

Г-52L

7/20

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3633



В.В.Глаголев, А.А.Гулюгин , Э.В.Козубский,
Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц , М.Малы, М.М.Русинов ,
В.П.Сергеев В.Ф.Сиколенко, В.В.Хваловский

СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ
И ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА
МЕТРОВОЙ ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

ЛИБРАРИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

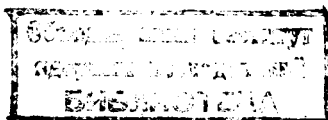
1967.

5577/2 y.

В.В.Глаголев, А.А.Гулюгин^{х)}, Э.В.Козубский,
Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц^{х)}, М.Малы, М.М.Русинов^{х)},
В.П.Сергеев В.Ф.Сиколенко, В.В.Хваловский^{х)}

СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ
И ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА
МЕТРОВОЙ ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

х) Ленинградский институт точной механики и оптики (ЛИТМО).



В в е д е н и е

Аппаратура фотографирования и освещения современной большой пузырьковой камеры представляет собой сложный комплекс устройств, включающих системы оптики, точной механики, электротехники, а также элементы, обеспечивающие управление, синхронизацию и технику безопасности.

Технические требования к конструкции аппаратуры вытекают из условия обеспечения высокой точности восстановления по снимкам пространственной картины регистрируемых событий и надежности работы в течение сеансов облучения камеры в пучке ускорителя с получением серий стереоснимков по 100 000 в каждом сеансе облучения.

Обеспечение высокой точности восстановления координат достигается применением оптических систем, специально рассчитанных с условием возможно лучшего исправления возникающих при съемке геометрических искажений и получения удовлетворительного качества изображения.

С целью обеспечения безопасности эксплуатации конструкция аппаратуры выполняется герметичной. В местах возможного искрообразования (электроконтакты, электровводы, фотопленка и др.) аппаратура продувается газообразным азотом под давлением 15–25 мм водяного столба.

Для фоторегистрирующей аппаратуры пузырьковой камеры является также важной надежная маркировка кадров фотопленки с целью поиска стереопар снимков и фиксации на пленке условий эксперимента.

Указанные выше требования выполнены при создании аппаратуры стереофотографирования и освещения пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ^{1/1}. Схема оптики этой камеры описана в работах^{2,3/}. Здесь приводится описание фоторегистрирующей аппаратуры, ее конструкции и некоторых вопросов технологии изготовления.

Аппаратура освещения

Общий вид стереофотограмметрической установки представлен на рис. 1. Оптическая схема освещения изображена на рис. 2.

Конструкция осветителя

Линзы конденсоров и лампы осветителя размещены в одном общем блоке (рис. 3), укрепленном на базовой плите фотограмметрических камер (рис. 4). Каждая импульсная лампа освещает 1/3 объема камеры. В блоке осветителя, вблизи импульсных ламп размещены три фотодиода (ФД) для контроля работы системы освещения. Смена импульсных ламп производится при открытой крышке блока осветителя (рис. 5). Импульсные лампы устанавливаются в зажимы крепления (рис. 5). Предусмотрена возможность юстировки ламп относительно оправы крепления, которая неподвижно устанавливается в гнездо корпуса осветителя, обеспечивая правильное положение лампы относительно конденсора С-04 (рис. 2).

Схема управления и контроля работой импульсных ламп

Управление и контроль за работой импульсных ламп осуществляются согласно функциональной схеме (рис. 6) посредством электронного программного устройства пузырьковой водородной камеры ЭПУ-4^{4/}.

Запуск импульсных ламп производится либо импульсом с системы контроля прохождения пучковых частиц, либо от внутреннего генератора РП (рис. 6). Импульс запуска поступает на ячейки (ФУ), формирующие импульсы поджига ламп, через два последовательно соединенных блока временных задержек БВЗ-4 и БВЗ-7 (8,9). Три блока временных задержек БВЗ-7, БВЗ-8 и БВЗ-9 дают возможность осуществления последовательного срабатывания импульсных ламп для фотографирования одного и того же следа в разные моменты времени по участкам.

Импульсные трансформаторы преобразуют управляющий импульс поджига в высоковольтный видеоимпульс. В коаксиальном кабеле, которым соединены лампы с трансформаторами, возбуждаются колебания. Частота этих колебаний определяется фазовой скоростью распространения электромагнитной волны в кабеле данного типа.

Таким образом, в кабеле формируется радиоимпульс, который и осуществляет поджиг импульсных ламп. Экспериментально определенный разброс по времени во вспышках всех трех импульсных ламп оказался $\sim 10-20$ мксек (для новых ламп). По мере старения ламп величина разброса во вспышках возрастает. Когда величина этого разброса достигает 200 мксек, производится смена ламп.

Срабатывание импульсных ламп индицируется фотодиодами. Импульсы с фотодиодов поступают на логические схемы "НЕТ" и "ИЛИ". В случае отказа импульсных ламп схема "НЕТ" вырабатывает световой и звуковой сигналы неисправности. При нормальном срабатывании импульсных ламп схема "ИЛИ" запускает устройства экспонирования служебных знаков (УССЗ) и знаков ориентации (УСЗ0), а по завершении впечатывания их логическая схема "И" формирует сигнал запуска лентопротяжных механизмов фотоаппарата.

Режим работы импульсных ламп

Питание импульсных ламп ИФК-50 при напряжении 170-200 вольт и емкости 600-900 мкф обеспечивает энергию вспышки 12-18 дж, достаточную для экспонирования на пленку тип 10. Задержка света на время роста пузырьков (БВЗ-4) варьируется от 1 до 4 мсек. Из временной развертки вспышки импульсной лампы ИФК-50, представленной на рис.7, видно, что минимальная экспозиция с этой лампой при разряде емкости 400 мкф составляет величину порядка 0,5 мсек.

Блики

В системе освещения описываемой камеры имеют место блики^{/5/}. Применение широкого базиса стереоскопического фотографирования^{/8/} позволило сдвинуть блики на край фотографируемой области камеры, но не устранило их полностью. Наибольшей интенсивностью обладают два главных блика: блик первого порядка, обусловленный отражением света от главного стекла-иллюминатора, и

блик третьего порядка, обусловленный последовательными отражениями света от растра, главного стекла и вновь растра. Этот блик третьего порядка по интенсивности близок к блику первого порядка вследствие большого коэффициента отражения растра.

Схемы хода лучей, приводящих к образованию указанных главных бликов, даны в двух взаимноперпендикулярных проекциях на рис. 8 и 9. Для упрощения этих рисунков толщины сред в камере редуцированы к воздуху, стекло-иллюминатор представлено одной линией, а базисные расстояния и размеры элементов растра увеличены. В сечении, параллельном ребру призматического элемента между его коническими гранями, растр работает подобно сферическому зеркалу. По этой причине растр на рис. 8 представлен сферой.

Блик первого порядка образуется благодаря отражениям света в точках A_1 и A_2 (рис. 8 и 9). Блик третьего порядка образуется благодаря отражениям света в точках $A_2B_2A_2B_2$ (для объектива O_1) и в точках $A_1B_1A_1B_1$ (для объектива O_2) (рис. 8). Точки B_1 и B_2 - это местоположение бликов в проекции на поверхность растра, причем для объектива O_1 в точке B_1 - блик первого порядка, а в точке B_2 - блик третьего порядка; для объектива O_2 положение бликов обратное.

С увеличением базисного расстояния O_1O_2 увеличивается и расстояние между B_1 и B_2 и, соответственно, между точками A_1 и A_2 , т.е. блики сдвигаются на край фотографируемой области ^{1/8}.

В сечении (рис. 9) блик третьего порядка строится лучами S_0 а б в г $A_1(2)$ д е ж и $L_1(2)$ $O_1(2)$. Местоположение бликов в проекции на поверхность растра для данного сечения - это точки "д" и "и", при этом в точке "д" - блик первого порядка, а в точке "и" - блик третьего порядка. Местоположения бликов в сечении рис. 9 для разных объективов - разные; пространственное разделение точек "д" и "и" обусловлено сдвигом хода лучей при отражениях внутри призматических элементов. Величина это сдвига зависит от ширины элементов растра.

Ослабление яркости блика третьего порядка определяется отражением света от стекла-иллюминатора и вторым отражением света от растра (при первом отражении света от растра имеет место полное внутреннее отражение). Геометрические условия для попадания света от источника после последовательных отражений от растра, стекла-иллюминатора и вновь растра в объектив фотокамеры

такие же, как и для мнимых изображений пузырьков в растре, т.е. френелевский множитель ослабления блика третьего порядка для описываемой камеры равен примерно четырем^{3/}. Таким образом, блик третьего порядка по яркости всего лишь в четыре раза слабее блика первого порядка.

Для ослабления главных бликов были применены маски, расположенные в плоскости полевой диафрагмы С-05 (см.рис. 3 в^{2,3/}). Эти маски практически полностью экранируют главные блики и лишь частично - блики высших порядков. Полная экранировка всех бликов таким способом нецелесообразна, так как привела бы к образованию мертвых зон в освещаемом объеме. Эффективность экранировки главных бликов обусловлена устранением ореола вокруг блика, площадь которого примерно в три раза больше, чем площадь, занимаемая самим бликом.

Схема расположения бликов в плане представлена на рис. 10, а на рис. 28 приведены все четыре стереоснимка метровой пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ.

Юстировка растра

Правильное положение всех призм растра в рабочем положении таково, что каждая призма фокусирует свет и коллектив С-06 и соблюдено равенство углов между образующими конических граней и плоскостью, проходящей через центр коллектива и ребро призмы с точностью $\pm 5'$. Указанная точная установка призм достигалась в процессе юстировки растра на стенде.

Все призмы растра установлены на общей плите с возможностью независимой регулировки положения каждой призмы посредством покачивания относительно параллельной ее ребру оси.

Юстировка положения каждой призмы растра производилась по блику от ее тороидальной поверхности и изображению ребра между ее коническими гранями, которые наблюдались в окуляре. Крепление этого окуляра на стенде допускало его вращение относительно оси, проходящей параллельно призмам и через центр кривизны растра, приведенной к воздуху ($R = 1896$ мм). Подсветка растра осуществлялась миниатюрной электрической лампочкой (Э-34), установленной перед окуляром на его оси вблизи центра кривизны растра. При совмещении блика от тороидальной поверхности и изображения ребра призмы достигалось правильное положение элемента растра, которое и фиксировалось.

Описанная упрощенная методика юстировки растра применима при условии достаточно точного изготовления призм, что и имело место в нашем случае ^{/2,3/}.

Стереофотограмметрическая установка

Стереоскопическое фотографирование следов заряженных частиц в объеме метровой пузырьковой камеры ЛВЭ производится стереофотограмметрической установкой, которая состоит из следующих основных узлов: базисной плиты (рис. 4), четырех фотограмметрических камер (рис. 14 и 13), двух лентопротяжных механизмов (рис. 16, 17 и 18) с кассетами (рис. 19 и 20). Схема фотографирования одной фотокамерой представлена на рис. 11, а характеристики съемочного объектива "Руссар-Плазмат Т2х" - на рис. 12.

Фотограмметрические камеры выполнены в виде отдельных блоков, состоящих из объектива, корпуса и выравнивающего стекла с реперными крестами внутреннего ориентирования, награвированными на его внешней поверхности. Корпус камеры имеет две посадочные поверхности (плоскую и цилиндрическую) для фиксации камер на базисной плите в заданной взаимной ориентации. Базисная плита имеет четыре отверстия под фотокамеры с ответными посадочными поверхностями, при этом плоская посадочная поверхность плиты - общая. Плоские посадочные поверхности камер параллельны поверхностям выравнивающих стекол. Главный реперный крест центрирован относительно цилиндрической посадочной поверхности корпуса камеры, а объектив - относительно этого креста. Таким образом, плоские посадочные поверхности плиты и камер определяют положение камер по высоте и главным направлениям фотографирования, а цилиндрические - базы стереосъемки.

Юстировка, исследование и аттестация фотокамер были произведены в ЛИТМО по специальной методике, обеспечивающей определение фотограмметрических параметров оптических систем, предназначенных для стереосъемки объектов на конечном расстоянии и расположенных как в воздухе, так и в жидкой среде ^{/7,8/}. Эти экспериментально определенные фотограмметрические параметры суть: координаты главной точки снимка, фокусное расстояние фотокамеры и ее фотограмметрическая дисторсия для всех рабочих полевых зон. Съемочные

фотокамеры устанавливались на базисной плите так, чтобы их входные зрочки были расположены в одной плоскости, параллельной посадочной плоскости базовой плиты. Выведение зрочков в одну плоскость достигалось за счёт применения плоскопараллельных шайб, высота которых определялась по результатам исследования фотокамер. Далее, за счёт вращения вокруг осей фотографирования камеры ориентировались по направлению баз стереосъемки.

После фиксации камер на базисной плите производился замер координат реперных крестов внутреннего ориентирования всех четырех камер с единой установки на координатно-расточном станке типа 2540. Результаты этих измерений приведены в таблице 1.

Стереофотограмметрическая установка в собранном виде крепится на крышке вакуумного кожуха пузырьковой камеры на трех регулируемых по высоте опорах. Сопряжение опор и плиты реализовано по схеме сфера-конус, сфера-призма и сфера-плоскость. На плите имеется площадка под уровень, параллельная плоскостям выравнивающих стекол фотокамер.

Схема расположения реперных крестов на выравнивающих стеклах фотокамер показана на рис. 11. У центрального реперного креста выгравирован номер фотокамеры. Все реперные кресты находятся вне поля кадра. Для подсветки реперных крестов фотокамер используется свет от импульсных ламп, который направляется к крестам призмой С-18 и световодами С-17 (рис. 2).

Лентопротяжные механизмы

Фотографирование объема пузырьковой камеры производится на две перфорированные пленки шириной 80 мм. На каждую пленку впечатываются два кадра с изображением объема камеры и один дополнительный кадр со служебной информацией. Часть служебной информации с маркировочного шита впечатывается на обе пленки для установления взаимного соответствия между кадрами на обеих пленках. Расположение кадров на пленке представлено на рис. 15. При подобном расположении кадров величина протяжки остается всегда одинаковой, а именно - 304 мм.

Оба лентопротяжных механизма совместно с узлами кассет подобны друг другу. На рис. 16 показана установка с откинутыми крышками лентопротяжного механизма и приемной кассеты, на рис. 17 – лентопротяжный механизм сзади и на рис. 18 – кинематическая схема лентопротяжного механизма.

Емкость кассет – 300 метров, что позволяет получить 1000 кадров без перезарядки. В кассетах использованы световые замки на входе пленки в виде двух роликов в цилиндрических пазах (рис. 19 и 20), которые обеспечивают надежную светоизоляцию и весьма удобны в работе.

Привод лентопротяжных механизмов осуществлен от электродвигателей, для защиты которых от рассеянного магнитного поля величиной до 1000 эрстед использованы магнитные экраны.

Протягивание пленки осуществляют два зубчатых барабана и кривошипно-кулисный механизм^{/9/}, обеспечивающие плавную протяжку пленки значительной длины, а также вал приемной кассеты.

Выравнивание пленки в момент экспонирования производится столиками, которые прижимают ее к стеклам фотокамер под действием кулачков.

Предусмотрена возможность протяжки пленки с половинным шагом в 152 мм и остановкой столиков в положении, при котором они отжаты от выравнивающих стекол, для зарядки пленки.

Для фотографирования наружного маркировочного щита на каждом лентопротяжном механизме установлены объективы с затворами обтюраторного типа с приводом от собственного электродвигателя в магнитном экране.

Контроль нормальной работы лентопротяжных механизмов включает следующие световые сигналы:

- "движение пленки" от ведомого пленкой зубчатого барабана;
- "обрыв пленки";
- "работа обтюратора";
- "наличие азота".

При обрыве пленки или исчезновении избыточного давления в лентопротяжных механизмах включается звуковой сигнал. При вскрытии крышки лентопротяжного механизма или кассеты, а также разъединении кабельных разъемов происходит блокировка электропитания фотоаппарата.

Схема управления является частью электронного программного устройства ЭПУ-4^{1/4}. Она состоит из двух идентичных каналов, каждый из которых осуществляет независимое управление работой одного из лентопротяжных механизмов (рис. 21 и 22). Предусмотрены два режима работы лентопротяжных механизмов:

"съемка" - режим нормальной работы;

"зарядка пленки" - режим, при котором управление движением пленки производится вручную нажатием кнопки на пульте или лентопротяжном механизме.

Работа схемы и лентопротяжных механизмов в режиме "съемка"

Очередная протяжка пленки начинается от импульса, формируемого по сигналу от фотодиодов. С приходом запускающего импульса включается стартовое реле Р1 (Р54), которое определяет начало работы реле РВ1 (РВ2) выдержек времени для фотографирования служебных знаков и включения затвора. Окончание работы реле времени индицируется замыканием контактов 2РВ1 (2РВ2), которые совместно с контактами стартовых реле 4Р54 (4Р1) образуют логическую схему совпадений "И", предотвращающую возможность протяжки пленки во время съемки служебных знаков. После завершения съемки служебных знаков через контакты блокировок и переключатели рода работы на реле Р14 (Р17) производится включение двигателем М1 (М2). Двигатель М1 (М2) получает питание через контакты 2Р14 (2Р17). С включением двигателя одновременно приводятся в движение два зубчатых барабана 3 и 4 (рис. 18), два кулачка 19 и 18 и валик приемной кассеты. В первую четверть цикла протяжки барабан 3 вытягивает пленку из подающей кассеты и образует петлю перед рамкой маркировочного кадра 37; второй барабан 4 выбирает петлю пленки после столика 41, которая была подготовлена в предыдущем цикле протяжки кулисой 26, а подаваемая барабаном 4 пленка втягивается в приемную кассету. В это время кулиса 26 свободна от зацепления и не препятствует выборке пленки. Одновременно с этим кулачком 18 и 19 освобождают пленку от прижима. Вторую и третью четверти цикла протяжки пленка на участке столиков 40 и 41 свободна и протягивается равномерно - ускоренно благодаря включению кривошипно-кулисного механизма, который движением ролика 26, плавно повышая скорость движения пленки, выбирает пет-

лю пленки на участке после столика 41. Четвертая четверть цикла протяжки начинается с отключения кривошипно-кулисного механизма. Столики 40 и 41 под действием кулачков 18 и 19 прижимают пленку к стеклам (движение пленки на участке столиков к этому моменту прекращается); подающий барабан 3 начинает накапливать петлю пленки, освобождая ее от натяжения, а барабан 4 производит частичную выборку петли пленки после столика 41. В процессе работы двигателя размыкаются контакты кулачка 1КЛ1 (1КЛ4), разрывая цепи 69 (7) и 33 (8) соответственно, при этом обесточивается стартовое реле Р14 (Р17). Однако оно не сработает до тех пор, пока цепь 7 (8) не будет обесточена. Кулачки 1КЛ1 (1КЛ4) и 2КЛ1 (2КЛ4) кинематически связаны с барабанами 3 и 4. По завершении цикла протяжки пленки контакты кулачка 1КЛ1 (1КЛ4) возвращаются в исходное положение, цепь 7 (8) разрывается, реле Р14 (Р17) обесточивается и отключает двигатель М1 (М2). На этом цикл протяжки пленки заканчивается, и механизмы останавливаются в ожидании следующего запускающего импульса. В процессе протяжки пленки происходит трехкратное замыкание контактов кулачком 1КЛ2 (1КЛ5), которое используется для отсчета длины пленки посредством электромагнитного счетчика - три импульса счетчика соответствуют протяжке пленки на 304 мм.

Длительность цикла протяжки составила 4,3 сек.

Маркировка кадров

К маркировке кадров метровой пузырьковой водородной камеры были предъявлены следующие требования: обеспечение соответствия нумерации всех кадров, расположенных на разных пленках, но относящихся к одному стереоснимку; удобство чтения номера кадра оператором при просмотре, возможность автоматического останова и поиска кадра.

Служебная информация, впечатываемая на фотопленку (рис. 28), включает:

- 1) наименование камеры;
- 2) дату и время фотоэкспозиции;
- 3) номера опыта, пленки и снимка (стереокадра) в восьмеричной системе счисления;
- 4) номер фотокамеры (объектива) в цифровом изображении;
- 5) номер снимка в двоично-позиционном коде;

- 6) номер фотокамеры в двоично-позиционном коде;
- 7) стоп-марки;
- 8) температуру и давление в камере;
- 9) прочую информацию, записываемую мелом на доске маркировочного шита.

Служебная информация по пунктам 1,2 и 3 впе­чатывается на обе пленки с маркировочного шита; информация по п.4 впе­чатывается контактным способом с прижимных столиков; информация по п.5,6, и 7 впе­чатывается у каждого кадра посредством контактной печати; информация по п.8 и 9 впе­чатывается с марки­ровочного шита в дополнительный кадр одной из пленок.

Соответствие нумерации расположенных на разных пленках кадров одного и того же стереоснимка достигнуто благодаря одновременному фотографированию показания одного счётчика на обе пленки. В случае сбоя или отказа счётчика кадров последовательность и взаимное соответствие снимков могут быть восста­новлены по показаниям часов, которые также регистрируются на обеих фото­пленках.

С целью облегчения поиска кадра операторам и обеспечения возможности автоматического поиска применены две формы записи нумерации: цифровая и двоично-позиционная. Взаимное соответствие этих двух форм записи номера кадра обес­печивается последовательным соединением электрических лампочек цифрового и двоично-позиционного табло.

Для нумерации кадров использована восьмеричная система счисления из соображений простоты перевода восьмеричного номера в двоичный. Емкость нуме­рации кадров – 6 восьмеричных разрядов, нумерации пленок – 3 восьмеричных разряда и нумерации облучений или опытов – 2 разряда. Нумерация облучений или опытов как бы увеличивает емкость счётчика кадров, а нумерация пленок удобна для сортировки кадров по группам хранения.

Впечатывание на плёнку подробной информации об условиях получения сним­ков сокращает потребность в журнальных записях и облегчает установление со­ответствия между снимками и журнальными записями.

Конструкция счётчика

На рис. 23 представлен восьмеричный трехразрядный электромеханический счётчик-коммутатор с приводом от электромотора МС-160. Этот счётчик был применен в системе маркировки кадров описываемой камеры. С приходом стар-

тового импульса на электромотор в счётчике происходит смена единицы младшего разряда, и счётчик останавливается в ожидании очередного стартового импульса. В счётчике имеются три программирующих барабана, связанных между собой механически с передачей 1/8. На поверхности этих барабанов имеются выступы, которые производят коммутацию концевых выключателей по системе 1-2-4. Старший барабан счётчика при переходе с цифры 7 на 0 вырабатывает стартовый импульс для запуска следующего трехразрядного счётчика. Программирующие барабаны посредством концевых выключателей производят коммутацию реле в цифросинтезирующих элементах, которые, в свою очередь, коммутируют электрические лампочки световых табло номера кадра: цифрового и двоично-позиционного.

Цифросинтезирующий элемент

Каждому разряду счётчика-коммутатора - барабану счётчика - поставлен в соответствие один цифросинтезирующий элемент, общий вид которого представлен на рис. 24, а схема * на рис. 25. Реле P1, P2 и P4, переключаемые счётчиком-коммутатором через концевые выключатели по системе 1-2-4, коммутируют лампочки в цифровом и двоично-позиционном табло так, что цепь цифросинтезирующего элемента из лампочек цифрового табло, двоично-позиционного табло и выравнивающих резисторов разбивается на восемь подцепей равного сопротивления. Лампочки двоично-позиционных табло шунтированы специальным реле, включением которого и определяется экспозиция впечатывания двоичного номера и стоп-марок.

Жалюзи в органическом стекле

Освещение двоичного номера и стоп-марок при контактной печати осуществлено от ламп посредством световодов (рис. 26). Световоды выполнены в виде жалюзи в органическом стекле, которые изготовлены путем склейки в единый блок пластинок из органического стекла с прокладками из черной шелковой ткани. Склейка произведена раствором метилметакрилата в дихлорэтаноле с добавлением черной типографской краски. Склеенный таким образом моноблок оказался достаточно прочным, чтобы выдержать последующую механическую обработку.

Нанесение реперных крестов внешнего ориентирования

Реперные кресты внешнего ориентирования были нанесены на нижнюю поверхность главного стекла-иллюминатора камеры посредством струи карбида бора /10/. Для защиты стекла были использованы металлические маски (рис. 27) с шириной прорезей в 50, 100, 150 и 200 микрон. Заданное расположение крестов на стекле обеспечивалось плитой-кондуктором из органического стекла с отверстиями под маски. Маски хорошо прилегали к стеклу, попадание карбида бора под маски не было отмечено, и выгравированные кресты имели четкие края. Ширина гравировки креста соответствует ширине прорези в маске. После гравировки крестов на стекле производился замер их взаимного положения на координатно-расточном станке.

Визуальное наблюдение

Для визуального наблюдения рабочего объема пузырьковой камеры в комплект аппаратуры введена зрительная труба. Эта труба дает возможность наблюдения полного объема камеры с увеличением 0,8 х. Наблюдение за объемом камеры возможно как при импульсном свете, так и при освещении камеры лампами накаливания. В трубу хорошо видны следы заряженных частиц при постоянном освещении, что дает дополнительный контроль режима в камере.

Основные характеристики аппаратуры

Съемочный объектив

Руссар-Плазмат Т2к (фокусное расстояние 150 мм, угол поля зрения $2\beta = 60^\circ$, наибольшее относительное отверстие 1:8,8).

Число фотограмметрических камер - четыре.

Стереоскопические базы - 500 и 310 мм.

Масштаб фотографирования - передний план 0,118 х, плоскость наводки 0,106 х, задний план 0,096 х.

Фотопленка - две ленты, перфорированные, шириной 80 мм. Число снимков в одном стереокадре - четыре. Размер кадра - 106 х 50 мм. Размер служебного кадра 25 х 50 мм.

Длина протягиваемой пленки за один цикл - 304 мм, продолжительность цикла протяжки пленки - 4,3 сек. Емкость кассет - 300 метров - 1000 кадров. Напряжение питания - 27 вольт.

Источник света - три импульсных лампы - ИФК-50.

Энергия вспышки - 12-18 джоулей на каждой лампе.

Увеличение конденсаторов - 6х.

Габаритные размеры установки - 836 x 665 x 1040 мм .

Вес установки - 175,5 кг .

Номер пленки - три восьмеричных разряда.

Номер облучения - два восьмеричных разряда.

Номер кадра - шесть восьмеричных разрядов и восемнадцать двоичных.

Время получения кадра - часы и минуты.

З а к л ю ч е н и е

Аппаратура для стереофотографирования и освещения метровой пузырьковой водородной камеры была разработана и изготовлена в ЛИТМО по техническому заданию и при участии ЛВЭ ОИЯИ. Юстировка, наладка и аттестация аппаратуры проводились в ЛИТМО и ЛВЭ ОИЯИ. В процессе наладки аппаратуры в ЛВЭ ОИЯИ были модернизированы ее некоторые узлы.

Испытания в рабочих условиях показали, что аппаратура обеспечивает требуемую точность, надежность и удобство в эксплуатации.

Примечание

В процессе создания стереофотограмметрической и осветительной аппаратуры нам была оказана различного рода помощь от многих организаций и отдельных лиц. Приятно выразить им всем нашу большую благодарность.

Неоценима помощь сотрудников ЛИТМО В.М.Богданова, Е.Л.Васильева, Л.А.Васильева, О.И.Егорочкиной, Т.В.Лукьяновой, М.А.Матвеева, В.А.Москалева, З.Н.Новгородкиной, Ю.Н.Прокофьева, Т.П.Хохловской, О.А.Храбровой, Л.К.Шейниной, Н.Д.Шербакова, Б.И.Яковлева, которые вложили много труда в разработку, изготовление, юстировку, наладку и исследование аппаратуры. Нам

весьма приятно выразить всем им нашу глубокую благодарность.

За большую помощь в наладке, испытании и модернизации аппаратуры мы очень благодарны сотрудникам ЛВЭ ОИЯИ В.Н.Алмазову, О.И.Блинову, В.А.Бычкову, В.Н.Глушенко, В.И.Клементьеву, Г.А.Королеву, Б.С.Куликову, Н.А.Курныкову, Б.К.Курятникову, Б.И.Терентьеву и Д.В.Уральскому.

За совместное обсуждение многих вопросов, касающихся аппаратуры, мы очень признательны А.Г.Зельдовичу, В.М.Горбункову, И.И. Скрылю и Е.И.Дьячкову.

За ряд ценных советов и постоянную поддержку в работе мы глубоко признательны И.В.Чувилу и Н.И.Павлову.

Л и т е р а т у р а

1. A.V.Belonogov, A.A.Belushkina, R.Vinaver, V.N.Vinogradov, V.V.Glagolev, E.I.Dyachkov, A.G.Zel'dovich, N.K.Zel'dovich, E.V.Kozubsky, R.M.Lebedev, M.Maly, N.N.Melnikova, A.M.Moiseev, I.S.Saitov, Yu.A.Turbin, E.P.Ustenko, I.V.Chuvilo and Yu.A.Shishov. Nuclear Instrum. and Methods 20, 114 (1963).
2. В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Л.Коларжик, Р.М.Лебедев, М.Малы, О.Сгон, И.Тума. Препринт ОИЯИ 13-3031, 1966 г.
3. В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Л.Коларжик, Р.М.Лебедев, М.Малы, О.Сгон, И.Тума. ПТЭ, №5, 170, 1967 г. ВИНТИ № -87 ДЕП, 42 стр. 16 рис.
4. Т.В.Беспалова, Н.Г.Борисов, В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, А.М.Моисеев, И.С.Сайтов, В.П.Сергеев, В.Ф.Сиколенко, Г.М.Сусова. Препринт ОИЯИ 13-23455, 1967 г.
5. Ю.А.Александров, Т.С.Воронов, В.М. Горбунков, Н.Б.Делоне, Ю.И.Нечаев. "Пузырьковые камеры". Госатомиздат, Москва, 1963 г.
6. Э.В.Козубский и М.Малы. Авторское свидетельство СССР № 165 075.
7. М.М.Русинов. "Фотограмметрическая оптика" Геодезиздат Москва, 1962 г.
8. Э.М.Лившиц. "О коррекции искажений стереоснимков треков" - "Вопросы физики элементарных частиц". Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1964 г.
9. А.А.Гулюгин, Э.М.Лившиц, Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 198 126.

Рукопись поступила в издательский отдел

21 декабря 1967 года.

Таблица 1

Координаты реперных крестов внутреннего ориентирования на выравнивающих стеклах фотограмметрических камер

№ креста	X	Y
1-1	+0,035±0,000	+309,979±0,001
1-2	+0,029±0,003	+379,980±0,002
1-3	-49,962±0,001	+309,976±0,003
2-1	+500,002±0,001	+310,001±0,002
2-2	+500,008±0,001	+380,008±0,002
2-3	+550,000±0,003	+309,995±0,000
3-1	0,000±0,002	0,000±0,004
3-2	+0,028±0,001	-69,984±0,004
3-3	-49,997±0,001	-0,016±0,004
4-1	+500,015±0,001	-0,002±0,003
4-2	+500,026±0,001	-69,996±0,003
4-3	+550,014±0,000	+0,008±0,004

Координаты реперных крестов - это среднее арифметическое четырех измерений, произведенных с единой установки на координатно-расточном станке.

Ошибки - средние отклонения, без учёта точности шкал станка, которая составляет 0,008 мм.

Средняя квадратичная ошибка всей серии измерений в предположении равноточности измерений по x и по y без учёта точности шкал составляет

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{E^2}{n-1}} = 0,0024 \text{ и с учётом точности шкал станка - } \sigma = 0,0085.$$

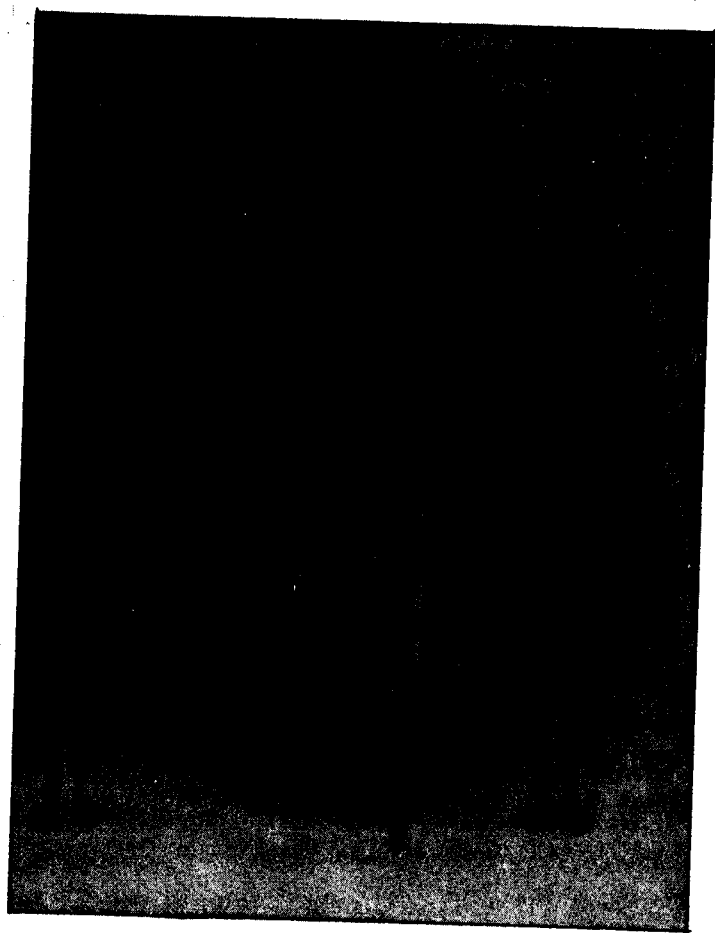


Рис. 1. Стереофотограмметрическая установка метровой водородной пузырьковой камеры (общий вид).

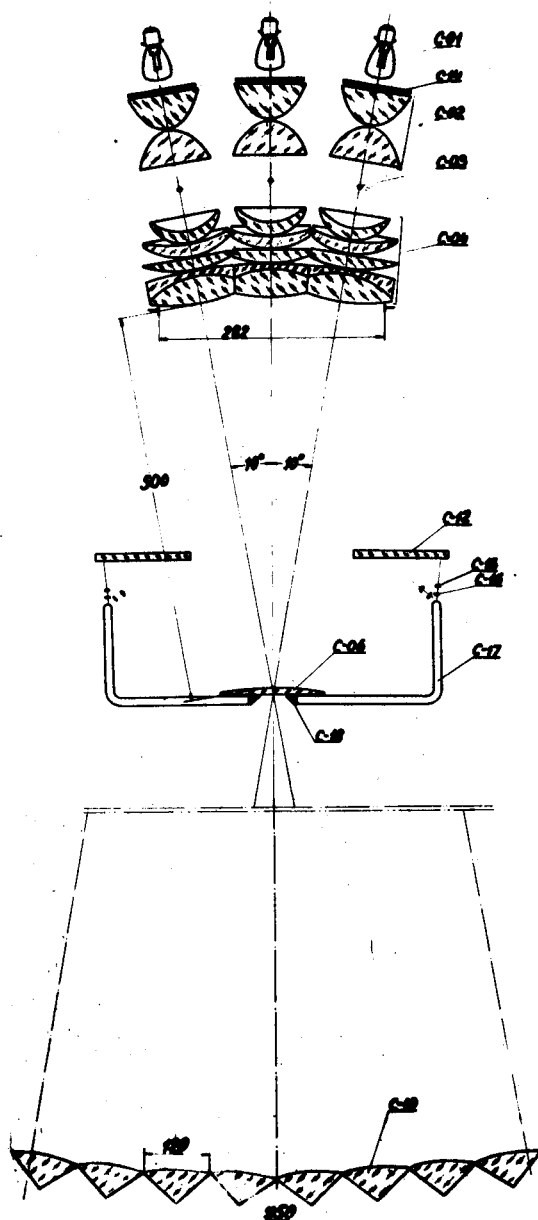


Рис. 2. Схема освещения метровой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ. С-01 лампа накаливания, С-02 - асферический конденсор, С-03 - импульсная лампа ИФК-50, С-04 - апланатический конденсор; С-06 - коллектив, С-10 - элемент раstra, С-12 - выравнивающее стекло, С-14 - тепло-фильтр, С-15 - линзы, С-16 - светофильтры, С-17 - световод, С-18 - призма.

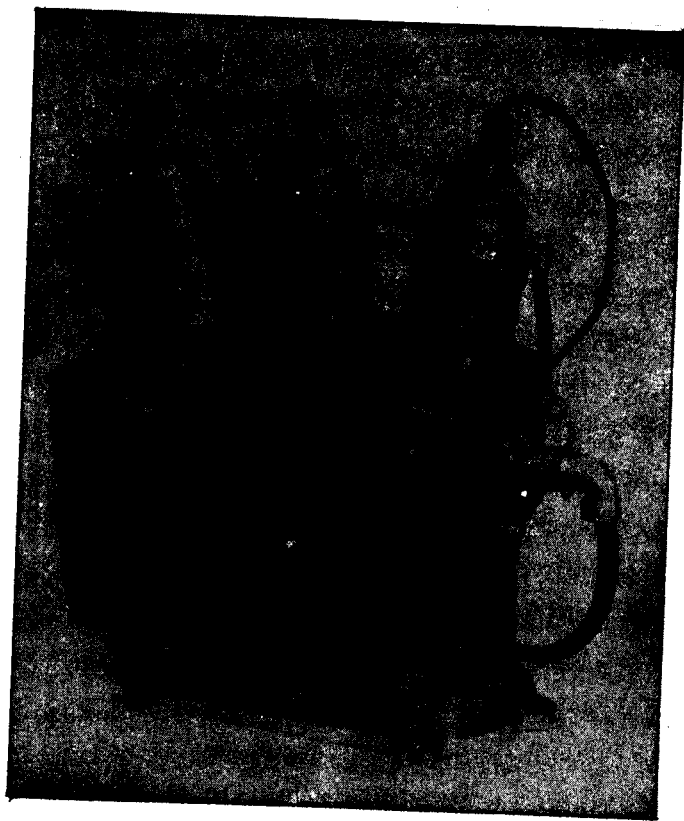


Рис. 3. Корпус встроенного осветителя камеры ЛВЭ ОИЯИ.



Рис. 4. Базовая плита установки с четырьмя фотограмметрическими камерами.

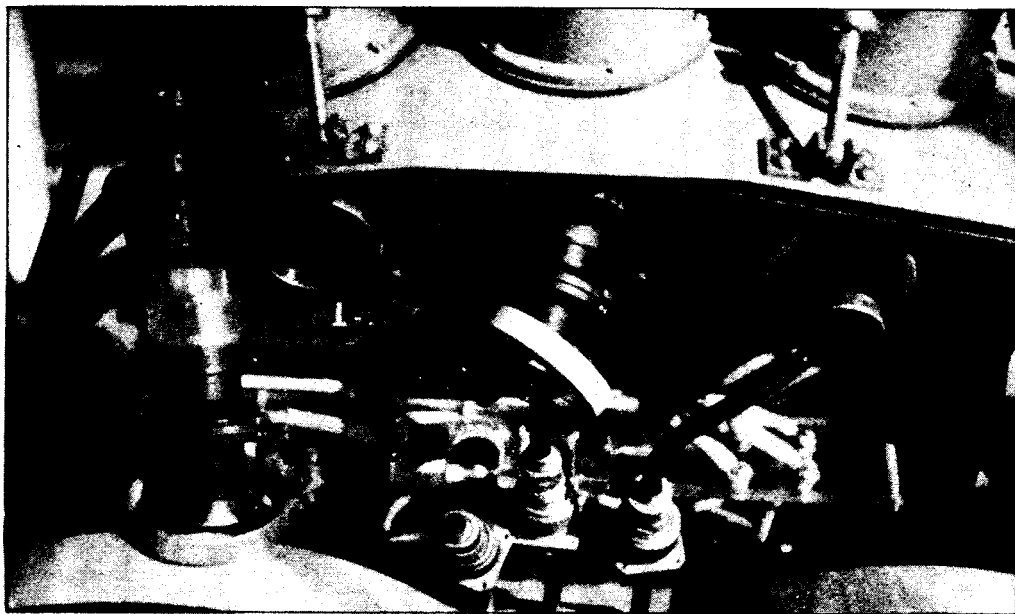


Рис. 5. Блок осветителя со снятой крышкой. Левая лампа изъята из рабочего положения.

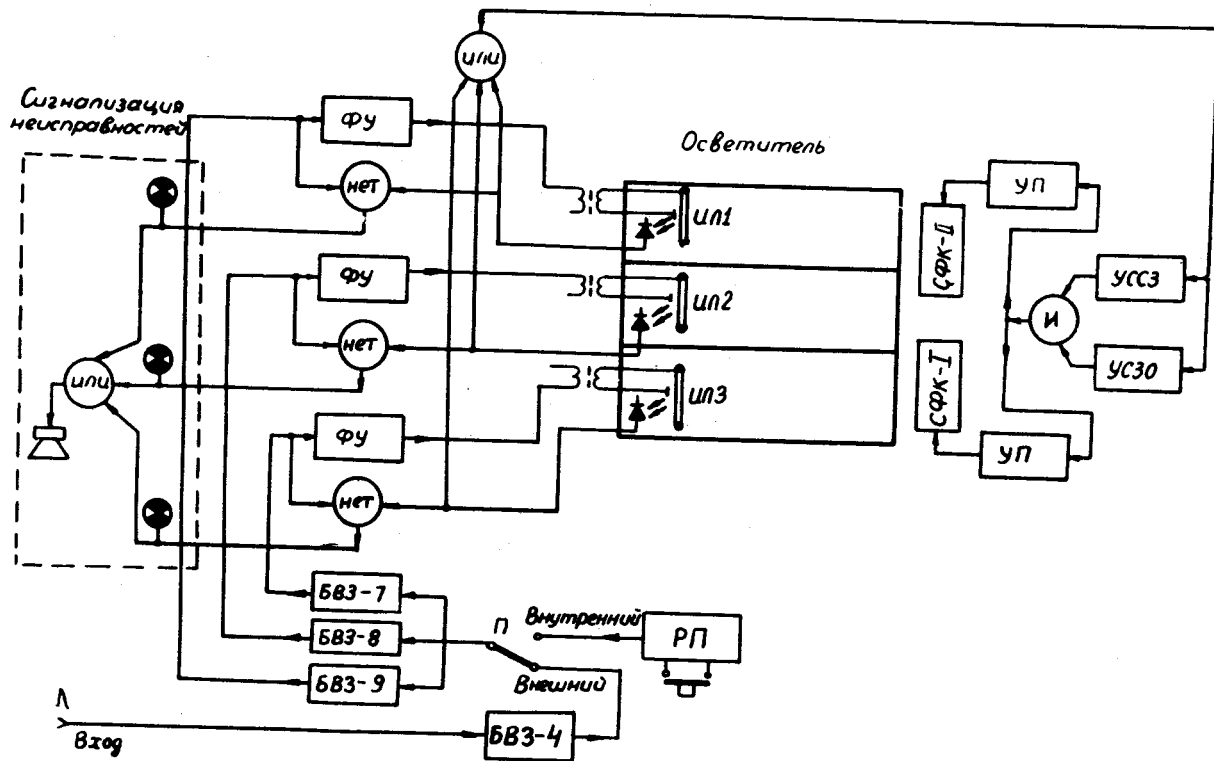


Рис. 6. Функциональная схема управления и контроля работы импульсных ламп. БВЗ-4 - блок временной задержки 4; ФУ - формирующее устройство; ИЛ - импульсная лампа; УССЗ - устройство съемки служебных знаков; УСЗО - устройство съемки знаков ориентации; УП - устройство протяжки; СФК - стереофотокамера.

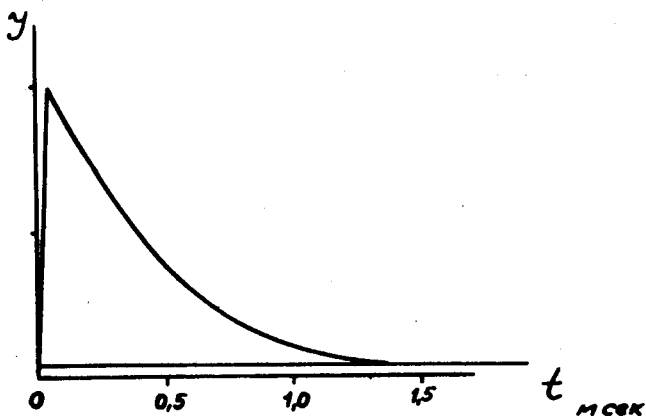


Рис. 7. Временная развертка вспышки импульсной лампы ИФК-50 (при напряжении 200 вольт и емкости 400 микрофарад).

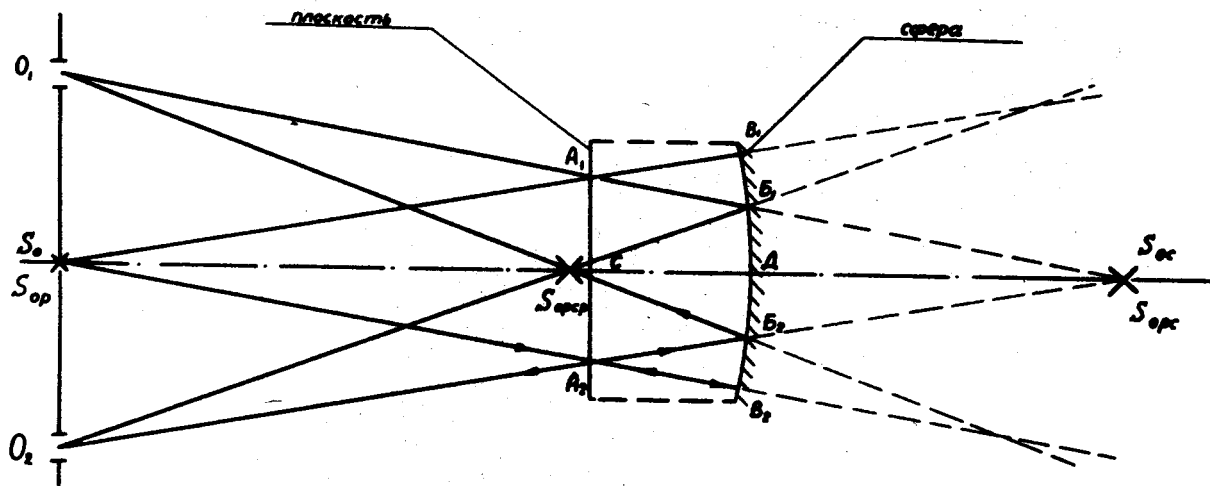


Рис. 8. Схема построения бликов в сечении, параллельном ребрам призмы, O_1, O_2 - объективы, S_0 - источник света, S_{0c} - изображение источника света стеклом, S_{op} - изображение источника света растром, S_{opc} - изображение источника света последовательно растром и стеклом, S_{oprc} - изображение источника света последовательно растром, стеклом и растром, B_1, B_2 - проекции бликов на растр.

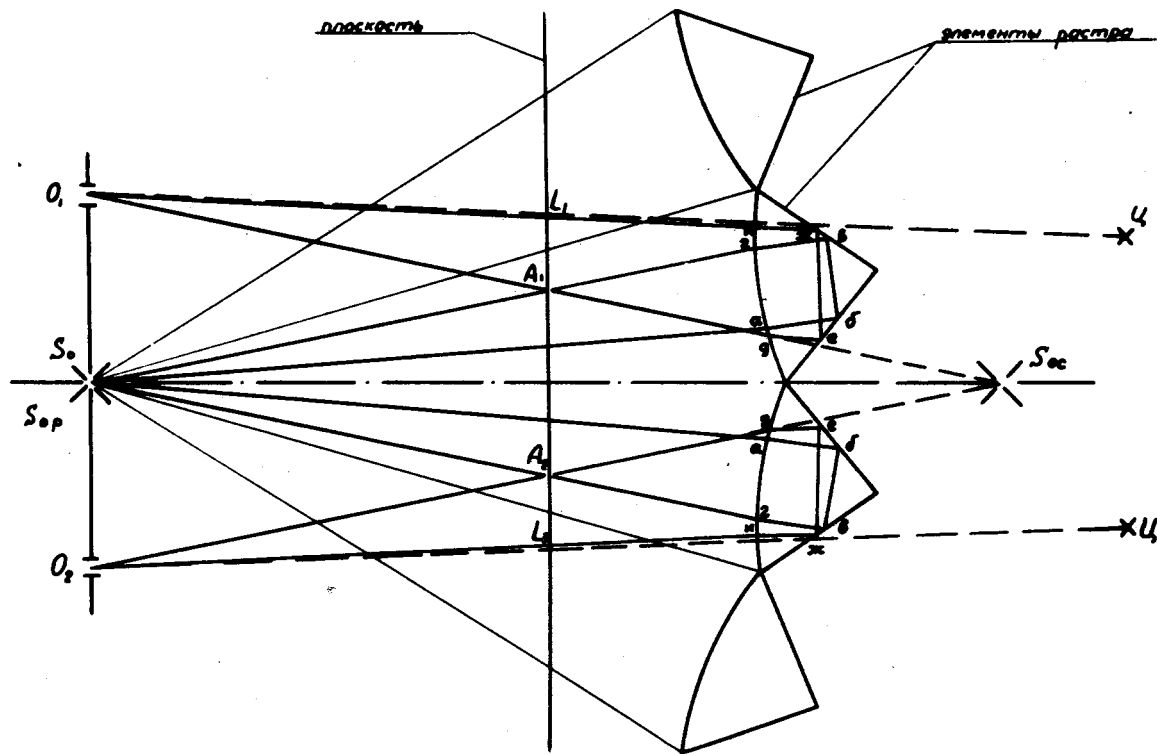


Рис. 9. Схема построения бликов в сечении, параллельном ребрам призмы. O_1 и O_2 - объективы, S - источник света, $S_{ог}$ - изображение источника света стеклом, $S_{огр}$ - изображение источника света растром, C - центр кривизны сечения входной тороидальной поверхности элемента раstra.

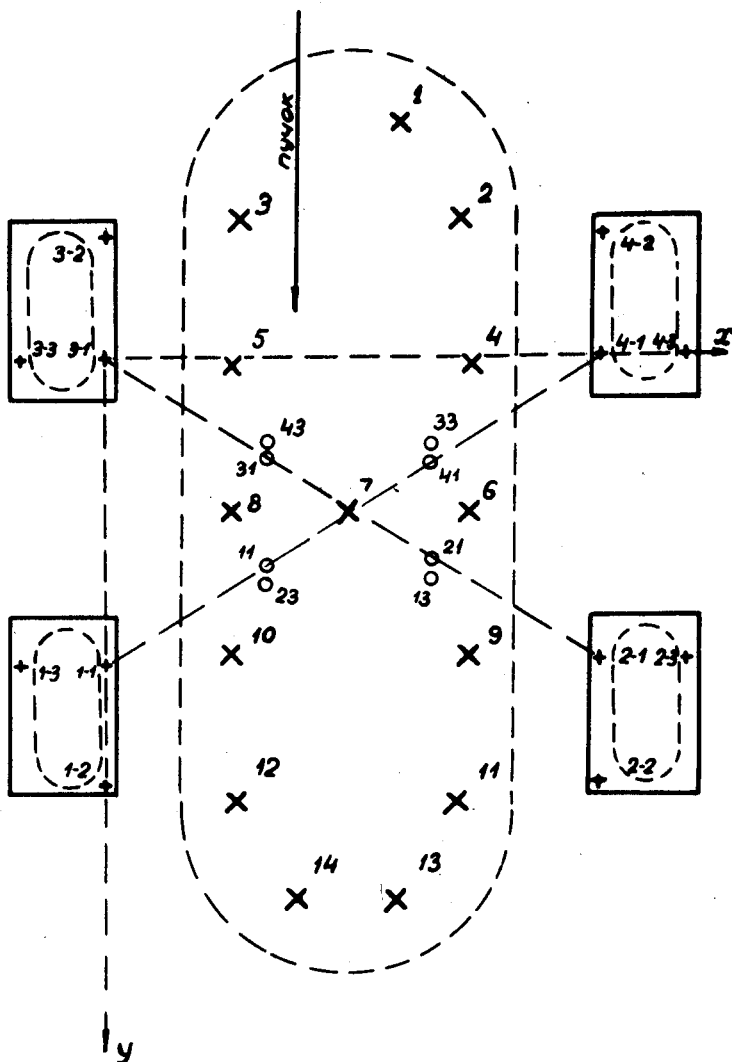
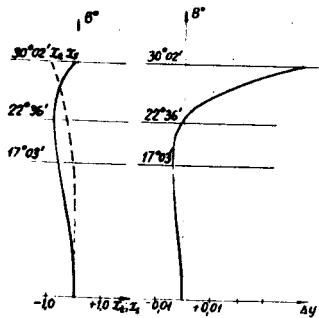


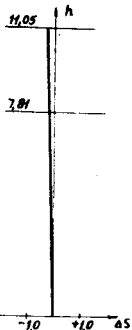
Рис. 10. Схема расположения бликов в плане. 11 - блик источника света от стекла в 1-ый объектив. 13 - блик источника света от раstra, стекла и вновь раstra в 1-ый объектив. 21 - блик источника света от стекла во 2-ой объектив. 23 - блик источника света от раstra, стекла и вновь раstra во 2-ой объектив и т.д.

Астигматизм и дисторсия
($V=0,106$)



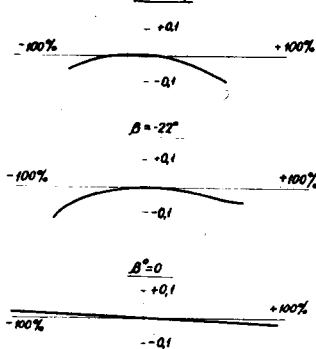
β°	x_2	x_3	Δy
30°02'	-1,020	-0,120	+0,045
22°36'	-0,308	-0,810	-0,001
17°03'	-0,014	-0,634	-0,004

Сферическая aberrация
($V=-0,106$)



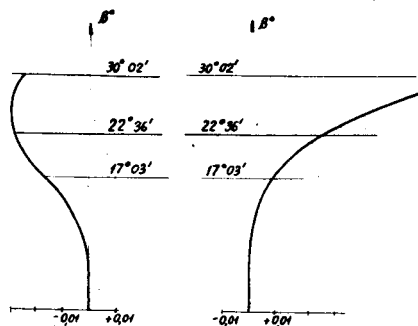
h	ΔS
11,05	-0,286
7,81	-0,207
3,74	-0,058

Аберрация наклонных пучков ($V=0,106$)
 $\beta = 30^\circ 02'$



β°	$\pm 100\%$	$\pm 70\%$	$\pm 60\%$	$\pm 50\%$
30°02'			-0,095	-0,075
22°36'		-0,050	-0,032	-0,029
0°	-0,019	-0,010		
	+0,019	+0,010		

Дисторсия
($V=-0,096$ -задний план)



β°	Δy
30°02'	-0,024
22°36'	-0,029
17°03'	-0,016

β°	Δy
30°02'	0,114
22°36'	0,027
17°03'	0,008

Таблица фокусных расстояний

Объектив	МН поз	f'	S_c	S_c'
5	-55,09	58,09	-54,81	
4+5	-13034,9	15463,1	-10994,8	
6	198,22	-202,44	190,92	
7	198,22	-190,92	202,44	
8	-55,09	54,81	-58,09	
9	65,79	-58,37	67,05	
8+9	-13034,9	10994,8	-15463,1	
Объектив	150,84	123,47	103,47	
Задний план	13	12,74	-11,42	12,74
	15	13,77	-12,45	13,77

Основные характеристики

1. Фокусное расстояние объектива - $f'_0 = 150,24$ мм
2. Угол поля зрения объектива - $2\beta = 60^\circ$
3. Наибольшее относительное отверстие - $f:6,8$
4. Наибольший диаметр апертурной диафрагмы - 17,6 мм
5. Увеличения: для плоскости наведения - $V=0,106$
для переднего плана - $V=0,116$
для заднего плана - $V=0,096$

Рис. 12. Объектив "Руссар-Плазмат" Т-2к (данные расчёта).

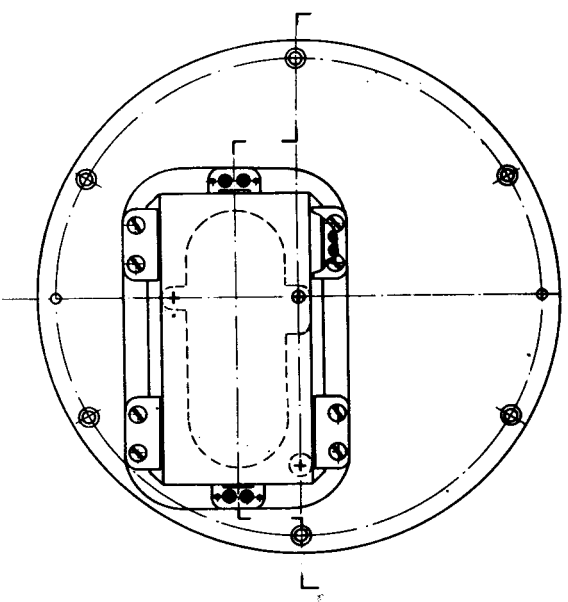
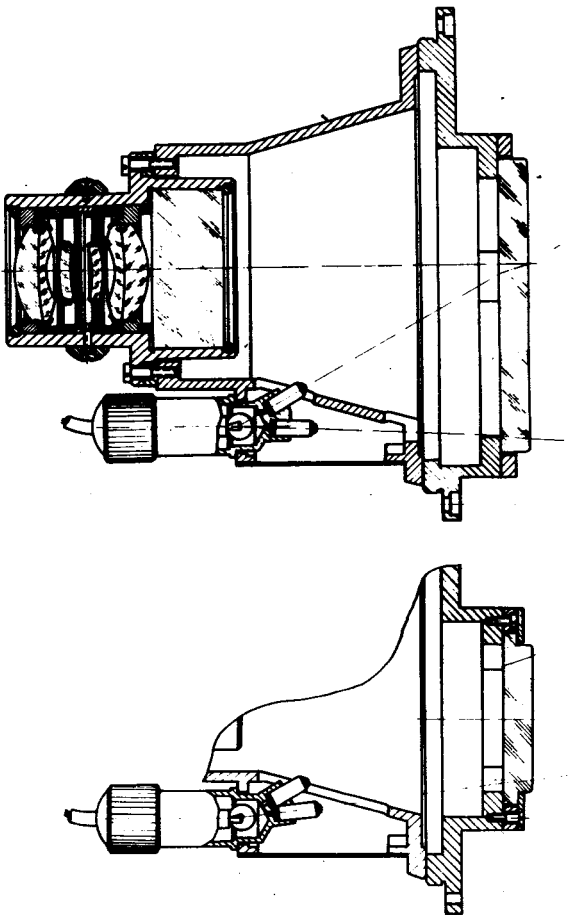


Рис. 18. Фотограмметрическая камера (конструкция).



Рис. 14. Фотограмметрическая камера (внешний вид).

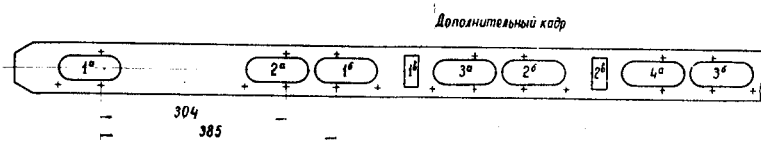


Рис. 15. Размещение кадров на пленке.

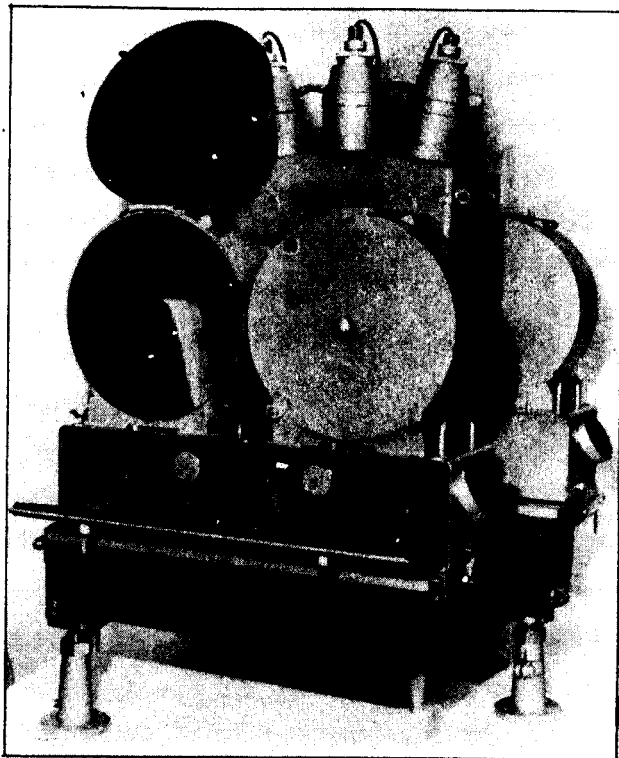


Рис. 16. Стерефотограмметрическая установка (внешний вид с откинутыми крышками лентопротяжного механизма и приемной кассеты).

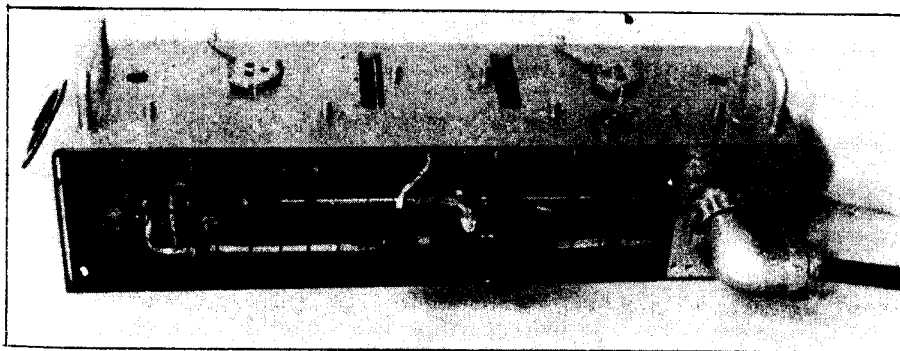


Рис. 17. Лентопротяжный механизм (вид сзади, задняя стенка снята).

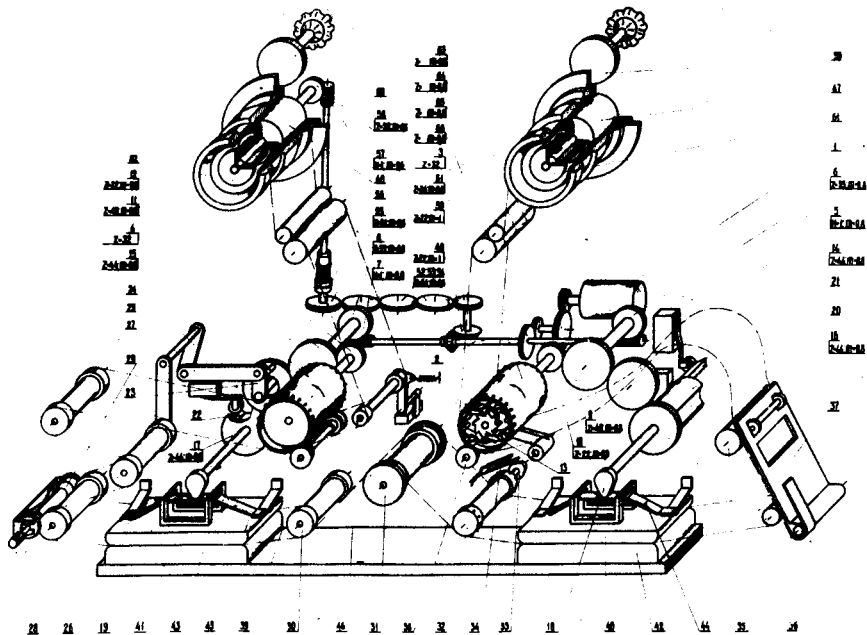


Рис. 18. Кинематическая схема лентопротяжного механизма. 1 - электродвигатель, 3 - барабан, вытягивающий пленку из подающей кассеты, 4 - барабан, протаскивающий пленку на участке прижимных столиков и подающий ее в приемную кассету, 40 и 41 - прижимные столики, 18 и 19 - кулачки, прижимающие столики к выравнивающим стеклам 42 и 43, 37 - рамка дополнительного (маркировочного) кадра, 15, 23, 25, 24 и 26 - кривошипно-кулисный механизм, обеспечивающий равномерно-ускоренную протяжку пленки на участке столиков.

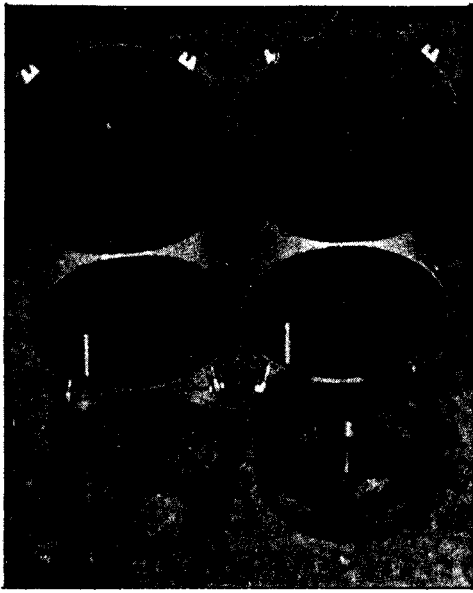


Рис. 19. Кассеты (приемная кассета пустая с изъятной одношечной катушкой; подающая кассета с пленкой на двухшечной катушке).

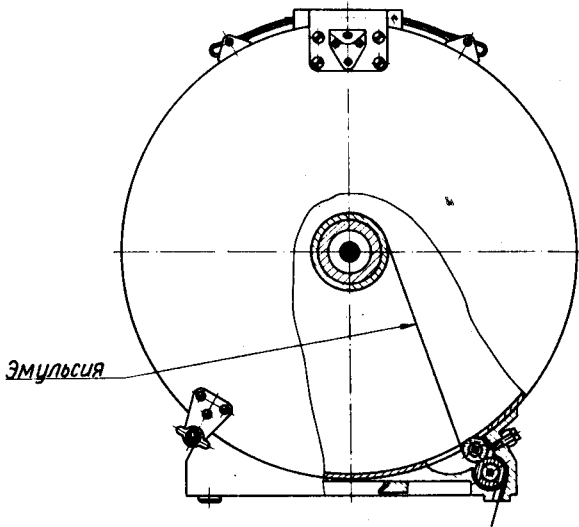


Рис. 20. Кассета (конструкция светового замка).

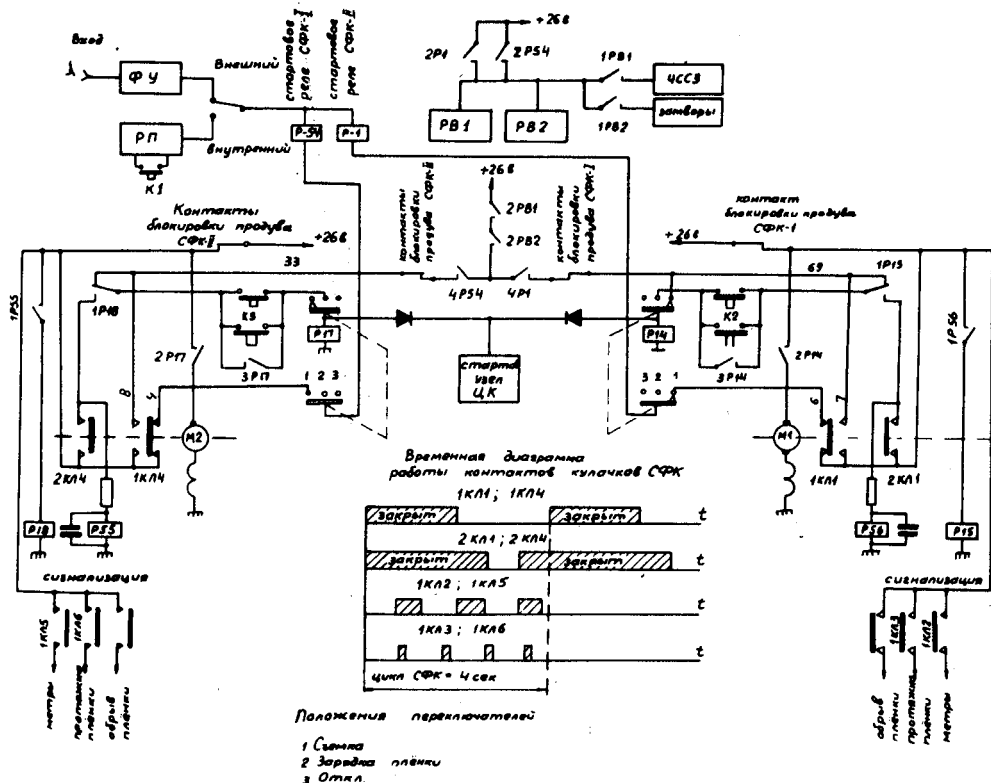


Рис. 21. Функциональная схема управления и контроля работой лентопротяжных механизмов и временная диаграмма. ФУ - формирующее устройство, М1 и М2 - электродвигатели, РП - внутренний генератор запускающих импульсов, К1 - кнопка одноразового запуска, УССЗ - устройство съемки служебных знаков, 1КЛ1 и 1КЛ4 - кулачки полного цикла протяжки пленки, 2КЛ1 и 2КЛ4 - кулачки полуцикла протяжки пленки, 1КЛ2 и 1КЛ6 - кулачки контроля движения пленки, ЦК - цифровой коммутатор.

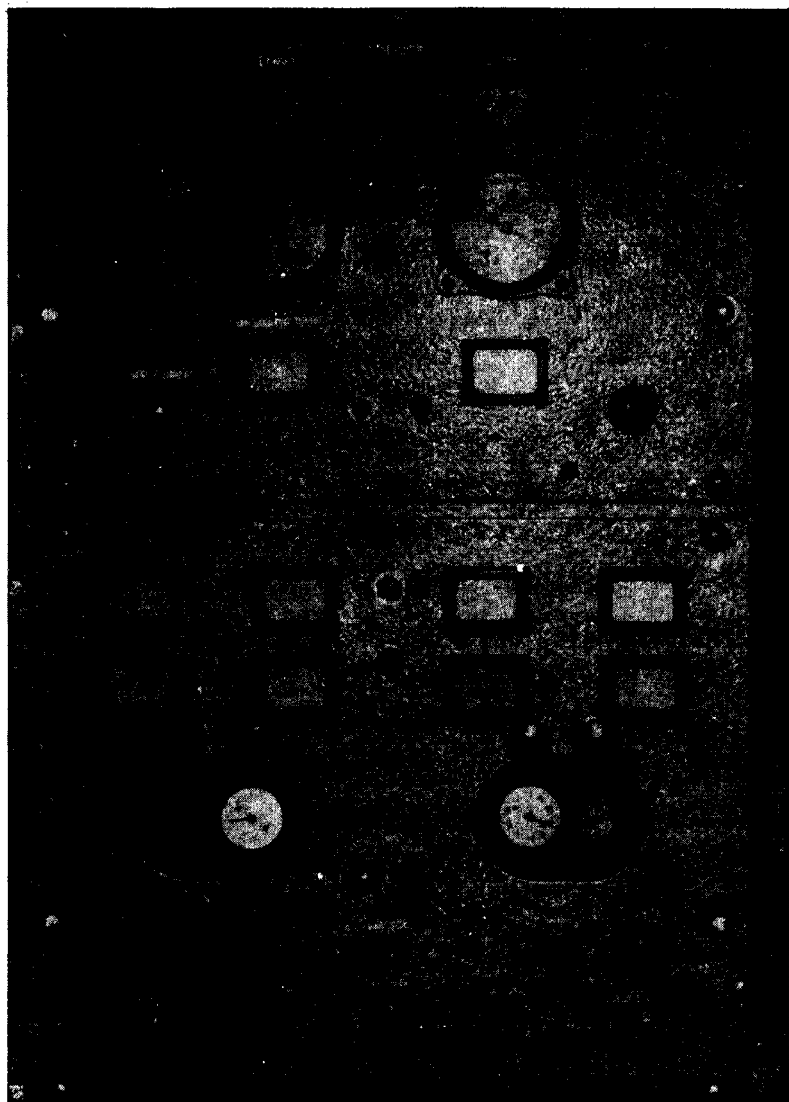


Рис. 22. Передняя панель блоков управления фотоаппаратами.

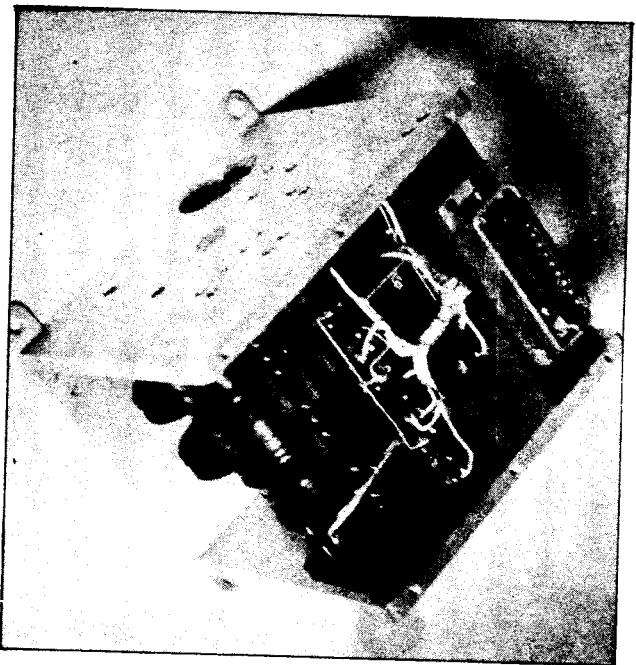


Рис. 28. Цифровой коммутатор - трехразрядный восьмеричный электромеханический счетчик со снятой крышкой.

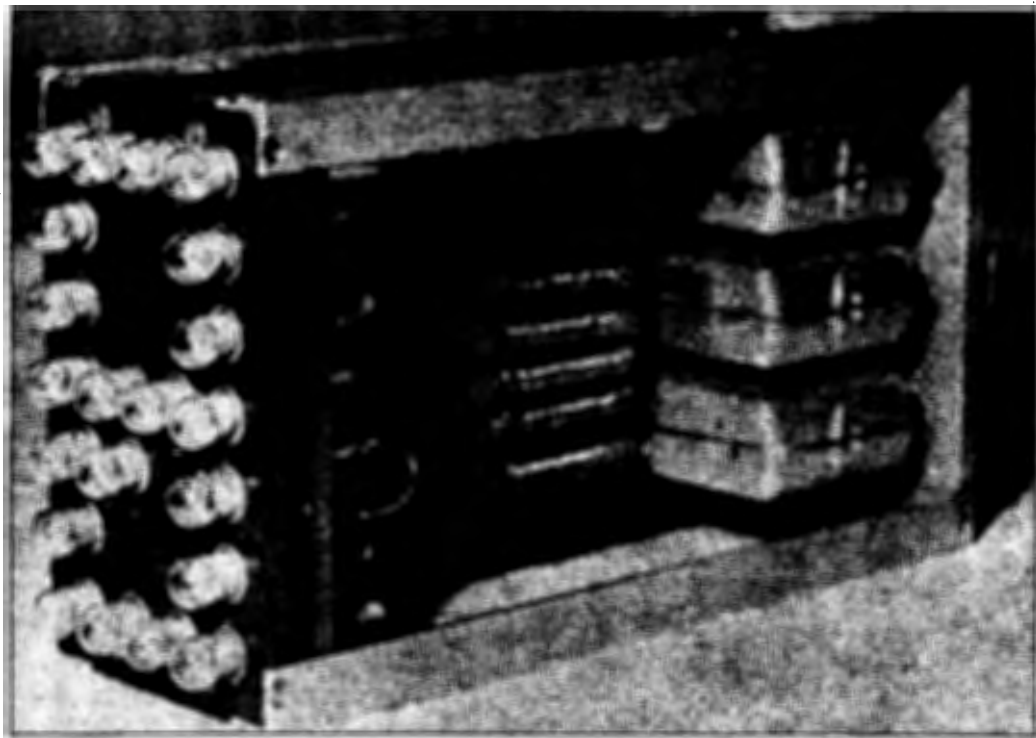


Рис. 24. Цифросинтезирующий элемент.

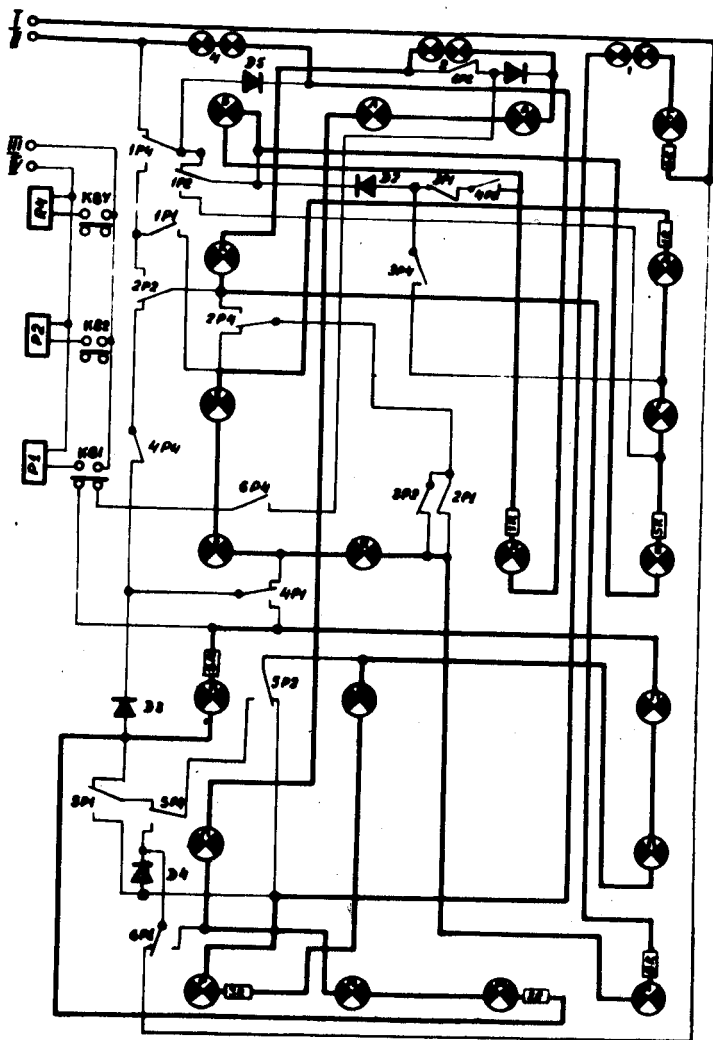


Рис. 25. Цифросинтезирующий элемент (электрическая схема). KB1, KB2 и KB3 - концевые выключатели соответственно единиц, двоек и четверок, включающие реле P1, P2 и P4 соответственно, D₁, D₂ диоды Д7Ж, В.Б А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И, К, Л, М, Н, П, С, Р - электрические лампочки и группы лампочек цифрового табло.

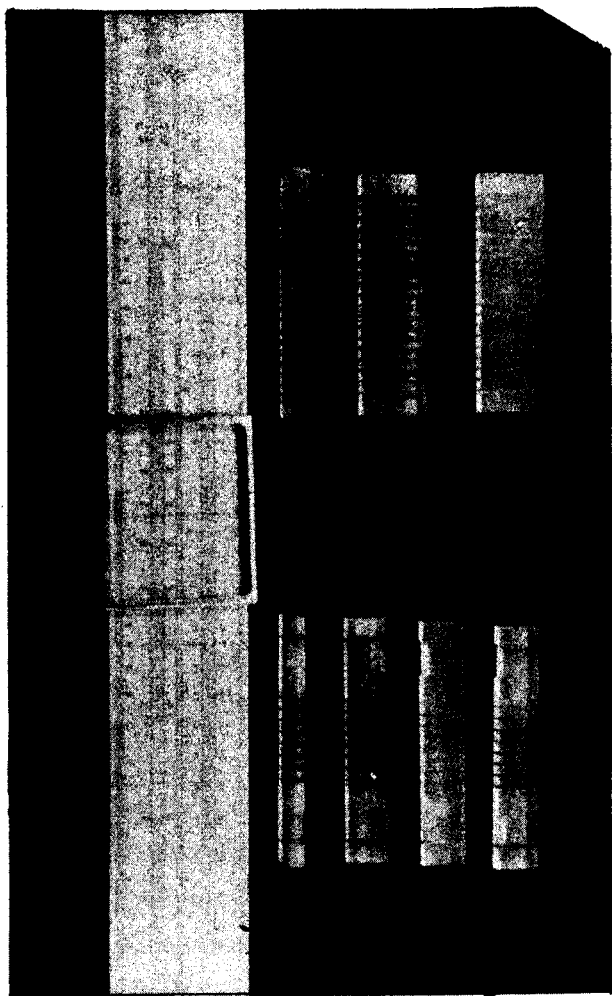


Рис. 26. Моноблок-жалюзи в органическом стекле.

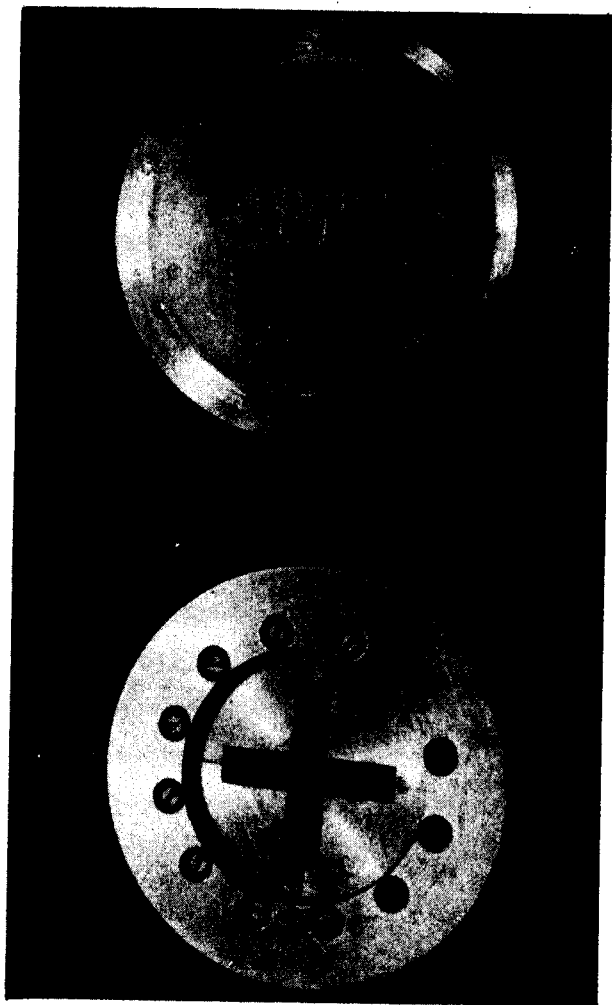


Рис. 27. Маски для нанесения реперных крестов на стекло-иллюминатор камеры струей карбида бора.

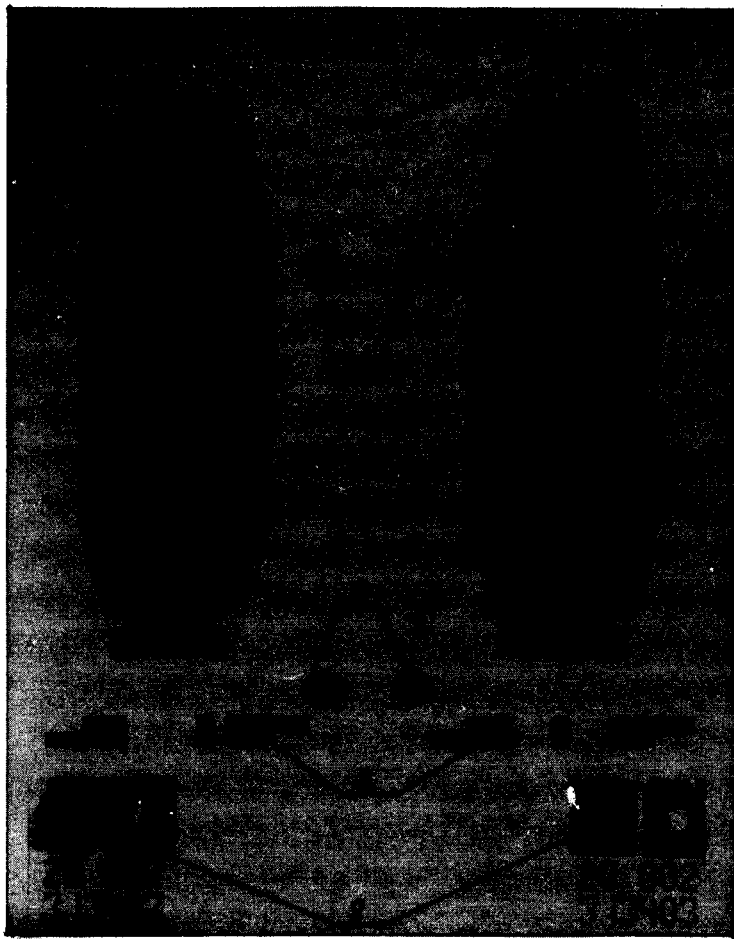


Рис. 28 (начало). Стереоснимок-негатив. (1-ая и 2-ая фотокамеры). 1. Изображение следов, реперных крестов внешнего ориентирования и бликов, 2 - изображение маркировочного, приборного щита, 3 - стоп-марки и двоичный номер фотокамеры; 4 - двоичный номер стереоснимка; 5 -реперные кресты внутреннего ориентирования.

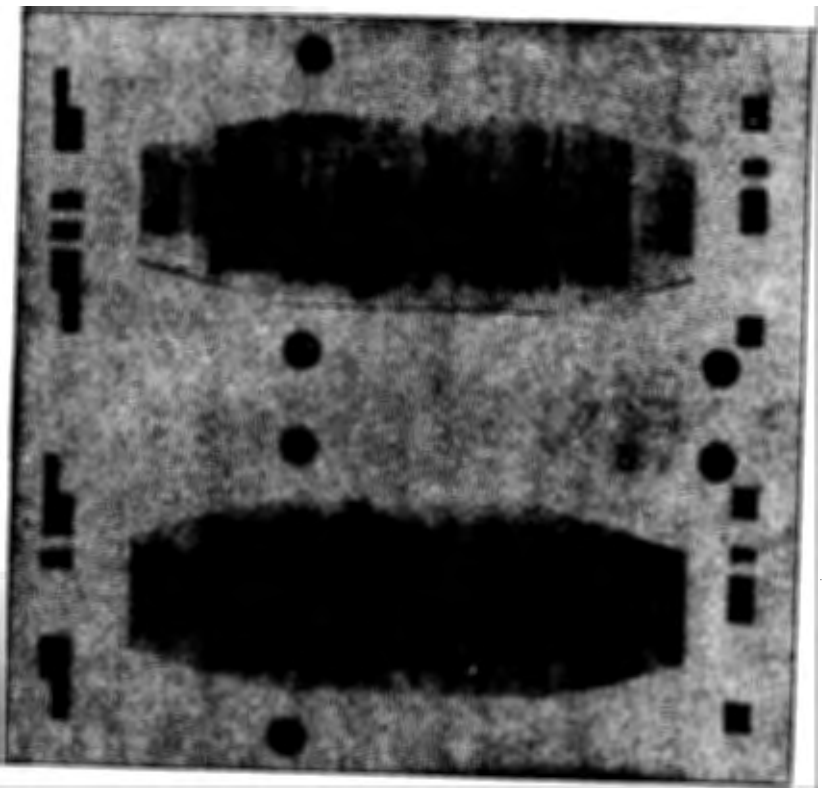


Рис. 28 (продолжение). Стереоснимок-негатив (3-я и 4-ая фотокамеры).