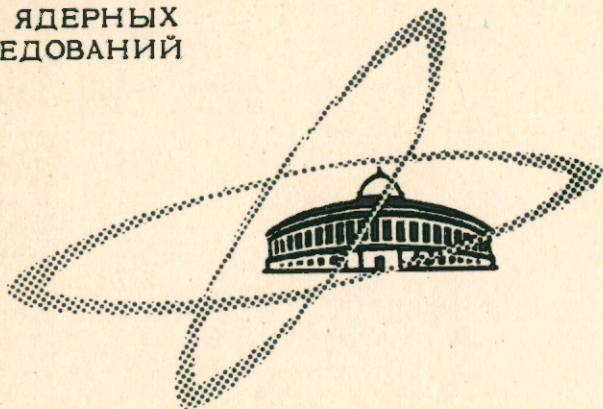


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Экз. ЧИТ. ЗАЛА

P-2727



Е.М. Андреев, Г. Либман, Г.И. Селиванов

МЕТОДИКА ЮСТИРОВКИ СТЕРЕОФОТОАППАРАТОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

P-2727

Е.М. Андреев, Г. Либман, Г.И. Селиванов

МЕТОДИКА ЮСТИРОВКИ СТЕРЕОФОТОАППАРАТОВ

Направлено в ПТЭ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Обработка снимков, получаемых на пузырьковой камере, с помощью автоматических измерительных приборов, а также проведение последующих вычислений с помощью электронно-вычислительной машины существенно упрощаются при наличии на прижимных стеклах фотоаппарата реперных точек, отмечающих положение центров выходных лучей объективов. Установка с достаточной точностью этих реперных точек, а также объективов является целью процесса юстировки.

Юстировка включает в себя следующие этапы:

1. Проверку параллельности прижимных стекол.
2. Установку базы стереофотоаппарата.
3. Наведение объективов на среднюю плоскость фотографируемого объема.
4. Юстировку визирных линий по реперным точкам.
5. Проверку параллельности оптических осей визирным линиям.
6. Точное определение фокусных расстояний стереофотоаппарата.

Наиболее качественно указанная выше процедура юстировки может быть выполнена с помощью оптической скамьи. Ниже она рассматривается на примере юстировки оптической системы стереофотоаппарата для 25-сантиметровой жидководородной камеры^{1/}. Юстировка выполнялась с помощью оптической скамьи ОСК-2.

Для облегчения процесса юстировки оптические элементы стереофотоаппарата объединялись в "оптическую головку"^{2/}. Так как центры лучей объективов Р-29, использованных в аппарате, с достаточной точностью совпадают с узловыми точками, то последние можно рассматривать как их проекционные центры. Это обстоятельство существенно влияет на выбор метода юстировки.

В отличие от метода юстировки, изложенного в работе^{3/}, в нашем случае особое внимание обращалось на то, чтобы избежать необходимости в перефокусировке наблюдательных приборов, а также по возможности исключить всякого рода взаимные механические перемещения, которые вследствие имеющихся неточностей изготовления

отдельных узлов оптической скамьи могли бы существенно ухудшить результат юстировки. Описываемая ниже установка для юстировки стереофотоаппаратов содержит единственный подвижный элемент - вращающуюся раму с оптической головкой. Вращение головки необходимо для проверки параллельности оптических осей объективов визирным линиям.

Внешний вид юстировочной установки показан на рис. 1. Коробчатая рама (3) вращается на 2-х цапфах, снабженных шарикоподшипниками (4), внутри U-образного корпуса (2). Радиальную и осевую игру шарикоподшипников можно устранить подтягиванием гаек (5). Биеение оси вращения определяется, таким образом, только овальностью колец шарикоподшипников. Для применявшихся нами до сих пор шарикоподшипников обычного исполнения амплитуда биеения составляла $\approx 0,02$ мм. Такая погрешность не превышает допустимой ошибки в определении стереобазы аппарата $\Delta B/2 = 0,03$ мм. Можно надеяться, что с помощью прецизионных шарикоподшипников удастся дополнительно уменьшить величину биеения.

Проверка параллельности прижимных стекол производилась с помощью плоского зеркала и автоколлимационной трубы, как это показано на рис. 2. Зеркало было изготовлено с отклонением от плоскостности не более 2,5 колец на весь диаметр. Этому соответствует радиус кривизны $R > 14$ км. Максимальный угол между двумя нормальными к поверхности зеркала соответственно равняется $\epsilon = 4,5''$. Так как разрешающая способность автоколлимационной трубы составляет $\approx 5''$, то с такой системой легко обнаруживаются отклонения прижимных стекол от параллельности, превышающие $13''$. Следует заметить, что обеспечить параллельность стекол путем прокладывания между ними и корпусом оптической головки фольги оказалось невозможно вследствие того, что прижимные стекла при этом изгибаются и получение автоколлимационных бликов от них крайне затрудняется.

База стереофотоаппарата устанавливается с помощью стеклянной линейки, имеющей две метки, нанесенные на расстоянии $B=237$ мм друг от друга. Прижимные стекла устанавливаются таким образом, чтобы имеющиеся на них юстировочные метки образовали прямую линию, определяющую направление базы стереофотоаппарата. Перемещение стекол осуществляется с помощью юстировочных винтов, находящихся в накладных рамках, одеваемых на оптическую головку (рис. 3).

Допустимая ошибка в установке базы составляет 0,068 мм, а допустимое отклонение юстировочных меток от прямой не должно превышать 0,005 мм. Чтобы обеспечить такую точность, метки на стеклянную линейку были нанесены в виде двойных крестов с промежуточным расстоянием, равным ширине крестов на прижимных стеклах.

Величина базы зависит от температуры окружающей среды. Коэффициент термического расширения дюралюминия, из которого изготовлена оптическая головка, равняется $0,24 \cdot 10^{-4}$ градус⁻¹. Таким образом, допустимая разница между температурой, при которой производилась юстировка, и эксплуатационной температурой оптической головки не должна превышать $\Delta t = \Delta B/B_0 = 12^\circ \text{C}$. При больших температурных разрывах следует вносить соответствующие поправки.

Наведение объективов стереофотоаппарата на среднюю плоскость фотографируемого объема производится с помощью коллимационной трубы, наведенной на бесконечность, и специальной корригирующей плоскопараллельной пластины, установленной между объективом и прижимным стеклом. Толщина корригирующей пластины, как уже отмечалось в работе /2/, выбирается с таким расчетом, чтобы резкое изображение коллиматорного креста на поверхности прижимного стекла соответствовало наведению объектива на среднюю плоскость рабочего объема камеры. Резкости изображения коллиматорного креста добиваются путем прокладывания фольги между посадочным фланцем объектива и телом оптической головки.

Точность наведения объективов зависит от правильности установки коллиматора, а также от глубины резкости объектива. Из-за большого фокусного расстояния коллиматора неточность установки его не сказывается заметным образом на результатах наведения.

Значительно большую роль при этом играет конечная глубина резкости объектива. Возможное отклонение плоскости наведения, обусловленное этой причиной, от ее оптимального положения может составлять заметную величину. Используя микроскоп с пятидесятикратным увеличением, можно заметить расширение изображения коллиматорного креста на величину $\delta = 0,002$ мм. Этому соответствует неточность положения изображения

$$\Delta l \approx 2A\delta. \quad (1)$$

Так как у объектива P-29 наибольшее значение диафрагмы равняется 8, то $\Delta l = 0,032$ мм. Соответствующая погрешность в определении расстояния фотографирования составляет $\Delta l' = \Delta l/\beta^2 = 3$ мм. Уменьшения этой ошибки можно достичь, наблюдая параллакс между изображением коллиматорного креста и реперной точки.

Юстировка визирных линий по реперным точкам иллюстрируется рис. 4. Коллиматор и автоколлимационная труба устанавливаются на общей визирной линии. С помощью винтов S_1 или S_2 оптическую головку поворачивают так, чтобы прижимное стекло стало перпендикулярным визирной линии автоколлимационной трубы. После установки корригирующего стекла изображение коллиматорного креста на поверхности прижимного стекла будет резким. Дальнейшее совмещение этого изображения с реперной точкой

осуществляется параллельным перемещением объектива, которое можно выполнять с помощью юстировочных винтов. Точность достигнутой юстировки проверяется микроскопом с пятидесятикратным увеличением.

Проверка параллельности оптических осей визирным линиям необходима вследствие того, что у объектива Р-29 расстояние между входным и выходным лучами составляет относительно большую величину ($\delta = 37$ мм). Коллиматор и автоколлимационная труба, как и ранее, устанавливаются вдоль общей визирной линии. С помощью винтов S_1 и S_2 ось вращения юстировочной установки выставляется параллельно общей визирной линии, при этом прижимное стекло располагается перпендикулярно к ней. Точность установки стекла контролируется по величине смещения автоколлимационного блика, полученного от прижимного стекла, при вращении коробчатой рамы юстировочной установки. Затем оптическая головка передвигается винтами В (рис. 4) до совпадения реперной точки с осью вращения. Точность совпадения проверяется с помощью микроскопа, снабженного окулярным крестом. Если перпендикулярность прижимного стекла общей визирной линии при передвижении оптической головки оказывается нарушенной, то весь процесс повторяется сначала до тех пор, пока визирная линия оптической головки в пространстве изображения не совпадет с осью вращения.

Если оптическая ось объектива имеет отклонение от визирной линии, то при повороте головки передняя узловая точка описывает окружность радиуса σ около оси вращения. Радиус этой окружности можно измерить с помощью микроскопа с окулярным микрометром, как показано на рис. 5. В соответствии с нашим требованием величина σ должна быть менее $\Delta B/2 = 0,03$ мм. Если это условие не выполняется, то положение объектива исправляется дополнительным введением соответствующих прокладок, после чего процесс юстировки визирных линий повторяется вновь.

Точное определение фокусных расстояний стереофотоаппарата необходимо в связи с тем, что их величины входят в формулы пространственного восстановления событий^{14/}

$$X = \frac{Bx}{p}; \quad Y = \frac{By}{p}; \quad Z + a' = \frac{Bb'}{p}, \quad (2)$$

где X, Y, Z - координаты точки в камере; x, y - координаты, измеренные на пленке; B - стереобаза; b' - фокусное расстояние стереофотоаппарата и p - параллакс.

Вполне естественно, что точность знания величины фокусного расстояния b' должна быть не хуже точности, с которой определяется стереобаза фотоаппарата B и параллакс p , т.е. $\Delta b' = b' \Delta B/B = 0,022$ мм. Указанную точность измерения можно получить с помощью хорошего гониометра. Так как таким гониометром мы не располагали, был выбран другой метод, основанный на измерении увеличения. Хотя достижимая точность при этом оказывается несколько меньшей, тем не менее она вполне

достаточна для наших целей. Совпадение лучков с узловыми точками в пределах достижимой точности существенно упрощает схему измерения (рис. 6). Непосредственно измеряются только величины X, x и L . Фокусное расстояние b' определяется из соотношения

$$b' = \frac{L'x}{X+x}, \quad (3)$$

где $L' = L - \delta - d(1 - \frac{1}{n})$ - соответствует сумме эквивалентных слоев воздуха в пространствах предмета и изображения; δ - расстояние между узловыми точками, известное из данных объектива; d - толщина и n - показатель преломления прижимного стекла.

Предметом изображения служит координатная сетка с шагом $X = (20 \pm 0,02)$ мм, нанесенная на стеклянную пластину. Изображение ее на прижимном стекле измеряется с помощью микроскопа с окулярным микрометром. Координатная сетка и прижимное стекло устанавливаются при этом строго параллельно друг другу. Расстояние L измеряется по масштабной линейке, имеющейся на оптической скамье. Путем повторного измерения легко обеспечивается точность измерений до нескольких сотых долей миллиметра.

В результате для двух объективов Р-29, входящих в оптическую головку, были найдены следующие значения фокусных расстояний:

$$b'_1 = (76,87 \pm 0,08) \text{ мм}$$

$$b'_2 = (76,83 \pm 0,08) \text{ мм.}$$

Таким образом, точность измерения фокусного расстояния стереофотоаппарата составляет $\approx 0,1\%$. Это означает, что погрешность в определении Z -координаты равняется приблизительно 1 мм. Используя более точную координатную сетку, можно уменьшить эту погрешность примерно вдвое.

Л и т е р а т у р а

1. Т.Д. Блохинцева, А.Т. Васяненко, В.Г. Гребинник, В.А. Жуков, Г. Либман, Л.Л. Неменов, Г.И. Селиванов, Юань Жуя-фан. ПТЭ, № 5, 51 (1982).
2. Е.М. Андреев, Г. Либман, Г.И. Селиванов. Препринт ОИЯИ 2728, Дубна 1988.
3. Э.В. Козубский. Методика юстировки стереоскопического фотоаппарата пузырьковой камеры. Отчет ОИЯИ Б2-1183 (1982).
4. Ван Гай-чан, Ван Цу-цзэн, Дин Да-пао, Е.Н. Кладницкая, М.И. Соловьев. Материалы совещания по камерам Вильсона, диффузионным и пузырьковым камерам, выпуск IV. Препринт ОИЯИ, Дубна 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 апреля 1988 г.

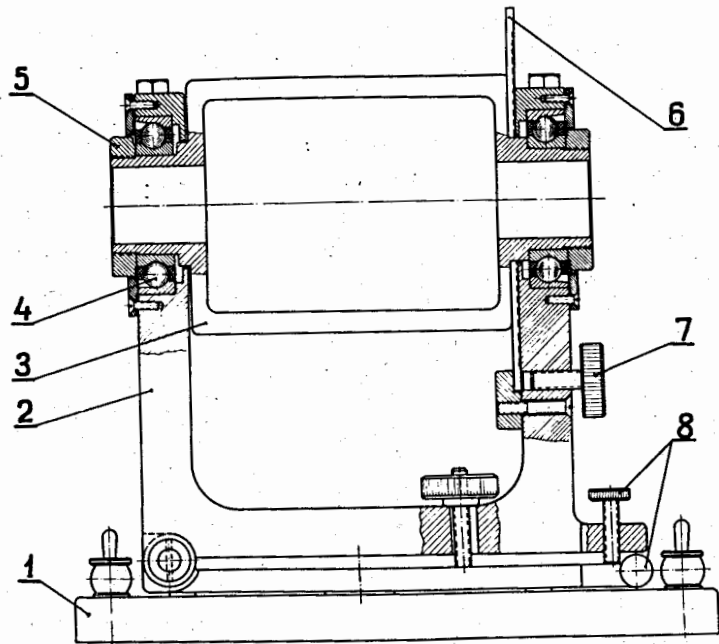


Рис. 1. Юстировочная установка: 1 - основание; 2 - корпус; 3 - рама; 4 - шарикоподшипник; 5 - гайка; 6 - угловая шкала; 7 - фиксирующий винт; 8 - винты для выверки оси вращения.

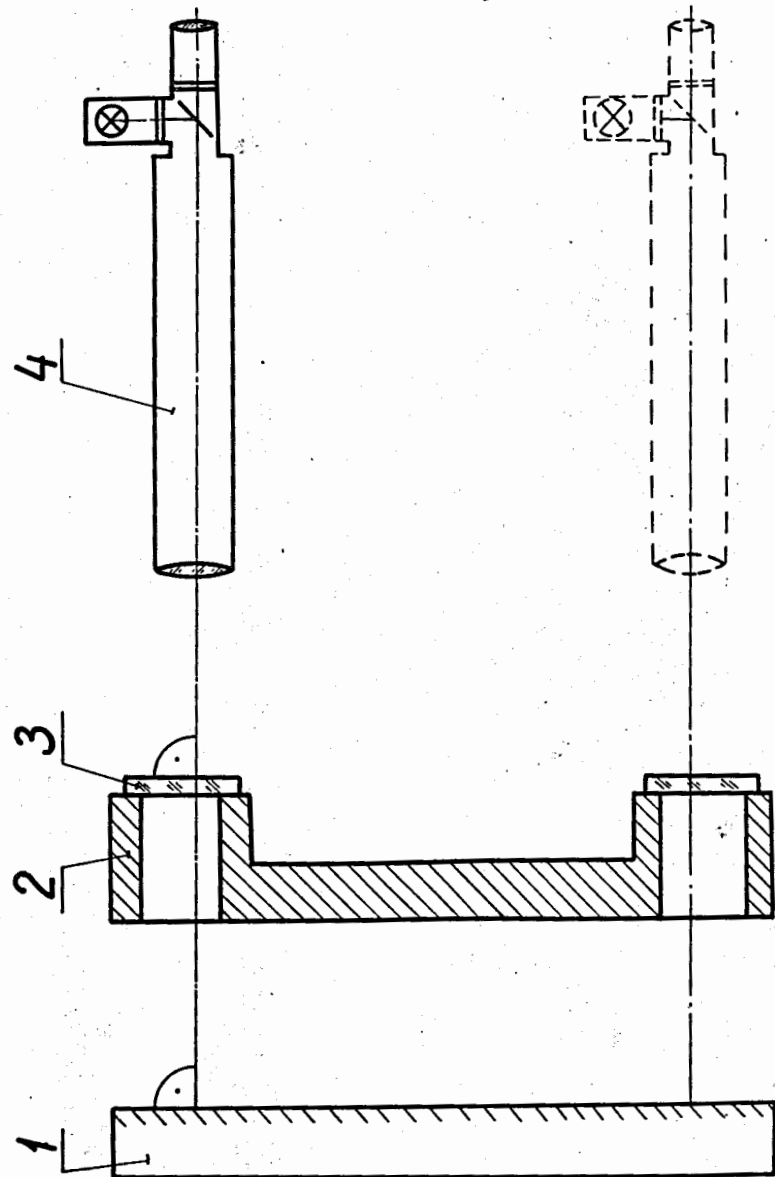


Рис. 2. Проверка параллельности прижимных стекол: 1 - зеркало; 2 - оптическая головка; 3 - прижимное стекло; 4 - автоколлимационная труба.

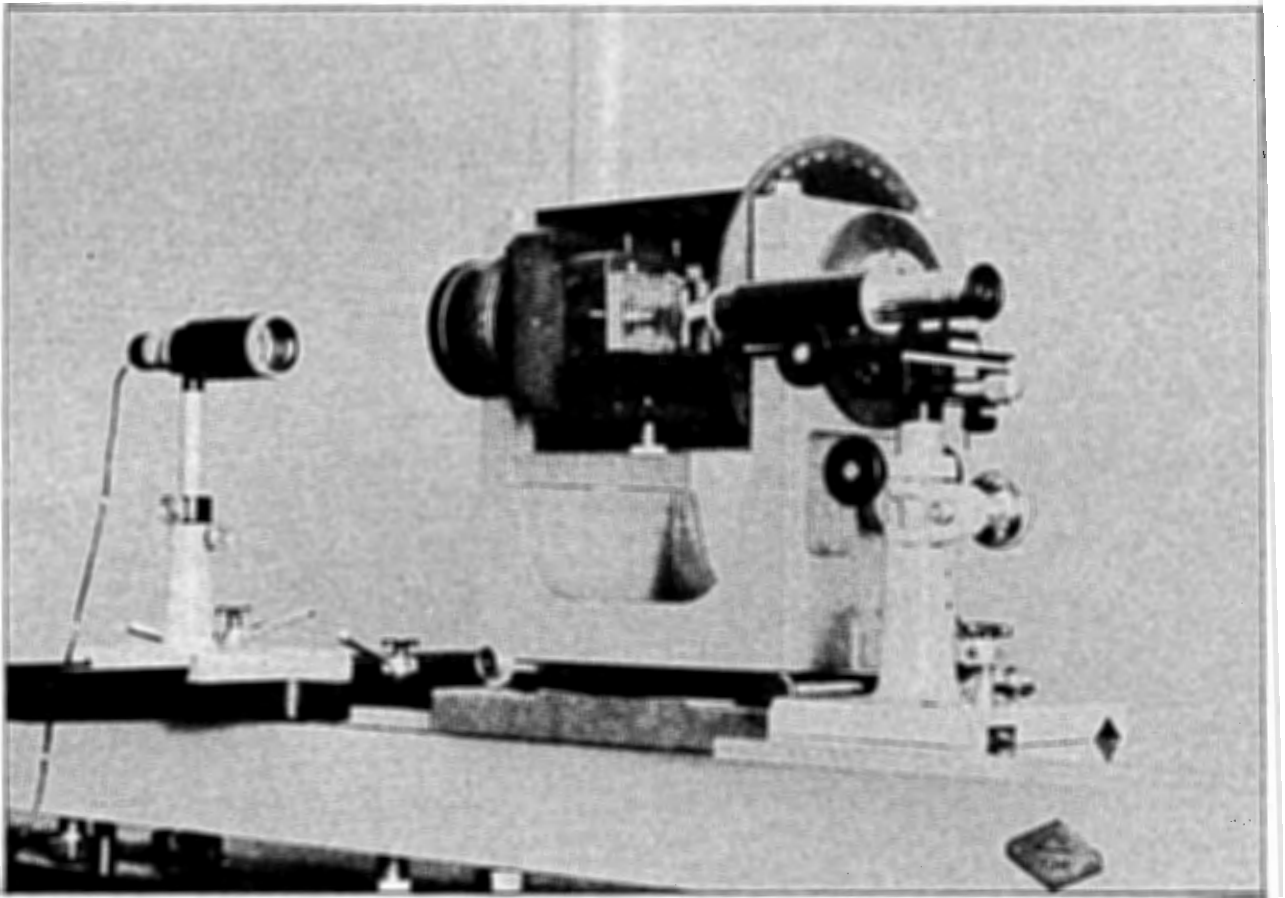


Рис. 3. Установка базы стереофотоаппарата.

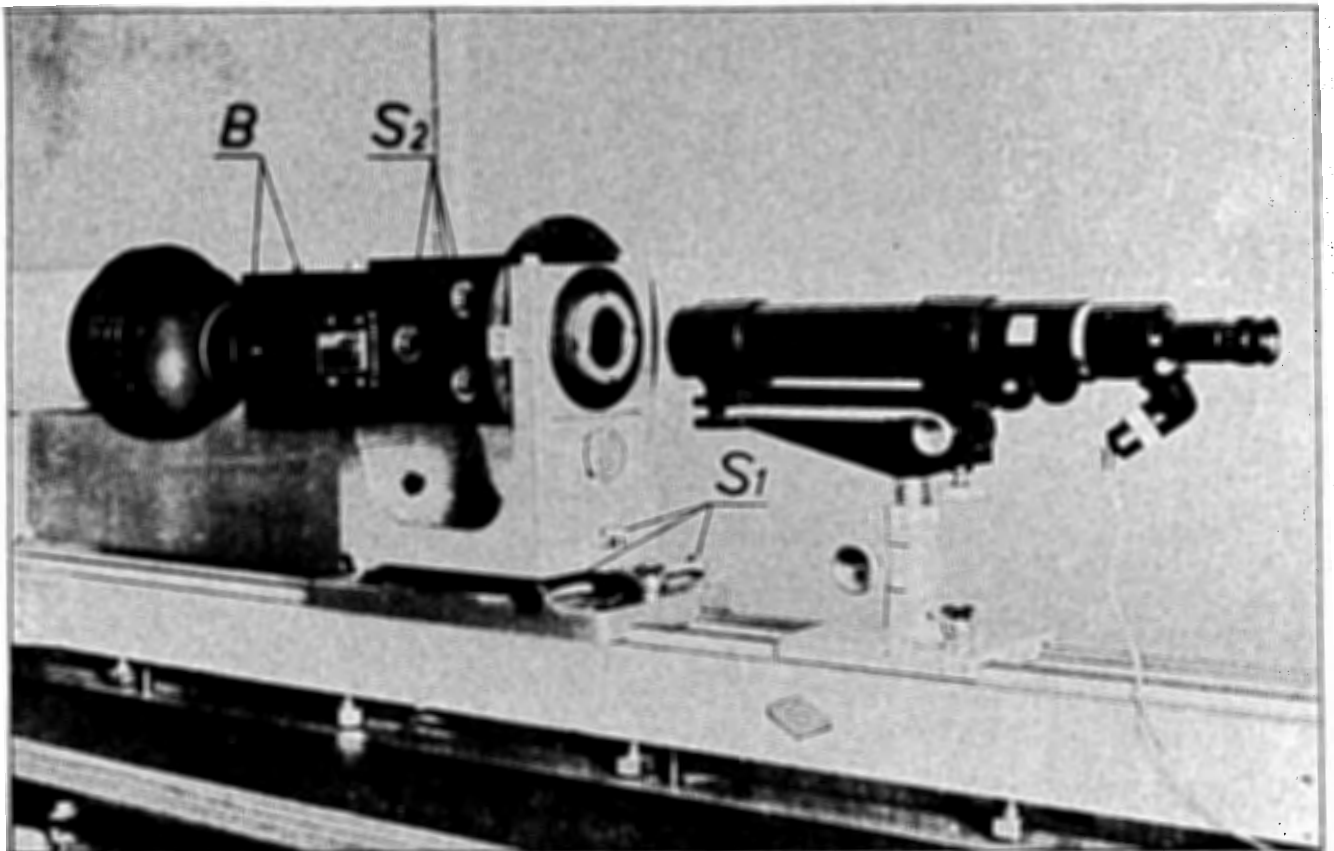


Рис. 4. Юстировка визирных линий.

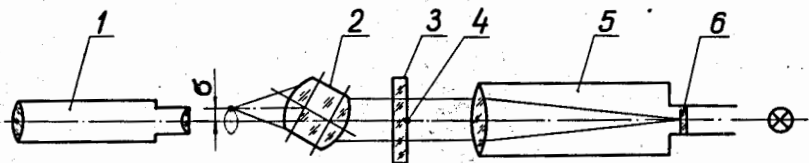


Рис. 5. Проверка параллельности оптической оси визирной линии:
 1 - микроскоп; 2 - объектив Р-29; 3 - прижимное стекло;
 4 - реперная точка; 5 - автоколлимационная труба; 6 - светящийся крест.

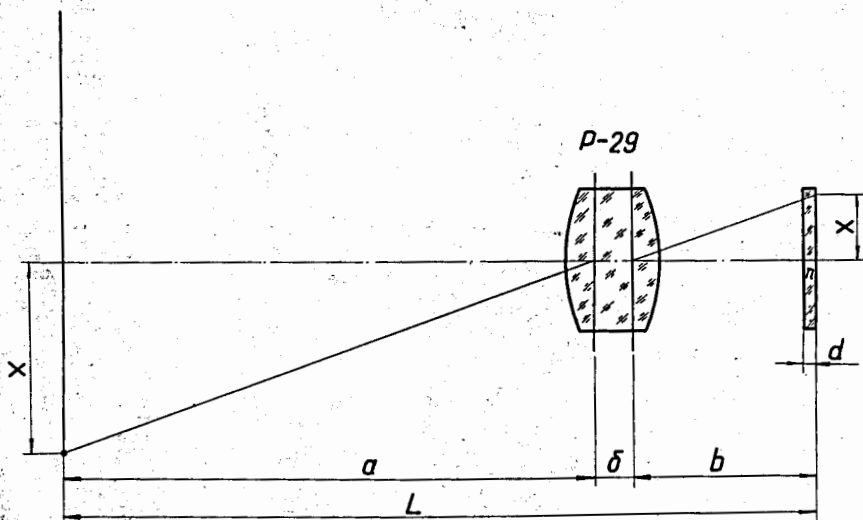


Рис. 6. Схема измерения фокусного расстояния стереофотоаппарата.