сред, через которые производится фотографирование, но и от величины радиус-вектора r . На рис. 2 приведена зависимость $\Delta r = f(r)$, найденная для следующих значений входящих в (4) констант: $d_0 = 90$ мм; $d_1 = 120$ мм; $d_2 = 675$ мм; $Z = 185$ мм; $f = 100$ мм; $n = 1,23$; $n_1 = 1,50$; $n_2 = 1,33$ (объектив "Руссар-33").

Из рис. 2 видно, что при использовании в данных условиях съемки обычных аэрофотообъективов с $f = 100$ мм дисперсия изображений меняется от 0 до 10 мм.

В связи с большими значениями Δr необходимо более подробно рассмотреть влияние параметров сред на искажения изображений. Для этого были вычислены координаты изображений различных пространственных точек $M_1 (X_1, Y_1, Z_1)$ на левом (x_1, y_1) и правом (x'_1, y'_1) снимках стереопары (рис. 1).

Расчеты производились в следующей последовательности: сначала из уравнения 1 находилось значение $\text{tg} \beta_1$, соответствующее определенным значениям X_1, Y_1 и Z_1 . Затем по формулам (2) и (5) вычислялись радиус-вектор изображения этой точки (r_1) и ее координаты (x_1, y_1):

$$\begin{aligned} x_1 &= r_1 \frac{X_1}{R_1} , \\ y_1 &= r_1 \frac{Y_1}{R_1} . \end{aligned} \quad (5)$$

Координаты изображений этой же точки на другом снимке стереопары (x'_1, y'_1) вычислялись по тем же формулам, но с заменой X_1 на $B - X_1$, где B - база съемки в нашем конкретном случае равна 420 мм.

Результаты вычислений приведены в таблице 1, где для сравнения представлены координаты изображений этих же точек (x_0, y_0, x'_0, y'_0), получаемые при съемке в воздухе. Из таблицы 1 видно, как сильно искажаются изображения пространственных координат (линий) из-за преломления световых лучей на поверхностях раздела сред с различными показателями преломления.

Видно также, что поперечный параллакс меняется от 0 до 3,7 мм, масштаб изображения зависит не только от высоты съемки, но и от других пространственных координат (X и Y) и т.д.

В таблице 2 представлены стрелы прогиба (h) и радиусы (R_L) ложной кривизны изображений прямых линий, перпендикулярных базе съемки B , в зависимости от длины этих линий в пространстве (ΔY) и на пленке (Δy), возникающие при фотографировании обычными аэрофотообъективами. Из этой таблицы следует, что значения радиусов ложной кривизны достигают для периферической области снимаемого объема 50 см, что соответствует ложному импульсу около 2000 Мэв/с при магнитном поле в камере около 17 тыс. эрстед.

Из выражения (4) видно, что искажения, вносимые средами, через которые производится съемка, пропорциональны их толщинам.

$$\Delta r_i = \frac{f d_i}{(d_0 + d_1/n_1 + d_2/n_2 + Z/n)} \left\{ \frac{1}{n_1 f_1} - \frac{1}{\sqrt{(n_1^2 - 1)r^2 + n_1^2 f^2}} \right\} r. \quad (6)$$

Таким образом, в рассматриваемом конкретном случае камеры ПК-200 наибольший вклад в искажения изображений вносят из рабочей жидкость и защитные стекла, а слой воды, служащий для разгрузки рабочей камеры.

З а к л ю ч е н и е

Из приведенного рассмотрения следует, что при фотографировании в пузырьковых камерах треков через различные среды с показателями преломления $n > 1$ и $n = 1$ (воздух) обычными аэрофотообъективами, оптические оси которых перпендикулярны поверхностям раздела этих сред, получаемые на пленке изображения снимаемых треков могут быть сильно искажены. Это обстоятельство серьезно затрудняет просмотр и обработку стереофотографий.

Кроме этого, дисперсия световых лучей на границах раздела сред с различными n ухудшает качество изображения, если для освещения используется некохроматический источник света.

В связи с этим при проектировании метровой пропановой пузырьковой камеры ПК-200 были рассчитаны и изготовлены специальные фотообъективы типа "Гидро-Руссар 4", исправленные на дисторсию и другие аберрации.

Как показали исследования, искажения изображений треков, расположенных в любой области рабочего объема камеры, при съемке этими объективами оказываются настолько малыми, что их нетрудно учитывать при обработке фотографий.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.П. Джелепову за постоянную помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. А.В.Богомолов, Ю.А.Будагов, А.Т.Василенко, В.П.Джелепов, Н.И.Дьяков, В.Г.Иванов, В.С.Кладницкий, В.И.Лепилов, Ю.Ф.Ломакин, В.И.Москалев, В.Б.Флягин, Т.И.Шетет, П.В.Шляпников. ПТЭ, №1, 61 (1984).
2. Е.Н.Кладницкая. Материалы совещания по методике пузырьковых камер. Препринт ОИЯИ, 796, стр. 5-30, Дубна, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 марта 1985 г.

Т а б л и ц а 1

Координаты соответствующих точек на снимках стереопары

X	Y	x	y	x'	y'	x ₀	y ₀	x' ₀	y' ₀
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
150	450	19,277	57,832	35,230	58,717	18,072	54,216	32,530	54,216
150	300	18,646	37,291	34,063	37,848	18,072	36,144	32,530	36,144
"	150	18,293	18,293	33,398	18,554	"	18,072	"	18,072
"	0	18,177	0,000	33,186	0,000	"	0,000	"	0,000
300	450	39,362	59,042	15,382	57,685	36,144	54,216	14,458	54,216
"	300	38,037	38,037	14,882	37,205	"	36,144	"	36,144
"	150	37,291	18,646	14,598	18,248	"	18,072	"	18,072
"	0	37,054	0,000	14,510	0,000	"	0,000	"	0,000
450	450	61,191	61,191	-3,830	57,452	54,216	54,216	-3,614	54,216
"	300	59,042	39,362	-3,706	37,059	"	36,144	"	36,144
"	150	57,832	19,277	-3,636	18,181	"	18,072	"	18,072
"	0	57,440	0,000	-3,610	0,000	"	0,000	"	0,000

Таблица 2

Стрелы прогиба (h) и радиусы ложной кривизны ($R_{л}$) изображений прямых линий, перпендикулярных базе съемки

X	ΔY	Δy	h	R
мм	мм	мм	мм	мм
150	900	115,7	1,10	152
150	600	74,6	0,47	148
150	300	36,6	0,12	144
300	900	118,1	2,31	76
300	600	76,1	0,98	73
300	300	37,3	0,24	73
450	900	122,4	3,75	50
450	600	78,7	1,60	48
450	300	38,6	0,39	47

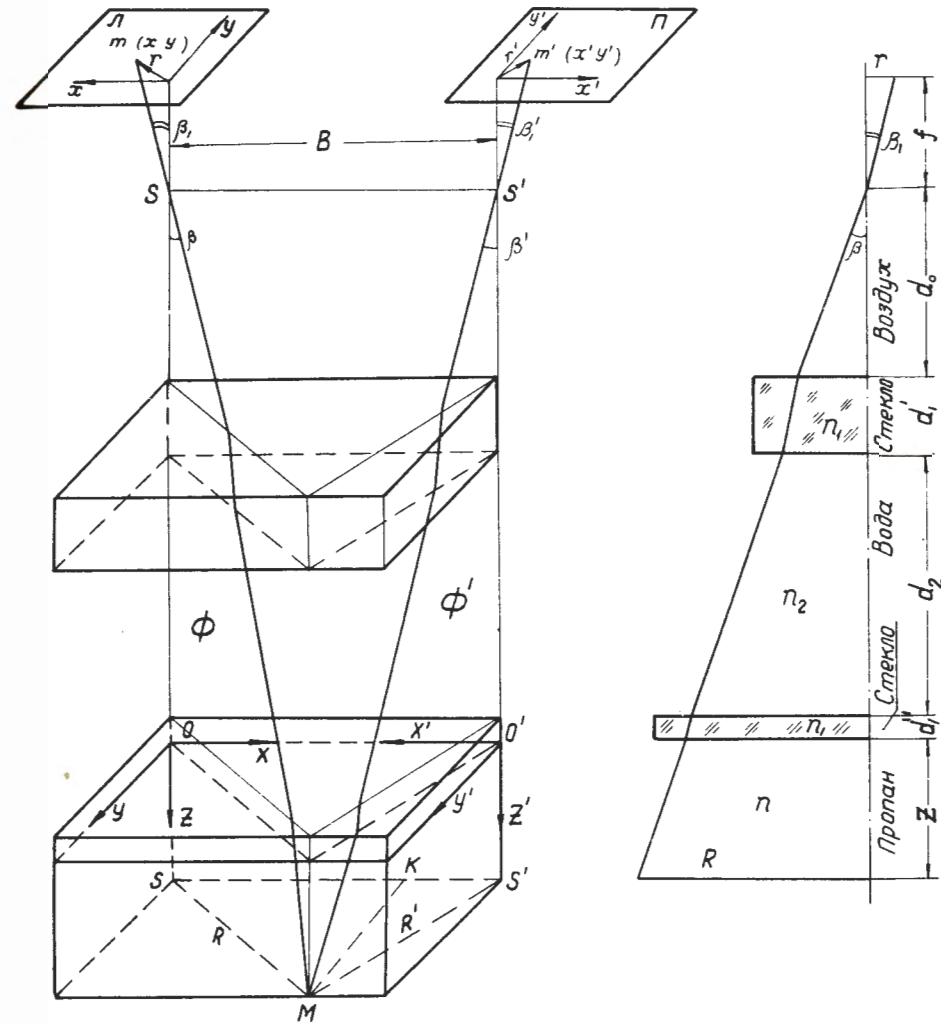


Рис. 1. Схема фотографирования треков в метровой проекционной камере ОИЯИ.

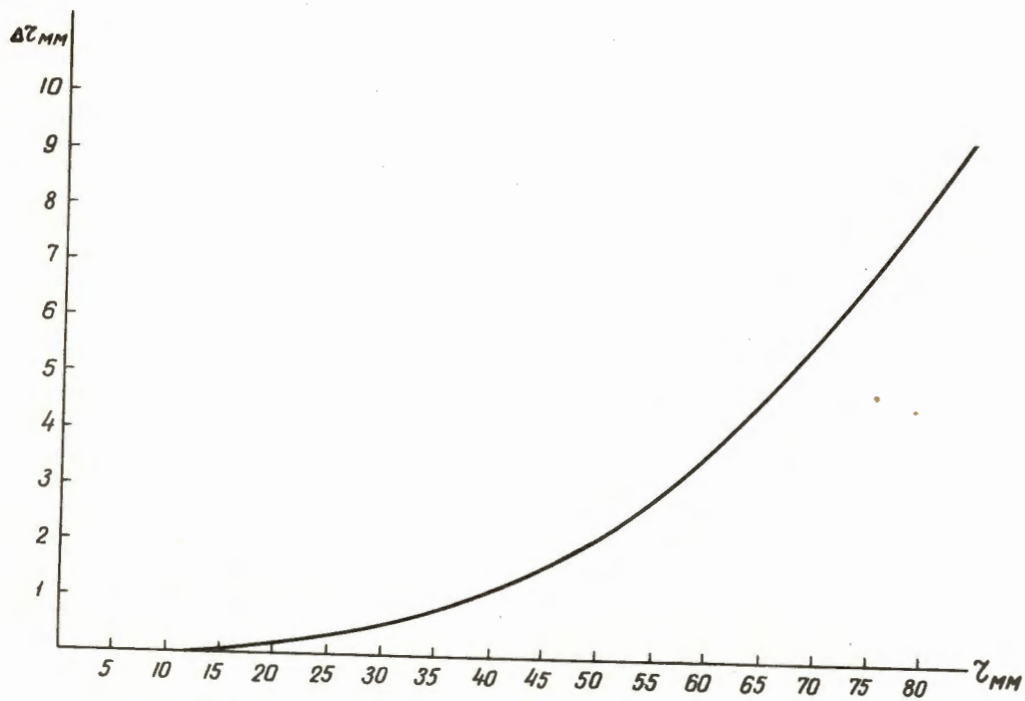


Рис. 2. Зависимость Δz от z .