

ПРИЧИНЫ И ТЕХНИКА

МЕХАНИЗМЫ
ФОТОАППАРАТОВ

I



1939

СВОДОВАЯ

Доц. Л. П. РИФТИН и инж.-исследователь Г. Я. ГРИНЕВИЧ

МЕХАНИЗМЫ ФОТОАППАРАТОВ

ЧАСТЬ I

Утверждено НКВ СССР
в качестве учебного пособия для втузов
оптико-механической промышленности

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

* ЛЕНИНГРАД

1939

МОСКВА

Книга Л. П. Рифтина и Г. Я. Гриневич „Механизмы фотоаппаратов“, ч. I представляет собой учебное пособие для вузов по курсу „фотоаппараты“.

В ней кратко изложены общие вопросы фотоаппаратуры и, главным образом, уделяется внимание фотографическим затворам (гильотинным, центральным, щелевым и шторным), для которых подробно рассмотрены вопросы конструкции, теоретического расчета и экспериментального исследования параметров и проектирования, иллюстрируемые большим количеством примеров.

Так как материалы теоретического расчета и проектирования, а также и результаты экспериментальных исследований ряда фотозатворов, являются оригинальными и мало затрагивались в литературе, как на русском, так и на иностранных языках то книга может быть использована в качестве руководства инженерами-конструкторами и работниками прикладной фотографии в их практической деятельности. Рассчитана книга на подготовленного читателя, владеющего элементами высшей математики, теоретической и прикладной механики.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателей книга „Механизмы фотоаппаратов“, ч. I содержит ряд теоретических и практических сведений по затворам фотографических аппаратов, являющихся наиболее существенной частью последних и наименее разработанных с теоретической и конструктивной точек зрения. Самое название книги определяет уже содержание ее, посвященное главным образом выяснению зависимостей между механическими параметрами затвора. Так как составление книги „Механизмы фотоаппаратов“ представляется задачей большой сложности и объема, то авторы сочли целесообразным разделить ее на части, первая из которых предлагается читателю. Рассмотрение механизмов наводки, крепления кассеты и транспортирующих, счетчиков, дальномеров, пленочных аппаратов, а также сборка и выверка фотоаппаратов намечается в дальнейшем.

Являясь результатом длительных, кропотливых теоретических, экспериментальных и практических работ авторов, которые в пределах весьма скромного отпущеного им объема старались привести в систему обильные материалы, книга с подобным содержанием впервые появляется на книжном рынке. Главы I, II, III, V и экспериментальная часть выполнены Г. Я. Гриневич, глава IV написана Л. П. Рифтиным.

Насколько задача, поставленная авторами, разрешена — будет иметь возможность судить читатель. Авторам хочется думать, что, несмотря на ряд недостатков, присущих каждому впервые появляющемуся в свет изданию, книга все же сможет послужить пособием и руководством при изучении фотоаппарата и практической работе с ним. Авторы считают необходимым подчеркнуть особое значение таких глав, как теория и проектирование фотозатворов, которые были разработаны и проверены ими в последнее время и являются первым опытом подведения научной базы под расчет и проектирование затворов. Несомненно, что эти главы нуждаются еще в различных дополнениях, замечаниях и т. п., но все же и в опубликованном виде дают возможность установления необходимых зависимостей между такими параметрами затвора, как время экспозиции (или фазовая характеристика), с одной стороны, и масса, момент инерции, перемещение, усилие и момент шторки или лепестка — с другой. На пути дальнейшей разработки этих вопросов предстоит преодолеть еще ряд затруднений, и авторы будут искренне

благодарны своим читателям за их указания и деловую критику книги, которые помогут разрешению этих новых вопросов.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить свою благодарность Ленинградскому институту точной механики и оптики и заводу ГОМЗ им. ОГПУ, в которых зародилась мысль об опубликовании настоящей книги. Особенно хотят авторы отметить свою признательность инж. А. А. Ворожбит и доц. А. С. Лапину, которые своим опытом и цennыми советами оказывали товарищескую помощь в работе, а также З. А. Киприяновой, весьма способствовавшей ходу работы.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

В текущем 1939 г. все культурное человечество отмечает официальную дату столетия открытия фотографии. В 1839 г. Араго доложил французской Академии Наук об опытах по фотографированию парижского художника Манде Дагерра (*Mandé Daguerre*). Новый метод был назван в честь изобретателя *дагерротипией* и послужил фундаментом дальнейшего развития фотографии.

В ряду многих замечательных изобретений и открытий прошлого столетия фотографии по значимости принадлежит одно из первых мест. Открытие Дагерра знаменовало собой начало новой эпохи в области изобразительной техники, являющейся одним из важнейших вспомогательных средств объективного познания. Вся дальнейшая история фотографии пестрит именами крупных изобретателей, благодаря трудам которых „светопись“ достигла в настоящее время высокой степени совершенства. Необходимо отметить, что первое открытие фотографии, в самом узком смысле этого слова, как возможности получать изображения предметов при помощи света, принадлежит забытому ныне врачу и физику Иоганну Шульце, который еще в первой четверти XVIII в. (точнее в 1727 г.) указал на свойство серебряных солей чернеть под влиянием света и первый получил изображение предмета.

Работы многих последующих физиков, в том числе Зеебека (начало XIX в.), Гершеля и др., подготовили успех знаменитых, специально фотографических опытов Ньюса и Дагерра, поставивших своей целью разработку техники фотосъемки. Установленный Дагерром процесс получения фотографического изображения на серебряной пластинке, будучи в свое время огромным достижением, обладал существенными недостатками, а именно малой светочувствительностью и невозможностью размножения копий.

Принцип современного фотографирования состоит, как известно, в получении одной оригинальной фотографии (*негатива*), с которой воспроизводится любое количество копий (*позитивов*).

Пройдя через различные стадии своего развития (мокрые и сухие фотографические процессы) фотография пришла к знаменательному этапу — к открытию сухого бромо-серебряного желатинового процесса (Madox, 1871 г.), давшего возможность заготовлять впрок пластиинки высокой чувствительности и пользоваться кратковременной и даже моментальной экспозициями.

Применение Истменом (Eastman, 1887 г.) пленки явилось дальнейшим толчком в развитии фотографии и позволило знаменитым братьям Люмьер (Lumière, 1895 г.) построить прототип современного нам кинематографического аппарата.

Таковы, в самых общих чертах, те вехи на пути развития фотографии, которые она прошла за время своего столетнего существования. Мы с трудом можем сейчас отметить такое место на земном шаре, в котором не было бы сделано фотографических снимков. Фотографические аппараты применялись, как известно, на Северном и Южном полюсах экспедициями И. Д. Папанина и Р. Амундсена.

Значение фотографии для современного состояния знаний таково, что его трудно переоценить. Огромнейшее культурное значение фотографии и применение ее во всех отраслях науки и техники для производства различных экспериментальных и др. работ, ставят фотографию на одно из первых мест в методах исследований и, таким образом, уже давно перевели ее из разряда интересной забавы в полезное и серьезное средство, продвигающее вперед науку.

В дни исторической даты столетия фотографии исполняется двадцать лет существования советской фотографической промышленности, а также десять лет со дня выпуска первого советского фотоаппарата.

Фотопромышленность СССР относится к тем отраслям народного хозяйства, которых до Октябрьской революции у нас не было. Рост производства фотоаппаратуры виден из следующих цифр: количество аппаратов, выпущенных заводом ГОМЗ им. ОГПУ, превысило 820 тысяч¹, завод Трудкоммуны им. Дзержинского выпустил 80 000 камер „ФЭД“².

Особенно за последние годы широко развернулась работа по подготовке к производству новой аппаратуры, как для широких любительских масс, так и для профессиональных и научных работ. Необходимо отметить, что в силу запросов кинематографии наши научные и производственные достижения в области фотохимии сейчас значительно больше, нежели в области фотоаппаратостроения. Чтобы и здесь подняться выше уровня западной техники, нам надлежит не просто копировать заграничные образцы, а внимательно их изучать, в целом ряде случаев воссоздавать их теорию и на основе этого проектировать свои конструкции с максимально быстрым их освоением.

Эти задачи требуют специально подготовленных кадров, вооруженных современными знаниями теории фотоаппаратуры.

¹ „Советское фото“ № 14, 1938 г.

² Газета „Кино“ № 5, 1939 г. статья „Советская фотопромышленность“.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 1. Вопросы классификации фотоаппаратов

Приступая к изучению фотографической аппаратуры, получившей чрезвычайно большое разнообразие конструктивных форм в силу разнообразия областей применения, естественно возникает потребность в установлении какой-то системы классификации, которая позволила бы нам всю массу аппаратов разделить на ряд типов, с определенными характерными признаками. Встречающиеся в литературе попытки классификации, сводящиеся к делению аппаратов на такие группы как камеры раздвижные с мехом, нераздвижные и специальные, с последующим подразделением на дорожные, клапп-камеры, ящичные, зеркальные и пр. приводятся лишь с целью дать представление о совокупности камер. Попытки установления более исчерпывающей классификации фотоаппаратов не привели пока к реальным результатам.

Основное затруднение в вопросе классификации состоит в выборе исходного признака, который мог бы быть положен в основу.

Наиболее правильно было бы, вероятно, исходить из назначения аппарата, из характеристики области его применения и эксплуатационных возможностей.

Но сделать это оказывается весьма трудно; провести четкую границу между типами фотоаппаратов почти невозможно, несмотря на то, что на крайних пределах мы имеем столь различные приборы как стационарная штативная камера 13×18 см с тяжелым растяжением меха, набором объективов средней светосилы, но высокой коррекции, с затвором не быстрее $1/50 \div 1/75$ сек., с поворотной рамкой матового стекла, уклонами объективной доски и прочими удобствами и малоформатные камеры „Leica“, „Contax“ и др., портативные, миниатюрные, снабженные высокосветосильными объективами (до 1:1,5) с быстродействующими затворами (до $1/1000$ сек.) и дальномерами, спаренными с фокусировкой, и работают на сверхчувствительной кинопленке.

Объясняется это тем, что фотоаппарат как прибор состоит из нескольких основных функциональных узлов, к которым

относятся: затвор, объектив, камера, приспособление для фокусировки, кассеты и вспомогательные устройства — визиры, дальномер, экспонометр и т. д.

Требования практики, предъявляемые к аппаратам в целом, определяют и технические условия, которым должны удовлетворять основные функциональные узлы аппаратов. В результате мы имеем несколько принципиально различных типов затворов, несколько типов визиров и т. д. и т. п. Конструктивные и расчетные варианты этих основных элементов довольно многочисленны, таким образом если учесть, что современные фотоаппараты представляют собой почти все возможные комбинации всех существующих вариантов основных узлов, то станет ясным, что только один конструктивный или эксплуатационный признак, положенный в основу классификации фотоаппаратуры в целом, привел бы к весьма запутанной системе. Но все же конструктивный признак играет чрезвычайно важную роль в деле систематизации, так как весьма удобен при детальном изучении отдельных механизмов фотоаппаратов. Он позволяет не только подробно разбирать многочисленные детали конструкции, но и систематизировать и разрабатывать их теорию. Поэтому, не задаваясь целью создания новой классификации фотоаппаратов в целом, план настоящей книги построен по принципу последовательного рассмотрения основных функциональных узлов. В первой части книги содержатся описания фотографических затворов.

Инженеру, изучившему теорию фотоаппаратуры, придется при проектировании выбирать те или иные конструктивные формы, опираясь в первую очередь на эксплуатационные требования, с обязательным учетом производственно-технологических вопросов, тесно связанных со стоимостью изделия, а также предъявляющих определенные требования к конструкции отдельных узлов, деталей и аппарата в целом.

§ 2. Краткий обзор типов советских фотоаппаратов

Приводимый ниже обзор, не претендую на полноту, имеет целью дать общее представление о выпускаемых в настоящее время советских фотокамерах.

„Фотокор 1“. Этот аппарат (рис. 1) благодаря своей универсальности получил широкое распространение в фотографической практике.

Кроме любительских съемок, аппарат пригоден для технических съемок, несложных репродукционных работ, а также может быть использован для увеличения снимков.

Аппарат для формата снимков 9×12 см имеет:

Корпус, изготавливаемый из силумина, с откидной крышкой и мехом двойного растяжения.

Объектив „Ортагоз“ анастигмат $1:4,5, F = 13,5$ см, монтируемый в затворе на передней доске камеры, имеющей два взаимно-перпендикулярных движения.

Центральный затвор „ГОМЗ“ со шкалой экспозиций ($D, K, \frac{1}{25}$ сек., $\frac{1}{50}$ сек., $\frac{1}{100}$ сек.) и ирисовой диафрагмой.

Наводка на резкость при съемке производится с помощью кремальеры по матовому стеклу; кроме этого имеется дистанционная шкала. Установка аппарата относительно снимаемого объекта может производиться по зеркальному видоискателю или рамке иконометра с прицелом. Для выверки аппарата в горизонтальной плоскости имеется уровень.

Кассеты металлические, ординарные.

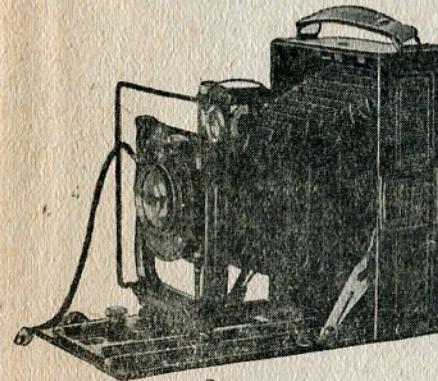


Рис. 1. Аппарат „Фотокор 1“.

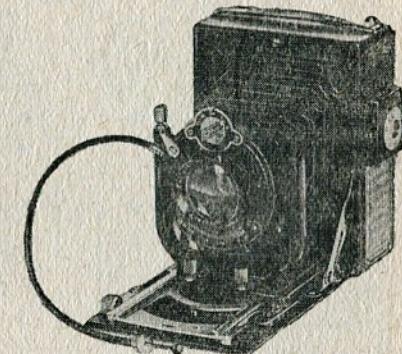


Рис. 2. Аппарат „Фотокор 3“.

Кроме пластинок можно применять плоскую пленку (фильмпак), для чего выпущен специальный адаптер.

„Фотокор 3“ (рис. 2). Представлен заводом ГОМЗ в виде опытного образца. Камера складная с мехом двойного растяжения, рассчитана для работы на пластинках $6,5 \times 9$ см. Камеру предположено снабдить затвором „Темп“ (типа Компур) и объективом „Индустар-7“. В опытном образце, показанном на рис. 2, поставлен затвор „ГОМЗ“. Этот аппарат, как и „Фотокор 1“, снабжен кремальерой для наводки на фокус по матовому стеклу. Объективная доска имеет возможность двигаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

На боковой стенке корпуса помещается шкала глубин резкости и складной оптический видоискатель. Рамка матового стекла сделана откидной, на петлях. Кассеты прикладные для заряда одной пластинки. Кроме пластинок, здесь может быть использована плоская пленка (фильмпак) при работе с адаптером.

Этот аппарат привлекает некоторой портативностью по сравнению с „Фотокором 1“ и в то же время форматом, который дает возможность получить негативы, в достаточной степени пригодные как для контактной печати, так и для увеличения. Наличие меха двойного растяжения определяет уже в значительной мере универсальность аппарата.

„Турист“. Этот аппарат (рис. 3) относится к типу, определяемому в практике термином „камеры на распорках“ (Spreizen-

kamera). Корпус, крышка матового стекла и объективная доска изготавливаются из пластмассы. В раскрытом состоянии, как показано на рис. 3, передняя доска удерживается на определенном расстоянии от матового стекла с помощью складных распорок. Камера рассчитана на формат снимка $6,5 \times 9$ см. Объектив „Индустар-7“ 1:3,5; $F = 10,5$ см монтирован в затворе „ГОМЗ“. Наводка на фокус производится вращением оправы передней линзы объектива с контролем по матовому стеклу или по

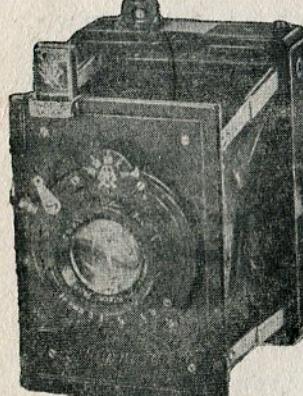


Рис. 3. Аппарат „Турист“.

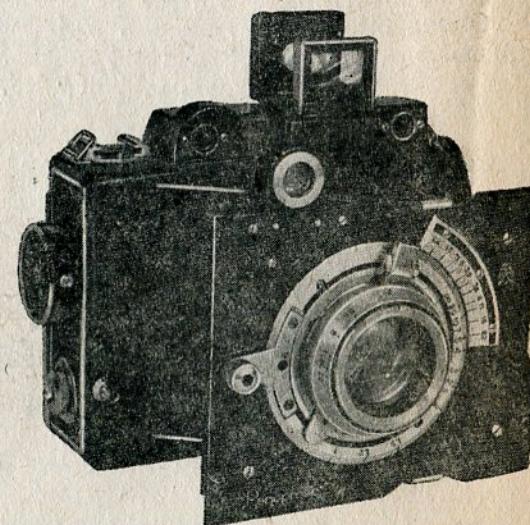


Рис. 4. Аппарат „Репортер“.

дистанционной шкале, помещенной на оправе передней линзы. Положение объектива на ∞ определяется упором, одновременно служащим индексом для установки шкалы дистанции.

Для визирования аппарата на снимаемый объект служит оптический видоискатель и рамочный иконометр. Крышка матового стекла и кассеты прикладного типа (те же, что и для „Фотокора 3“ и „Репортера“).

Портативность аппарата при наличии чрезвычайно удобного формата определяет широкое применение этой камеры в фотографической практике.

„Спорт“. В ряду малоформатных камер (размер кадра 24×36 мм) „Спорт“ (рис. 5) выделяется как оригинальная по конструкции зеркальная камера, предназначенная исключительно для работы на кинопленке. Габарит камеры — $132 \times 100 \times 65$ мм. Вес в футляре 1 кг.

Механизм зеркальной наводки, затвор и объектив монтируются на специальном угольнике, помещенном после сборки его в литой корпус. Завод затвора, приведение в движение транспортирующего механизма для перематывания пленки, переключение экспозиций, — все это выполняется одной головкой управления. Наводка на резкость производится по дистанционной шкале или

10

линзе-коллективу путем наблюдения в лупу, расположенную сверху камеры; изображение видно не перевернутым. Фокусировка производится перемещением всего объектива в червячной оправе. Объектив „Индустар 10“ 1:3,5; $F = 5$ см крепится в оправе к корпусу с помощью специального замка; это обстоятельство дает возможность применения сменной оптики.

Ориентировку аппарата относительно снимаемого объекта производят либо наблюдая через лупу изображение на матовой поверхности линзы-коллектива, либо с помощью оптического видоискателя.

Наличие кассет допускает

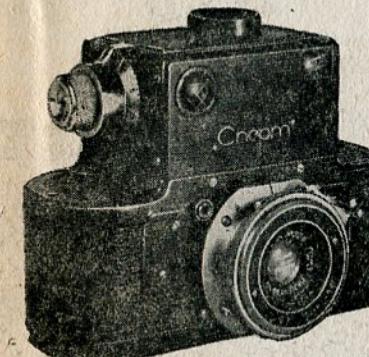


Рис. 5. Аппарат „Спорт“.

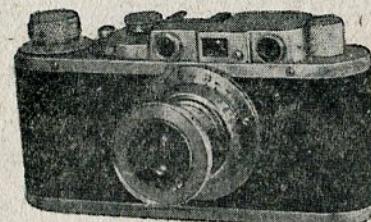


Рис. 6. Аппарат „ФЭД“.

возможность перезарядки камеры на свету. Емкость кассеты — до 30 снимков.

„Репортер“. Фотографический аппарат „Репортер“ (рис. 4) является одним из больших достижений в области фотоаппаратостроения. При его конструировании был использован весь накопленный в течение ряда лет технический опыт завода, который воплотился в камере.

Камера складная, на распорках, рассчитана на формат снимка $6,5 \times 9$ см. Передняя доска камеры снабжена оправой, предусматривающей установку сменной оптики. В настоящее время камера снабжена объективом „Индустар-7“.

Затвор щелевой, дающий интервал экспозиций от $1/5$ сек. до $1/1000$ сек.; кроме того затвор дает короткую и длительную выдержки.

Наводка на резкость возможна: 1) по матовому стеклу; 2) с помощью дальномера (с компенсационными клиньями); 3) по шкале дистанций. Глубина резкости при этом определяется по шкале, расположенной рядом с дистанционной. На верхней части корпуса располагается складной оптический видоискатель и гнездо для различного рода вспомогательных приспособлений. Завод и спуск затвора располагаются с правой стороны камеры.

Рамка матового стекла, кассеты, адаптер для плоской и роликовой пленки — прикладные.

Таким образом, камера по своей технической оснащенности может иметь чрезвычайно широкое применение не только для

производства сложных репортажных фотографических съемок, но также и для выполнения различных фотографических работ.

Штативная камера 13×18 см. Эта камера (рис. 7) предназначена для профессиональных фотографических работ. Она, в отличие от ранее рассмотренных камер, для наводки имеет подвижную, на направляющих рейках, кассетную часть, причем последняя может поворачиваться на небольшой угол вокруг вертикальной и горизонтальной осей (как говорят: кассетная часть камеры имеет уклоны). Передняя доска, несущая объектив, также имеет возможность перемещаться.

Комплектно камера снабжается объективом „Индустар-4“, светосилой $1:4,5; F=21\text{ см}$.

Отлично от других камер устройство рамки матового стекла. Последняя сделана откидной, на петлях, и может устанавливаться для вертикального и горизонтального положения кассеты.

Кассеты — деревянные, двойные, для формата пластиинки 13×18 см; кроме того, в нее могут вставляться так называемые вклады — приспособления для закрепления пластиинок меньшего формата.

„Лилипут“. „Лилипут“ (рис. 8) представляет собой пленочную малоформатную камеру, предназначенную для юных фотолюбителей. Формат снимка 24×24 мм, светосила объектива $1:9$ при фокусном расстоянии $F = 38$ мм. Данная светосила вполне достаточна для производства моментальных съемок на обычной кинопленке.

Корпус „Лилиputа“ изготавливается из пластмассы. Объектив — простой мениск, монтируется в передней крышке аппарата, которой закрыт затвор.

Затвор имеет переключатель и позволяет фотолюбителю производить как моментальную съемку, так и съемку с выдержкой.

Сверху на корпусе расположены головка для перемотки пленки и оптический видоискатель.

Внутри корпуса имеются гнезда для катушек. Сзади корпус закрывается крышкой, на которой имеется контрольное красное окно для отсчета заснятых кадров по цифрам на бумаге, защищающей пленку.

„Смена“. Этот аппарат (рис. 9) может быть отнесен к группе складных, малоформатных (размер кадра 24×36 мм) кинопленочных камер. Первая модель снабжена объективом типа „Триплет“ $1:6,8; F = 50$ мм с диафрагмой, имеющей два отверстия.

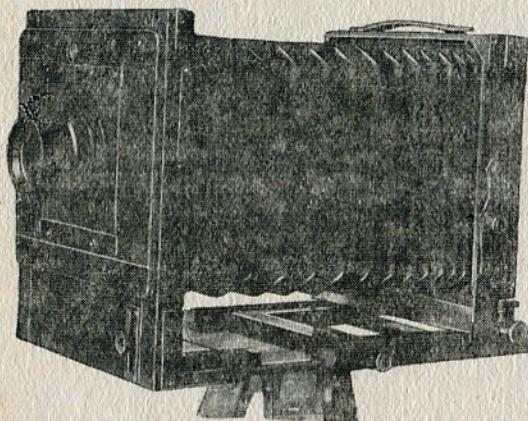


Рис. 7. Штативная камера 13×18 см.

Корпус камеры, состоящий из двух половин, изготовлен из пластмассы. После зарядки обе половины складываются и закрываются специальным замком, который виден слева на рис. 9. Наводка на фокус осуществляется по дистанционной шкале подвижкой передней линзы.

Для визирования камеры на снимаемый объект служит рамочный видоискатель, расположенный на корпусе.

Затвор — односекторный, чрезвычайно простой по конструкции, дает возможность снимать с выдержкой и одной моментальной экспозицией (порядка $1/50$ сек.).

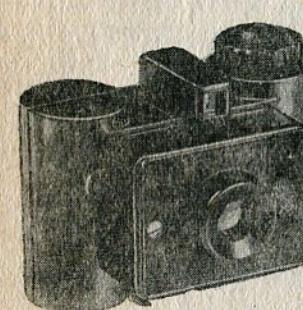


Рис. 8. Аппарат „Лилипут“.

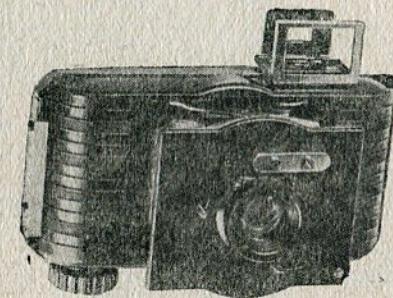


Рис. 9. Аппарат „Смена“.

Для правильной установки пленки в кадровом окне, чтобы не получилось накладывания снимков, на крышке корпуса имеется специальное приспособление — диск с индексом, который поворачивается один раз при перемотке пленки на один кадр. Эта камера, рассчитанная главным образом на широкую массу любителей, отличается портативностью и значительным запасом светочувствительного материала (кинопленки), который хорошо сочетается с малым весом и габаритами — этими существенными качествами, отсутствующими у пленочных камер.

Надо полагать, что дальнейшее развитие этого аппарата пойдет по пути увеличения диапазона экспозиций.

„ФЭД“. Портативная кинопленочная камера (рис. 6) с выдвигаемым объективом. Габариты „ФЭД“: $132 \times 70 \times 50$ мм, вес в футляре 800 г. Камера имеет набор сменных объективов; первая модель выпускалась с объективом светосилой $1:3,5; F = 50$ мм. Для наводки на фокус камера снабжена дальномером зеркального типа, связанным с подвижкой объектива, кроме того имеется шкала дистанций и глубин резкости.

Визирование на снимаемый объект производится по оптическому видоискателю.

Все управление камерой располагается сверху и состоит из:
1) головки управления, вращением которой осуществляется перематывание пленки и завод затвора; 2) счетчика снятых кадров; 3) головки для перестановки экспозиций; 4) рычага для выключения фрикциона при перемотке снятой пленки обратно

в кассету; 5) рукоятки для вращения катушки в кассете при обратной перемотке пленки; наличие даже одной кассеты при этом приспособлении допускает перезарядку камеры на свету.

Камера снабжена щелевым затвором с интервалом экспозиций в первой модели от $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{500}$ сек., а во второй — от $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{1000}$ сек.

Имеющиеся на верхней крышке направляющие позволяют устанавливать на камеру ряд выпускаемых заводом Трудкоммуны им. Ф. Дзержинского дополнительных приспособлений, как-то: угловой видоискатель, рамочный визир, автоспуск и пр.

Камера для формата кадра 6×6 см. Эта камера (рис. 10) и камера 9×12 см, условно названная „Квадрат“, выпущенные заводом ГОМЗ, являются пока еще опытными образцами.

Камера 6×6 см представляет собой

компактную складную пленочную камеру с объективом 1:4,5 и центральным затвором с широким диапазоном скоростей. Аппарат заряжается стандартной роликовой фотопленкой 6×9 см на 8 снимков.

Камера „Квадрат“, рассчитанная на формат пластиинки 9×12 см, имеет тройное растяжение меха и приспособление для уклонов объективной доски.

Камеру предположено снабдить объективом „Индустар-2“ с $F = 13,5$ см, смонтированным в затворе „Темп“ (типа „Compur“).

Дальнейшее развитие советской фотографической промышленности несомненно восполнит такие пробелы, как отсутствие двухобъективных зеркальных камер, аппаратов кинамо, стереоскопических и специальных для научно-исследовательских работ, используя при проектировании этой аппаратуры последние достижения техники, как например фотоэлектрический эффект, для создания экспонометров и автоматизации подбора требуемых скоростей затвора и диафрагмы.

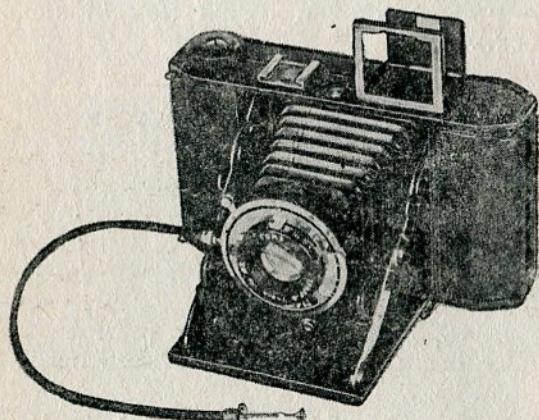


Рис. 10. Камера 6×6 см.

установливать на камеру ряд выпускаемых заводом Трудкоммуны им. Ф. Дзержинского дополнительных приспособлений, как-то: угловой видоискатель, рамочный визир, автоспуск и пр.

Камера для формата кадра 6×6 см. Эта камера (рис. 10) и камера 9×12 см, условно названная „Квадрат“, выпущенные заводом ГОМЗ, являются пока еще опытными образцами.

Камера 6×6 см представляет собой

компактную складную пленочную камеру с объективом 1:4,5 и центральным затвором с широким диапазоном скоростей. Аппарат заряжается стандартной роликовой фотопленкой 6×9 см на 8 снимков.

Камера „Квадрат“, рассчитанная на формат пластиинки 9×12 см, имеет тройное растяжение меха и приспособление для уклонов объективной доски.

Камеру предположено снабдить объективом „Индустар-2“ с $F = 13,5$ см, смонтированным в затворе „Темп“ (типа „Compur“).

Дальнейшее развитие советской фотографической промышленности несомненно восполнит такие пробелы, как отсутствие двухобъективных зеркальных камер, аппаратов кинамо, стереоскопических и специальных для научно-исследовательских работ, используя при проектировании этой аппаратуры последние достижения техники, как например фотоэлектрический эффект, для создания экспонометров и автоматизации подбора требуемых скоростей затвора и диафрагмы.

ГЛАВА II

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАТВОРЫ

§ 3. Признаки и схема классификации фотозатворов

Развитие области промышленности, занятой производством фотозатворов, в значительной степени вызвано большими достижениями в области фотографической физики и химии. Действительно, светосильная фотографическая оптика, обязанная своими качествами успехам оптического стекловарения, высокочувствительные фотоматериалы, обеспечивающие возможность получать снимки быстродвижущихся объектов со сравнительно близких дистанций, требуют достаточно короткого времени экспозиции.

Возможные неблагоприятные световые условия для фотографической съемки, с которыми на практике приходится иметь дело, требуют сокращения вспомогательного времени на открытие и закрытие отверстия затвора с тем, чтобы полнее использовать светосилу и получить наиболее выгодный коэффициент светоотдачи, называемый иногда к. п. д. Приходится признать, что фотографический затвор совершил до сего дня относительно меньшую эволюцию, чем фотооптика и фотоэмulsionия, и отстал от них в своем развитии.

Под термином *фотографический затвор* будем в дальнейшем разуметь комплекс механизмов, предназначенных для пропускания света в фотографическую камеру в течение определенного, заранее установленного промежутка времени.

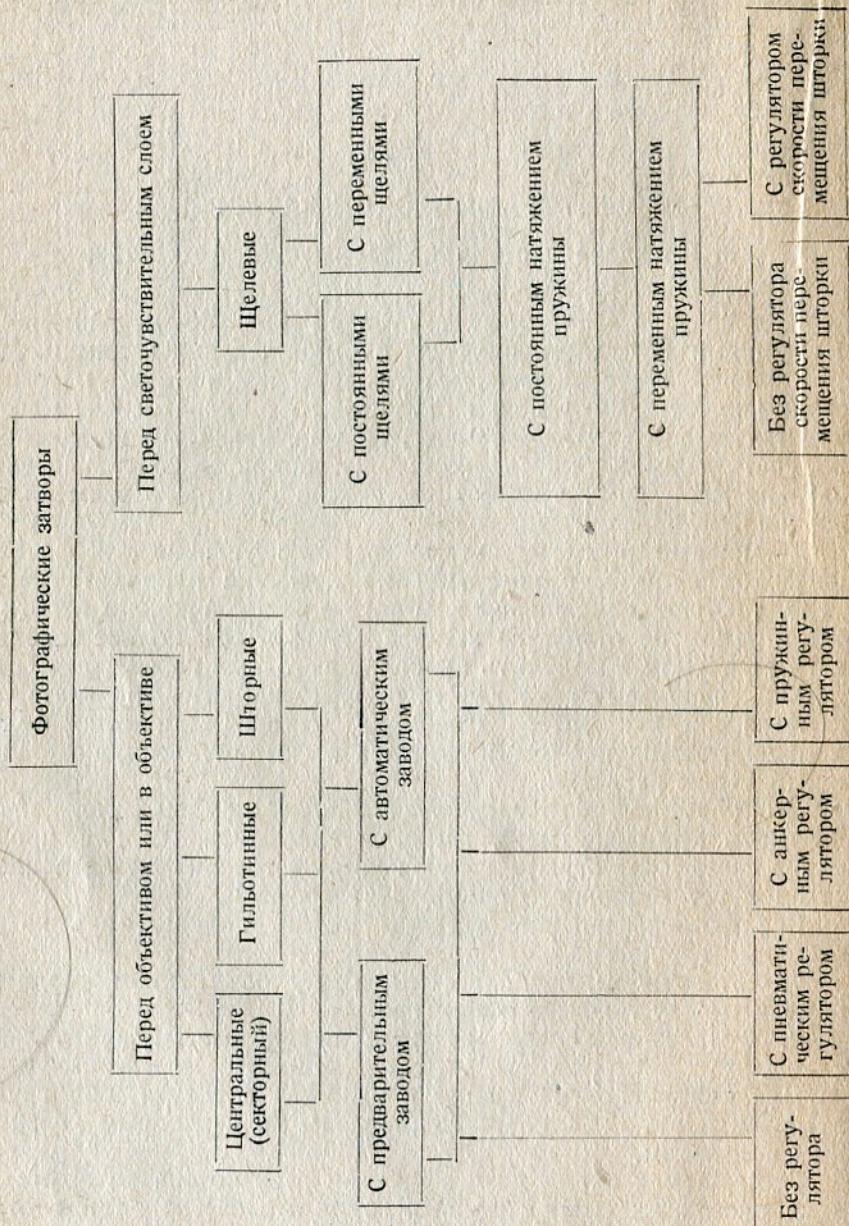
Все фотографические затворы можно подразделить на две основные группы:

1. Фотозатворы, располагаемые перед объективом, сзади или внутри между линзами объектива.

2. Фотозатворы, располагаемые перед светочувствительным слоем.

Для целей систематизации и удобства изучения, обе группы затворов могут быть классифицированы по некоторым характерным признакам.

Помещаемая схема классификации разработана авторами для двух указанных выше основных групп фотозатворов в соответствии с их отличительными особенностями. Деление проведено по типам, по роду приведения в действие и по способу регулирования времени экспозиции.



В дальнейших главах книги будут подробно рассмотрены представители почти всех перечисленных здесь категорий затворов.

§ 4. Общие соображения при выборе параметров фотозатворов

Определение наибольшего допустимого времени освещения светочувствительного слоя при моментальных съемках. Масштаб съемки $\frac{1}{m}$, по абсолютному значению равный линейному увеличению β , связан с фокусным расстоянием f объектива и расстоянием x от снимаемого объекта до переднего фокуса системы следующей зависимостью:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{x}.$$

Это соотношение позволяет установить численную величину уменьшения скорости изображения относительно скорости объекта съемки, что является одним из определяющих факторов при задании предельно-короткого времени экспозиции.

Процесс фотографирования движущихся объектов выясняется из построения изображения, даваемого центрированной оптической системой. На рис. 11 AB — предмет, $A'B'$ — изображение. Допустим, что AB есть след точки A , движущейся со скоростью v в направлении, указанном стрелкой; тогда $A'B'$ будет следом изображения точки A' , движущейся со скоростью v' , пропорционально уменьшенной.

Пример 1. Объектив имеет $f = 150 \text{ мм}$, расстояние предмета от переднего фокуса $x = 30 \text{ м}$.

$$\frac{1}{m} = \frac{150}{30000} = \frac{1}{200},$$

т. е. предмет будет уменьшен в 200 раз. Скорость изображения предмета, движущегося перпендикулярно оптической оси (наиболее невыгодный случай), будет уменьшена на матовом стекле в 200 раз. Таким образом

$$v' = \frac{1}{200} v.$$

Пример 2. Съемка производится аппаратом с объективом $f = 100 \text{ мм}$ на расстоянии $x = 200 \text{ м}$ в направлении, перпендикулярном к направлению движения объекта. Снимаемый объект (велосипед) перемещается со скоростью 18 км/час.

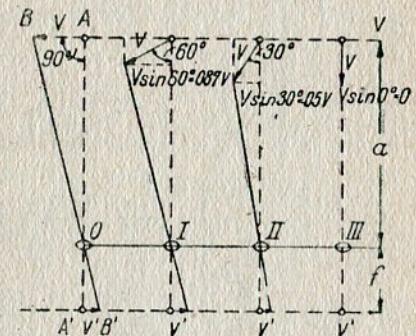


Рис. 11. Зависимость между скоростями движущегося объекта и изображения.

Скорость изображения на матовом стекле:

$$v' = \frac{1}{m} v = \frac{f}{x} v = \frac{0,1 \cdot 18000}{200 \cdot 3600} = 0,0025 \text{ м/сек.}$$

Время, в течение которого изображение движущихся объектов проектируется объективом на светочувствительный слой, т. е. экспозиция, должно быть выбрано таким, чтобы каждая точка изображения за время съемки переместилась не больше определенной величины.

Для контактных отпечатков, наиболее распространенных в фотографии, величина смещения изображения допускается около 0,1 мм. При этом снимок будет еще практически резким.

При малых фокусных расстояниях объективов, применяемых в малоформатных камерах („Спорт“, ФЭД“ и др.), допустимая величина перемещения изображения за время съемки, называемая в практике допустимой нерезкостью, берется 0,03–0,05 мм, так как отпечатки обязательно увеличиваются.

Наибольшее допустимое время экспозиции при данной скорости объекта, определяющее собой резкость изображения, называется предельным временем экспозиции

Рис. 12. График зависимостей между v , T и расстоянием до снимаемого объекта.

и определяется как частное от деления допустимой нерезкости на скорость изображения.

В нашем примере будем иметь

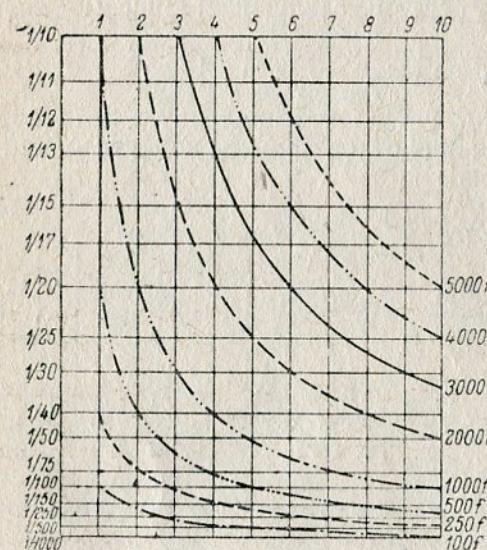
$$T = \frac{0,1}{2,5} = 0,04 \text{ сек } (1/25 \text{ сек}).$$

Для определения предельного времени экспозиции K. Pritschow дает график, представленный на рис. 12. Пределы входящих параметров взяты следующие:

1) расстояние до снимаемого предмета, выраженное в фокусах объектива 100–5000 f ;

2) скорости движущихся предметов от 1–10 м/сек.

Допустимая нерезкость принята равной 0,1 мм. Этот график наглядно показывает, что при малых удалениях предмета и больших его скоростях требуются малые значения времени экспозиции.



Пользование графиком покажем на разобранном выше примере с велосипедом. Определив расстояние в фокусах $(\frac{200}{f})$, идем по кривой до пересечения с ординатой, соответствующей скорости 5 м/сек. Через точку пересечения проводим прямую, параллельную оси абсцисс, и по шкале читаем потребное для этой съемки время экспозиции, равное $1/25$ сек.

В тех случаях, когда направление движения объекта не перпендикулярно оптической оси аппарата, при определении скорости изображения v' вводят поправку, принимая в расчет не истинную скорость, а величину проекции вектора истинной скорости предмета на плоскость, перпендикулярную к оптической оси. На рис. 11 представлено три случая, когда угол между оптической осью аппарата и направлением движения объекта составляет 60° , 30° и 0° . Из рисунка видно, что величина скорости изображения уменьшается с уменьшением угла; этим обстоятельством часто пользуются на практике при фотографировании подвижных объектов.

Вторым моментом, определяющим время экспозиции, является ряд чисто фотографических факторов.

Допустимая погрешность в экспозиции, при которой получается еще достаточно хороший негатив, вытекает из рассмотрения характеристических кривых применяемых светочувствительных материалов (рис. 13).

По оси абсцисс отложены значения логарифмов экспозиций, а по оси ординат—соответствующие им плотности. Прямолинейный участок кривой в пределах ab дает значения нормальных для данного негативного материала экспозиций: выше точки b — область передержек, ниже точки a — область недодержек.

Отношение количества света, соответствующее пределам прямолинейного участка характеристической кривой, называется широтой эмульсии¹ и определяет область нормальных экспозиций, дающих по градации хороший негатив. Наиболее часто встречающиеся значения широты эмульсии в нашей практике будут 1:40; 1:20 и ниже, а вообще получены эмульсии с широтой 1:100 и до 1:1000.

Сравнительно большие возможности в отношении выбора экспозиции, которые дает нам широта эмульсии, ограничиваются величиной широты яркости объекта, представляющей собой соотношение между самыми темными и самыми светлыми местами объекта². Предел допустимой погрешности в экспозиции вы-

¹ По ОСТ 6175. „Фотографическая широта светочувствительного слоя есть разность логарифмов количеств освещения (экспозиций), соответствующих концу и началу прямолинейного участка характеристической кривой“.

² По ОСТ 6175. Широта яркости объекта есть разность логарифмов предельных яркостей поверхности объекта съемки.

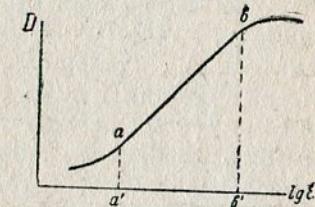


Рис. 13. Характеристическая кривая Хертер и Дриффильда

числяется из отношения широты эмульсии к интервалу яркости объекта.

Пример 3. Допустим производится съемка объекта с используемым интервалом яркости 1:5 на ортохроматической пластинке Photoхимтреста, имеющей широту эмульсии 1:40. Тогда, по определению, предел допустимого колебания экспозиции будет: $40:5 = 8$, т. е. если экспозиция в точке *a* по характеристической кривой равна $\frac{1}{200}$ сек., то при съемке, экспозиции, лежащие в интервале от $\frac{1}{200}$ до $\frac{1}{25}$ сек., дадут нормальные по градации негативы, отличающиеся друг от друга лишь общей плотностью.

При других значениях широты яркости объекта, например 1:30 (ландшафт с передним планом), и при прежней эмульсии имеем $\frac{40}{30} = 1,3$, т. е. допустимые пределы колебания экспозиции значительно сократились. Таким образом, при определении интервала экспозиции нужно руководствоваться комплексным требованием получения резкого изображения на нормальном по градации негативе.

Необходимо заметить, что область фотографических факторов в достаточной степени регулируется подбором светочувствительного материала, изменением освещения, применением диафрагмы и пр., в то время как область механики снимаемого объекта определяется предельным временем экспозиции, даваемым затвором, т. е. конструктивной величиной. Поэтому, приступая к проектированию затвора, прежде всего необходимо отдать себе ясный отчет в том, какие цели преследуются этим механизмом, чтобы конструктивное решение отвечало поставленной задаче. Только в этом случае можно избежать применения дорогих и сложных механизмов там, где их с успехом могут заменить простые, и, наоборот, не требовать от простых механизмов с весьма ограниченными возможностями тех результатов, которые, как это заранее могло быть известно, невозможно от них получить. Например, для затвора „Vario“ при $d \sim 27 \text{ мм}$ отношение значений крайних моментальных экспозиций равно 1,8, а для затвора с $d \sim 10 \text{ мм}$ это отношение приближается к 1,4.

§ 5. Затворы, расположенные в плоскости объектива

Существующие три группы затворов: шторные (рис. 14), гильотинные и центральные, отличающиеся конструктивными особенностями, способами соединения с камерой и пр., по процессу освещения светочувствительного слоя могут быть рассмотрены совместно.

Отличительной особенностью этих затворов является то обстоятельство, что с момента начала открытия отверстия объектива, независимо от величины и формы отверстия, освещается вся пластина. При этом сначала получается изображение небольшой яркости, но с большой глубиной резкости. Постепенно, по мере открывания отверстия, все больше используется светосила

объектива. При закрывании отверстия процесс идет в обратном порядке.

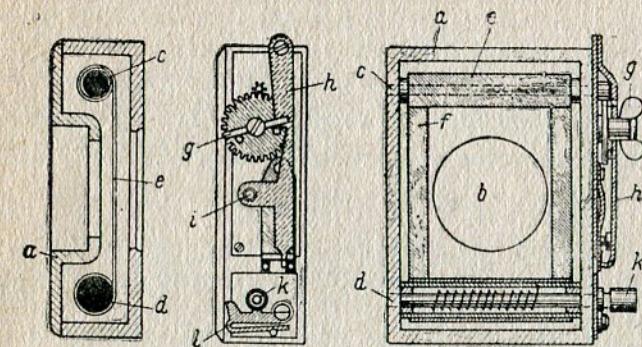


Рис. 14. Шторный затвор „Tornton-Picard“ (схематический вид).

Считая количество света в каждый момент времени пропорциональным открытой площади *F* отверстия объектива, можем построить график $F = f(t)$. На рис. 15 приведен такой график, построенный по экспериментальным данным для затвора „Compur“.

Время *T*, отложенное по оси абсцисс, называется *полным временем экспозиции* и определяет резкость изображения при съемке движущихся объектов. Значения времени t_1 , t_2 , t_3 составляют фазовую характеристику и влияют на к. п. д. (световой).

К. п. д. (световой) представляется как отношение

$$\eta = \frac{\int_0^T F dt}{F_0}$$

где F_0 — площадь графика идеального затвора при $t_1 = t_2 = 0$.

Произведение $\eta T = T_{\text{эк}}$ называется *эквивалентным временем экспозиции* (характеризует время экспозиции с точки зрения химического действия), которое пропорционально количеству света, попавшего на пластинку, и определяет плотность негатива.

Так, например, при $T = 0,01$ сек. и $\eta = 0,5$ будем иметь $T_{\text{эк}} = 0,005$ сек.

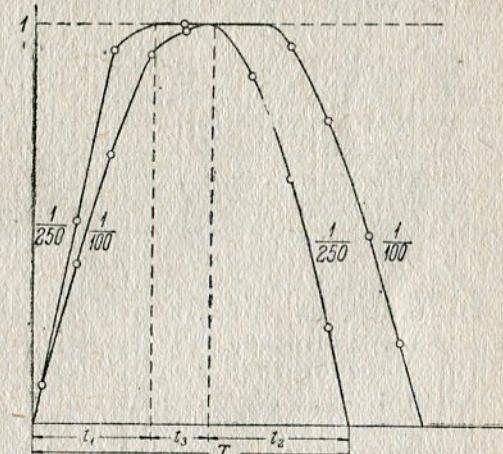


Рис. 15. Экспериментальный график $F = f(t)$ затвора „Compur“

При фотографировании движущихся объектов, требующих для получения резкого негатива полного времени экспозиции $T = 0,01$ сек., подбор светочувствительного материала, кроме всех прочих условий съемки, надо вести из расчета 0,005 сек.

На рис. 46 приведены кривые изменения к. п. д. в зависимости от T для некоторых центральных затворов (в интервале полного времени экспозиции от $\frac{1}{300}$ до $\frac{1}{10}$ сек.). Отрезки между ординатами соответствуют времени 0,005 сек.

§ 6. Щелевые затворы

Щелевой затвор представляет собой механизм, перемещающий перед фотографической пластинкой светонепроницаемую заслонку со щелью, которая расположена перпендикулярно к направлению движения заслонки. На рис. 16, поясняющем действие затвора, O — объектив со свободным отверстием d и фокусным расстоянием f , E — плоскость изображения, c — высота светочувствительной пластины, $s_1 s_2$ — ширина щели.

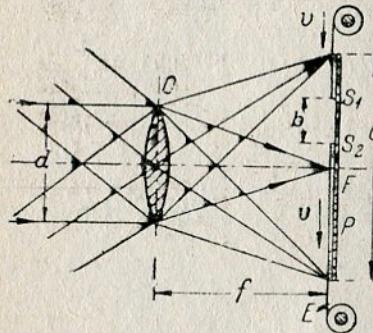


Рис. 16. Перемещение щели в плоскости пленки (пластиинки).

дой точке светочувствительного слоя. При этом шторка открывает пучок лучей, идущих от объектива, в наиболее узкой части, что выгодно отличает щелевой затвор от центральных, имеющих значительные потери света при открывании и закрывании отверстия объектива. Коэффициент светоотдачи щелевых затворов значительно выше, чем у центральных.

При рассмотрении вопроса о щелевых затворах необходимо различать:

1) время освещения каждой данной точки светочувствительного слоя T , так называемое *полное время экспозиции*;

2) время освещения каждой точки пластиинки с учетом коэффициента светоотдачи $T_{\text{эк}} = \eta T$, так называемое *эквивалентное время экспозиции*;

3) время (продолжительность) съемки, или, иначе говоря, время перемещения щели от одного края кадрового окна до другого.

Значение этих определений поясняется следующим примером. Допустим, ширина щели равна 12 мм, что соответствует $\frac{1}{2}$ узкой стороны кадра формата 24×36 мм. Шторка проходит эти 12 мм в течение $\frac{1}{200}$ сек., тогда время освещения каждой данной точки

пленки, т. е. полное время экспозиции, будет $T = \frac{1}{200}$ сек., в то время как продолжительность всей съемки равна

$$\frac{1 \cdot 24}{200 \cdot 12} = \frac{1}{100} \text{ сек.}$$

Если при данной установке затвора производить фотографирование предмета, заметно меняющего свое положение за время $\frac{1}{100}$ сек., то, очевидно, отдельные полосы пленки зафиксируют фазы явления в различные промежутки времени, и снимок

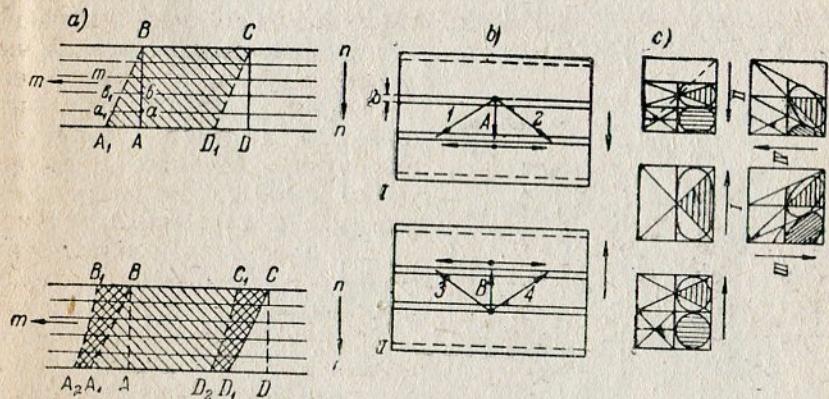


Рис. 17. Искажения изображений при фотографировании щелевым затвором.

в целом получится искаженным. На рис. 17, *a* схематично представлено искажение прямоугольника $ABCD$, движущегося по стрелке mm , в результате фотографирования с помощью щелевого затвора, шторка которого перемещалась в направлении pp .

Рис. 17, *b* поясняет явление искажения изображения, даваемого щелевым затвором: вертикальные линии объекта съемки получаются наклонными, как результатирующие параллелограмма скоростей щели и изображения.

На рис. 17, *c* представлено искажение щелевым затвором геометрических форм, стрелка указывает направление перемещения щели. Во всех случаях направление движения остается неизменным.

Если изображение смещается больше допустимой величины ($0,03 \div 0,1$) за промежуток времени, меньший $\frac{1}{200}$ сек., то при фотографировании его кроме искажения обнаруживается размытость контуров, определяющая нерезкость изображения. Вместо одной наклонной прямой BA_1 получается ограничивающая контур площадка $A_1BB_1A_2$ (рис. 17, *a*).

Резюмируем сказанное.

1. Полное время экспозиции T определяет резкость изображения при съемке движущихся объектов.

2. Продолжительность съемки входит в комплекс факторов, определяющих величину искажения контуров.

Продолжительность съемки и время экспозиции определяются скоростью перемещения шторки и шириной щели. Большинство конструкций допускает изменение этих параметров в определенных пределах и комбинациях, данные о которых будут приведены ниже, при рассмотрении конструктивного устройства щелевых затворов.

Определение основных параметров щелевого затвора по К. Pritschow'у. На рис. 18 представлены фазы перемещения щели b в направлении, перпендикулярном оптической оси. Для упрощения полагают, что источник света находится в бесконечности.

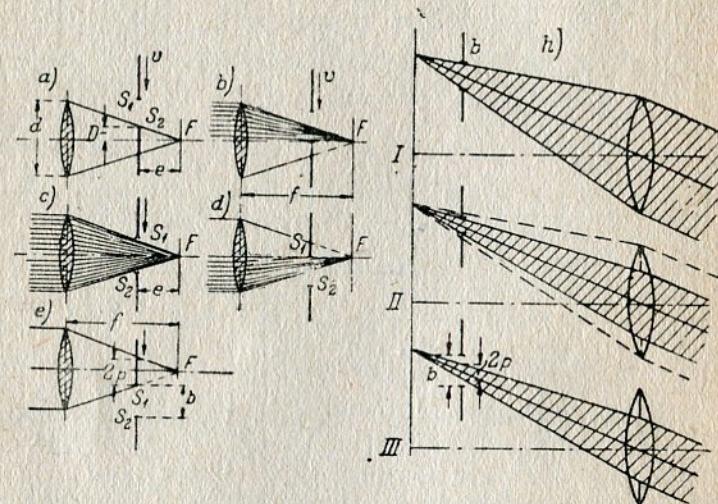


Рис. 18. a) до e) — зависимости между свободным отверстием d объектива и другими параметрами; h) зависимость между шириной щели b и открытием объектива (положения I, II и III).

На рис. 18, a) шторка, движущаяся параллельно пластинке со скоростью v , достигла своим нижним концом S_2 конуса лучей; с этого момента начинается освещение точки F . Количество света, падающего на пластинку, по мере перемещения щели постепенно возрастает.

На рис. 18, b) щель, как показывает штриховка, открыла половину конуса лучей и освещенность в точке F составляет половину максимальной величины.

На рис. 18, c) положение щели по отношению к конусу лучей таково, что срезания лучей нет, и в точке F имеет место максимум освещения.

Дальнейшее движение щели дает симметричную картину уменьшения освещенности в точке F (рис. 18, d, e).

Приближенное значение полного времени экспозиции определяется из выражения

$$T = \frac{b + 2p}{v}. \quad (1)$$

Из рис. 18, e)

$$\frac{2p}{d} = \frac{e}{f},$$

откуда

$$2p = e \frac{d}{f} = ek,$$

где k — относительное отверстие объектива,
 e — расстояние от щели до пластиинки.

Подставляя в (1), находим

$$T = \frac{b + ek}{v}. \quad (1')$$

Величина e , являющаяся конструктивной постоянной для данного типа затвора, позволяет определить наименьшую ширину щели, которую можно допустить при заданном относительном отверстии объектива, используя полностью его светосилу.

Пример 1. $e = 15 \text{ мм}$, $k = 1 : 4,5$.

Тогда

$$2p = 15 \frac{1}{4,5} = 3,3 \text{ мм},$$

это — наименьшая величина щели, которую еще можно допустить для данного случая.

Таблица 1

e	1 : 1,8	1 : 2,7	1 : 3,2	1 : 4,5	1 : 5,5	1 : 6,3	1 : 9	1 : 12,5	1 : 18
2	1,11								
3	1,67	1,11							
4	2,22	1,48	1,24						
5	2,78	1,85	1,55	1,1					
6	3,34	2,22	1,86	1,32	1,08				
7	3,88	2,60	2,17	1,54	1,26	1,1			
8	4,45	2,96	2,48	1,76	1,44	1,26			
9	5,0	3,33	2,79	1,98	1,62	1,42	1,0		
10	5,55	3,70	3,12	2,22	1,8	1,6	1,12		
11	6,1	4,07	3,4	2,45	2,0	1,75	1,22		
12	6,66	4,45	3,72	2,65	2,16	1,90	1,33		
13	7,2	4,8	4,05	2,9	2,38	2,06	1,45	1,04	
14	7,75	5,18	4,37	3,1	2,54	2,32	1,55	1,12	
15	8,35	5,55	4,68	3,33	2,72	2,38	1,65	1,2	
16	8,9	5,9	5,0	3,55	2,9	2,54	1,78	1,28	
17	9,45	6,3	5,3	3,78	3,1	2,7	1,89	1,36	
18	10,0	6,6	5,6	4,0	3,27	2,85	2,0	1,42	1,0
19	10,5	7,0	5,9	4,25	3,45	3,0	2,1	1,52	1,06
20	11,1	7,4	6,25	4,45	3,60	3,2	2,24	1,60	1,11

В табл. 1 приводятся значения наименьшей допустимой ширины щели для значений e от 2 до 20 мм и относительных отверстий от 1 : 1,8 до 1 : 18.

Применение ширины щели, меньшей, чем указано в таблице для соответствующего значения относительного отверстия, равнозначно диафрагмированию объектива (см. рис. 18, *h*):

- 1) $b = 2p$ имеем использование полного отверстия объектива;
- 2) $b < 2p$; в этом случае проходит только заштрихованная часть пучка лучей, и, таким образом, объектив косвенно диафрагмируется;

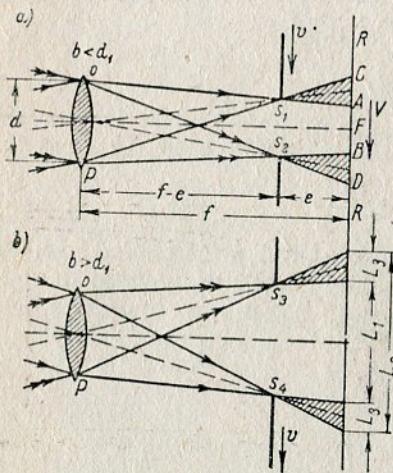


Рис. 19. Зависимость между шириной щели и действующим отверстием объектива при $e = \text{const}$.

называемое *поле пониженной освещенности*. Из рассмотрения хода лучей, — находим

$$\frac{AC}{d} = \frac{e}{f-e};$$

$$BD = AC = \frac{ed}{f-e}.$$

Далее,

$$\frac{AD}{b} = \frac{f}{f-e},$$

$$AD = \frac{bf}{f-e}.$$

откуда

Величина L_1 получается как разность

$$L_1 = AB = AD - BD = \frac{1}{f-e} (bf - ed)$$

и, аналогично, имеем

$$L_2 = CD = \frac{bf}{f-e} + \frac{ed}{f-e} = \frac{1}{f-e} (bf + ed).$$

Сравнивая отношение $\frac{L_2}{L_1}$ для двух случаев (рис. 19), находим, что при большей ширине щели величина этого отношения будет меньше, что несомненно выгодно.

Приближенное значение времени съемки. Время съемки в зависимости от основных конструктивных параметров определяется из следующих соображений:

$$\frac{v}{V} = \frac{f-e}{f},$$

где v — скорость перемещения щели (скорость точки s_1), V — скорость перемещения световой полосы в плоскости светочувствительного слоя (скорость точки C). Отсюда

$$V = \frac{vf}{f-e}.$$

Полагая скорость перемещения V в интервале CD постоянной, имеем

$$T = \frac{CD}{V} = \frac{bf + ed}{vf}. \quad (2)$$

Коэффициент светоотдачи η (к. п. д.). Коэффициентом светоотдачи η щелевого затвора называется отношение использованного количества света к тому количеству его, которое действовало бы на пластинку в случае идеального затвора в течение *полного времени экспозиции* при полном отверстии.

Так как приближенное значение полного времени экспозиции идеального затвора (т. е. при $e = 0$)

$$T_i = \frac{b}{v},$$

а

$$T = \frac{bf + ed}{vf},$$

то, по определению,

$$\eta = \frac{T_i}{T} = \frac{bf}{bf + ed} = \frac{1}{1 + \frac{ed}{bf}} < 1. \quad (3)$$

Обычно пользуются обратной величиной

$$\frac{1}{\eta} = 1 + \frac{ed}{bf}. \quad (3')$$

Величина $\frac{e}{f} = \text{const}$ для каждого типа затвора, таким образом, решающим фактором при определении коэффициента светоотдачи η будет являться отношение диаметра свободного отверстия объектива к ширине щели.

На рис. 20 приведен график значений коэффициента светоотдачи η щелевого затвора для четырех значений e и ширины щели от 0 до 40 мм.

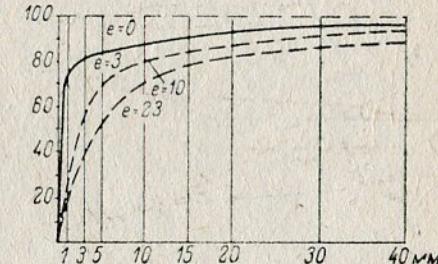


Рис. 20. График к. п. д. η для щелевого затвора.

Обтюраторные затворы перед пленкой. Эти затворы составляют отдельную группу затворов, применяемых обычно в киносъемочных камерах. Идея экспонирования светочувствительного слоя сохраняется та же, что и в щелевых затворах, отличие составляет движение шторки (в данном случае обтюратора). В рассмотренных выше случаях шторка перемещалась прямолинейно, а в затворах обтюраторного типа — движение вращательное, поэтому шторка имеет форму диска с угловым вырезом и носит название *обтюратора*. Klughardt рекомендует пользоваться при проектировании приближенным методом выбора параметров, определяющих фотографические качества затвора.

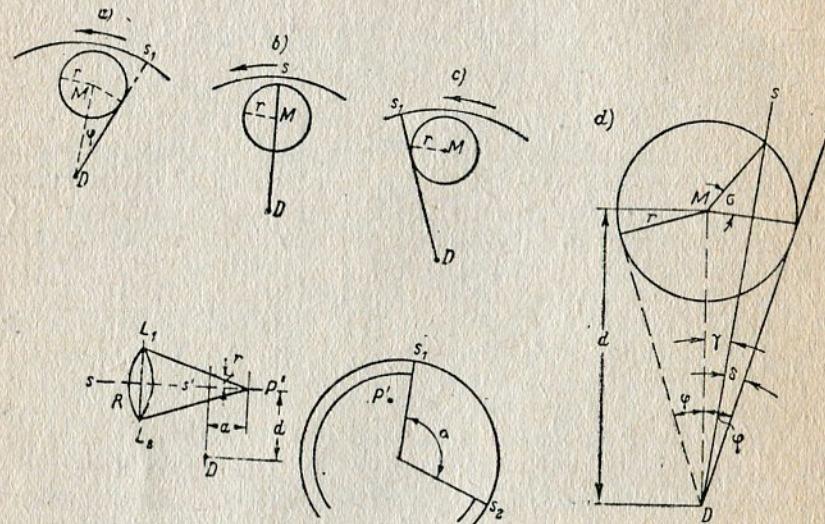


Рис. 21. Обтюраторный затвор.

На рис. 21 показаны три положения обтюратора.

Продолжительность времени экспозиции определяется из соотношения

$$T = \frac{\alpha + 2\varphi}{\omega}, \quad (4)$$

где 2φ — угол, образованный касательными, проведенными из центра обтюратора к окружности сечения конуса лучей.

Из чертежа имеем

$$\sin \varphi = \frac{r}{d}, \quad (5)$$

где r — радиус окружности сечения конуса и d — расстояние оси обтюратора от центра кадра P' и

$$r = R \frac{a}{s'}, \quad (6)$$

Так как светосила объектива для этого случая равна

$$k = \frac{f}{2R},$$

где f — фокусное расстояние объектива,

R — радиус действующего отверстия объектива и

$$s' = \frac{sf}{s-f},$$

то после подстановки в уравнение (6) имеем

$$r = \frac{a}{2k} \left(1 - \frac{f}{s}\right)$$

и, следовательно,

$$\sin \varphi = \frac{a}{2kd} \left(1 - \frac{f}{s}\right). \quad (7)$$

Определив значение угла φ , переходим к приближенному определению времени экспозиции и отдельных фаз (нарастания светового потока, максимума и убывания).

Время нарастания и убывания светового потока в точке P' приближенно находится из равенства

$$T_1 = T_3 = \frac{2\varphi}{\omega}, \quad (8)$$

а время максимума

$$T_2 = \frac{\alpha - 2\varphi}{\omega}. \quad (9)$$

Последнее уравнение справедливо для значений $\alpha \geq 2\varphi$.

Изменение светового потока в точке P во время экспозиции будет пропорционально изменению площади сечения конуса лучей. Таким образом, величина открытой площади сегмента будет в каждый момент масштабом силы света, которую можно выразить в процентах возможного максимума.

Площадь сегмента определяется из рис. 21, d. Если край Ds_0 щели касается окружности сечения конуса лучей, то на точку P' кинопленки свет не попадает.

При повороте обтюратора на угол δ край щели из положения Ds_0 перейдет в положение Ds , и щель обтюратора отсечет сегмент, площадь которого определяется по формуле

$$F = \pi r^2 \left(\frac{\sigma}{180^\circ} - \frac{\sin \sigma \cos \sigma}{\pi} \right),$$

где σ — половина центрального угла под дугой сегмента.

Площадь сегмента в процентах окружности сечения

$$L = 100 \left[\frac{\sigma}{180^\circ} - \frac{\sin \sigma \cos \sigma}{\pi} \right], \quad (10)$$

что и определяет относительную величину светового потока, вычисляемую для различных положений обтюратора.

Пример 2. Требуется определить основные фотографические характеристики обтюраторного затвора по следующим данным. Раствор щели обтюратора $\alpha = 120^\circ$; расстояние обтюратора от плоскости пленки $a = 15,281 \text{ мм}$; расстояние от центра кадра до оси обтюратора $d = 22,0 \text{ мм}$; относительное отверстие объектива $1 : 2$ ($k = 2$).

Из уравнения (7) $\varphi = 10^\circ$; из уравнения (4) время экспозиции $T = \frac{140}{\omega}$. Для случая идеального затвора, при $a = 0$, имели бы $T_i = \frac{120}{\omega}$, таким образом, при частоте кадров $n = 18$ получается $T_i = 0,0185 = \frac{1}{4}$ сек.

Из формулы (8) следует, что

$$T_1 = T_3 = 0,00308 \approx 1/324 \text{ сек},$$

$$T_2 = 0,0154 \approx 1/65 \text{ сек}.$$

По формуле (10) подсчитываем значение светового потока в точке P' , задаваясь величиной δ (табл. 2).

По этим данным строим график (рис. 22, а), на котором прямоугольник $ADEF$ соответствует затвору (идеальному) при $a = 0$, а трапеция $ACEF$ — случаю $a = 15,281 \text{ мм}$.

Таблица 2

δ в градусах	L	δ в градусах	L
0	0,00	12	62,71
2	5,15	14	74,86
4	14,14	15	80,55
5	19,45	16	85,86
6	25,13	18	94,85
8	37,29	20	100,00
10	50,00		

обтюратора, общая продолжительность экспозиции возрастает с увеличением расстояния от плоскости обтюратора до плоскости пленки.

2. При всех положениях обтюратора относительно пленки общее количество света, поступающего на центр кинокадра, — одинаково.

Экспонирование крайних точек кадра отличается от разобранного выше случая экспонирования центральной точки. Для установления этих зависимостей обратимся к схеме рис. 22, б, на котором $L_1 L_2$ — объектив, P' — центр кинокадра, удаленный от объектива на расстояние s' .

Обтюратор укреплен на оси D , расположенной на расстоянии a от пленки. A' — точка кадра, наиболее близко расположенная к оси вращения обтюратора, A'' — наиболее удаленная точка.

Обтюратор пересекает главные лучи обоих пучков в точках M' и M'' , удаленных от оптической оси на величину $l_1 = l_2$.

Из схемы имеем

$$l_1 = l_2 = y \frac{s' - a}{s'},$$

где: y — расстояние точки кадра A' или A'' от центра кадра P' , заменяя s' через приведенное выше его значение, получаем:

$$l_1 = l_2 = y \left[1 - \frac{a}{f} \left(1 - \frac{f}{s} \right) \right].$$

Расстояния d' и d'' от оси вращения обтюратора до точек M' и M'' будут равны

$$DM' = d' = d - l_1, \quad DM'' = d'' = d + l_2.$$

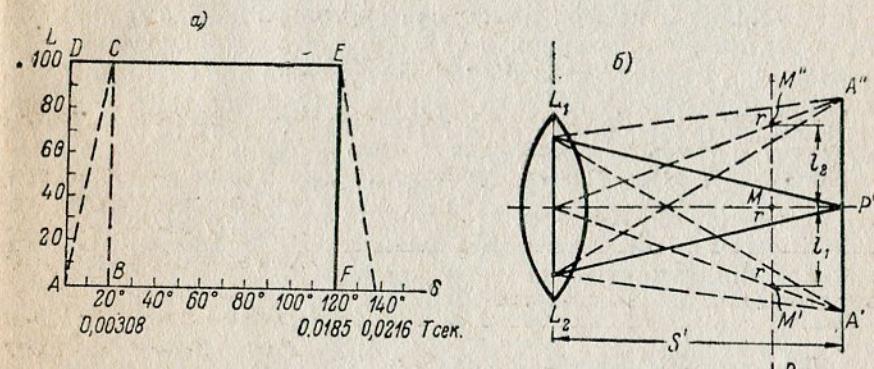


Рис. 22. График работы (а) и схема экспонирования кадра (б) обтюраторным затвором.

Вычисление относительной величины светового потока и времени экспозиции производится по формулам (7) – (10), только, вместо d , подставляют значения d' и d'' .

Продолжая разобранный выше пример и задаваясь величиной $y = 15 \text{ мм}$ (половина диагонали кинокадра), произведем подсчет времени экспозиции для точек A' , A'' и P' .

Разница в величинах

экспозиций центральной и крайних точек, как показывает подсчет, невелика (табл. 3).

Вопрос об изменении светового потока в различных частях кадра рассматривается ниже.

Влияние относительного отверстия объектива на экспозицию. Из выведенных ранее соотношений для времени экспозиции следует, что с уменьшением относительного отверстия объектива (при сохранении всех прочих параметров) время экспозиции

Таблица 3

Время экспозиции	A'	P'	A''
	В секундах		
T	0,0243	0,0216	0,0166
$T_1 = T_3$	0,0059	0,0031	0,0021
T_2	0,0125	0,0154	0,0164

уменьшается. Так например, беря значения светосилы объектива равными 1:2; 1:2,8 и 1:3,5 при $\alpha = 120^\circ$; $n = 18$ и $s = \infty$, получаем значения, помещенные в табл. 4.

Таблица 4

1:k	T_i	T	$T_1 = T_2$	T_2
			В секундах	
1:2	0,0185	0,0216	0,00308	0,0154
1:2,8	0,0185	0,0207	0,00218	0,0163
1:3,5	0,0185	0,0203	0,00178	0,0167

На рис. 23 дан график изменения светового потока за время T_1 для объективов с указанной в таблице светосилой (все значения вычислены в процентах максимального потока при светосиле 1:2).

Таким образом, из графика получаем относительное значение светового потока: для светосилы 1:2 — 100%; для 1:2,8 — 50% и для 1:3,5 — 33,3%.

Максимум светового потока, как видно из графика, достигается тем быстрее, чем меньше относительное отверстие.

Критерием в оценке затвора служит так называемый *коэффициент удлинения времени экспозиции*

$$\lambda = \frac{T}{T_i}.$$

Полагая $T_i = \frac{\alpha}{\omega}$, из уравнения (4) получаем

$$\lambda = 1 + \frac{2\phi}{\alpha}.$$

Значения λ для взятых выше значений светосилы объективов приводятся в табл. 5.

Таблица 5

1:k	1:2	1:2,8	1:3,5	1:6	1:9
λ	1,1667	1,1176	1,0959	1,0552	1,0368

Для крайних точек кадра λ будет принимать свои значения; так, для рассмотренного выше примера экспонирования крайних точек кадра имеем следующие значения (табл. 6).

Таблица 6

	A'	P'	A''
λ	1,322	1,167	1,114

Изменение относительного значения светового потока показано на рис. 24, а на рис. 25 даны кривые относительного зна-

чения световых потоков для различных затворов, промежутка времени T_1 и относительных отверстий 1:2.

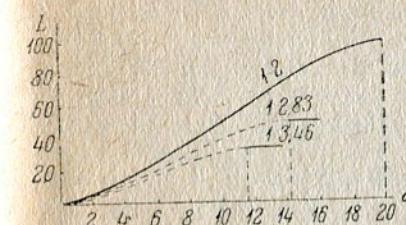


Рис. 23. График изменения светового потока $L = f(\delta)$.

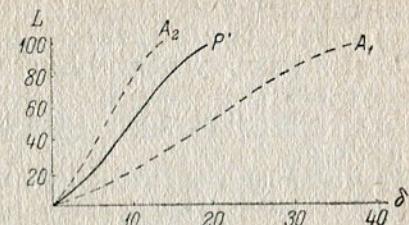


Рис. 24. График изменения светового потока $L = f(\delta)$.

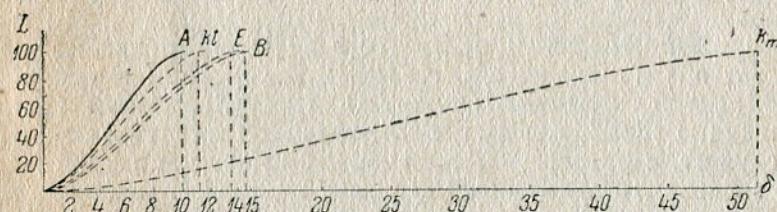


Рис. 25. График изменения светового потока $L = f(\delta)$ для различных затворов.

Обозначения на графике:

A — Arenemann-A, E — Pentaplex-E, kt — Kinette, km — Ica — Kinamo (в этом затворе плоскость обтюратора сильно удалена от плоскости пленки), B — Ascania.

ТИПЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ

§ 7. Центральные затворы

Механизмы центральных фотозатворов. Было бы чрезвычайно трудно разобраться во всем многообразии конструкций центральных фотозатворов, если не использовать при этом методы теории механизмов. Наиболее удобным методом исследования сложных комплексных механизмов, каким является фотозатвор, надо считать:

1. Установление общих кинематических признаков, характеризующих основные типы затворов.

2. Изучение отдельных параметров, определяющих работу механизма.

Все центральные затворы, независимо от того, будут ли они с предварительным заводом или автоматические, представляют собой систему механизмов, согласованную в своих действиях совершение определенной последовательностью.

В центральных затворах будем различать следующие механизмы:

- 1) приводной механизм;
- 2) механизм перемещения лепестков, перекрывающих отверстие объектива;
- 3) спусковой механизм;
- 4) тормозной механизм;
- 5) механизм, управляющий тормозом или меняющий движущее усилие;
- 6) механизм переключения с коротких выдержек на моментальные;
- 7) механизм длительной и короткой выдержки;
- 8) механизм самосъемки.

Назначение механизмов. Приводной механизм служит для передачи движущего усилия главной пружины, обычно являющейся источником энергии, механизму перемещения лепестков, осуществляющему открывание и закрывание отверстия затвора.

Спусковой механизм включает в действие приводной механизм затвора и механизм длительных и коротких выдержек.

Тормозной механизм служит для регулирования времени, в течение которого отверстие затвора выдерживается открытым, т. е. служит, с фотографической точки зрения, для изменения времени экспозиции. Аналогичную задачу выполняет механизм изменения движущего усилия приводного механизма. Таким образом, при дальнейшем рассмотрении затворов мы встретим конструкции, в которых задача регулирования времени экспозиции будет решена либо изменением движущего усилия приводного механизма, т. е. изменением скорости перемещения лепестков, либо путем изменения работы тормозного устройства, в течение которого лепестки оставляют отверстие затвора открытым.

Механизм, управляющий тормозом или изменением движущего усилия, устанавливает относительное расположение звеньев регулятора для получения требуемого времени действия механизмов, определяющих время экспозиции.

Механизм переключения с коротких выдержек на моментальные (иногда объединяемый в своем действии с механизмом управления), включая один механизм, например моментальных выдержек, выключает другие механизмы — длительной и короткой выдержки. Таким образом, это устройство определяет возможность действия всегда только одного какого-либо механизма (длительной, короткой или моментальной выдержки).

Механизм длительной и короткой выдержки предназначен удерживать механизм перемещения лепестков от движения в момент полного открытия отверстия в течение длительного времени. При этом его действие прекращается не автоматически, а при одиночном или двукратном действии спускового механизма.

Механизм самосъемки является как бы промежуточным включающим устройством. После действия спускового механизма приводной механизм остается неподвижным до тех пор, пока не отработает механизм самосъемки, после чего приводной

и связанный с ним механизм перемещения лепестков включаются автоматически.

Общие условия взаимодействия механизмов. При моментальных выдержках механизмы длительной и короткой выдержки должны быть выключены с гарантией невозможности случайного включения. Промежутки времени, в течение которых отверстие затвора открыто, должно отвечать соответствующей шкале, что обеспечивается предварительной установкой регулирующих механизмов. При наличии тормозного устройства включение его должно происходить не раньше, чем лепестки откроют полное отверстие; включается тормоз в момент начала закрытия.

В тех случаях, когда в затворе имеется „самосъемка“, обязательным условием будет следующая последовательность работы механизмов: после действия спускового механизма начинает работать механизм самосъемки; механизмы приводной и перемещения лепестков остаются неподвижными до тех пор, пока „самосъемка“ не сработает и не включит их.

При осуществлении короткой выдержки *K* (рис. 26) механизм длительной выдержки *D* должен быть выключен, механизм моментальной выдержки также выключается за исключением тех конструкций, у которых короткая выдержка получается непосредственно от приводного механизма, для чего требуется предварительный его завод. Тормозной механизм может остаться включенным.

При заводных конструкциях, у которых на *K* механизм моментальной выдержки остается включенным, упор, расположенный на траектории движения одного из звеньев приводного механизма, должен останавливать его в момент, когда лепестки откроют полное отверстие, и выключаться при возвращении спускового механизма в исходное положение. При этом осуществляется закрытие отверстия.

Длительная выдержка получается аналогично короткой с той лишь разницей, что, после возвращения спускового механизма в исходное положение, приводной механизм с первого упора переходит на другой, выключаемый вторичным перемещением спускового рычага. Таким образом, при первом цикле работы спускового механизма отверстие затвора открывается; а при повторном — закрывается.

Типовые кинематические схемы механизмов привода и перемещения лепестков. При рассмотрении центральных затворов мы вынуждены будем придерживаться некоторой схематичности, так как детальное рассмотрение каждого

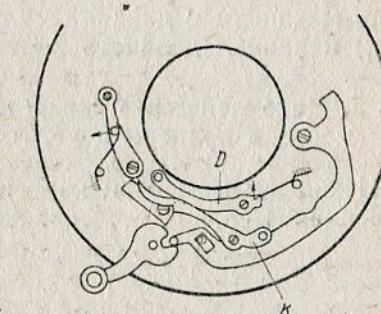


Рис. 26. Схема механизма короткой и длительной выдержек.

затвора в отдельности заняло бы слишком много времени и вряд ли было бы целесообразно по причине многообразия существующих конструктивных вариантов. Поэтому в целях получения общенных выводов мы будем изучать лишь основные схемы затворов, сопровождая последние показом важнейших конструктивных особенностей.

Разбираясь во всей массе центральных фотозатворов, с которой практику и теоретику приходится сталкиваться в своей работе, можно произвести их разбивку на несколько основных групп, обладающих отличными друг от друга признаками. Наиболее удобным является составление групп по типам механизмов привода и перемещения лепестков. Таких типов мы можем отметить всего четыре:

- 1) четырехзвенник с одиночной кулисой;
- 2) шарнирный четырехсторонник с двойной кулисой;
- 3) механизм с двойной кулисой;
- 4) механизм двойного кривошипа.

§ 8. Кинематические схемы механизмов центральных затворов и примеры конструктивного их оформления

Исходным моментом изучения фотографических затворов, как и всяких механизмов, является установление кинематической схемы и основных параметров: действующих усилий, перемещений и пр.

Наибольший интерес представляют механизмы привода, механизмы перемещения лепестков и регулирующие устройства, так как они своей работой определяют время экспозиции и при проектировании должны быть рассчитаны в соответствии с заданием. Остальные механизмы обычно проектируются во вторую очередь, а конфигурация деталей определяется из конструктивных или габаритных соображений. Задачей кинематики здесь является определение длины звеньев и траекторий перемещения отдельных точек, решаяющих несложную задачу в общей схеме механизма затвора.

Рис. 27. Кинематическая схема механизма с одиночной кулисой.

Структивных или габаритных соображений здесь является определение длины звеньев и траекторий перемещения отдельных точек, решаяющих несложную задачу в общей схеме механизма затвора.

Четырехзвенник с одиночной кулисой. По этой схеме (рис. 27) выполнены известные затворы „Comprig“ (модель 1), „Rulex“, „Compound“, „Klio“, „Kodak“, „Ibs“ и др. Схема допускает возможность применения нескольких лепестков для перекрытия отверстия, как это видно из примеров некоторых конструкций (рис. 28, 29, 30).

В качестве источника энергии используются пружины. Обычно одновременно работают две пружины: одна на ведущем

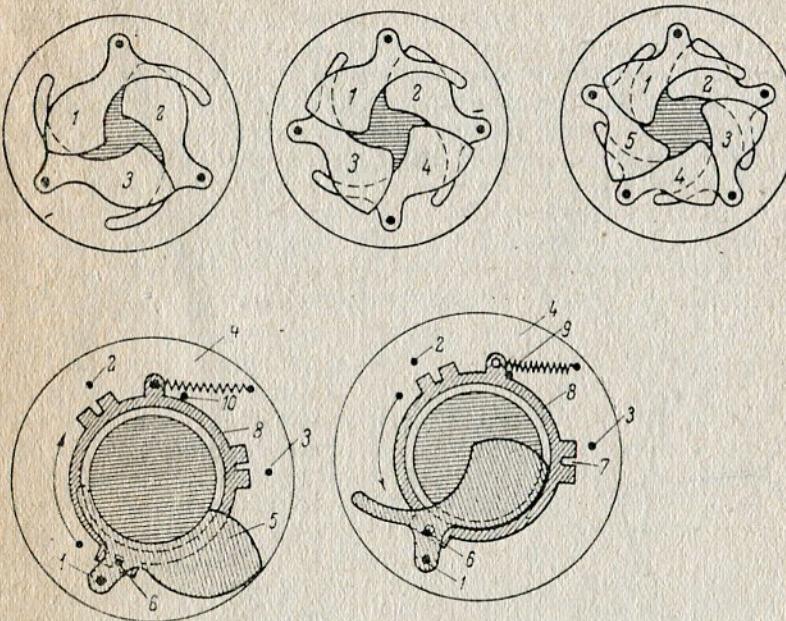


Рис. 28. Механизм перемещения лепестков.

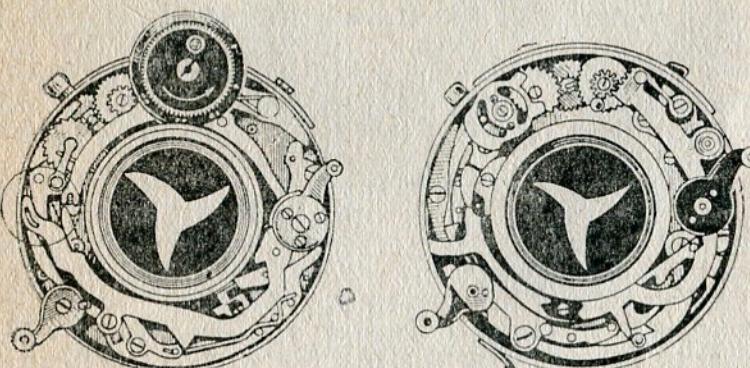


Рис. 29. Механизм затвора „Comprig“.

Рис. 30. Механизм затвора „Rulex“.

звене, осуществляющем перемещение механизма лепестков при прямом ходе, а вторая — на ведомом звене, противодействующая главной пружине, аккумулирует на прямом ходе энергию для осуществления обратного хода механизма. Отдавая энергию при обратном ходе, эта пружина ведомого звена до некоторой степени компенсирует падающее усилие главной пружины.

Механизм действует следующим образом. Кривошип AB , будучи освобожден спусковым механизмом, удерживавшим его в исходном положении, начнет перемещаться по стрелке. Далее движение передается шатуну BC , затем коромыслу CD и жестко связанной с ним кулисе DE , отклоняющей лепесток KO против часовой стрелки. При этом движении кулисы DE осуществляется открытие отверстия затвора. Мертвое положение механизма $AB'C'D$ соответствует максимальному перемещению лепестка до момента остановки в крайнем положении DK' (момент полного открытия отверстия затвора). При дальнейшем перемещении кривошипа (из положения AB' в AB'') кулиса

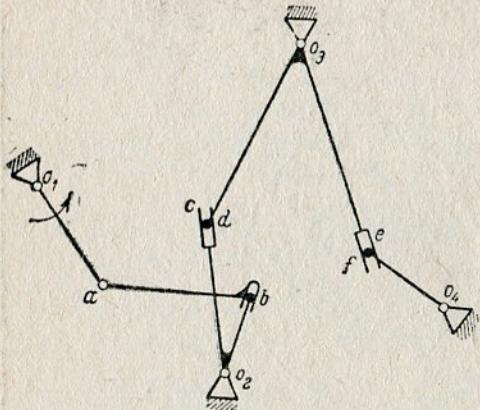


Рис. 31. Кинематическая схема механизма с двойной кулисой (Ibsor).

DE изменит направление движения лепестка, и, таким образом, закроет отверстие затвора.

Шарнирный четырехсторонник с двойной кулисой (рис. 31). Эта схема используется в качестве приводного механизма, передающего движение лепесткам в центральном затворе „Ibsor“ (рис. 32).

Как и рассмотренная выше, эта схема дает возможность перекрывать отверстия несколькими лепестками. Движение передается от ведущего звена o_1a через звено ab — кулисе bo_2c и затем через do_3e лепестку fo_4 .

Перемещение звена o_1a , являющегося в данном механизме кривошипом, выбирается с таким расчетом, чтобы движение его до мертвого положения обеспечило нужное перемещение лепестка; переходом кривошипа через мертвое положение осуществляется возвратное движение лепестков.

Приводной механизм с двойной кулисой. На рис. 33 изображена схема, применяемая обычно в двухлепестковых затворах. Эта схема получила конструктивное решение в затворах „Vario“, „Ica“, „ГОМЗ“, „Agfa“, „Unicam“, „Kodak“ и др.

Движение от рычага o_1a передается рычагу bo_2e , жестко связанному с лепестком o_2d и через кулису eo_3 второму лепестку.

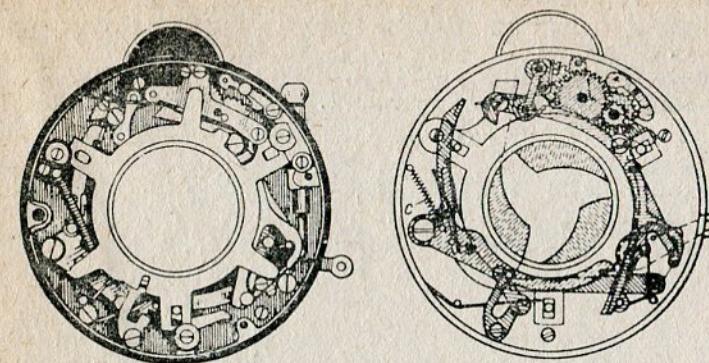


Рис. 32. Механизм затвора „Ibsor“.

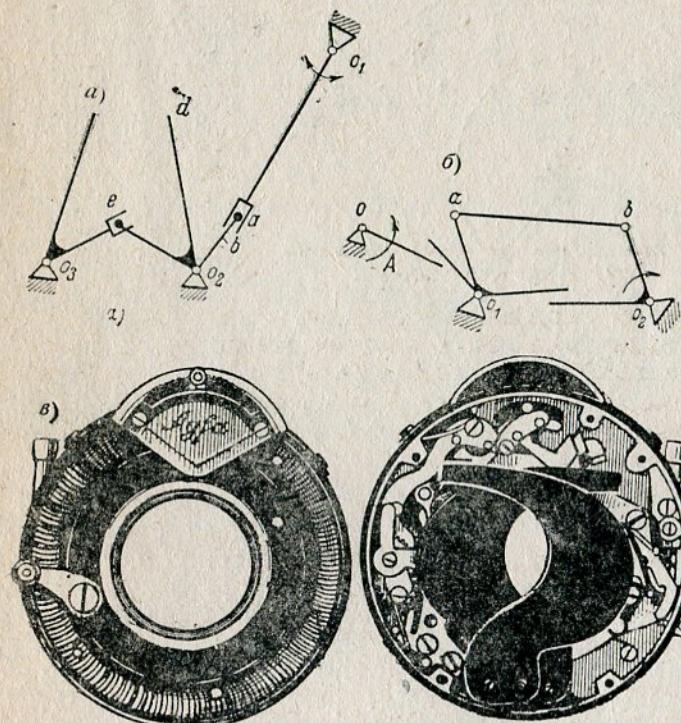


Рис. 33. Кинематические схемы механизмов:

- а) с двойной кулисой,
- б) параллельных кривошипов,
- в) конструкция затвора „Agfa“.

Спаренные параллельные кривошипы. Схема дана на рис. 33, б.

Эта схема, как и предыдущая, позволяет перекрывать отверстие только двумя лепестками. Движение передается от рычага *A* кривошипу *o₁a* и спарником *ab* второму кривошипу *bo₂*.

С кривошипами жестко связаны лепестки. По этой схеме выполнен затвор „Kodak“ automatik, pat. mai 7 1907.

В качестве примера рассмотрим сочетание механизмов затвора „Rulex“, выполненного по схеме,

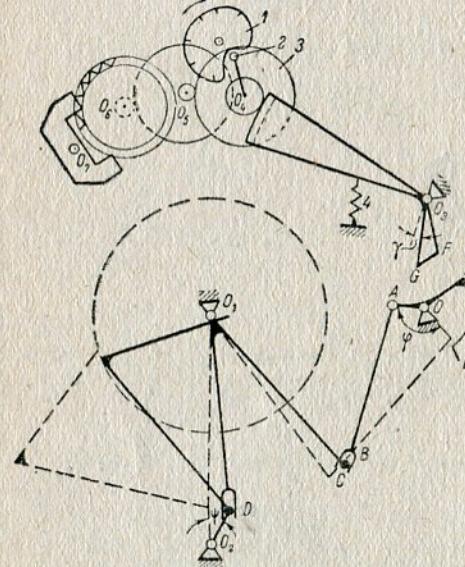


Рис. 34. Кинематическая схема механизмов затвора „Rulex“.

спускового механизма. Жестко связанная с коромыслом *O₁C* кулиса *O₁D* передает движение лепестку *O₂D*. Этим сочетанием механизмов осуществляется (автоматически) крайняя моментальная выдержка, т. е. наиболее короткое время освещения светочувствительного слоя.

Изменение времени экспозиции при моментальных съемках осуществляется специальным регулятором, удовлетворяющим известным общим требованиям.

Регулятор устроен следующим образом. Кулакок *GO₃F* и зубчатый сектор, выполненные в виде двуплечего рычага, передают движение системе трех пар шестерен и анкеру.

Включение регулятора производится кулакоком *OEL*, жестко скрепленным с кривошипом.

Установка требуемого времени работы регулятора производится управляющим кулакоком *I* (рис. 34).

При вращении кулакка *I* (по часовой стрелке) пальцем *2*, укрепленным на шестерне *3*, перемещается двуплечий рычаг; при этом меняется расстояние между кулакком *OEL* и *GO₃F*, изменяется момент включения регулятора и как следствие этого — время его работы.

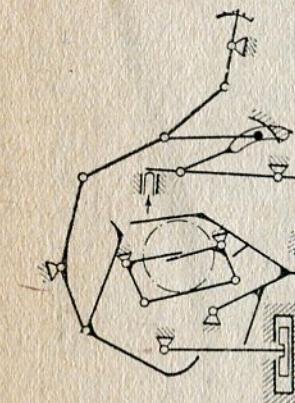


Рис. 35. Кинематическая схема механизмов затвора „Kodak“ automat. pat. 1907.

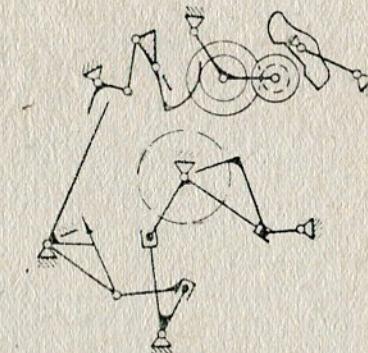


Рис. 36. Кинематическая схема механизмов затвора „Ibsor“.

При самой короткой моментальной выдержке управляющий кулакок *I* поворачивает зубчатый сектор настолько, что кулакок кривошипа *OEL* на всем своем пути уже не встречает кулакка *GO₃F* регулятора, и последний, таким образом, оказывается выключенным.

В исходное положение сектор возвращается пружиной *4*. Специальная пружина создает вращающий момент для обратного хода кулисы, а при прямом ходе она оказывает сопротивление, которое нужно учитывать при выборе главной пружины.

В заключение общего рассмотрения механизмов центральных затворов, принципов их действия и последовательности работы отдельных органов затвора, приводим ниже некоторые упрощенные кинематические схемы отдельных затворов, конструктивное оформление которых представлено на рис. 35—43. Не имея возможности из-за недостатка места подробно останавливаться на описании каждого затвора в отдельности, приведем краткое описание затвора „Сотриг“ как одного из наиболее совершенных и распространенных современных затворов, и затвора „Лилипут“.

Затвор „Сотриг“, модель II. Кинематическая схема этого затвора может быть рассмотрена как одна из разновид-

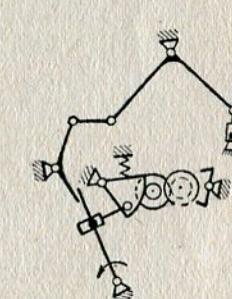


Рис. 37. Кинематическая схема механизмов затвора „Kodak“.

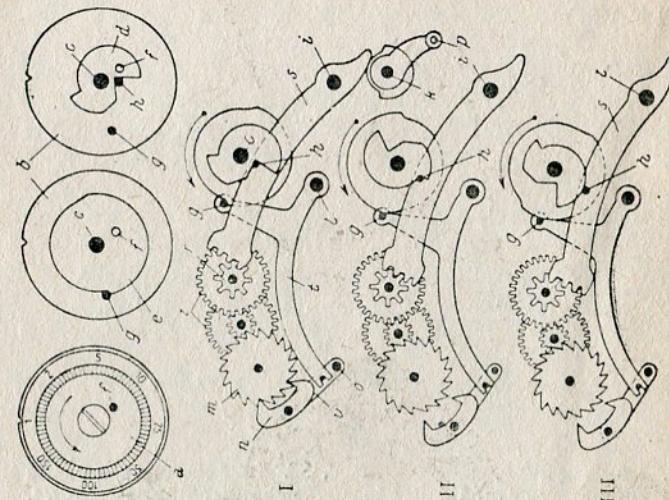


Рис. 38. Кинематические схемы механизмов затворов „Сомпрайс“ мод. I и „Сомпрайс“ и регулятора „Сомпрайс“.

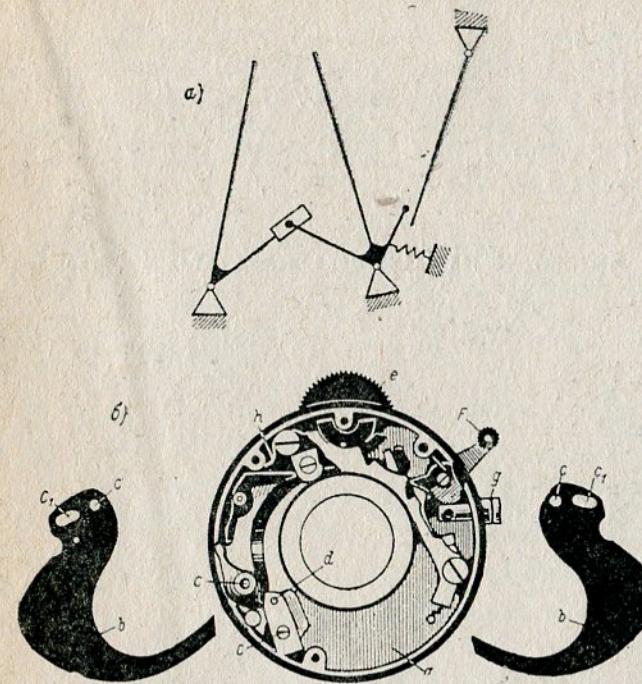
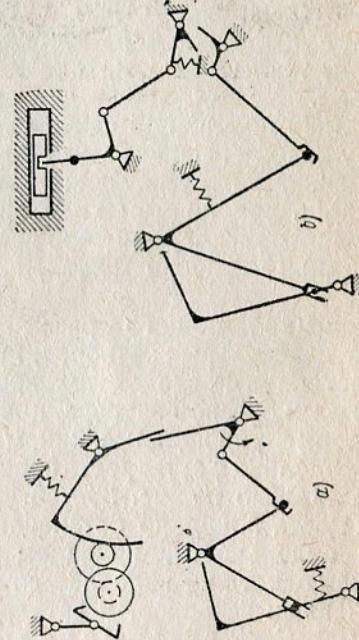


Рис. 39. Кинематическая схема механизмов затвора „Vario“ и конструкция затвора „Embezet“.

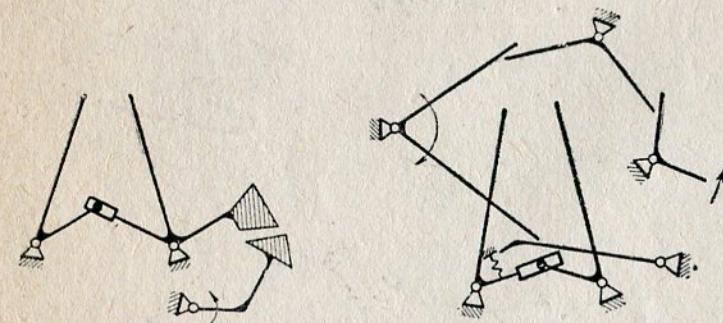


Рис. 40. Кинематическая схема механизмов затвора „Unicum“ Ernemann.

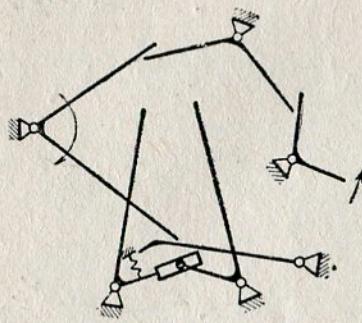


Рис. 41. Кинематическая схема механизмов затвора „Kodak“ autom.

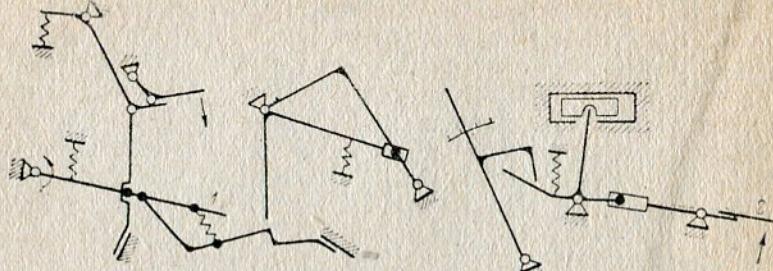


Рис. 42. Кинематическая схема механизмов затвора „Ergemann”.

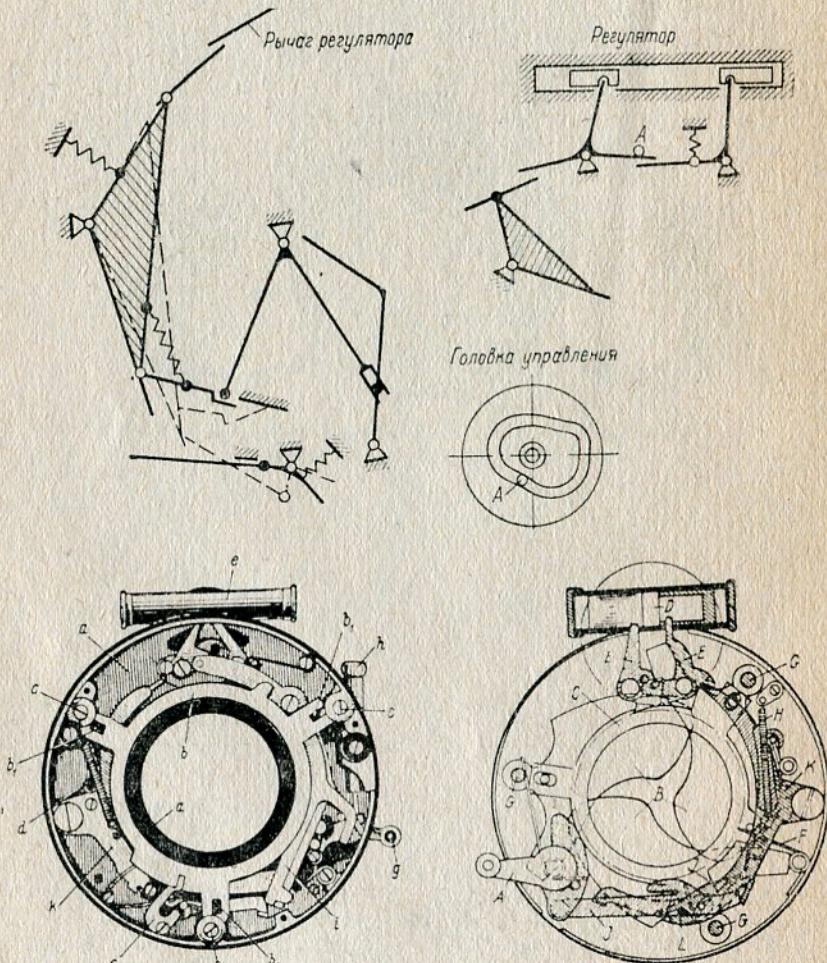


Рис. 43. Кинематическая схема механизмов затвора „Ergemann” и конструкция затвора „Ibsos”.

ностей схемы механизмов затворов с двойной кулисой. На рис. 45 представлена схема, а конструктивное оформление этого затвора видно из рис. 44, а и б.

На рис. 44 затвор показан в момент спуска. Действие затвора при моментальной экспозиции (без регулятора): нажимая на спусковой рычаг *e*, выводим из зацепления рычаг *d* с кольцом *c*, которое вращается вокруг тубуса затвора под действием пружины *c₃*. На кольце *c* укреплен кулачок *c₁*, который, встречая на своем пути двухплечий рычаг, поворачивает его, а послед-

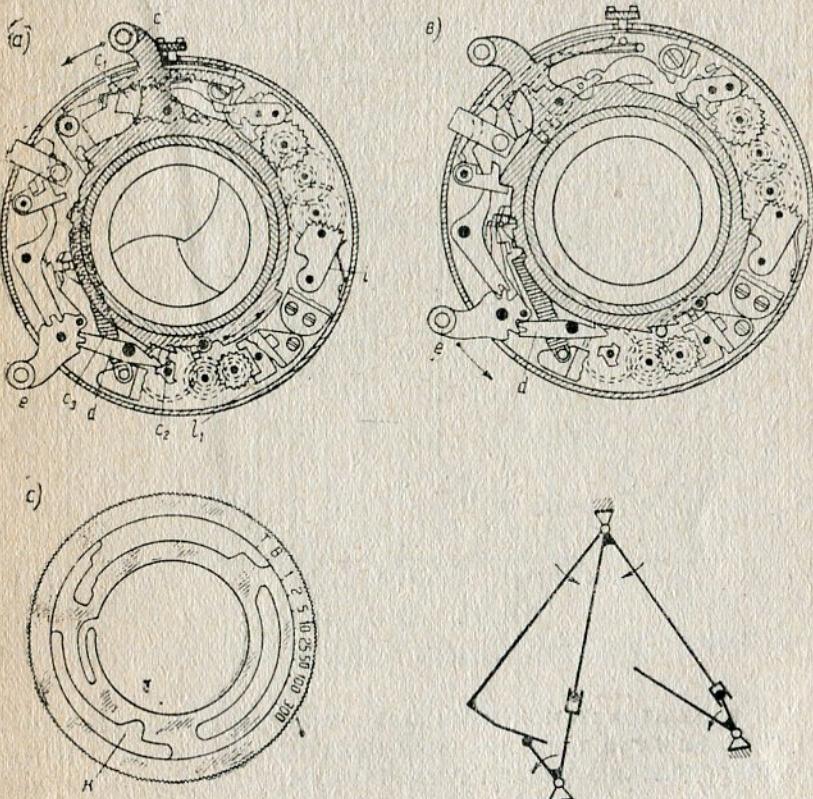


Рис. 44. Конструкция затвора „Compur” mod. II.

ний, в свою очередь, вращает кольцо лепестков, приводя их в движение.

При закрытии лепестков двухплечий рычаг поворачивается в обратную сторону пружиной, кулачок *c₁* в конце движения кольца упирается в палец, укрепленный на двухплечем рычаге.

На рисунке затвор показан со включенным механизмом самосъемки *I₁*. Идея этого механизма заключается в следующем. Собачка *c₂*, подвижно укрепленная на кольце *c*, при заводе входит в зацепление с кулачком, сидящим на оси первой шестерни

Рис. 45. Кинематическая схема механизмов затвора „Compur” mod. II.

системы I_1 . При повороте кулачка на $\frac{1}{3}$ оборота (приблизительно через 10 сек. работы анкерного тормоза) происходит расцепление собачки c_2 с кольцом c и последнее, получив возможность двигаться, перемещает лепестки до полного открытия отверстия затвора. При экспозиции до $\frac{1}{100}$ сек. в момент полного открытия отверстия отгибка кольца c встречает сектор i регулятора и до тех пор, пока они не выйдут из зацепления, перемещение кольца будет настолько мало, что закрытия отверстия лепестками не происходит. Время торможения определяется величиной пути сектора, который меняется с изменением экспозиции при помощи установочного кольца (рис. 44) (палец, в克莱енный в сектор, перемещается по кривой, образующей прорез k).

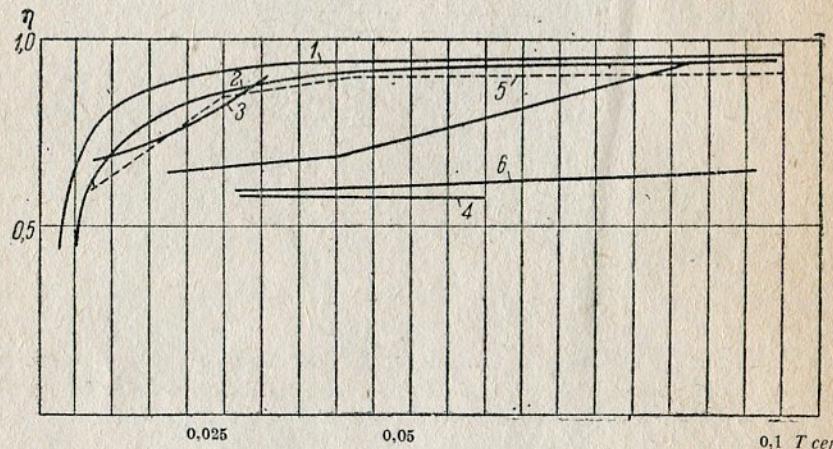


Рис. 46. График $\eta = f(T)$.
1—Compur Rapid, 2—Compur CO (с самосъемкой), 3—Telma, 4—Ica, 5—Compur CO (без самосъемки), 6—Ergemann.

Для рассматриваемой нами модели затвора „Compur“ (размер CO) считаем нелишним привести некоторые данные, относящиеся к определению усилий главной пружины и усилий, приходя-

Таб				
Время по номиналу в сек.	1	0,5	0,2	
Наблюденное время в сек.	0,83—1,08	0,432—0,556	0,175—0,23	
Изменение к. п. д. η в зависимости от				

щихся на анкерное колесо. Максимальное усилие главной пружины 0,900 кг, окружное усилие на ведущем кольце c —0,780 кг, усилие на окружности анкерного колеса — 0,070 кг. Из боль-

шого числа опытов, проведенных авторами по определению времени экспозиции, для данной модели были установлены следующие пределы (см. табл. 7), а значения $\eta=f(T)$ — см. рис. 46.

Затвор „Лилипут“. В заключение отметим одну из простейших схем фотозатворов, к числу которых относится затвор камеры „Лилипут“ (рис. 47).

Затвор состоит из диска или сектора, приводимого в движение пружиной. При работе затвора перемещение сектора происходит в одном направлении, проходя все фазы (открытие, выдержка, закрытие). Затвор имеет, как видно на рис. 47, спусковой рычаг I , лепесток, или сектор 2 с отверстием, пружину 3 ,

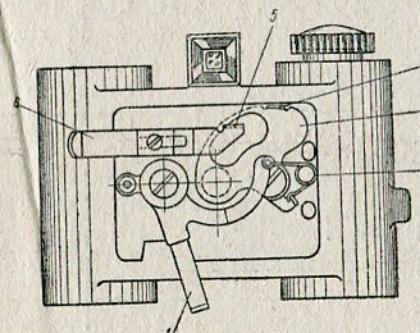


Рис. 47. Затвор камеры „Лилипут“.

приводящую в движение лепесток и отгибку 4 на секторе для остановки последнего при длительной выдержке другой отгибкой 5 на рычаге установки экспозиции 6 .

§ 9. Фотозатворы гильотинного типа

Затворы гильотинного типа, как и центральные затворы, предназначаются для экспонирования светочувствительного слоя в течение сравнительно коротких промежутков времени.

таблица 7

0,1	0,04	0,02	0,01	0,004
0,085—0,117	0,0366—0,0433	0,0183—0,0233	0,0083—0,0103	0,0063—0,0078

времени экспозиции см. на рис. 46.

Применяются гильотинные затворы в стереоаппаратах, в аппаратах яичного типа, а кроме того во всех случаях, когда это позволяют габаритные размеры и предельное время момен-

тальной экспозиции, которое в затворах этого типа (для больших отверстий) относительно велико.

Идея устройства фотозатворов гильотинного типа заключается в следующем. Жесткая, светонепроницаемая шторка перемещается прямолинейно в плоскости объектива, открывая и закрывая отверстие соответственно предварительной установке регулирующего механизма.

Конструкторская практика выработала три способа перекрывания отверстия (рис. 48 а, б, с):

1) двумя шторками, движущимися в разные стороны и открывающими отверстие от центра;

2) двумя шторками, движущимися в одну сторону: первая шторка открывает отверстие от края до полного диаметра, после чего начинает движение вторая шторка, закрывающая отверстие;

3) одной шторкой с отверстием не меньше

диаметра действующего отверстия объектива и движущейся в одном направлении.

Выбор варианта определяется величиной перемещения шторки, влияющей на время перемещения и габаритные размеры механизма.

На рис. 48 представлена схема изменения величины перемещения шторки в описанных выше вариантах.

Осуществление требуемых перемещений и последовательности соответствующих включений механизмов является кинематической задачей, получившей решение в ряде затворов, описываемых ниже в качестве типичных примеров.

При малых действующих отверстиях затвора (до диаметра 8—10 мм) практически удается получить время перемещения шторки соответственно времени экспозиции порядка $1/300$ сек. Увеличение действующего отверстия резко удлиняет время экспозиции, так например, перекрытие объектива 1 : 3,5; $f = 105$ мм возможно в промежутках времени не короче $1/60$ сек.; это значение является уже пределом, так как действующие в механизме силы, возрастаю, ведут к резким толчкам в начале движения шторок и ударам в момент остановки.

Основные условия взаимодействия механизмов для гильотинных затворов остаются те же, что были приведены выше для центральных затворов.

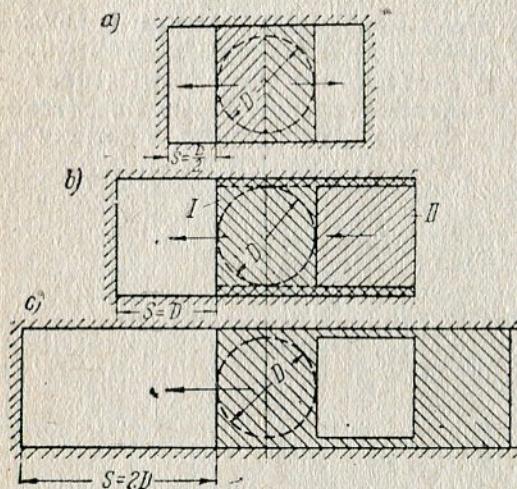


Рис. 48. Перекрытие отверстия в затворах гильотинного типа.

Затвор стереоскопической камеры „Polyscop“. Проектирование затвора и его конструктивная разработка выполнены по приведенной на рис. 49 кинематической схеме. Шторка I, удерживаемая двуплечим рычагом 2 в исходном (зведенном) положении, закрывает отверстие объектива d. Пружина 3 одним концом укреплена на шторке, а другим — на подвижной зубчатой рейке 4, перемещаемой с помощью трибки 5. Пружина 3, являющаяся главной приводной пружиной, кроме предварительного натяжения при установке, может быть регулирована путем дополнительного натяжения указанным приспособлением. С зубчатой рейкой 4 жестко связана подвижная планка с наклонным шлицом 6.

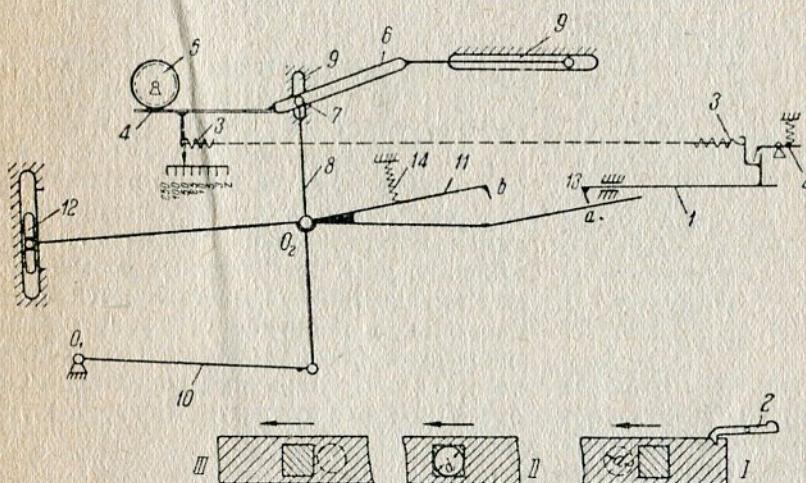


Рис. 49. Кинематическая схема затвора камеры „Polyscop“ и положения шторок: I — заведенное (исходное), II — в момент открытия объектива, III — конечное положение.

При горизонтальном перемещении рейки 4 палец 7 рычага 8 перемещается по вертикальному шлицу основания 9, увлекая за собой рычаги 10 и 11.

При этом двуплечий рычаг 11, встретив в точке a упор 13, установленный на шторке, вращается вокруг точки O_2 и перемещает поршень пневматического тормоза 12. Пружина 14 стремится вращать рычаг 11 вокруг точки O_2 (в исходном положении этому препятствует упор 13). Если убрать упор, то рычаг начнет вращаться под действием пружины, преодолевая сопротивление пневматического регулятора 12; время перемещения рычага будет определяться величиной пути поршенька тормоза, скорость которого зависит от скорости истечения и объема вытесняемого из цилиндра воздуха. Величина пути поршенька определяется предварительной установкой пальца 7, выполняемой вращением шестерни 5.

Действие механизма. Крайняя моментальная экспозиция, соответствующая наименьшему времени перемещения шторки в

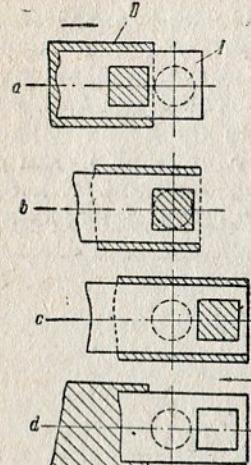


Рис. 50. Схема взаимодействия рабочей и холостой шторок затвора камеры „Polyscop“. I — рабочая, II — холостая шторки.

Заметим, что остановка (для уменьшения времени экспозиции) производится в том случае, когда упор 13 не встречает на своем пути рычаг 11, т. е. шторка, будучи освобождена от рычага 2, весь путь проходит без задержки, что достигается предварительной установкой пальца 7. Последующие, уже замедленные моментальные экспозиции, осуществляются путем введения в действие описанного выше пневматического тормозного устройства.

Последовательность работы отдельных звеньев механизма в этом случае будет следующей. Рычагом 2 освобождается шторка 1, которая, перемещаясь, убирает упор 13, и тогда рычаг 11 получает возможность поворачиваться вокруг оси шарнира O_2 под действием пружины 14. Скорость шторки значительно больше скорости поворота рычага 11, ограничиваемого пневматическим тормозом, а поэтому упор 13 шторки 1, встречая на своем пути рычаг 11 в точке *b* (в момент полного открытия отверстия), останавливает шторку на время, пока рычаг 11 не повернется на угол, соответствующий расцеплению его в точке *b* с упором 13; после этого шторка продолжает свой путь, закрывая отверстие.

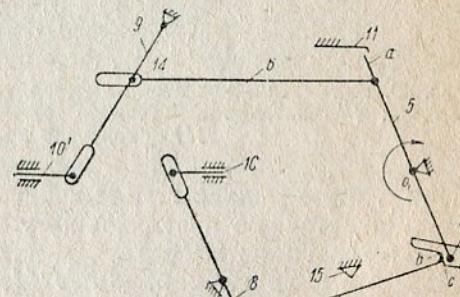


Рис. 52. Кинематическая схема затвора камеры „Монорол“.

упор 13 шторки 1, встречая на своем пути рычаг 11 в точке *b* (в момент полного открытия отверстия), останавливает шторку на время, пока рычаг 11 не повернется на угол, соответствующий расцеплению его в точке *b* с упором 13; после этого шторка продолжает свой путь, закрывая отверстие.

Всякий раз, как шторка переместится из положения I в положение III (рис. 49) для следующей съемки, она должна быть возвращена в исходное положение I.

Для того, чтобы при перемещении шторки в исходное положение, т. е. при взводе затвора, не открывать отверстие объектива, применяется вспомогательная шторка. Взаимное расположение шторок при взводе схематически представлено на рис. 50.

Винт *c* (рис. 51) закреплен во второй шторке, перемещая его по стрелке, пружинным упором 16 увлекается первая (основная) шторка до тех пор, пока рычаг 2 не зацепит за накладку 1a на первой шторке. Отпустив винт *c* действием пружины 15, возвратим вспомогательную шторку в ее исходное положение

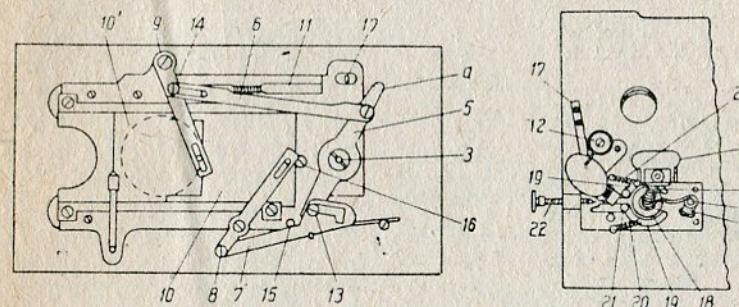


Рис. 53. Конструкция затвора камеры „Монорол“.

Для смягчения удара шторки при остановке на вспомогательной шторке укреплена пружина 16, под которую входит клиновая накладка, закрепленная на первой шторке.

Рычаг 17 (рис. 51) предназначен для короткой выдержки *Z* и работает как останов шторки в момент полного открытия отверстия; при моментальных экспозициях рычаг 17 поднимается на упор 18, и шторки проходят, не задевая его.

Затвор имеет следующую шкалу значений времени экспозиций: *Z*, 3, 5, 10, 25, 50, 100, 250 (что соответственно означает $\frac{1}{3}$ сек., $\frac{1}{5}$ сек. и т. д.).

Затвор камеры ящиичного типа „Монорол“. Отличительными особенностями этого затвора являются:

- 1) отсутствие вспомогательной шторки, предупреждающей открывание объектива во время взвода;
- 2) применение проволочной спиральной пружины, работающей на кручение;
- 3) регулирование времени перемещения шторок тормозом трения.

Схема затвора (рис. 52) дает решение задачи перекрывания отверстия двумя шторками, движущимися в одном направлении. Рис. 53 дает представление об устройстве затвора.

Действие затвора. Перед фотографированием затвор заводится. Вращением барабанка 1 закручивается пружина 2, укрепленная

ленная одним концом на оси 3, а другим — на основании 4. От оси 3 движение передается рычагу 5, перемещающему через систему рычагов 6, 7, 8, 9 шторки 10 и 10' в исходное положение. Во взвешенном положении вся система удерживается пружинным рычагом 11, который запирает конец α рычага 5.

На рис. 53 механизм показан в отработанном положении. Нажимом на головку управления 12 освобождается рычаг 5. Палец 13, упираясь в уступ выреза рычага 7, перемещает первую шторку 10, вторая же остается неподвижной до момента полного открытия отверстия, так как рычаг 6 скользит в это время шлицом по пальцу 14. Когда первая шторка полностью открыла отверстие, рычаг 7 встречает упор 15, поворачивается вокруг оси шарнира звеньев 7, 8, освобождая палец 13 (последний движется по неподвижной уже прорези рычага 7); рычаг 6, подойдя к пальцу 14, передвигает рычаг 9, сообщая движение шторке 10'. Шторки останавливаются упором 16. Короткая выдержка осуществляется введением упора 17 на пути перемещения рычага 5. Перемещение рычага 5 до упора 17 соответствует открытию отверстия первой шторкой, повторным нажимом на головку управления 12 убирается упор 17, и отверстие закрывается второй шторкой.

Рис. 54. Схема тормоза затвора камеры „Мопор“.

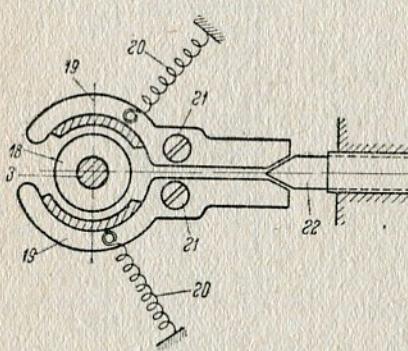
Тормоз (рис. 54) устроен следующим образом. На оси 3 укреплен латунный диск 18, охватываемый двумя колодками 19. Пружинки 20 стремятся повернуть колодки вокруг осей 21 и отжать от диска, регулирование же нажима колодок на диск достигается введением конуса 22 между двумя другими концами колодок.

Такой регулятор не обеспечивает постоянства действия механизма и достаточно точно градации времени перемещения шторок.

Затвор „Steno Jumelle“. Действующее отверстие объектива, как и в затворе камеры „Мопор“, перекрывается двумя металлическими шторками, движущимися в одном направлении; затвор этот значительно проще разобранных выше и оригинален в своем конструктивном оформлении.

На рис. 55 изображена схема, поясняющая устройство и действие механизма, представленного во взвешенном положении для моментальной экспозиции.

Действие затвора. При перемещении рычага 1 по стрелке, система рычагов 2 и 3 освобождает шторку 4, приводимую в движение пружиной 5. Вторая шторка 6 удерживается отгибкой



пружинного рычага 7 до тех пор, пока первая шторка не откроет полностью отверстие и упором 8 не поднимет рычаг 7, удерживающий вторую шторку за отгибку 9. Вторая шторка перемещается пружиной 10. Плоская пружина 11 служит для смягчения удара шторок в момент остановки.

Короткая выдержка достигается системой рычагов спускового механизма 1, 2 и 3 и введением дополнительного упорного рычага.

Затвор „Le Constant“. Этот затвор применяется в качестве дополнительного приспособления, надеваемого при фотографировании на объектив. Затвор можно характеризовать как полуавтоматический — открывание отверстия производится от руки,

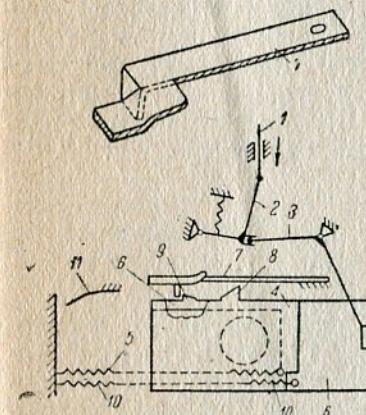


Рис. 55. Схема затвора „Steno Jumelle“.

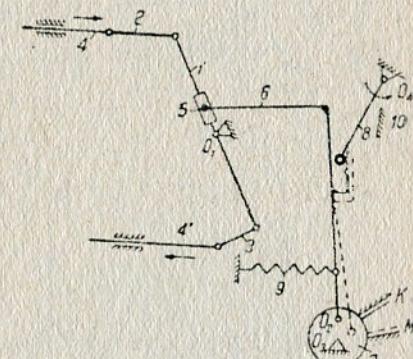


Рис. 56. Кинематическая схема затвора „Le Constant“.

а закрывание — автоматически, что видно из рассмотрения кинематической схемы. Затвор допускает короткую выдержку, при которой открывание и закрывание отверстия происходит не автоматически, и моментальную, при которой время открытия зависит от скорости перемещения заводного рычага, а время закрытия определяется скоростью перемещения шторок под влиянием пружины. Механизм затвора приводится в движение от пневматического спуска.

Кинематическая схема механизма затвора представлена на рис. 56. Рычаг 1, подвижно укрепленный на оси O_1 , шарнирно связан рычагами 2, 3 со шторками 4 и 4', перемещающимися в горизонтальных направляющих. Палец 5 рычага 6 входит в шлиц рычага 1. Рычаг 6 имеет ось вращения O_2 , расположенную на эксцентрике 7. Рычаг 8 служит для приведения механизма в действие. Пружина 9 возвращает рычаг 6 в исходное положение, осуществляя обратное перемещение шторок.

Действие затвора. Для получения короткой выдержки эксцентрик 7 устанавливается в положение K , при котором

достигается такое относительное расположение рычагов 6 и 8, что на всем пути они не выходят из зацепления. При вращении рычага 8 до упора 10 шторки получают перемещение в направлении, указанном стрелками на рис. 56, открывая отверстие от центра. Освобожденный рычаг 8 возвращается в исходное положение под действием пружины 9.

Моментальная экспозиция получается при установке эксцентрика 7 в положение *M*. В этом случае рычаги 6 и 8 расцепляются в момент полного открытия отверстия, и шторки свободно перемещаются (закрывая отверстие) под действием пружины 9.

Конструктивное оформление этой кинематической схемы представлено на рис. 57.

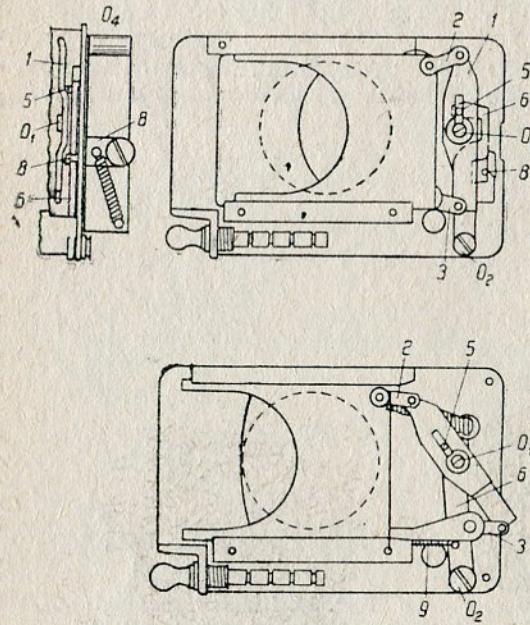


Рис. 57. Конструкция затвора „Le Constant“.

два панели 1 (рис. 58), укрепленных на литом угольнике 2, образующим переднюю доску 2a аппарата и основание линзы коллектива 2b. Таким образом, затвор является неотъемлемой частью аппарата и обеспечивает интервал экспозиций B , $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{500}$ сек.

Интервал времени экспозиции достигается изменением ширины щели между шторками 3, 4, при постоянном натяжении движущих пружин 5 и 6.

Отличительной особенностью затвора является использование для перемещения шторок кривошипно-шатунного механизма, позволившего применить в конструкции цельнометаллические шторки, отличающиеся морозостойкостью.

Рис. 59 представляет развернутую конструктивную схему, на которой спусковая кнопка 7 шарнирно связана со спусковым рычагом 8, ограниченным в своем движении соответствующим вырезом и упором 9. На рычаге 8 укреплена на винтах (устрой-

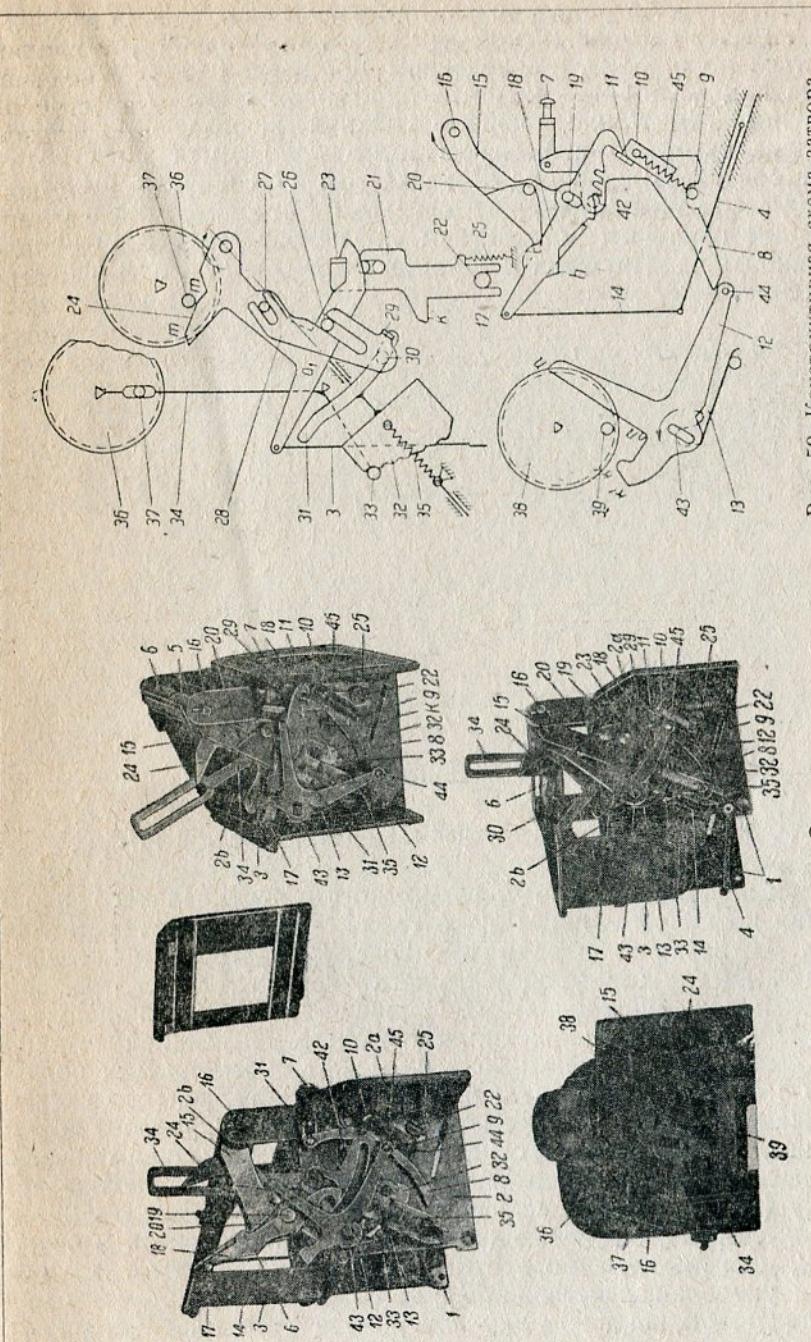


Рис. 59. Конструктивная схема затвора аппарата „Спорт“.

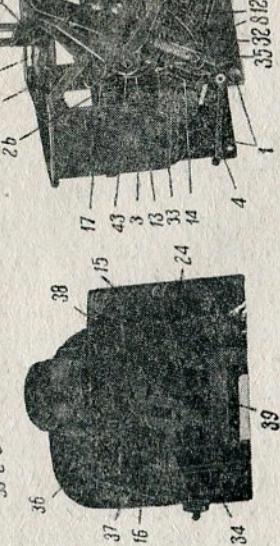


Рис. 58. Затвор аппарата „Спорт“.

ство, допускающее регулировку при сборке) колодка 10 с отгибкой 11. Рычаг зеркала 12 под действием пружины 13 стремится вращаться по стрелке, в заведенном положении (при установке зеркала под углом 45° к оптической оси) рычаг 12 удерживается рычагом 8 как упором. Нижняя шторка 4 шарнирно соединена тягой 14 с рычагом 15, вращающимся по стрелке вокруг оси 16. В шарнире 17 с рычагом 15 соединен рычаг 18 (носящий в практике название сабельки), ограниченный в своем движении овальным отверстием и направляющим штифтом (заклекой) 19. Пружина 20 удерживает рычаг 18 в нижнем положении.

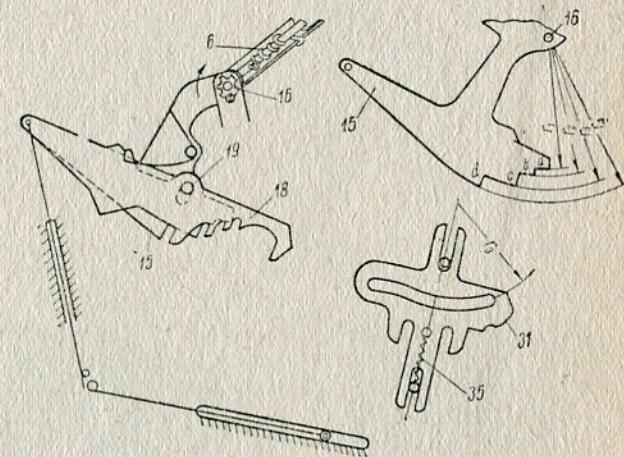


Рис. 60. Детали конструкций затвора аппарата „Спорт“.

Упорный рычаг 21 имеет возможность вертикального перемещения по направляющим 22, отгиба 23 служит упором для рычага 24 верхней шторки в заведенном затворе, а отгиба *k* рычага 21 служит упором рычага зеркала 12 в его втором крайнем положении (поднятом). Пружина 25 стремится удержать рычаг 21 в нижнем положении. На рычаге 24 верхней шторки по направляющим штифтам 26 и 27 может перемещаться ползунок 28 с отгибкой 29 и пальцем 30, определяющим движение ползунка 28 по шлицу кулисы 31. На последней укреплена двумя винтами (для регулировки) ступенчатая колодка 32, опирающаяся на палец 33 рычага экспозиций 34; пружина 35 удерживает колодку (кулису) в контакте с пальцем 33.

Завод затвора, заключающийся в опускании зеркала и обеих шторок, производится поворотом головки управления, на оси которой укреплена шестерня 36 с пальцем 37, отжимающим при вращении шестерни площадку *mm* рычага 24 вниз. Шестерня 38 находится в зацеплении с шестерней 36 и, нажимая пальцем 39 на площадку *nn*, опускает зеркало; в заведенном положении палец 39 упирается в площадку *k'k'* рычага 12.

Некоторые конструктивные особенности звеньев: 1) рычаг 15 нижней шторки на одном конце имеет четыре ступени (*a*, *b*, *c*, *d*), образованные радиусами из центра вращения 16 (рис. 60);

2) профиль прореза кулисы 31 представляет сопряжение дуги окружности (с центром 16) радиуса r_3 с прямой, при этом радиус подбирается такой величины, чтобы отгибка 29 ползунка 28 находилась против ступени с рычага нижней шторки 15; это положение фиксируется (при сборке) закреплением колодки 32 (при этом площадка должна упираться в палец 33 рычага 34);

3) регулирование натяжения главных пружин 5 и 6 производится одновременно путем вращения оси 16 и закреплением ее в нужном положении винтом (рис. 60).

Взаимодействие механизмов: 1. Короткая выдержка *B*. При нажиме на головку управления выводится из зацепления палец 37 с шестерней 36, затем вращением устанавливают рычаг 34 таким образом, чтобы палец 33 стал против колодки 32, в точке *B*. Кулиса 31 опускается при этом настолько, что отгибка 29 при движении ползунка по шлицу не встречает рычагов 15 и 18. Отпуская головку, фиксируют положение зацеплением пальца 37 с шестерней 36.

Вращением головки управления заводят затвор, опуская шторки и зеркало, что является следствием действия пальцев 37 и 34 на соответствующие площадки рычагов *mm* и *nn*.

Нажим на спусковую кнопку 7 вызывает поворачивание рычагов вокруг оси 42, происходит подъем колодки 10 и расцепление рычага 8 с рычагом 12. При вращении рычага 12 поворачивается ось 43, на которой закреплено зеркало, последнее поднимаясь освобождает свободный проход лучей от объектива к шторкам.

В верхнем крайнем положении палец 44 рычага 12, встречая отгибку *K* рычага 21, поднимает его. Рычаг 24, освобожденный от зацепления с отгибкой 23 рычага 21, вращаясь вокруг оси 16, поднимает шторку 3, открывая кадровое окно. Рычаги 15 и 18 в это время удерживаются от перемещения на упоре 10.

После освобождения спусковой кнопки рычаг 8 под действием пружины 45 возвращается в исходное положение, упор 10 опускается, рычаг 18 выходит из зацепления с отгибкой 11 и освобожденный рычаг 15, вращаясь, увлекает за собой тягу 14 и шторку 4, закрывающую кадровое окно.

2. Моментальные экспозиции. Завод затвора в этом случае производится аналогично короткой выдержке. Получение моментальной экспозиции сводится к установлению требуемой ширины щели между шторками, которое производится следующим образом. Головкой управления поворачивают рычаг 34 вокруг точки *O₁*, при этом палец 33 перемещает кулису в такое положение, при котором отгибка 29 ползунка встречает на своем пути один из выступов рычага 18, поднимает его, выводя из зацепления с отгибкой 11. Отгибка 29 запирается между ступенькой рычага 15 и прорезью рычага 18, и этим достигается получение нужной постоянной ширины щели.

Процесс образования щели при экспонировании для интервала $\frac{1}{500} - \frac{1}{50}$ сек. происходит следующим образом. Нажимая на спусковую кнопку 7, поворачивают рычаг 8 вокруг оси 42, при этом отгибка 11 устанавливается на траектории движения рычагов 15—18, а рычаг зеркала выходит из зацепления со спусковым рычагом. В конце движения рычаг зеркала поднимает рычаг 21, освобождая рычаг 24 верхней шторки; последний, вращаясь, увлекает ползунок 28 (рычаг 18 в это время находится в зацеплении с отгибкой 11). Отгибка ползунка, встретив рычаг 18, поднимает его (выведя из зацепления с отгибкой 11) и заклинивается между рычагами 15 и 18, образовав щель между шторками.

В тот момент, когда верхняя шторка пройдет весь путь, палец 30 ползунка 28, выходя на прямую часть прорези кулисы, выводит из зацепления отгибку 29, с этого момента вторая шторка движется одна, закрывая щель.

При установке экспозиции $\frac{1}{25}$ сек. сначала проходит весь путь первая шторка (вторая в это время находится в зацеплении с отгибкой 11), в конце движения она встречает выступ h рычага 18 и поднимает его, выводя из зацепления с отгибкой 11, с этого момента начинает движение вторая шторка.

Затвор „Н. Егептапп“ с закрытым заводом. На рис. 61, а) дана конструктивная схема, на которой a — верхняя шторка с жесткой планкой a_1 , b — нижняя шторка с планкой b_1 , c — валик для наматывания верхней шторки при заводе, e — пружина, f — валик с пружиной, приводящей в движение верхнюю шторку при рабочем ходе, g — тесьма, соединяющая верхнюю шторку с валиком f , h_1 — валик для нижней шторки с тесьмой i , j — рычаг для соединения шторок, k — упор на верхней шторке для соединительного рычага, l — рукоятка для завода затвора, q — шкала ширины щелей, p — рукоятка с индексом для установки щели, r — шестерня с отверстиями, s — трибка, укрепленная на оси h_1 , t — паразитная шестерня u — рукоятка для изменения натяжения пружины.

Завод затвора осуществляется вращением рукоятки l , движение передается через систему шестерен m , n , o валику, на который наматывается верхняя шторка, а так как с нею при помощи рычага j соединяется нижняя шторка, то она поднимается вместе с верхней; ленточки i , принадлежащие нижней шторке, наматываются на специальные ролики. При подъеме шторок нижние валики, вращаясь, закручивают помещенные в них пружины, создавая необходимое натяжение для осуществления рабочего перемещения.

Образование щели между шторками в затворах этого типа происходит при спуске шторок.

Рассмотрение действия затвора проведем по рис. 61, б). Нажимая на спусковую кнопку a , системой рычагов b и d отводим рычаг j от упора k , нижняя шторка под действием раскручи-

вающейся пружины наматывается на нижний валик. Верхняя шторка в это время удерживается от перемещения упором f и системой рычагов g , k , h до тех пор, пока шестерня r (приводимая в движение от валика нижней шторки через шестерни s и t) с упором p не встретит рычага h . При повороте последнего вокруг точки i освобождается ось l , и верхняя шторка начинает перемещаться. В нижнем положении шторки автоматически соединяются рычагом j и упором k .

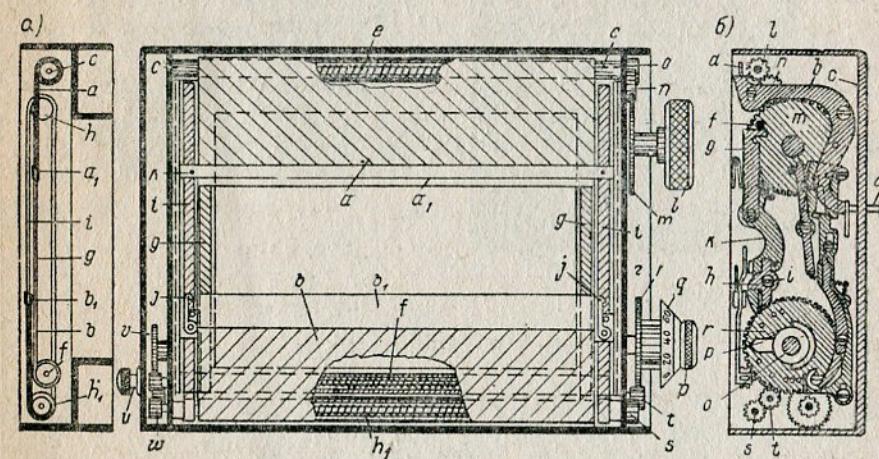


Рис. 61. Щелевой затвор „Н. Егептапп“ с закрытым заводом.

От предварительной установки упора p на шестерне r зависит момент включения верхней шторки, а следовательно, и ширина щели.

Угол поворота рукоятки завода остается постоянным при любой ширине щели.

На рисунке обозначено буквами v , w , u устройство для дополнительного натяжения пружин.

Изменение времени экспозиции в этой модели, осуществляется комбинацией ширины щели и натяжения пружины. Ширина щели меняется ступенчато: 2,5; 5; 10; 20; 40; 50; 100 мм. Натяжение пружины имеет 10 ступеней.

При установке на короткую и длительную выдержки во время завода автоматически спускается дополнительное натяжение пружин.

Затвор зеркальной камеры „Ментор“. Общий вид затвора и схема, поясняющая устройство, представлены на рис. 62. Слева — привод нижней шторки, справа — привод верхней шторки, c и d — ленты (тесьма) верхней и нижней шторки, e — валик для наматывания ленты d , f — валик для наматывания верхней шторки a , g — валик с пружиной для наматывания ленты

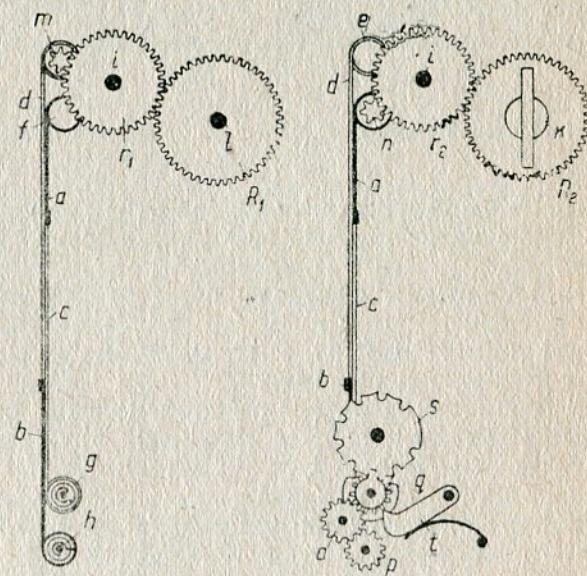
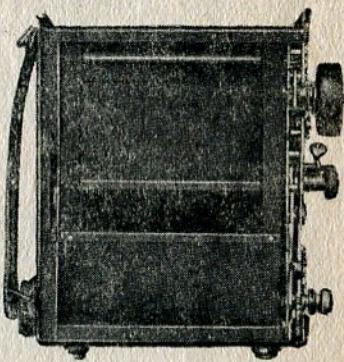
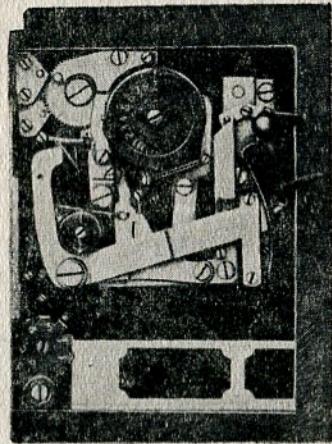


Рис. 62. Затвор зеркальной камеры „Mentor“.

верхней шторки *a*, *h* — валик с пружиной для наматывания нижней шторки, *k* — рукоятка для завода затвора, *i* — ось с шестернями *r₁* и *r₂*, *l* — ось шестерен *R₁* и *R₂*, *m* — трибка нижней шторки, *n* — трибка, сидящая на оси верхней шторки. Система шестерен *o*, *p*, *q* с мальтийским диском *s* и храповой собачкой *t*, представляют собой устройство для дополнительного натяжения пружин валиков *g* и *h*.

Образование щели происходит, как и в затворе „Н. Егептапп“, при спуске шторок. Величина щели зависит от положения установочного пальца относительно включающего кулачка. Ширина щели меняется ступенчато: $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 мм. Рукоятка для установки дополнительного натяжения пружин имеет шесть ступеней.

Требуемое время экспозиции получается комбинацией натяжения пружины и ширины щели.

Затвор камеры „Contessa-Nettel“. На рис. 63 изображена конструктивная схема затвора, основные части которого следующие: *a* и *b* — верхний и нижний валики, *c* и *d* — верхняя и нижняя шторки, *e* — внутренний валик для ролика *f*, *g* — лента для верхней шторки, *h* — упорная планка для нижней шторки, *i* — заводной рычаг, *l* — шестерни, *k* — регулятор скоростей, *m* — кнопка с рычажным механизмом *n* для удержания нижней шторки при подъеме верхней, для наводки по матовому стеклу (без установки затвора на длительную выдержку).

Отличительными особенностями затвора являются:

1) применение двух валиков (вместо четырех) с передачей движущих функций одному нижнему валику;

2) предварительная установка величины щели, изменение которой в заведенном затворе возможно только в сторону увеличения (щель образуется во время завода).

Завод затвора осуществляется вращением рукоятки *i*, движение передается через систему шестерен верхнему валику, обе шторки, соединенные вместе, поднимаются, не образуя щели, пружина, помещенная в нижнем валике, закручивается. В момент, когда планка нижней шторки поднялась до края кадрового окна, процесс завода еще не заканчивается, рукоятку вращают дальше до заранее установленного в соответствии с требуемой шириной щели упора, ленты верхней шторки протаскиваются через прорезы планки *h* нижней шторки. Образовавшаяся между шторками щель во время рабочего хода сохраняется за счет трения между ленточками и прорезями планки *h*.

Изменение времени экспозиции в этом затворе производится изменением ширины щели и включением специальных шестеренчатых регуляторов (натяжение пружины постоянное).

Рукоятка *A*, помещенная ниже большой шестерни, имеет три установки, обозначаемые на шкале 0, 1, 2, что соответствует трем ступеням регулирования. При установке на 0 шестеренчатый регулятор не включается, и в этом случае шторка перемещается с наибольшей скоростью. При двух других установках включается система шестерен с различным передаточным числом.

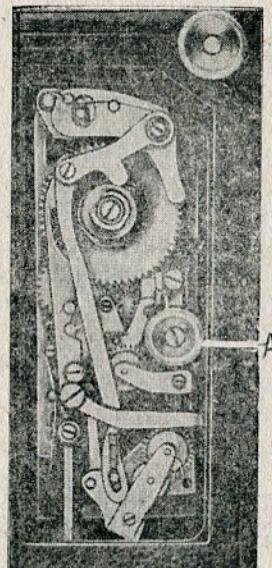
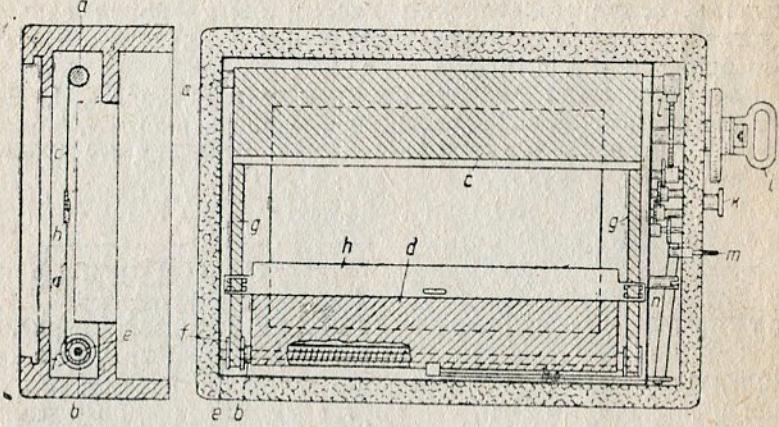


Рис. 63 Затвор камеры „Contessa Nettel“.

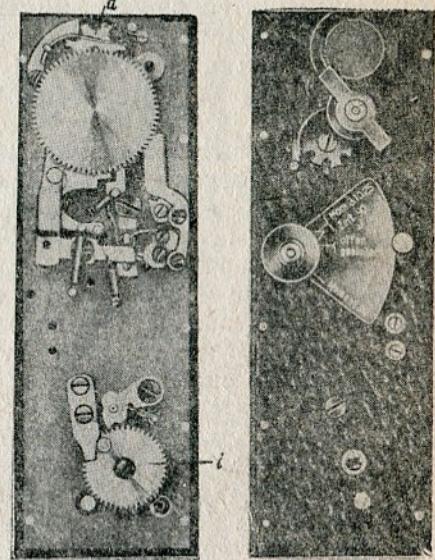


Рис. 64. Затвор камеры „Ica - Rekord“.

На шкале времени экспозиций указаны деления от $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{2800}$ сек.

Затвор камеры „Ica-Rekord“. В отличие от рассмотренных выше, затвор „Ica-Rekord“ (рис. 64) имеет одну шторку (рис. 65) с четырьмя щелями постоянной ширины. При помощи рукоятки *c* и системы шестерен шторка может быть частично или полностью переведена с нижнего валика на верхний, при этом пружина, помещенная в нижнем валике, получает натяжение от закручивания. Для дополнительного натяжения пружины служит рукоятка *i* с трибкой, сидящей на оси, и шестерни *k* с храповой собачкой *l*.

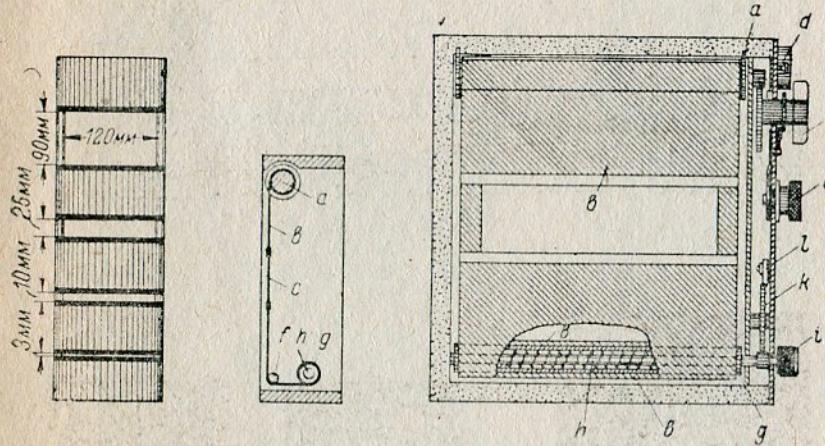


Рис. 65. Схема затвора „Ica - Rekord“.

Нажимая на рукоятку *e*, осуществляют спуск, причем каждому нажиму соответствует перемещение в кадровом окне только одной щели. Завод затвора производят до нужной ширины щели, определяемой по шкале указателя *d*. Недостатком этого затвора является открытый завод, т. е. при подъеме шторки щель не закрывается. Применение этого затвора имеет место в зеркальной камере, где зеркало в момент завода служит заслонкой, не допускающей свет к пластинке через открытую щель.

Экспозиции, указанные фирмой, лежат в пределах от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{1000}$ сек.

Затвор камеры „Leica“. На рис. 66 изображены конструктивные схемы, поясняющие действие затвора. Основные части:

a — ось заводной рукоятки *m*, *b* и *c* — ролики для ленты *d* нижней шторки *i*, *e* — валик для наматывания верхней шторки *f* с лентой *g*, *h* — валик с пружиной для лент *g* верхней шторки, *j* — валик для нижней шторки *i*, *k* — штифт на валике *e*, служащий для соединения ролика с валиком *e*, *o* — шайба с отверстиями, укрепленная на оси *a*, *n* — штифт для соединения кнопки *t* с осью *a*. Ролики *h* и *j* в камере расположены рядом, а на чертеже помещены один под другим для наглядности схемы.

Время экспозиции получается изменением ширины щели при постоянном натяжении пружины.

Экспозиции могут меняться ступенчато, согласно шкале, в пределах от $1/20$ до $1/500$ сек. ($1/20$, $1/30$, $1/40$, $1/60$, $1/100$, $1/200$, $1/500$).

Затвор камеры „Репортер“. Затвор предназначен для перекрывания кадрового окна размером $6,5 \times 9$ см.

Механизм допускает возможность получения длительной, короткой и моментальной экспозиций в интервале времени от $1/5$ до $1/1000$ сек.

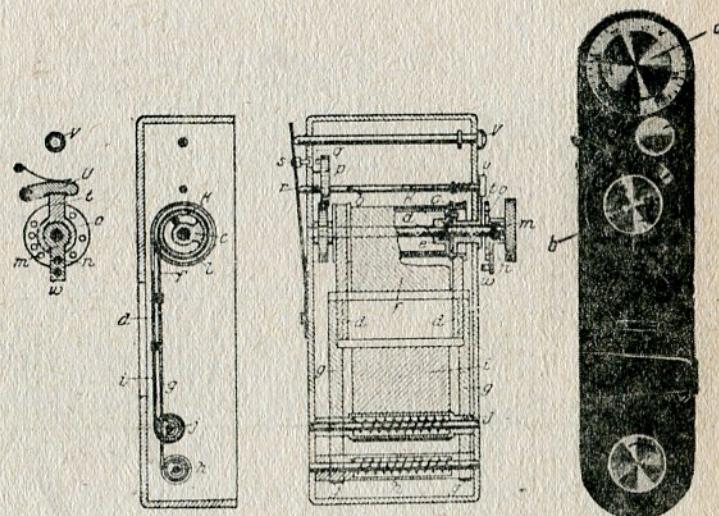


Рис. 66. Схема затвора „Leica“.

Время экспозиции в интервале от $1/1000$ до $1/50$ сек. достигается изменением ширины щели, причем одновременно, как это будет видно из рассмотрения конструкции, в небольшой степени изменяется натяжение пружины.

Второй интервал времени экспозиции от $1/25$ до $1/5$ сек. осуществляется изменением ширины щели между шторками при включении шестеренчатого тормозного устройства, замедляющего перемещение щели.

При короткой и длительной выдержках, для избежания возможного сотрясения камеры, первая шторка перемещается при включенном тормозном устройстве. На практике это до сих пор не применялось. Эксплоатационная проверка в ближайшие годы покажет целесообразность этого мероприятия.

Установка ширины щели, как правило, производится при неизведенном механизме, после завода возможно только увеличение ширины щели. После перестановки индекса рукоятки управления обязательно надо произвести дополнительный поворот ее до упора.

Общий вид затвора показан на рис. 67 и рис. 68 (вид на механизм затвора со снятыми рукоятками управления).

Завод затвора. Вращение рукоятки 15 по часовой стрелке, через систему шестерен 10, 11, 12, вызывает движение оси 1, на которой укреплен валик 18.

Один конец шторки 3 закреплен на валике 18, поэтому при его вращении шторки 3 и 4, соединенные трением с помощью планки 19 и тесьмы 20, не образуя щели, перематываются с нижнего валика 17 на верхний 18.

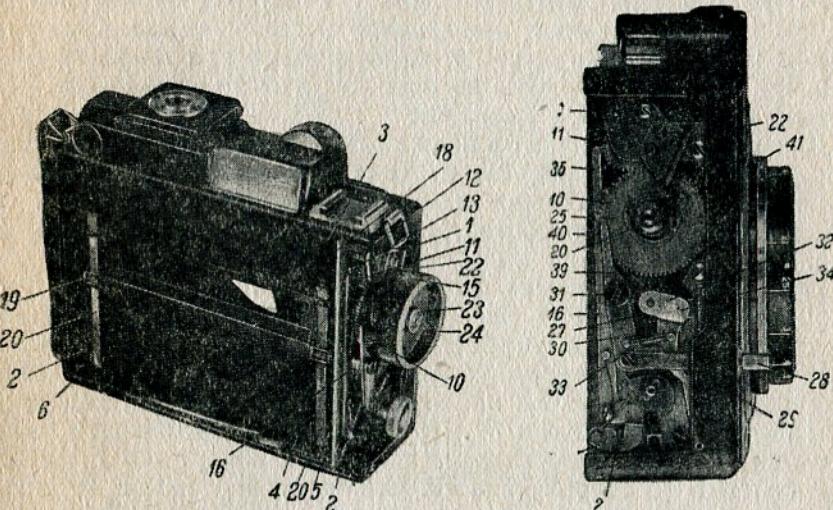


Рис. 67. Общий вид затвора камеры „Репортер“.

Рис. 68. Затвор камеры „Репортер“ со снятыми крышкой и рукояткой.

В тот момент, когда нижняя шторка полностью перекрыла кадровое окно, начинается образование щели; нижняя шторка остается неподвижной, а верхняя продолжает наматываться на валик 18, при этом тесьма 20 протаскивается через проушины планки 19. Щель между шторками, таким образом, может быть доведена до величины кадрового окна. Это определяется предварительной установкой упора 21 относительно неподвижного упора 22, ограничивающего поворот головки управления 15. Упор 21 подвижный и положение его для каждой ширины щели фиксируется диском 23 и призматическим штифтом 24, входящим в соответствующие углубления диска (устройство головки будет рассмотрено ниже).

При заводе тесьма и нижняя шторка сообщают вращательное движение валику 17 и роликам 5 и 6, вызывая дополнительное натяжение пружин 7, 8, 9. При отработанном положении механизма пружины сохраняют некоторое напряжение от предварительного закручивания оси 2, удерживаемой от проворачивания планкой.

Расположение пружин видно из схемы рис. 69: один конец каждой из трех пружин закрепляется на оси 2, а второй — на свободно сидящем на ней ролике.

В заведенном положении механизм удерживается рычагом 16, конец которого входит в вырезы кулачкового диска 13, свободно сидящего на оси шестерни 11 и соединенного с последней пружинным тормозом 14, препятствующим обратному проворачиванию шестерен. Рабочий ход шторок может быть осуществлен только после расцепления рычага 16 и шайбы 13.

Устройство головки управления. Шестерня 10, втулка 25 и диск 23 представляют одно целое и соединяются призматическим штифтом с корпусом головки управления 15, на которой помещен упор 21. Пружина 26 препятствует произвольному расцеплению штифта 24 и диска 23.

Для перестановки упора надо поднять корпус 15, преодолев сопротивление пружины 26, и, повернув корпус относительно диска, зафиксировать новое положение, отпуская корпус и помешав штифт 24 в соответствующее углубление диска 23 (рис. 69).

Тормозное устройство и спуск затвора. Тормозное устройство показано на схеме рис. 69 и представляет собой систему шестерен с маховиком, укрепленным на оси последней шестерни.

Включение тормозного устройства производится спусковым механизмом. Нажимая на кнопку 28, через рычаг 29, поворачиваем рычаг 30 вокруг оси 31. Пружиной 33, соединяющей рычаг 30 с поводком 32, поворачивается поводок вокруг оси 34, вводя в зацепление шестерни 27 и 10. Одновременно рычаг 30 поворачивает своим упором рычаг 16, выводя его из зацепления с кулачковым диском 13, освобождая, таким образом, ось верхнего валика для движения. Перематывание шторки с верхнего валика на нижний теперь происходит с включенным тормозом, т. е. замедленно.

Работа механизма при длительной выдержке заключается в следующем. Рычаг 39, нижний конец которого служил ранее упором рычага 29, поднимается, и рычаг 29 получает возможность дополнительного перемещения; при этом верхний конец рычага 40 устанавливается упором при рабочем ходе шестерни 10, несущей упорный кулачок 41. При нажатии на спусковую кнопку 28 рычаг 16 выходит из зацепления с кулачковым диском 13. В момент, когда первая шторка открыла кадровое окно, упорный кулачок 41 останавливается торцом рычага 40, при отпускании спусковой кнопки он расцепляется, рычаг 16 и кулачковый диск 13 вновь входят в зацепление, а упорный кулачок 41 поворачивается пружиной при неподвижной шестерне 10.

При повторном нажатии на спусковую кнопку снова освобождается кулачковый диск 13, и вторая шторка закрывает кадровое окно.

При работе на короткую выдержку K в действие включается устройство, показанное на рис. 69, которое после нажатия на спусковую кнопку препятствует (при отпускании ее) зацеплению

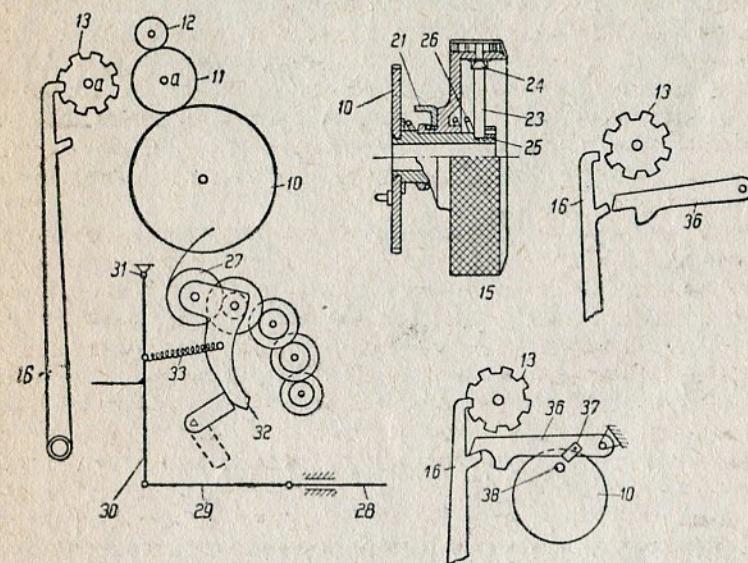
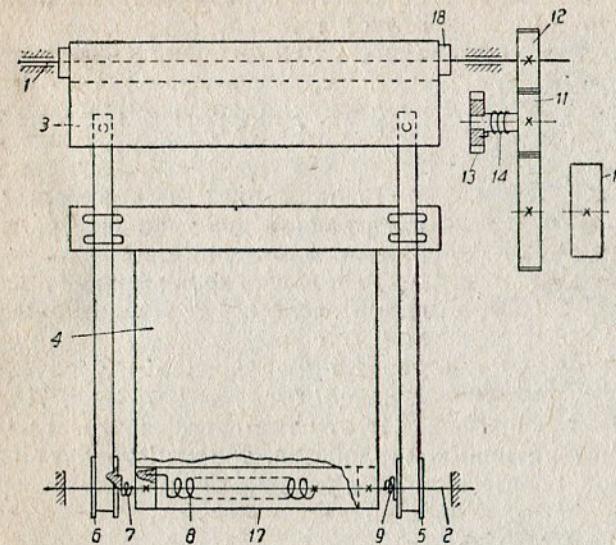


Рис. 69. Схемы механизмов затвора „Репортер”.

рычага 16 и кулачкового диска 13. Таким образом, отпуская кнопку, выводим из расцепления рычаг 40 с кулачком 41 и освобождаем передачу для перемещения второй шторки, закрывающей кадровое окно.

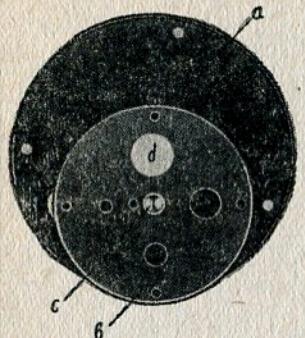


Рис. 70. Револьверная диафрагма.

§ 11. Диафрагма и элементы ее теории

В практике фотоаппаратостроения имеют место два типа диафрагм: револьверные и ирисовые.

Револьверная диафрагма представляет собой заслонку *b*, вращающуюся вокруг оси *c* с отверстиями различного диаметра, определяющими требуемое действующее отверстие *d* (рис. 70).

Этот тип диафрагмы представляет большие конструктивные неудобства, так как требует значительных габаритов, возрастающих с увеличением числа отверстий.

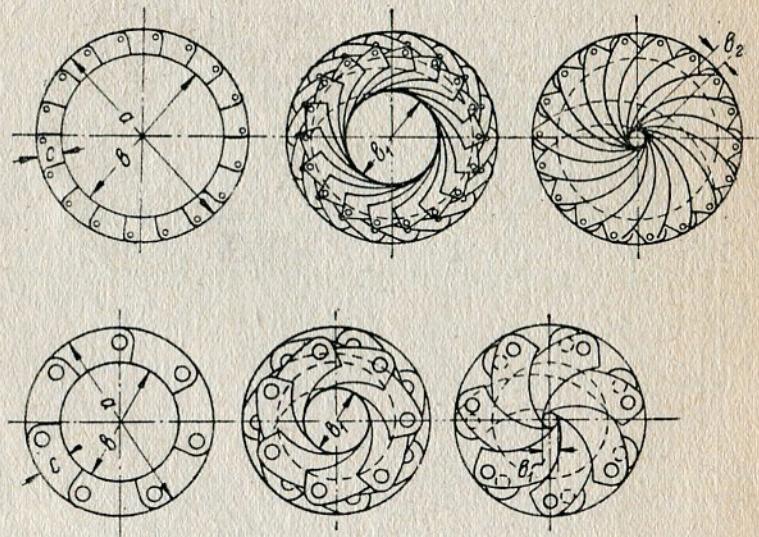


Рис. 71. Ирисовая диафрагма.

Значительно более удобными представляются так называемые ирисовые диафрагмы, позволяющие плавно изменять диаметр действующего отверстия. Конструктивно эта диафрагма оформляется очень компактно. На рис. 71 показано образование отверстий *b*, *b*₁ и *b*₂ лепестками ирисовой диафрагмы. Как видно из рисунка, количество лепестков определяет форму отверстия.

На рис. 72 представлено конструктивное оформление диафрагмы:

a — крышка (основание), *b* — лепесток диафрагмы, *c* — кулиса (установочное кольцо), *d* — поводок кулисы, *e* — винт, соединяющий поводок с кулисой, *h* — штифт, вклепанный в лепесток *b*, *g* — шлиц (в кулисе) для штифта *h*, *f* — прорези в крышке для свободного перемещения винтов *e*.

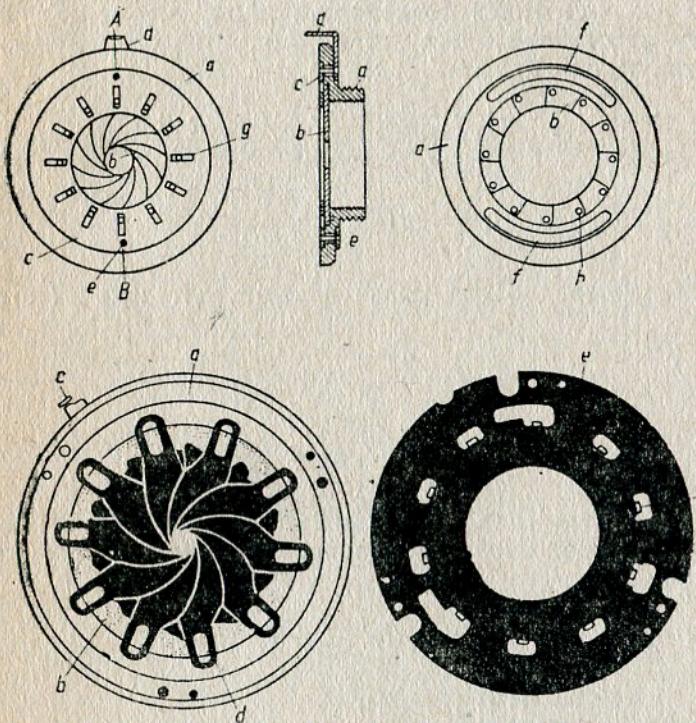


Рис. 72. Конструкция ирисовой диафрагмы.

Каждый лепесток имеет два штифта, вклепанные по концам лепестка и направленные в разные стороны. Один штифт служит осью вращения и утопляется при сборке в соответствующее отверстие в крышке, а второй—помещается в шлиц кулисы и перемещается при повороте поводка.

Рядом фирм даны другие конструктивные решения при оформлении ирисовой диафрагмы. На рис. 72 представлена диафрагма, в которой штифты для кулисы заменены шлицами, а для приведения в движение в кулисе выштампованы отгибы *f*.

Приступая к проектированию диафрагмы, необходимо сначала рассчитать основные параметры в зависимости от радиуса наибольшего отверстия. Ниже излагается метод расчета, предложенный О. Mikut.

Рассматриваются два случая:

1. Полное перекрывание отверстия, возможное только теоретически, с указанием на практические возможности.

2. Частичное закрывание отверстия.

Определение параметров диафрагмы. Обозначим

r —радиус наибольшего отверстия диафрагмы,

R —радиус так называемого делительного круга, на котором располагаются центры штифтов,

R_g —радиус наружной окружности лепестка, прилегающей к внутренней поверхности корпуса,

$b=R+r$ —расстояние между штифтами.

Из треугольника mBm' (рис. 73, а и б)

$$R^2 = \left(\frac{r}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 = \left(\frac{r}{2}\right)^2 + \left(\frac{R+r}{2}\right)^2,$$

откуда

$$\frac{3}{2}R = r^2 + Rr.$$

Решая поочередно эти уравнения относительно R и r , получаем

$$R = \sqrt{\frac{7}{9}r^2 + \frac{1}{3}r},$$

$$r = \sqrt{\frac{7}{4}R^2 - \frac{R}{2}}.$$

При $r=1$ получаем $R=1,2152$; $b=2,2152$. Величина R_g —радиуса наружной окружности лепестков, определяется конструктивно:

$$R_g = R + \frac{d}{2} + c,$$

где d —диаметр штифта,

$c=(1 \div 2)d$ —расстояние от края отверстия (под штифт) до наружного края лепестка.

Определение минимального числа лепестков. Минимальное число лепестков диафрагмы, которое еще обеспечивает полное перекрывание отверстия без образования просветов (заштрихованные треугольники на рис. 74), определяется по формуле

$$n = \frac{360}{\beta_g},$$

где β_g —угол, соответствующий дуге DF (рис. 73, б).

Из рисунка определяем угол β_g

$$\sin \frac{x}{2} = \sqrt{\frac{(s-r)(s-R_g)}{rR_g}}, \quad (1)$$

где $2s=r+r+R_g$ —периметр треугольника.

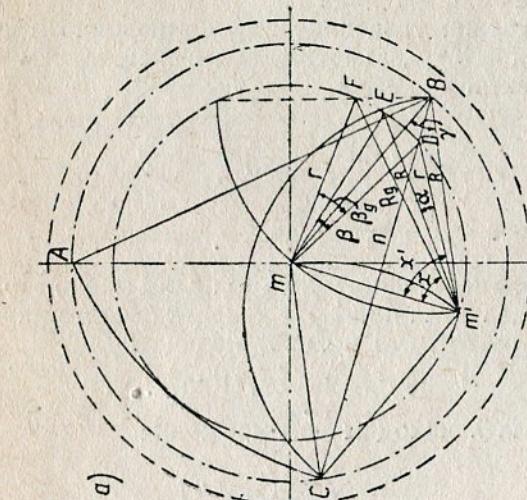
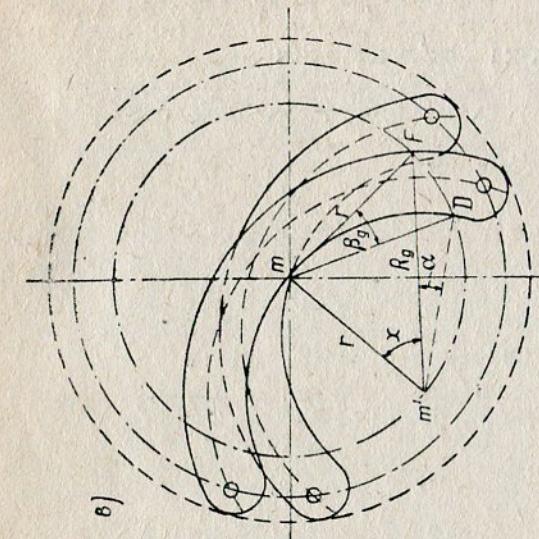


Рис. 73. Геометрические элементы диафрагмы ($AB=b$, $mB=R$, $mm'=r$, $nm=r/2$).

Подставляя значение s , получаем

$$\sin \frac{x}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{R_g}{4r}}.$$

Далее из \triangle -ка $Dm'F$ находим

$$a = \sqrt{R_g^2 + r^2 - 2rR_g \cos \Delta}, \quad (2)$$

где $\Delta = x' - x = 60^\circ - x$.

Из \triangle -ка DmF

$$a^2 = r^2 + r^2 - 2r^2 \cos \beta_g = 2r^2(1 - \cos \beta_g),$$

откуда

$$\cos \beta_g = 1 - \frac{a^2}{2r^2}.$$

Подставляя значение a из (2), имеем

$$\cos \beta_g = 1 - \frac{R_g^2 + r - 2rR_g \cos \Delta}{2r^2},$$

или

$$\cos \beta_g = \frac{1}{2} - \frac{R_g}{2r} (R_g - \cos \Delta). \quad (3)$$

Определение шкалы диафрагмы. Определение шкалы диафрагмы сводится к установлению зависимости диаметра отверстия диафрагмы от угла поворота установочного кольца.

Обозначим

r_0 — частное значение радиуса r ,

x_1 — частное значение угла поворота установочного кольца.

Из рис. 75 $x_1 = \lambda - \xi$, заметим, что с изменением λ и r_0 величина ξ не меняется.

Далее

$$\frac{r}{2R} = \sin \frac{\alpha}{2}; \quad \frac{r_0}{2R} = \sin \frac{\varphi}{2}$$

и

$$\xi = 180^\circ - \alpha.$$

Значение этого постоянного угла при $r = 1$ равно $\xi = 131^\circ 24'35''$.

Так как предел угла поворота лепестков соответствует углу α , то из рис. 75 следует, что поворот кольца будет

$$360^\circ - 2\xi = 97^\circ 10'57''.$$

Значения угла λ находим из выражения

$$\sin \lambda = \frac{b \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{m}, \quad (4)$$

где

$$m = \sqrt{b^2 + R^2 - 2bR \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}.$$

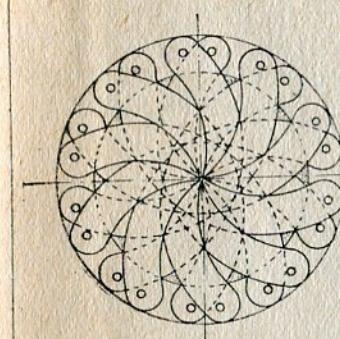
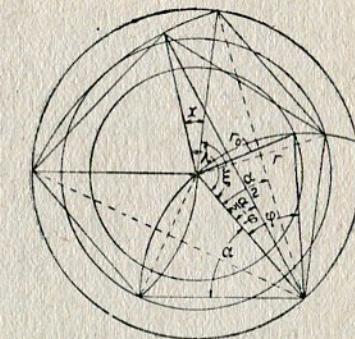
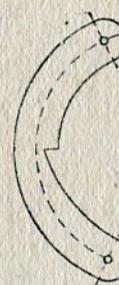


Рис. 74. Образование просветов при недостаточном количестве лепестков и форма лепестка для диафрагмы, полностью закрывающей отверстие.



Подставляя это значение m в формулу (4), получаем

$$\sin \lambda = \frac{b \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{\sqrt{b^2 + R^2 - 2bR \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}}. \quad (6)$$

Определение нужных значений положения установочного кольца производится по графику, построенному на основании приведенных в таблице (табл. 8) значений углов (при радиусе r , изменяющемся в пределах от 0 до 1,0).

Таблица 8

r	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x	97°,17	89°,02	80°,13	70°,56	60°,39	49°,83	39°,16	28°,58	18°,48	8°,76	0°

Практически для полного перекрывания отверстия лепестками прибегают к конфигурации, изображенной на рис. 74.

Вырез на лепестке должен точно доходить до центральной точки, иначе будет происходить либо коробление лепестков (аналогичное имеющему место при практическом осуществлении только геометрически возможного случая, изображенного на рис. 74), либо в центре будет оставаться просвет. Изготовление этих диафрагм требует значительно больших точностей по сравнению с диафрагмами, перекрывающими отверстие частично.

Диафрагма, закрывающая отверстие частично. Случай частичного закрывания отверстия на практике наиболее распространен. Расчет параметров в этом случае несколько отличается от изложенного выше. Из рис. 76

$$R^2 = \left(\frac{R+r}{2} \right)^2 + \left(\frac{r-r_k}{2} \right)^2,$$

откуда

$$R = \sqrt{\frac{7}{9}r^2 - \frac{2}{3}rr_k + \frac{1}{3}r_k^2} + \frac{1}{3}r, \quad (6)$$

$$r = \sqrt{\frac{7}{4}R^2 - \frac{Rr_k}{2} - \frac{r_k^2}{4}} + \frac{R-r_k}{2}. \quad (7)$$

Из уравнений (6) и (7) следует, что R и r изменяются в зависимости от выбранной величины r_k .

В табл. 9 приведены значения R при изменении r_k от 0 до 1 при $r = 1$.

Таблица 9

r_k	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
R	1	1,0025	1,0099	1,0221	1,0389	1,0588	1,0846	1,129	1,1444	1,1786	1,2152

Практически используется далеко не весь ряд значений R .

Количество лепестков диафрагмы определяется по формулам, приведенным выше, но подставляются новые подсчитанные значения r и R_g .

С изменением отношения $\frac{R}{r}$ изменяется и угол поворота установочного кольца x , зависящий от угла ξ (рис. 77).

Из изложенного выше известно

$$\xi = 180^\circ - \alpha \text{ и } x = 300^\circ - 2\xi,$$

тогда

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{r - \frac{r_k}{2}}{2}$$

и

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{r_0}{2R}.$$

Для нахождения отдельных положений лепестков определяют углы φ и ε .

$$\varphi = \eta - \frac{\alpha}{2} - \varepsilon.$$

Угол λ определяется из выражения

$$\sin \lambda = \frac{b \sin \varepsilon}{\sqrt{b^2 + R^2 - 2bR \cos \varepsilon}}.$$

Разметку шкалы, связывающей диаметр отверстия с углом поворота установочного кольца, удобно производить, пользуясь графиком, построение которого аналогично описанному выше

ГЛАВА III

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ

Цели и задачи исследования. Необходимой предпосылкой изучения фотографических затворов и установления характерных параметров, например к. п. д. η , времени экспозиции, фазовых характеристик и пр., является специально поставленное экспериментальное исследование. Последнее может предсовать различные цели, наиболее существенными из которых являются следующие:

1. Экспериментальное исследование механизмов, имеющее целью выявление основных кинематических и динамических параметров (перемещений, действующих усилий и моментов, моментов инерции звеньев, построений экспериментальных кривых и пр.).

2. Составление индивидуального паспорта для правильного использования затвора при специальных фотографических работах, требующих точного знания механических и фотографических свойств затвора.

3. Изучение иностранных образцов, их конструктивных особенностей, производственных требований и эксплуатационных возможностей соответственно тому или иному виду фотографической съемки.

4. Испытание опытных моделей в процессе конструирования и постановки производства.

5. Текущие контрольные испытания фотозатворов на производстве.

Разнообразие целей, которые, разумеется, не исчерпываются приведенным выше перечислением, часто заставляют в каждом отдельном случае ставить перед исследователем самостоятельную задачу. Только при этом появляется возможность правильного выбора метода и необходимой для эксперимента аппаратуры.

§ 12. Методы экспериментального исследования

Определение фотографических характеристик по методу А. Arnulf и М. Schleeweis. Задача испытания по этому методу сводится к решению следующих вопросов:

1. Определение кривой светового потока как функции времени.

2. Распределение светового потока, проходящего через затвор, между отдельными точками.

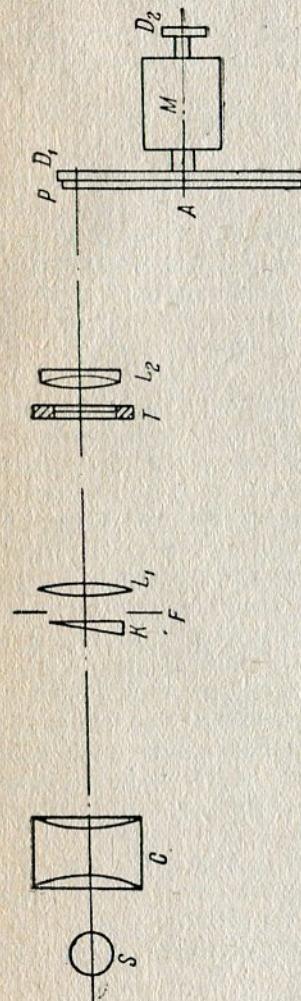


Рис. 78. Схема установки А. Arnulf и М. Schleeweis.

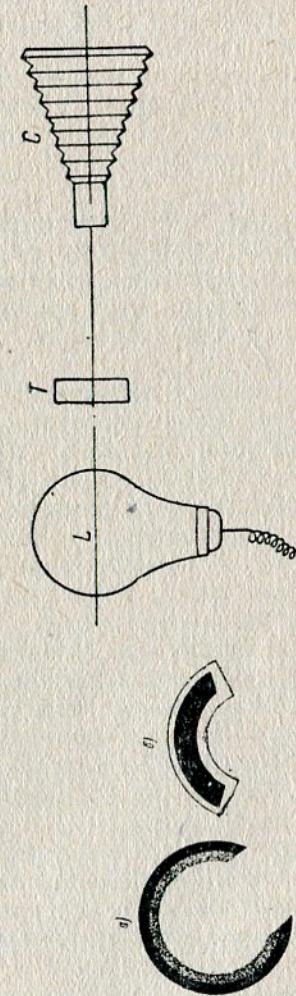


Рис. 79. Фотограмма, снятая на Рис. 80. Схема установки по определению освещенности. установке Arnulf и Schleeweis.

При испытании применяется специальная установка, схема которой представлена на рис. 78. S — источник света, C — конденсор, K — клин, F — щель, L_1 — линза, T — испытуемый затвор, L_2 — съемочный объектив, P — пластинка, D_1 — диск, M — мотор. Снимаемая при этом фотография имеет вид, представленный на рис. 79, на котором: $a)$ снято с клином и $b)$ без клина.

Пользуясь методом фотографической фотометрии, определяют почернение снимка и соответствующее изменение светового потока, прошедшего через затвор в каждый момент времени. Для

получения надежных результатов обязательным является знание сенситометрических свойств применяемой эмульсии в условиях данного опыта. Последнее особенно важно, потому что при малых значениях времени экспозиции, с которыми приходится иметь дело, обычные сенситометрические методы для измерения экспозиции (например диск Шейнера) дают грубые результаты, так как закон взаимодействия справедлив только для ограниченных пределов времени экспозиции.

Задачу, поставленную испытанием, решает эталонный поглощающий клин, помещаемый перед щелью. Снимок щели (фотограмма) определяет световой поток и сенситометрическую кривую.

Измеряя микрофотометром почернение в направлении движения пластиинки по кругу наибольшей фотографической плотности, получают значения плотности в зависимости от перемещения пластиинки или, что представляется идентичным, от времени. Последнее возможно при условии задания угловой скорости пластиинки.

Измерения в направлении, перпендикулярном к направлению движения, в зоне, соответствующей полному отверстию затвора, при заданной константе клина дают возможность построения сенситометрической кривой. Располагая приведенными выше данными, определяют освещенность в интересующих точках затвора, для чего применяют устройство, схема которого представлена на рис. 80. В качестве источника света использована лампа L из опалового стекла, T — испытуемый затвор, C — фотокамера.

Равномерно освещенное отверстие затвора фотографируется во время движения лепестков специальной камерой, и, таким образом, получается комплекс отпечатков, соответствующих различным положениям лепестков. Дальнейшим исследованием почернения пластиинки определяется относительное распределение светового потока в различных точках действующего отверстия затвора. Снятые на подобной установке фотографмы приводятся на рис. 96.

Точность измерения времени может оцениваться по полученным кривым. Не рассматривая ошибки графических построений, вычислим ошибки измерения световых потоков.

Полагаем, что мы измеряем прямолинейную часть сенситометрической характеристики.

Обозначая d_1, d_2 — плотности, соответствующие освещенностям E_1 и E_2 ,

γ — коэффициент контрастности,

имеем:

$$d_1 = \gamma \lg E_1,$$

$$d_2 = \gamma \lg E_2,$$

откуда:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = \lg \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{d_1 - d_2}{\gamma},$$

где Φ_1 и Φ_2 — световые потоки, пропорциональные освещенностям E_1 и E_2 , тогда

$$\lg \Phi_1 = \lg \Phi_2 + \frac{d_1 - d_2}{\gamma}.$$

Задавая Φ_2 произвольное постоянное значение, получаем:

$$\frac{d\Phi_1}{\Phi_1 \ln 10} = d \left(\frac{d_1 - d_2}{\gamma} \right),$$

так как

$$d(d_1 - d_2) \approx 0,02; \gamma \approx 2; \ln 10 = 2,30,$$

то

$$\frac{d\Phi_1}{\Phi_1} = 2,30 \cdot \frac{0,02}{2} \approx 0,02.$$

Таким образом относительная ошибка постоянна и равна 0,02.

Измерение времени экспозиции маятником. Keinath предложил для определения полного времени экспозиции секундный маятник, полагая, что качание маятника будет происходить в пределах $\pm 15^\circ$ от вертикали, где скорость его движения практически можно считать постоянной. Измерение выполняется следующим образом. На вертикальной стене очерчивается окружность радиуса $r \approx 99,4$ см (длина секундного маятника в Берлине), разделенная на сто частей. В центре окружности закрепляется нить с блестящим шариком или лампочкой, которые при качании маятника перемещаются по дуге прочерченной окружности (рис. 81). Качающийся маятник и неподвижная шкала, нанесенная на дуге окружности, фотографируются камерой с испытуемым затвором. На пластиинке остается след движущейся светящейся точки маятника, закрывающей деления шкалы. Число закрытых делений последней выражает сотые доли секунд, в течение которых затвор открыл и закрыл отверстие объектива.

Съемка врачающейся точки. Этот метод заключается в фотографировании через испытуемый затвор светящейся точки, врачающейся с известной угловой скоростью. Схема установки дана на рис. 82: b — мотор, c_1 — диск, h — испытуемый затвор.

По длине пути изображения светящейся точки d , зафиксированном на светочувствительном слое k и известной угловой скорости вращения, вычисляется полное время экспозиции. Фотограмма на рисунке представляет пример подобного определения для числа оборотов диска $n = 1$ об/сек. Центральный угол дуги равен 18° , и, следовательно, полное время экспозиции затвора

$$T = \frac{18}{360} = \frac{1}{20} \text{ сек.}$$

K. Pritschow указывает на то обстоятельство, что без регулирования числа оборотов светящейся точки нельзя охватить весь диапазон времен экспозиции от 1 до $1/1000$ сек., и предлагает для подбора скорости вращения диска следующую таблицу (табл. 10).

Результаты испытания затвора этим методом опубликованы K. Gehlhoff.

Приводимая им фотография (рис. 83) снята на установке,

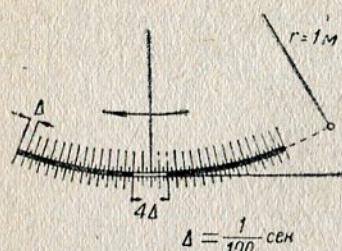


Рис. 81. Измерение времени экспозиции маятником.

Фотографии были сняты при различных числах оборотов:
а) число оборотов $n = 160$ об/мин., дуга фотографии соответствует углу 90° и вычисленное время работы затвора $T = \frac{1}{10,7}$ сек.;

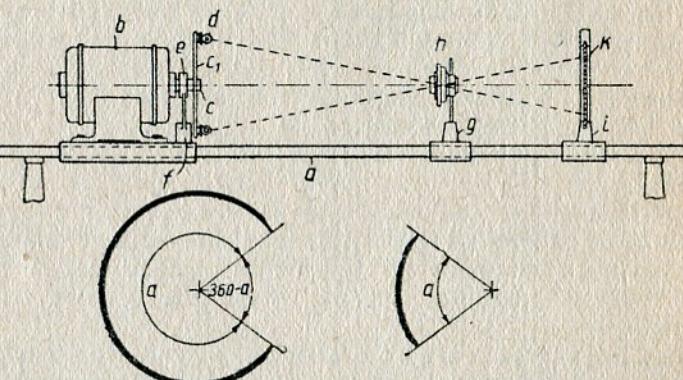


Рис. 82. Схема установки для съемки вращающейся точки.

б) $n = 490$ об/мин., угол 282° и время $T = \frac{1}{10,4}$ сек.

t сек.	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$
n об/сек.	360°	180°	72°	36°	14°,4	7°,2	—
1	360°	360°	72°	36°	14°,4	7°,2	—
2	—	360°	144°	72°	28°,8	14°,4	7°,2
5	—	—	360°	180°	72°	36°	18°
10	—	—	—	360°	144°	72°	36°
25	—	—	—	—	360°	180°	90°
50	—	—	—	—	—	360°	180°

Для контроля точности измерения времени лампочка питалась переменным током (50 пер.). Подсчет дает 9,5 точек, что соответствует времени $T = \frac{1}{10,5}$ сек.

Фотографирование лампы переменного тока на подвижной пленке. В качестве измерителя времени используется частота переменного тока, колебания которой в сети обычно малы ($\sim 3\%$). Фотограмма рис. 84 снята на установке, в которой применялась дуговая лампа (2 А, \varnothing углей 5 мм). Кратер изображается на светочувствительной бумаге, помещенной на барабане.

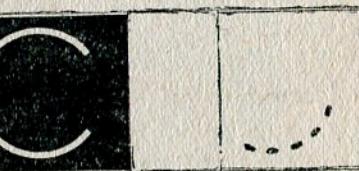


Рис. 83. Фотограмма.

Этот способ удобен тем, что не требует определения числа оборотов барабана. Положительная и отрицательная фазы

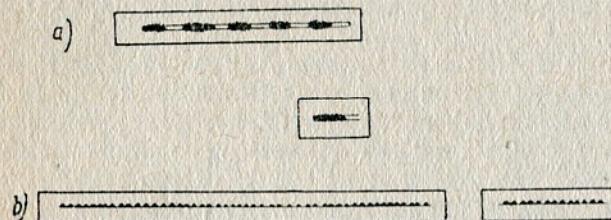


Рис. 84. Фотограмма.

дают почти одинаковое световое впечатление, и число точек на фотографии, таким образом, удваивается. Промежуток между двумя точками на рисунке соответствует $\frac{1}{100}$ сек. Фотограммы рис. 84, а сняты при номинальных значениях времени экспозиции в $\frac{1}{25}$ и $\frac{1}{100}$ сек., фактически же затвор дает $\frac{1}{18,3}$ и $\frac{1}{62}$ сек.

Таблица 10

$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{750}$	$\frac{1}{1000}$
—	—	—	—	—	—	—	—
12°	9°	—	—	—	—	—	—
24°	18°	14°,4	12°	—	—	—	—
60°	45°	36°	30°	20°	15°	12°	—
120°	90°	72°	60°	40°	30°	24°	18°

Естественно, что измерения при более высоких частотах будут точнее. На рис. 84, б приведены фотографии, снятые с того же затвора и при прежних установках, но при частоте в 503 Hz. Оценка времени получилась равной $\frac{1}{18,6}$ и $\frac{1}{63}$ сек. Результаты, как видим, хорошо согласуются с измерениями при частоте в 50 Hz.

Точность получаемых значений времени возрастает с продолжительностью работы затвора. Чем короче время освещения (менее $\frac{1}{25}$ сек.), тем менее точными получаются и результаты, а поэтому применение этого метода ограничено.

Определение времени экспозиции при помощи камертонов. Метод определения времени действия фотографических затворов с помощью камертонов в различных вариантах неоднократно применялся рядом исследователей. Камертон как регистратор времени косвенно используется в ряде приборов. Один из таких приборов („F. Schmidt & Haensch“) описан Мельниковым¹, а поэтому мы остановимся на оригинальном конструктивном оформлении его, имеющем место в приборе „Columbus“ (Carl Janze).

На рис. 85 представлен главный узел прибора, в котором *a* — камертон с объективом *c*, дающим изображение нити лампы *b*, *d* — сопротивление для регулировки, *e* — подставка для батареи, *f* — контакты для включения батареи, *g* — кнопка для приведения в движение камертонов, *h* и *i* — детали для крепления прибора.

Число колебаний камертонов выверяется при изготовлении каждого прибора, и, таким образом, обеспечивается надежность результатов последующих измерений.

Прибор дает возможность установления фотографических характеристик центральных и щелевых затворов.

На рис. 86 представлены фотографии щелевого затвора, снятые при различных значениях ширины щели (масштаб оригинала 1:2).

Время экспозиции щелевого затвора определяется по формуле

$$T = \frac{b}{ln},$$

где *n* — число колебаний камертонов в сек.,

l — длина волны,

b — ширина щели.

При испытании центральных затворов вводится дополнительное приспособление — щелевая диафрагма на объектив.

Получаемая при испытании фотография представлена на рис. 87 а время экспозиции рассчитывается по формуле

$$T = \frac{a}{n},$$

где *a* — число колебаний, зафиксированных на пластинке.

¹ См. А. А. Мельников „Теория фотозатворов“, Гостранстехиздат. 1937 г.

Метод Nutting'a. Схема этой установки, предназначеннной для определения полного времени экспозиции и коэффициента све-

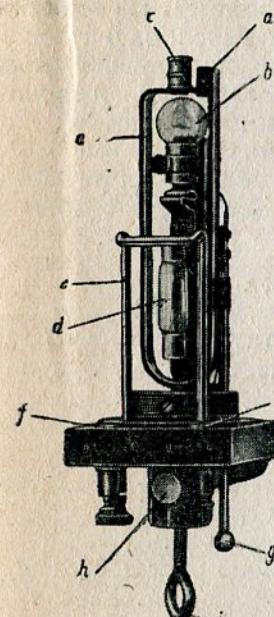


Рис. 85. Прибор „Columbus“.

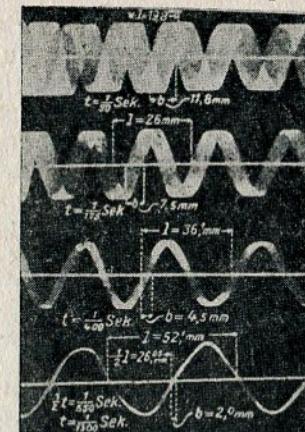


Рис. 86. Фотограммы щелевого затвора.

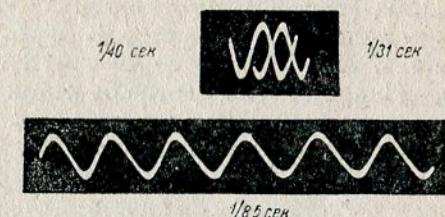


Рис. 87. Фотограмма центрального затвора.

тоотдачи, представлена на рис. 88, на котором *A* — алюминиевый барабан с двадцатью зеркалами, *B* — вращающийся барабан с пленкой, *C* — положительная линза, расположенная непосредственно перед испытуемым затвором, *D* — объектив, *L* — источник света.

Барабан *A* с зеркалами делает 50 об/сек., давая, таким образом, одну тысячу изображений в секунду. На барабане *B* через определенные промежутки времени фиксируется изображение свободного отверстия затвора и соответствующие положения лепестков. Рис. 94 изображает фотографию, на которой снимки произведены через $\frac{1}{1000}$ сек. Фотограмма снята с затвора при установке по шкале в $\frac{1}{100}$ сек.; расшифровка результатов приводит к следующим данным:

время открытия	0,004 сек.
время работы полным отверстием (выдержка)	0,004 "
время закрытия	0,003 "

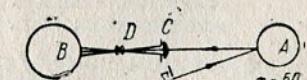


Рис. 88. Схема установки Nutting'a.

Полное время экспозиции, таким образом, оказалось равным

$$T = 0,011 \text{ сек.}$$

Колебание светящейся точки. Использование колебаний камертонов при измерении коротких промежутков времени имеет широкое применение на практике. Для целей определения полного времени экспозиции применяется схема, представленная на рис. 89. При ударе о ножку светящаяся точка начинает совершать колебания и прочерчивает на движущейся фотографической бумаге синусоиду. Опыт был проведен с камертоном, имеющим частоту 256 Hz , и результаты представлены на фотографии рис. 89а. При подсчете времени экспозиции затвора, рассмотренного нами выше, оказалось, что

$$T_{25} = \frac{1}{19.2} \text{ сек.}, \quad T_{100} = \frac{1}{62} \text{ сек.}$$

Кинематографическая съемка работы затвора. Кинематографическая съемка действия испытуемого затвора может быть произведена двумя методами:

Метод I. Этот метод позволяет определить так называемое эквивалентное время экспозиции. Для этой цели используется схема (рис. 90), на которой S — источник света, L_1 — конденсор; s — диск с отверстиями, L_2 и L_3 — объективы, V — затвор, S_p — щель, B — барабан со светочувствительной пленкой.

Непрерывный световой поток дуговой лампы обращается вращающимся диском s с отверстиями в пульсирующий. Затвор V помещается в конусе хода лучей, где заполняется его полное отверстие. Во избежание наложения отдельных изображений, перед затвором помещают щель, длина которой должна быть по величине больше диаметра отверстия.

Рис. 91 представляет фотографии, полученные при испытании двухлопастного затвора. Расшифровка фотографии (рис. 91, а) позволяет определить фазовые характеристики:

Таким образом, полное время экспозиции $T \cong 1/38$ сек. На рис. 91, б приведена фотография затвора „Comptur“ при установке указателя экспозиции на делении 250.

Фазовые характеристики получались следующие:

время открытия t_1 $\frac{1}{820}$ сек.
 выдержка t_3 $\frac{1}{186}$ "
 время закрытия t_2 $\frac{1}{1080}$ "

Полное время экспозиции $T \cong 1/133$ сек. Приближенное вычисление коэффициента светоотдачи дает $\eta \cong 86\%$.

Применив описанную выше схему, но без сокращения действующего отверстия испытуемого затвора щелью, и производя съемку на врачающуюся пластинку, получим фотографию типа, приведенного на рис. 95, относящуюся к затворам: а) ГОМЗи б) „Comprig Rapid“.

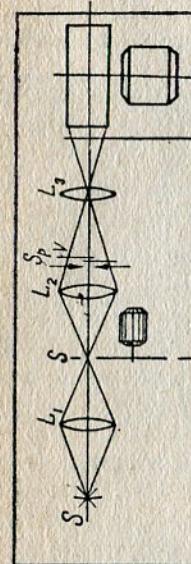
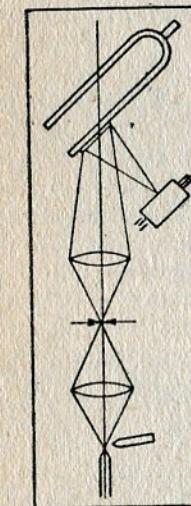


Рис. 90. Схема для кинематографической съемки работы затвора.



Письмо к генералу Гаврилову о вмешательстве

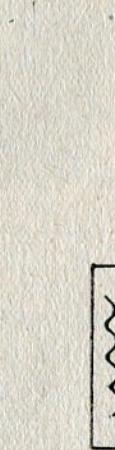


Рис. 89а Фотограмма, снятая на установке
с камертоном

Метод II. При использовании настоящего метода из предыдущей схемы убирается диск, а барабан получает вращение с заранее установленной угловой скоростью. Таким образом, отсчет времени производится не по количеству световых импульсов, а по величине перемещения изображения, зафиксированного на светочувствительном материале.

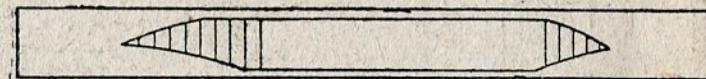


Рис. 92. Фотограмма, полученная со снятым диском

В качестве примера приводим некоторые данные результатов использования этого метода инж. Keidel, в опытах которого барабан со светочувствительным материалом приводился во вращение при 3000 и 1500 об/мин. Масштаб времени при этом определяется соответственной длиной окружности барабана, как $\frac{1}{50}$ и $\frac{1}{25}$ сек.

Фотограмма опыта, полученная для установленного по шкале времени экспозиции в $1/50$ сек., приведена на рис. 92 и в результате расшифровки дает следующие фазовые характеристики:

продолжительность открытия t_1 $\frac{1}{200}$ сек
 продолжительность работы полным отверстием t_3 . . . $\frac{1}{122}$ "
 продолжительность закрытия t_2 $\frac{1}{270}$ "

Полное время экспозиции $T = 1/59$ сек.

Фотограмма рисунка разделена по времени на участки, равные $\frac{1}{2000}$ сек.

Коэффициент светоотдачи τ , необходимый для вычисления времени экспозиции, определялся следующим образом.

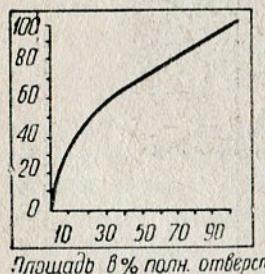


Рис. 93. Кривая свободной площади отверстия.

(в процентах).
Длины штрихов для отдельных промежутков времени изм-
рены по фотографии и пересчитаны в процентах от длины штриха
соответствующей площади отверстия, значения которой взяты из
графика. В результате подобной обработки фотографии получается

¹ Производится наложением на изображение прозрачной шкалы со шелью.

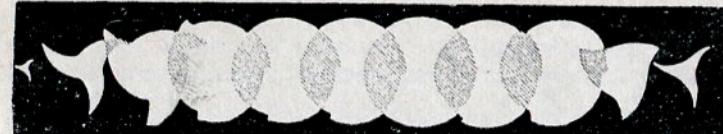


Рис. 94. Фотограмма, снятая на установке Nutting'a

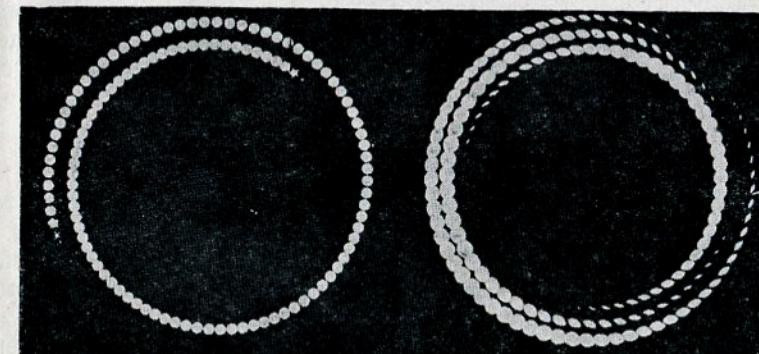


Рис. 95. Фотограмма затворов: „ГОМЗ“ (справа) и „Compur—Rapid“.

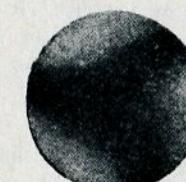


Рис. 96. Фотограмма



Рис. 98. Фотограмма наложения лепестков

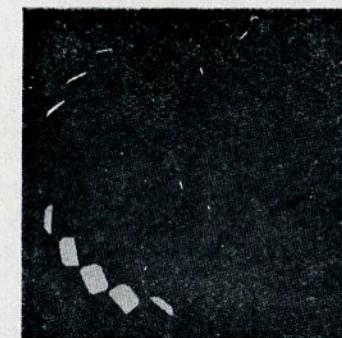


Рис. 97. Фотограмма гильотинного затвора.

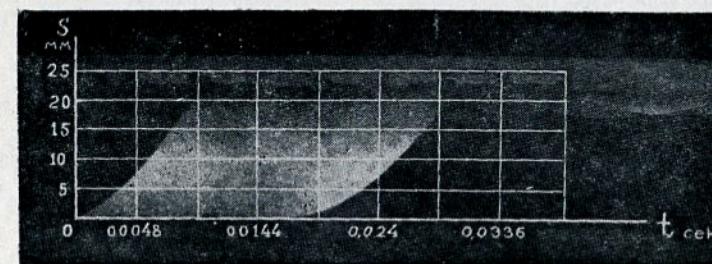


Рис. 99. Фотограмма $s = t(t)$

график фазовой работы затвора, по оси абсцисс которого откладывается время, а по оси ординат — площади отверстия. Величина коэффициента светоотдачи получилась равной

$$\eta = 73\%.$$

На установке, изображенной на рис. 90, могут быть получены фотографические характеристики и гильотинных затворов. Фотограмма, приведенная на рис. 97, снималась описанным выше методом, причем барабан с пленкой был заменен пластинкой, вращавшейся эксцентрично по отношению к оптической оси всей системы.

§ 13. Методы испытания щелевых затворов

Метод теневой проекции, применяющийся авторами при испытании ряда щелевых затворов кинопленочных камер, заключается в следующем. На светочувствительной пленке, заряженной в аппарат обычным способом, через известные промежутки времени фиксируется величина и положение изображения граней шторок, образующих щель.

Схема установки представлена на рис. 100. Диск 2 с радиально прорезанными щелями, укрепленный на оси мотора, пересекает в точке F пучок лучей (идущий от лампы 3 и далее через систему 5), освещая пульсирующим светом плоскость шторки. Время между импульсами выбирается обычно не меньше $1/4$ продолжительности перемещения щели в кадровом окне. Возможность применения метода ограничивается шириной щели, так как нужно, чтобы изображения отдельных положений получались раздельно. Это значительно облегчает дальнейшую обработку снимка. При широкой щели ее изображения накладываются друг на друга.

Практически метод пригоден для экспозиции короче $\frac{1}{50}$ сек.

Фотограмма имеет вид, изображенный на рис. 101. Величины S' , S'_1 , S'_2 , S''_1 , S''_2 , и S''_3 соответственно представляют собой пути, пройденные первой и второй шторкой в промежутки времени t , $2t$, $3t$ и т. д.

По данным измерений фотограммы для обеих шторок строится график $s = f(t)$ (рис. 102), а дальнейшее построение дифференциальных кривых этой функции ведется известными способами.

Так как расстояния между кривыми [график $s = f(t)$] в каждой данной точке, снятые параллельно оси абсцисс, будут в масштабе времени значениями экспозиции, то, пользуясь этими данными, можем построить характеристическую кривую затвора (рис. 103), показывающую изменение времени экспозиции в отдельных точках кадра.

На рис. 104 приведены фотограммы и характеристические кривые для экспозиций $1/500$ и $1/1000$ сек. затвора камеры „Contax“.

Метод непосредственного определения кривых $s = f(t)$. Все исследования затворов, проводившиеся до последнего

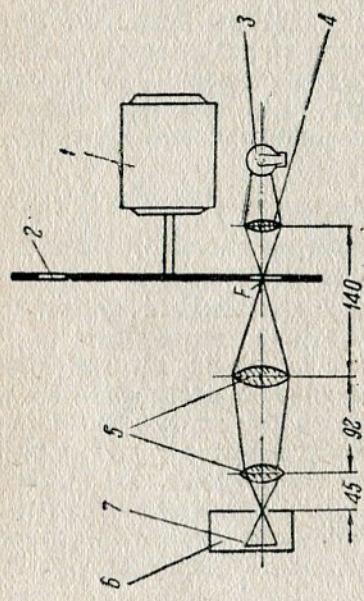


Рис. 100. Схема установки для испытания щелевых затворов методом теневой проекции.



Рис. 101. Фотограмма щелевого затвора.

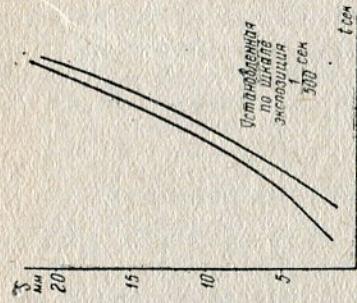


Рис. 102. График $s = f(t)$.

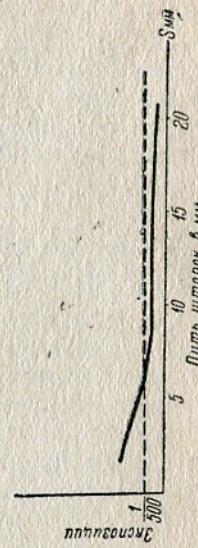


Рис. 103. Характеристическая кривая затвора фотозатвора.

времени различными исследователями, были направлены к изучению узко-фотографических характеристик (время экспозиции, коэффициент светоотдачи), для чего, как известно, разработано много методов и производственных приборов.

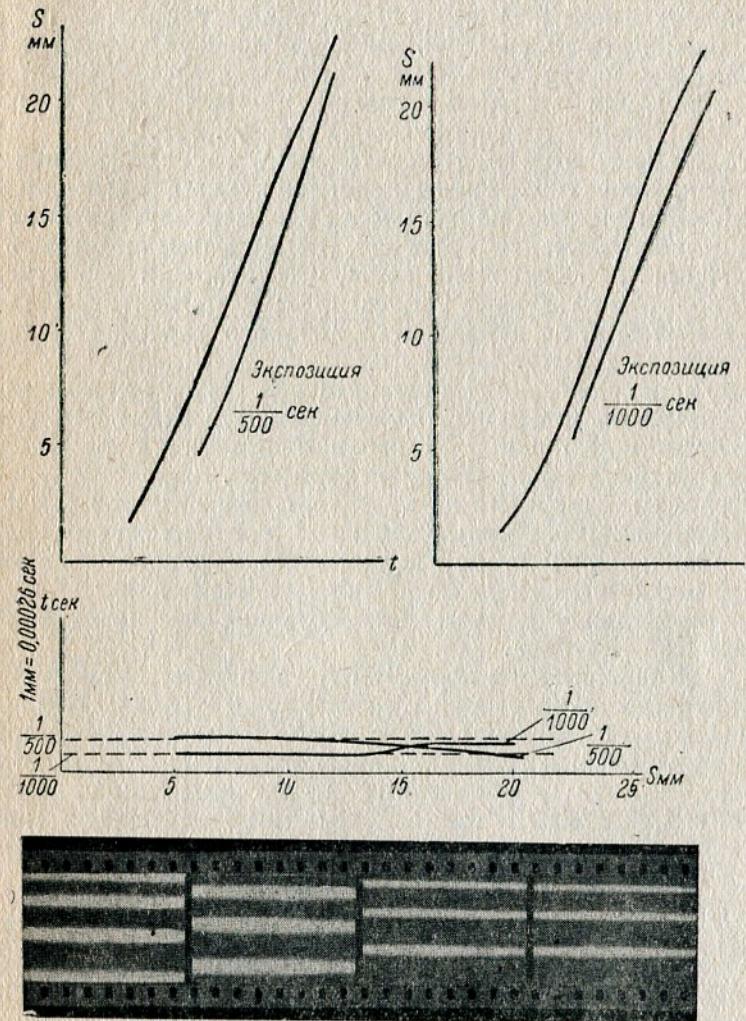


Рис. 104. Характеристические кривые и фотограммы затвора камеры „Contax“.

Результаты таких исследований отвечали на вопросы, возни- кающие в связи с эксплуатацией затворов.

Авторы настоящей книги в своих работах пошли по другому пути, продиктованному развитием нашей промышленности, ко- торой нужен был ответ на вопрос о том, как создать механизм затвора, удовлетворяющий наперед поставленным условиям,

в отличие от ранее возникавших вопросов констатации фотографических свойств.

В развитии экспериментальных методов и разработке теории авторы все время шли по пути изучения механизмов и установления зависимости фотографических характеристик от основных механических параметров (перемещений, скоростей и др.), являющихся исходными данными при проектировании новых затворов.

Для получения экспериментальных кривых $s = f(t)$ удобно применять установку, изображенную на рис. 105.

Метод заключается в том, что щель затвора, равномерно освещенная, проектируется на неподвижную щель (расположенную перпендикулярно первой) и далее фиксируется на кинопленке, укрепленной на барабане, помещенном позади неподвижной щели. S' — источник света, освещающий испытуемый затвор 2 со шторкой 3 через конденсор 1; 4 — объектив, 5 — щель перед барабаном 6, на поверхности которого укрепляется светочувствительная пленка.

Затвор при испытании устанавливается таким образом, чтобы щель, образуемая шторками, перемещалась в направлении, перпендикулярном к щели 5. Барабан 6 вращается равномерно, с заранее установленной угловой скоростью.

Фотограмма, снимаемая на этой установке, имеет вид, представленный рис. 106. Кривые ab и cd соответственно кривые $s = f(t)$ для первой и второй шторок, последующей обработкой которых, известными методами графического или табличного дифференцирования, получаем интересующие нас механические характеристики затвора.

Далее из фотограммы получаем t_1 — время перемещения первой шторки до начала закрытия кадрового окна; t_2 — время перемещения второй шторки с того момента, как первая прошла путь, равный величине кадрового окна; T — продолжительность съемки; s — величина пути, проходимого щелью; t_k — время экспозиции в точке K ; b_k — ширина щели в момент времени t_k .

Масштаб времени определяется по заданной окружной скорости барабана. Масштаб перемещений устанавливается из определенного перед испытанием увеличения, даваемого объективом.

Определив из фотограммы ряд значений времени экспозиции в отдельных точках кадра, строим характеристическую кривую $T = f(s)$. На рис. 107 приведены кривые, полученные при испытании щелевого затвора камеры „Contaflex“. Прямые, параллельные осям абсцисс, соответствуют номинальным значениям ($1/25$, $1/50$ сек.).

Авторы, работая камерой „Contaflex“, имели возможность убедиться в том, что различие времени экспозиции в отдельных точках кадра при фотографических работах, не связанных с последующим фотометрированием, практически неощущимо. Получаемые при испытании фотограммы дают возможность определить значение коэффициента светоотдачи η (к. п. д.).

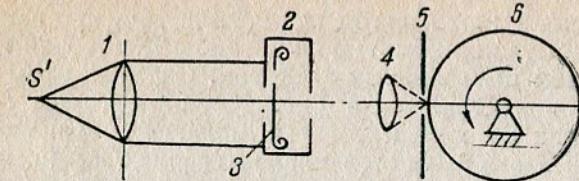


Рис. 105. Схема установки для определения кривых $s = f(t)$.

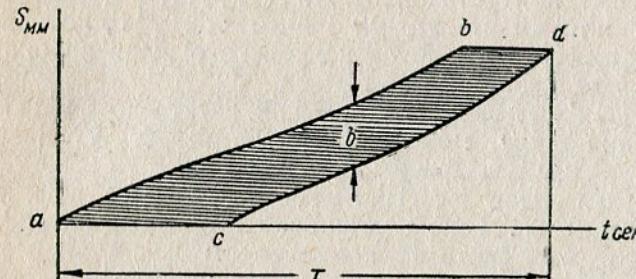


Рис. 106. Фотограмма.

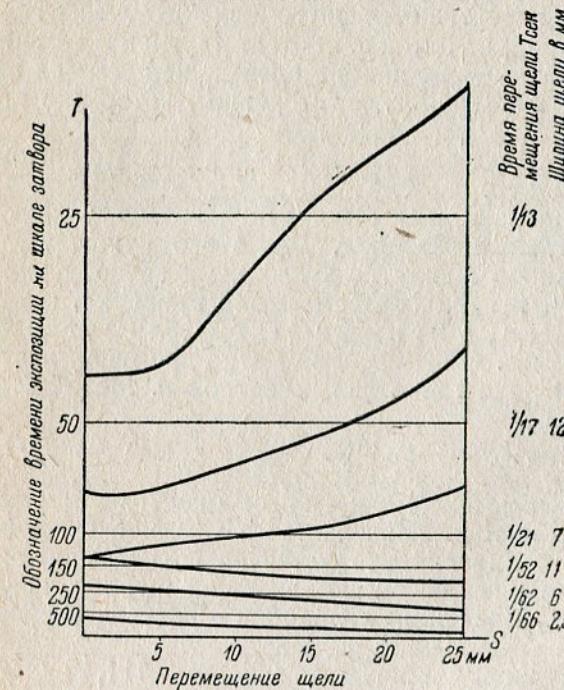


Рис. 107. Кривые $T = f(s)$ затвора камеры „Contaflex“.

Определение времени экспозиции в данной точке. Излагаемый ниже метод отличается тем, что измерение времени может быть произведено на установке, которая применяется для испытаний центральных затворов. Схема в этом случае принимает вид, представленный рис. 108, на котором 1 — источник света, 2 — диск со щелями, 3 — шторка, 4 — вращающаяся пластинка. Время определяется числом зафиксированных на вращающейся пластинке световых импульсов, а фотография представлена на рис. 109.

При испытании устанавливают затвор таким образом, чтобы плоскость шторки проходила через точку F , которая должна быть совмещена с той точкой кадрового окна, в которой желают определить экспозицию.

Определив ряд значений времени экспозиции в направлении перемещения щели, можно построить известную уже характеристическую кривую $T = f(s)$.

Контрольные испытания затворов при помощи фотоэлемента. Схема установки приведена на рис. 110.

От источника света 1, конденсором 2 световой поток направляется на шторку затвора 3. При перемещении щели часть потока попадает на селеновый фотоэлемент 4, в цепь которого включается, в качестве отсчетного приспособления, гальванометр 5 со шкалой, градуированной в соответствующих единицах по эталону. При последующих контрольных испытаниях затворов особенно важно поддерживать тот режим, который был принят при градуировке.

При длительных экспозициях перед фотоэлементом помещают дымчатый фильтр.

Эта установка может быть использована также и для контроля центральных затворов. Для этого нужно только проградуировать заново шкалу по эталонному затвору такой же конструкции, как и предполагаемый для проверки.

Определение кривых $s = f(t)$ для затворов гильотинного типа. Описываемый метод применялся авторами при исследовании ряда гильотинных затворов. Метод этот дает возможность:

1) непосредственного получения кривых $s = f(t)$ фотографическим путем для обеих шторок затвора;

2) оценить качество сборки и особенности испытуемого затвора.

Сущность метода заключается в том, что освещенное отверстие под объектив проектируется на щель, расположенную перпендикулярно к направлению движения шторок, позади которой вращается с известной угловой скоростью барабан с кинопленкой.

Схема установки приводится на рис. 111, на котором обозначены: 1 — источник света, 2 — конденсор, 3 — испытуемый затвор, 4 — объектив, 5 — щель, 6 — барабан с укрепленной на нем кинопленкой.

Изображение отверстия, образованного шторками затвора, дает через горизонтальную щель 5 на светочувствительной

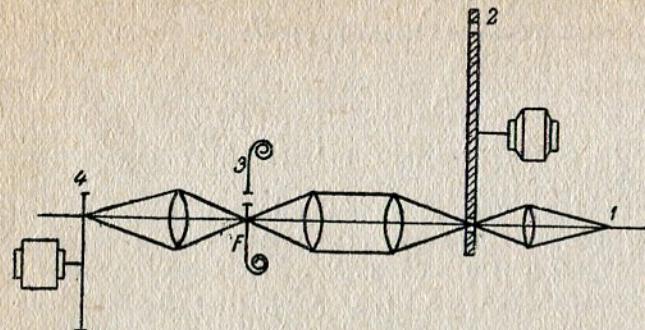


Рис. 108. Схема установки для определения экспозиции в данной точке.

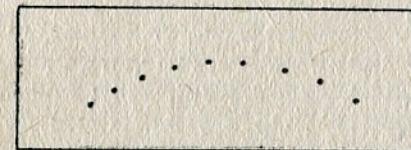


Рис. 109. Фотограмма.

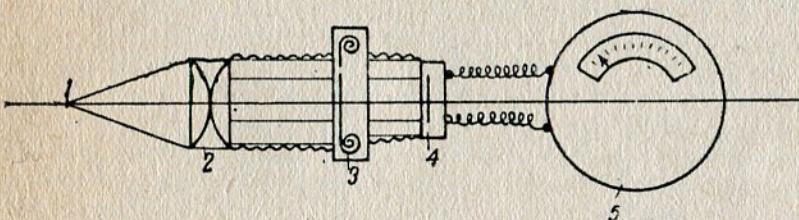


Рис. 110 Схема установки для контрольных испытаний затворов с помощью фотоэлемента.

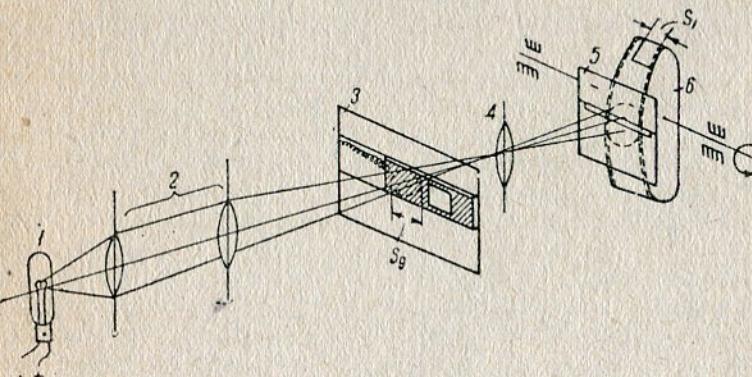


Рис. 111. Установка для испытания гильотинных затворов.

пленке при неподвижном барабане горизонтальную черту, с помощью которой устанавливается масштаб перемещений данной фотографии

$$\frac{S}{S_g} = \alpha,$$

где S и S_g — соответственно перемещения изображения и действительное.

Для получения кривой перемещения в функции от времени, барабану b придают равномерное вращение и получают фотографию, изображенную на рис. 99. Масштаб времени для фотографии определяется по числу оборотов и длине окружности барабана.

Пример. Полагая диаметр барабана $d = 158$ мм и число оборотов $n = 250$ об/мин., имеем масштаб времени $t = \frac{60}{n} = 0,24$ сек., откуда $1\text{ mm} = \frac{0,24}{\pi d} \approx 0,00048$ сек.

Методом, аналогичным описанному, могут быть исследованы и центральные затворы. Однако при этом приходится вставлять и соответственно ориентировать в плоскости действующего отверстия затвора щель, выделяющую движение исследуемого лепестка.

ГЛАВА IV

ТЕОРИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ

Затворы фотоаппаратов, являющиеся наиболее существенным механизмом последних и определяющие основные качественные характеристики аппарата — диапазон автоматических экспозиций и коэффициент светоиспользования объектива, — представляются к настоящему моменту совершенно неизученными с теоретической точки зрения. Определение времени экспозиции и коэффициента светоотдачи (к. п. д.) фотозатворов, проводимое экспериментальным путем, позволяет получить конечные результаты, но не разъясняет зависимости качественной характеристики затвора от его кинематики и конструкции. Последнее обстоятельство, налагающее ограничение на решение вопроса исследования затворов в его полном объеме, не может считаться нормальным, и поэтому выяснение всей картины при перемещении органов механизма представляет значительный интерес, особенно, если результаты предположено положить в основу проектирования новых моделей.

Накопившиеся к настоящему моменту экспериментальные материалы по изучению самых разнообразных фотозатворов, нуждаются в систематизации и обобщениях, которые могут быть сделаны только на основании некоторых теоретических предпосылок.

Насколько нам известно, вопросы теоретического исследования и предварительного расчетного определения времени экспозиции фотозатворов совершенно не затрагиваются современной литературой (как русской, так и иностранной). Предлагаемая глава является первой попыткой подведения математической базы под методику исследования и расчета механических факторов.

Ограничиваая пока задачу теоретического исследования фотозатворов определением времени экспозиции или фазовых характеристик (время открытия, закрытия и выдержки), перейдем к рассмотрению различных возможных решений, исходя из общих соображений.

В качестве непосредственных объектов исследования приняты различные затворы гильотинного, центрального и других типов.

§ 14. Прямолинейное движение шторки (гильотинные затворы)

Общие соображения. Гильотинные затворы состоят из одной или двух шторок, перемещающихся прямолинейно под действием силы натяжения ведущей пружины и перекрывающих отверстие соответственного диаметра тем или иным образом.

Полагая известным закон изменения движущего усилия и пользуясь известной зависимостью

$$X = m \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (1)$$

где $X = P \cos \alpha$ — проекция силы на направление перемещения, рассмотрим несколько случаев задания движущего усилия:

- 1) $X = f(t)$ — сила дана как функция времени;
- 2) $X = f(x)$ — сила дана как функция положения;
- 3) $X = f(v)$ — сила дана как функция скорости.

Для прямолинейного движения

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = a \quad (2)$$

и

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}. \quad (2')$$

Приступим к рассмотрению отдельных случаев, приведенных выше, и установим связь между усилием, скоростью и перемещением.

Задача эта сводится, как известно, к определению уравнения прямолинейного движения, производимого силой, закон изменения которой известен.

Случай I. $X = f(t)$.

Для этого случая, в целях возможности решения, необходимо значение производной

$$\frac{d^2x}{dt^2}$$

подставлять в виде (2). Тогда

$$X = m \frac{dv}{dt}.$$

Разделяя переменные и интегрируя (положив $v = v_0$ при $t = 0$), приходим к теореме о количестве движения

$$mv - mv_0 = \int_0^t X dt, \quad (3)$$

отсюда

$$v = \psi(t).$$

Имея $v = \frac{dx}{dt} = \psi(t)$, находим, полагая $x = 0$ при $t = 0$,

$$x = \int_0^t \psi(t) dt. \quad (4)$$

Таким образом, зависимость между перемещением и временем устанавливается уравнением (4).

Случай II. $X = f(x)$.

Ввиду того, что шторки перемещаются под действием силы натяжения пружины, рассматриваемый случай представляется для дальнейшего самым важным.

Выражение производной $\frac{d^2x}{dt^2}$ принимается для этого случая в виде (2').

$$X = mv \frac{dv}{dx}.$$

Произведя необходимые действия, приходим к формуле, выражающей теорему живых сил

$$\int_0^x X dx = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Определяя скорость v из уравнения (5), имеем

$$v^2 = v_0^2 + \frac{2}{m} \int_0^x X dx = \varphi(x),$$

отсюда

$$v = \pm \sqrt{\varphi(x)}, \dots \quad (6)$$

где взяты знаки \pm в зависимости от того, возрастает или убывает координата x .

Установим теперь зависимость между временем и перемещением, так как именно эта зависимость является для нас основной.

Принимая возрастание координаты x , имеем

$$v = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\varphi(x)},$$

что после соответствующих действий приводит окончательно к уравнению

$$t = \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{\varphi(x)}}. \quad (7)$$

Случай III. $X = f(v)$.

Воспользовавшись уравнением (2'), имеем

$$X = mv \frac{dv}{dx},$$

отсюда

$$dx = mv \frac{dv}{X}.$$

Полагая в начале движения

$$x = x_0 \text{ и } v = v_0,$$

имеем окончательно:

$$x - x_0 = m \int_{v_0}^v \frac{v dv}{X}. \quad (8)$$

Полученные выше уравнения (4), (7) и (8), устанавливающие зависимость между временем t , перемещением x и скоростью v , дают возможность определения этих элементов при условии задания закона изменения движущего усилия. Многочисленные эксперименты, проведенные для самых различных гильотинных и центральных затворов, подтверждают линейную зависимость изменения движущего усилия и перемещения конца пружины, а поэтому в дальнейшем кривые движущего усилия $X = f(x)$, а также вращающего момента $M = f(\phi)$ для центральных затворов принимаются прямыми линиями.

Выделим из рассмотренных случаев — случай задания силы в функции от перемещения $X = f(x)$, как имеющий особое практическое значение при расчете фотозатворов, и займемся подробным изучением решения вопроса об определении времени перемещения ведомого звена механизма затвора, положив предварительно, что задана кривая $X = f(x)$.

§ 15. Графическое определение скорости и времени перемещения шторки

В целях общности решения графическое определение скорости и времени перемещения шторки будем рассматривать вне зависимости от вида заданной кривой $X = f(x)$.

Установим предварительно, что для прямолинейного движения

$$X = ma,$$

откуда ускорение движения

$$a = \frac{X}{m}. \quad (9)$$

представляется кривой, совершенно аналогичной кривой усилий, но только измененной в масштабе. Таким образом, определение скорости и времени может быть проведено или по кривой $X = f(x)$, или, что представляется аналогичным, по кривой ускорения $a = f(x)$.

Графическое определение времени перемещения разбивается на два этапа:

1. Определение кривой скорости $v - x$.
2. Собственно определение кривой времени $t - x$.

Отметим здесь два случая при определении второго этапа:

- 1) начальное перемещение (до края светового отверстия) $x_0 \neq 0^1$;
 - 2) начальное перемещение $x_0 = 0$,
- в соответствии с которыми и будут рассмотрены решения.

Определение скорости. Для возможности дальнейших расчетов определяемых величин необходимо принять некоторые, вообще говоря, совершенно произвольные масштабы построения исходной кривой (рис. 112).

¹ Здесь и ниже x обозначает абсциссу графика.

Положим

$$X = \xi y \text{ г},$$

где y — ордината кривой в см,
 ξ — масштаб оси ординат.
 1 см оси ординат = ξ г.

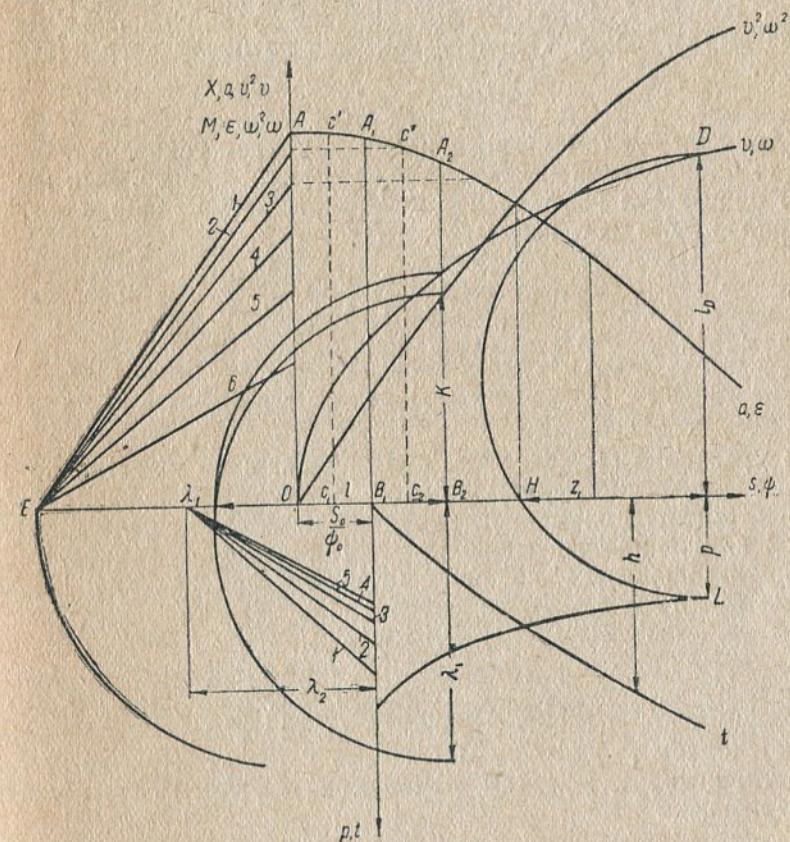


Рис. 112. Определение времени по графику $X = f(s)$.

Для перемещений принимаем

$$s = ax \text{ см},$$

где x — абсцисса в см,
 a — масштаб оси абсцисс.

1 см оси абсцисс = a см.

Переходя к кривой ускорения, имеем

$$a = \frac{X}{m} = \frac{\xi}{m} y = \gamma y \text{ см/сек}^2,$$

где γ — масштаб ускорений.

1 см оси ординат = γ см/сек².

При определении скорости по кривой ускорения $a - s$ имеем

$$a = v \frac{dv}{ds}$$

и, следовательно,

$$a ds = v dv.$$

Таким образом, для определения скорости необходимо определить площадь, ограниченную кривой ускорения, двумя ее ординатами и осью абсцисс, так как из последнего равенства следует

$$a ds = [\alpha] y dx,$$

де $df = y dx$ — элементарная площадь кривой ускорения.

Для определения кривой скорости необходимо, как мы видели, произвести графическое интегрирование кривой $a - s$.

Приняв $df = y dx$, имеем

$$df = \frac{a}{\alpha} \frac{ds}{a} = \frac{vdv}{\alpha}$$

и, положив при $x_0 = 0 v_0 = 0$, находим

$$f = \frac{1}{2\alpha} v^2. \quad (10)$$

Из уравнения (10) следует, что кривая, непосредственно получаемая интегрированием кривой $a - s$, есть кривая $v^2 - s$. Для построения полученной кривой заменяем площади интегрируемой кривой площадями равновеликих прямоугольников, имеющих произвольное по величине основание $\lambda_1 \text{ см} = \text{const}$ и переменную высоту $k \text{ см}$. Тогда

$$f = \lambda_1 k \text{ см}^2$$

и

$$v^2 = [2\alpha] \lambda_1 k |\text{см/сек}|^2.$$

В последнем выражении множитель 2α дает масштаб кривой скорости, которую получим в наиболее простом виде, положив предварительно

$$\lambda_1 k = l^2. \quad (11)$$

Скорость перемещения

$$v = \sqrt{2\alpha} l \text{ см/сек},$$

где $\beta = \sqrt{2\alpha}$ — масштаб кривой скорости.

1 см оси ординат = $\beta \text{ см/сек}$.

Окончательно

$$v = \beta l \text{ см/сек}. \quad (12)$$

Используя найденное значение площади, получим обычным приемом графического интегрирования кривых кривую $v^2 - s$. Для этой цели, разбивая ось абсцисс (рис. 112) на ряд равных, и по возможности мелких промежутков и получив, таким образом,

участки AOB_1A_1 , $A_1B_1B_2A_2$ и т. д., определяем их площади, проводя средние ординаты участков $c'c_1$, $c''c_2$ и т. д., проектируя последние на ось ординат и соединяя концы проекций с концом E базиса построений $OE = \lambda_1 \text{ см}$. Искомые ординаты кривой $v^2 - s$ получим в той же координатной системе, проводя прямые, параллельные лучам 1 , 2 , 3 и т. д., от границы до границы соответственных участков. Получится ломаная линия, вписывая в которую плавную кривую, найдем искомую функциональную зависимость $v^2 = f(s)$.

Очевидно, что кривая $v - s$ при линейной зависимости ускорения от пути представится параболой, симметричной относительно оси абсцисс, с вершиной в начале координат.

Для построения кривой скорости $v - s$, т. е. для определения ординат кривой $l \text{ см}$, воспользуемся уравнением (11), из которого следует, что искомая ордината l является средней пропорциональной между λ_1 и k . Определим ординату l следующим образом. Проведем прямую параллельно оси абсцисс на расстоянии $\lambda_1 \text{ см}$ от последней и, построив для соответствующих ординат кривой $v^2 - s$ на отрезке $\lambda_1 + k$ как на диаметре полуокружность, найдем в пересечении последней с осью абсцисс длину перпендикуляра l , удовлетворяющую уравнению (11).

Полученный, таким образом, на оси абсцисс отрезок необходимо повернуть на 90° и отметить искомую ординату кривой скорости $v - s$.

Определение времени. Определение времени рассмотрим соответственно случаям, установленным выше.

Начальное перемещение $x_0 \neq 0$. Основной зависимостью для определения времени в рассматриваемом случае является

$$v = \frac{ds}{dt},$$

откуда с учетом принятых выше масштабов построения кривых имеем

$$dt = \frac{\alpha}{\beta} \frac{dx}{l}. \quad (13)$$

Из уравнения (13) следует, что для определения времени необходимо построить промежуточную кривую $(\frac{1}{v} - s)$. Однако для дальнейшего целесообразным будет некоторое преобразование исходной зависимости.

Положим

$$lp = z_1^2,$$

где $z_1 \text{ см} = \text{const}$ — произвольно выбранный по величине отрезок. Очевидно, что выбранная зависимость определяет равностороннюю гиперболу с осями координат в качестве асимптот. С помощью принятой зависимости преобразовываем уравнение (13):

$$dt = \frac{\alpha}{\beta} \frac{1}{z_1^2} p dx$$

и отсюда

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \frac{1}{z_1^2} \int_{x_0}^x p dx. \quad (14)$$

Из последнего уравнения следует, что для определения времени необходимо определить площадь новой, вспомогательной кривой $p-s$. В целях простоты и сохранения единства графических операций обойдемся без построения гиперболы и получим кривую $p-s$ непосредственно.

Действительно, так как

$$p = \frac{z_1^2}{l},$$

то, воспользовавшись кривой $v-s$, имеющей ординаты l , найдем интересующие нас ординаты p следующим образом, приняв произвольно величину z_1 в см. Положим, что определение ординат производится для некоторой точки D кривой $v-s$, имеющей ординаты l_D см. Отложив на оси абсцисс, от основания ординаты l_D отрезок z_1 см с точкой H на конце последнего, проводим через точки D и H полуокружность, центр которой лежит на направлении ординаты l_D . Противоположный конец диаметра полуокружности в точке L определяет искомую ординату p кривой $p-s$.

Определение площади кривой $p-s$ производится аналогично указанному выше, причем принимается вновь некоторый произвольный базис построения

$$\lambda_2 \text{ см} = \text{const}$$

и

$$\int_{x_0}^x p dx = \Phi \text{ см}^2 = \lambda_2 h,$$

т. е. полная площадь кривой $p-s$.

Кривая времени $t-s$ строится совершенно аналогично кривой v^2-s , и определение величин производится по уравнению

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \frac{1}{z_1^2} \lambda_2 h = \frac{\alpha}{\beta} \frac{\Phi}{z_1^2} \text{ сек.} \quad (15)$$

Так как при $x=x_0$ $t=0$, то ось ординат для кривой $t-s$ сдвинется на величину начального перемещения, умноженного на масштабный коэффициент.

Начальное перемещение $x_0=0$. Рассматриваемый случай представляет для нас значительный интерес, так как иногда шторка, закрывающая отверстие объектива, начинает движение непосредственно от края отверстия или с таким ничтожным начальным перемещением, которое без всякого ущерба для конечного результата может быть принято равным нулю.

Очевидно, что в этом случае нельзя воспользоваться уравнением (13), так как скорость на границе отверстия будет

$$v_0 = 0,$$

и определение площади кривой $p-s$ становится невозможным.

Для определения времени в этом случае следует принять исходную зависимость в виде

$$a = \frac{dv}{dt},$$

отсюда

$$dt = \frac{dv}{a} = \frac{\beta}{\gamma} \frac{dl}{y}. \quad (16)$$

Из последнего уравнения следует, что для определения времени необходимо построить кривую $a-v$, что легко может быть проделано, так как предыдущие операции вполне определили кривую $v-s$, а кривая ускорения $a-s$ считается заданной.

Построив кривую $a-v$, в которой по оси абсцисс будут отложены ординаты l см скорости, аналогично первому случаю полагаем:

$$yq = z_2^2$$

и, пользуясь изложенным выше методом построения вспомогательной кривой $p-s$, найдем кривую $q-v$.

Тогда

$$dt = \frac{\beta}{\gamma} \frac{1}{z_2^2} q dl$$

и, окончательно, время перемещения

$$t = \frac{\beta}{\gamma} \frac{1}{z_2^2} \int_0^l q dl = \frac{\beta}{\gamma} \frac{F}{z_2^2} \text{ сек.} \quad (17)$$

В уравнении (17) $F = \lambda_2 h'$ см² — полная площадь участков кривой $q-v$.

Установив, таким образом, метод графического определения скорости и времени перемещения шторки для двух практически важных случаев, можно перейти к непосредственному рассмотрению различных законов изменения движущего шторку усилия и приложению выведенных зависимостей.

§ 16. Графоаналитическое определение скорости и времени перемещения шторки

Выше было указано, что кривая движущего усилия $X=f(s)$ практически представляется прямой линией. Принимая этот закон, обратимся к рассмотрению ряда возможных случаев, I, I', II, II', III, (рис. 113) и установим необходимые для определения скорости и времени перемещения шторки зависимости.

Случай I. $X = \xi y = \xi(e - cx)$.

Так как движущее шторку усилие задано (рис. 114) в виде $X = f(s)$, то выражение для определения скорости должно получиться в виде уравнения (6)

$$v = \pm \sqrt{\varphi(x)}.$$

Воспользовавшись принятыми выше масштабными коэффициентами, определим скорость перемещения шторки. Из уравнения (9) имеем

$$a = \gamma y.$$

Принимая уравнение кривой ускорения в виде

$$y = e - cx \quad (18)$$

и переходя к определению скорости, найдем

$$df = y dx = (e - cx) dx.$$

Согласно уравнению (10)

$$\frac{v^2}{2\alpha\gamma} = \int_0^x (e - cx) dx = ex - \frac{c}{2} x^2. \quad (19)$$

Из уравнения (19):

$$v^2 = (2\alpha\gamma) \left(ex - \frac{c}{2} x^2 \right),$$

отсюда искомая скорость перемещения шторки

$$v = \pm \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2} = \pm \beta \sqrt{\varphi(x)}. \quad (20)$$

Полагая

$$\sqrt{\varphi(x)} = \sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2} = l \text{ см},$$

имеем известное уже выражение скорости

$$v = \beta l \text{ см/сек.}$$

Таким образом, значение скорости устанавливается уравнением (20), в котором перед радикалом удерживается положительный знак ввиду возрастания координаты x .

Определение времени:

$$1. x_0 \neq 0.$$

Согласно уравнению (7)

$$t = \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{\varphi(x)}}.$$

Подставляя значение скорости из уравнения (20) в уравнение (13), имеем

$$dt = \frac{ds}{v} = \frac{\alpha}{\beta} \frac{dx}{\sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2}},$$

отсюда

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \int_{x_0}^x \frac{dx}{\sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2}}. \quad (21)$$

Решение интеграла производится с использованием соответствующей подстановки.

Положив для простоты

$$\frac{c}{2} = b,$$

преобразовываем подкоренное выражение

$$ex - bx^2 = \frac{e^2}{4b} - b \left(x - \frac{e}{2b} \right)^2$$

и, приняв

$$\frac{e^2}{4b} = d,$$

имеем

$$ex - bx^2 = d - b \left(x - \frac{e}{2b} \right)^2.$$

Воспользуемся подстановкой

$$x - \frac{e}{2b} = z \sqrt{\frac{d}{b}},$$

тогда

$$dx = dz \sqrt{\frac{d}{b}},$$

$$b \left(x - \frac{e}{2b} \right)^2 = z^2 d \text{ и } z = \left(x - \frac{e}{2b} \right) \sqrt{\frac{b}{d}}.$$

Подставляя в уравнение (21), имеем

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \int_{x_0}^x \frac{dx}{\sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2}} = \frac{\alpha}{\beta \sqrt{b}} \int_{z_0}^z \frac{dz}{\sqrt{1 - z^2}},$$

что после интегрирования приводит к уравнению

$$t = \frac{\alpha}{\beta \sqrt{b}} |\arcsin z|_{z_0}^z.$$

Окончательно, после подстановки пределов и значения z , время перемещения шторки

$$t = 1,41 \frac{\alpha}{\beta \sqrt{c}} \left| \arcsin \left(\frac{xe}{e} - 1 \right) - \arcsin \left(\frac{x_0 e}{e} - 1 \right) \right| \text{ сек.} \quad (22)$$

2. $x_0 = 0$ (рис. 114).

Из уравнения (16)

$$dt = \frac{dv}{a} = \frac{\beta}{\gamma} \frac{dl}{y}.$$

Установим зависимость между координатами y и l :

$$y = e - cx,$$

$$l = \sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2}.$$

Дифференцируя последнее равенство, найдем

$$dl = \frac{e - cx}{2\sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2}} dx$$

и, подставляя в уравнение (16), получим

$$dt = \frac{\beta}{2\gamma} \frac{dx}{\sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2}},$$

откуда

$$t = \frac{\beta}{2\gamma} \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2}}, \quad (21')$$

выражение вполне аналогичное уравнению (21), которое решается той же подстановкой. Окончательно, после всех необходимых преобразований, имеем время перемещения шторки

$$t = \frac{\beta}{\gamma} \sqrt{\frac{\pi}{2c}} \left| \frac{\pi}{2} + \arcsin \left(\frac{xc}{e} - 1 \right) \right| \text{сек.} \quad (22^*)$$

Случай II. $X = \xi y = \xi(e + cx)$.

Сохраняя прежние обозначения масштабных коэффициентов (рис. 115), действиями, совершенно аналогичными действиям предыдущего случая, найдем скорость перемещения шторки,

$$\frac{v^2}{2\gamma} = \int_0^x y dx = ex + \frac{c}{2}x^2,$$

откуда

$$v = \pm \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2}, \quad (23)$$

или

$$v = \beta l \text{ см/сек.}$$

Время перемещения шторки

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \int_{x_0}^x \frac{dx}{\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2}}.$$

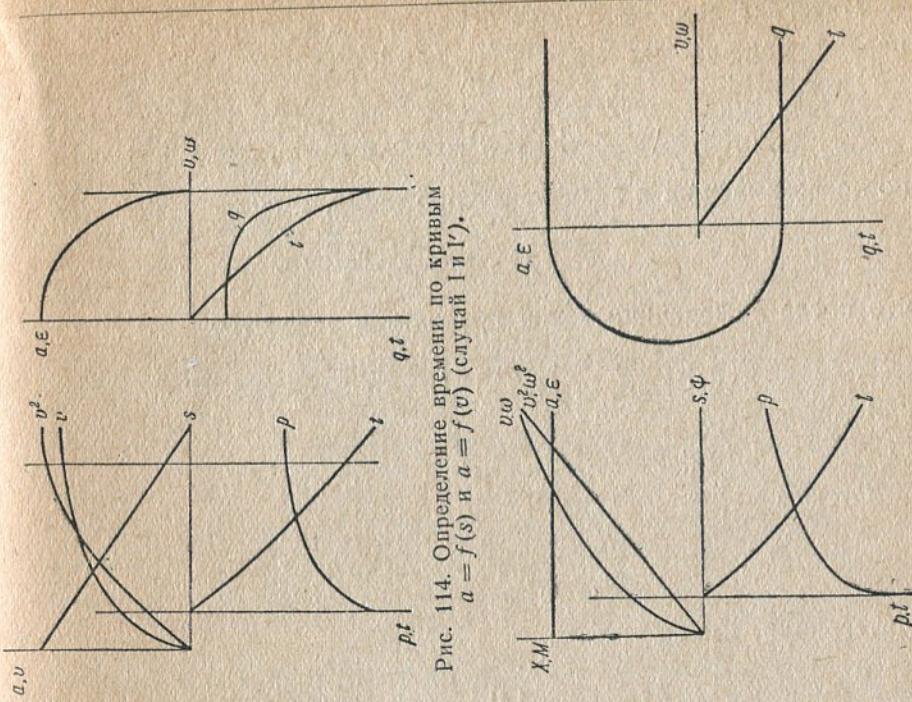


Рис. 114. Определение времени по кривым $a = f(s)$ и $a = f(v)$ (случай I и IV).

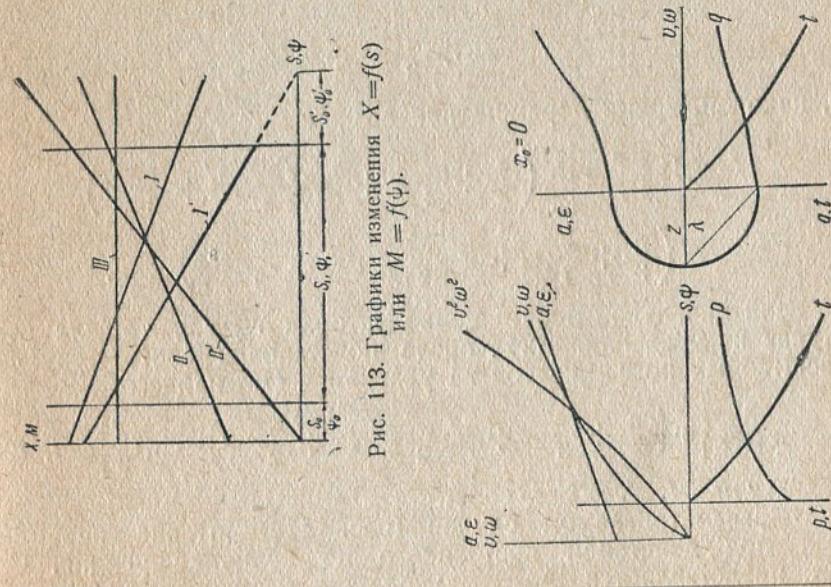


Рис. 115. Графики изменения $X = f(s)$ или $M = f(\psi)$.

Рис. 115. Определение времени по кривым $a = f(s)$ и $a = f(v)$ (случай II).

Рис. 116. Определение времени по кривым $a = f(s)$ и $a = f(v)$ (случай III).

Интеграл подобного вида берется, как известно, с помощью первой подстановки Эйлера ($\frac{c}{2} > 0$).

Полагая

$$\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2} = z - x\sqrt{\frac{c}{2}},$$

после возвышения в квадрат и упрощений, имеем

$$ex = z^2 - 2zx\sqrt{\frac{c}{2}},$$

что после дифференцирования приводит к равенству

$$(e + 2z\sqrt{\frac{c}{2}})dx = 2(z - x\sqrt{\frac{c}{2}})dz$$

или

$$(e + 2z\sqrt{\frac{c}{2}})dx = 2\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2}dz.$$

Отсюда

$$\frac{dx}{\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2}} = \frac{2dz}{e + 2z\sqrt{\frac{c}{2}}}.$$

Интегрируя, имеем

$$\int_{x_0}^x \frac{dx}{\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2}} = \frac{1,41}{\sqrt{c}} \left| \ln \left(e + 2z\sqrt{\frac{c}{2}} \right) \right|_{z_0}^z.$$

Согласно принятой подстановке

$$z = \sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2} + x\sqrt{\frac{c}{2}}$$

и, наконец, время перемещения шторки

$$t = 1,41 \frac{a}{\sqrt{c}} \left| \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}x + \sqrt{\frac{c}{2}}\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2} \right) - \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}x_0 + \sqrt{\frac{c}{2}}\sqrt{ex_0 + \frac{c}{2}x_0^2} \right) \right| \text{сек.} \quad (24)$$

Если начальное перемещение шторки $x_0 = 0$, то для этого случая из уравнения (24), после подстановки соответствующих масштабных коэффициентов из уравнения (16) найдем

$$t = \frac{a}{\sqrt{2c}} \left| \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}x + \sqrt{\frac{c}{2}}\sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2} \right) - \ln \frac{e}{2} \right| \text{сек.} \quad (24^*)$$

Случай III. $X = \xi y = \text{const}$.

В рассматриваемом случае (рис. 116) шторка перемещается под действием постоянного по величине усилия. Случай представляется довольно редким и скорее может быть

отнесен к ведущему звену, но при незначительном изменении усилия на ведомом звене можно считать $X = \text{const}$.

Полагая

$$y = e = \text{const},$$

имеем элементарную площадь кривой

$$df = e dx$$

и, переходя к скорости,

$$v^2 = [2\alpha\gamma] ex,$$

откуда

$$v = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{ex} = \beta l \text{ см/сек.} \quad (25)$$

Время перемещения шторки

$$t = \frac{a}{\beta} \int_{x_0}^x \frac{dx}{\sqrt{ex}} = \frac{a}{\beta\sqrt{e}} 2 \left| \sqrt{x} - \sqrt{x_0} \right| \text{сек.} \quad (26)$$

Кривая времени $t - v$ при $x_0 = 0$ приведена на рисунке, и определение времени производится по формуле

$$t = \frac{a}{\beta\sqrt{e}} \sqrt{x} \text{ сек.} \quad (26^*)$$

Ограничиваая рассмотрение граоаналитического определения скорости и времени перемещения шторки приведенными тремя наиболее характерными случаями, видим, что для определения времени согласно уравнениям (22), (22*), (24), (24*), (26) и (26*), необходимо лишь установить зависимости между масштабными коэффициентами и определить соответствующие параметры кривой усилия. Непосредственное графическое определение всех промежуточных кривых необязательно.

Дальнейшее использование полученных уравнений и построение необходимых графиков изменения величин будет показано ниже на конкретных примерах механизмов фотозатворов. Различные частные случаи, в дополнение к рассмотренным выше основным случаям, будут рассмотрены при аналитическом определении скорости и времени перемещения шторки.

§ 17. Аналитическое определение скорости и времени перемещения шторки

Для целей непосредственного расчета скорости и времени перемещения шторки на основании измеренных величин движущего усилия и перемещений, преобразуем полученные выше выражения, сохранив установленные зависимости между масштабными коэффициентами. Подобное преобразование позволит обойтись без построения графиков (нужен лишь график $X = f(s)$ как исходный) и установит непосредственную зависимость времени перемещения от различных параметров (усилий, перемещений и массы шторки). Установление необходимых расчетных формул

произведем в соответствии с разобранными выше случаями задания законов изменения движущего усилия с дополнительным рассмотрением некоторых частных случаев.

Случай I.

1. Определение скорости.

Из уравнения (20) имеем

$$v = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2}.$$

Перемножая радикалы, найдем

$$v = \sqrt{2(\alpha x)(\gamma e) - c(\alpha x)\gamma x}$$

и, принимая установленные выше зависимости между параметрами и масштабными коэффициентами

$$s = \alpha x,$$

$$\alpha_h = \gamma e,$$

$$c = \frac{e-y}{x},$$

имеем

$$v = \sqrt{\alpha_h + \alpha_k} \sqrt{s}$$

или, согласно уравнению (9)

$$v = \frac{\sqrt{X_h + X_k}}{\sqrt{m}} \sqrt{s} \text{ см/сек}, \quad (27)$$

где m — масса шторки в $\text{гсек}^2/\text{см}$,
 X_h и X_k — значение величины усилия в начале и конце движения в г , а

s — перемещение шторки в см .

Подставляя в уравнение (27) соответствующие значения величин конечного усилия и перемещения, можем определять скорость шторки в любом положении.

2. Определение времени.

Согласно уравнению (22)

$$t = 1,41 \frac{\alpha}{\beta V c} \left| \arcsin \left(\frac{xc}{e} - 1 \right) - \arcsin \left(\frac{x_0 c}{e} - 1 \right) \right| \text{ сек.}$$

Воспользовавшись приведенными выше зависимостями, найдем

$$t = 1,41 \frac{\alpha \sqrt{x}}{\sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{e-y}} \frac{\sqrt{\alpha}}{\sqrt{a}} \left| \arcsin \frac{\gamma y_0}{\gamma e} - \arcsin \frac{\gamma y}{\gamma e} \right|$$

и, после подстановок и сокращений, окончательно:

$$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h - X_k}} \left| \arcsin \frac{X_0}{X_h} - \arcsin \frac{X_k}{X_h} \right| \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (28)$$

В уравнении (28) X_0 — значение усилия при $s = s_0$.

Если начальное перемещение $s_0 = 0$, то, положив $X_0 = X_h$, найдем время перемещения

$$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h - X_k}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X_k}{X_h} \right| \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (28^*)$$

Частный случай I'.

$$X_k = 0.$$

Возможность рассматриваемого частного случая, разумеется, не исключена, а поэтому определим время перемещения шторки, исходя из полученных уравнений (28) и (28*).

$$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h}} \left| \arcsin \frac{X_0}{X_h} \right| \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (28')$$

и

$$t = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h}} \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (28'')$$

Случай II.

1. Определение скорости.

Из уравнения (23)

$$v = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2}.$$

Пользуясь указанными выше преобразованиями имеем окончательно

$$v = \frac{\sqrt{X_h + X_k}}{\sqrt{m}} \sqrt{s} \text{ см/сек.}$$

2. Определение времени.

Из уравнения (24)

$$t = 1,41 \frac{\alpha}{\beta V c} \left| \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}x + \sqrt{\frac{c}{2}} \sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2} \right) - \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}x_0 + \sqrt{\frac{c}{2}} \sqrt{ex_0 + \frac{c}{2}x_0^2} \right) \right|.$$

Подставляя соответствующие величины, входящие в уравнение (24), имеем

$$t = \frac{\sqrt{\alpha x}}{\sqrt{\gamma y - \gamma e}} \left| \ln \frac{(e + cx) + \sqrt{2ecx + c^2x^2}}{2} - \ln \frac{(e + cx_0) + \sqrt{2ecx_0 + c^2x_0^2}}{2} \right|$$

и окончательно

$$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_k - X_h}} \left| \ln (X_k + \sqrt{X_k^2 - X_h^2}) - \ln (X_0 + \sqrt{X_0^2 - X_h^2}) \right| \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (29)$$

При $X_0 = X_h$, т. е. при $s_0 = 0$, время перемещения шторки

$$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_k - X_h}} \left| \ln (X_k + \sqrt{X_k^2 - X_h^2}) - \ln X_h \right| \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (29^*)$$

Частный случай II. $X_n = 0$.

Кривая изменения движущего усилия определяется в этом случае уравнением

$$X = \xi y = \xi cx. \quad (30)$$

Рассматриваемый случай представляется весьма редким для гильотинных затворов и больше относится к центральным. Очевидно, что если это и может иметь место, то лишь для одного из крайних положений механизма и соответствует моментам начала открытия или закрытия отверстия объектива. В действительности для возврата механизма из крайнего положения существует дополнительная пружина, и таким образом начальное значение движущего усилия отлично от нуля.

В целях более подробного рассмотрения возможных случаев задания закона изменения движущего усилия определим скорость и время перемещения также и для этого частного случая (рис. 117).

1. Определение скорости.

$$y = cx \text{ и } df = y dx = cx dx.$$

Тогда

$$\frac{v^2}{2\alpha\gamma} = \frac{c}{2} x^2$$

и скорость перемещения шторки

$$v = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{\frac{c}{2}} x \text{ см/сек.} \quad (31)$$

Аналитический расчет скорости приводит к выражению

$$v = \sqrt{\frac{\alpha(\gamma y)}{x}} = \sqrt{(\alpha x)(\gamma y)},$$

а после замен и подстановок

$$v = \frac{\sqrt{X_k}}{\sqrt{m}} \sqrt{s} \text{ см/сек.} \quad (32)$$

2. Определение времени.

$$dt = \frac{ds}{v} = \frac{\alpha}{\beta \sqrt{\frac{c}{2}}} \frac{dx}{x},$$

что после интегрирования приводит к графоаналитической зависимости вида

$$t = 1,41 \frac{\alpha}{\beta \sqrt{c}} \ln \frac{x}{x_0} \text{ сек.} \quad (33)$$

Формула для расчета времени перемещения шторки получится из уравнения (33).

Действительно,

$$t = \frac{\sqrt{\alpha x}}{\sqrt{\gamma y}} \ln \frac{\gamma y}{\gamma y_0}$$

или

$$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_k}} \ln \frac{X_k}{X_0} \cdot \sqrt{\frac{m}{\gamma}} \text{ сек.} \quad (34)$$

Из уравнения (34) видим, что частный случай $X_0 = X_n = 0$ исключает возможность определения времени и наличие дополнительной пружины является настоятельной необходимостью, иначе механизм не сможет работать.

Случай III.

1. Определение скорости.]

Из уравнения (25)

$$v = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{\epsilon x},$$

откуда

$$v = 1,41 \sqrt{\alpha x} \sqrt{\gamma e},$$

что приводит к выражению скорости в виде

$$v = 1,41 \frac{\sqrt{X}}{\sqrt{m}} \sqrt{s} \text{ см/сек.} \quad (35)$$

2. Определение времени.

Из уравнения (26)

$$t = \frac{\alpha}{\beta \sqrt{e}} 2 |\sqrt{x} - \sqrt{x_0}| \text{ сек.}$$

После соответствующих преобразований имеем расчетную формулу

$$t = 1,41 \frac{\sqrt{s} - \sqrt{s_0}}{\sqrt{X}} \sqrt{m} \text{ сек.} \quad (36)$$

Ограничиваю обзор законов изменения усилия, движущего шторку, разобранными выше случаями, как наиболее возможными с практической точки зрения, мы не претендуем на исчерпывающую полноту. Экспериментальные исследования фотозатворов выявили несколько основных случаев кривой изменения, которые мы разобрали, а некоторые частные случаи вытекали как следствие из общих положений. Надо полагать, что какие-либо особые случаи представляются маловероятными и что величины скорости и времени перемещения шторки могут быть определены тем или иным из указанных выше путей.

На основании произведенного анализа различных случаев задания закона изменения движущего усилия выяснилась зависимость между основными механическими характеристиками фотозатвора. Установленная связь между параметрами дает возможность научного подхода как к выбору, так и к расчету необходи-

димых величин и имеет сугубо практическое значение при расчете и проектировании фотозатворов. Насколько нам известно, подобный расчет до сих пор не имел места, и проектирование фотозатворов шло на ощупь, в полной неизвестности о конечных результатах работы. Мы полагаем, что и копирование каких-либо зарекомендовавших себя образцов фотозатворов без понимания связи между параметрами, также является работой, не отвечающей современному состоянию техники.

В результате полученных нами выше уравнений (28), (29), (34) и (36) устанавливается, что в гильотинных затворах *время перемещения шторки прямо пропорционально произведению корней квадратных из величин перемещения и массы шторки и обратно пропорционально корню квадратному из разности движущих усилий.*

Приведенная формулировка является *основным выводом* и устанавливает непосредственную зависимость времени t перемещения шторки от величины перемещения s шторки, ее массы m и величины движущего усилия X .

Непосредственное использование выведенных формул на конкретных случаях определения времени и скорости перемещения шторки для различных фотозатворов будет показано ниже, а сейчас мы укажем последовательность действий при графическом, графоаналитическом и аналитическом расчетах в виде краткого резюме изложенного выше материала.

Краткое резюме по определению скорости и времени перемещения шторки

Графическое определение

1. Экспериментальным или аналитическим путями определяются величины X движущего усилия в функции от перемещения шторки.

2. После принятия произвольных масштабов ξ — для усилий и a см — для перемещения строится кривая $X = f(s)$, одновременно изображающая кривую ускорения $a = \frac{f(s)}{m}$.

3. Строится кривая $v^2 — s$, графическим интегрированием кривой $a — s$ и определяются масштабы γ см/сек² для ускорений и β см/сек — для скорости.

4. По кривой $v^2 — s$ строится кривая скорости $v — s$.

5. По кривой $v — s$, после выбора произвольной по величине константы z_1 см, строится вспомогательная кривая $p — s$.

6. Выбирается произвольный базис λ_2 см при графическом интегрировании кривой $p — s$, строится кривая времени $t — s$ и определяется ее крайняя ордината h см.

7. Высчитывается время перемещения по уравнению (15)

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \frac{\lambda_2}{z_1^2} h \text{ сек.}$$

Приложение. Если при $x_0 = 0$ и $v_0 = 0$, то необходимо произвести операции по пп. 1, 2, 3 и 4, а затем согласно п. 5 построить по данным кривых $a — s$ и $v — s$ кривую $a — v$ и применить к последней действия, определяемые пп. 5, 6 и 7.

Время перемещения определяется по уравнению (17)

$$t = \frac{\beta}{\gamma} \frac{\lambda_2}{z_1^2} h' \text{ сек.}$$

Графоаналитическое определение

Возможно только для тех случаев, когда известно уравнение кривой изменения движущего усилия. Последовательность действий представляется следующей:

1. Строятся кривая $X = f(s)$, или, что то же, кривая $a = \frac{f(s)}{m}$ и определяются масштабы ускорения γ см/сек² и скорости β см/сек.

2. Определяются необходимые параметры (перемещения x , x_0 см, начальное значение ускорения e см, наклон прямой $c = \operatorname{tg} \delta$).

3. Определяется время по одной из соответствующих слуаю формул.

Аналитическое решение

1. По экспериментальным данным строится кривая $X = f(s)$ и определяются необходимые значения величин движущего усилия X_0 , X_k соответственно значениям перемещений s_0 и s .

2. Определяется расчетом время перемещения по одной из соответствующих формул.

§ 18. Криволинейное движение лепестка (центральные затворы)

Центральные фотозатворы состоят обычно из нескольких лепестков, приводимых в движение основным механизмом затвора с помощью пружины. Поворачиваясь на некоторый угол ψ , лепестки открывают или закрывают отверстие объектива.

Используя здесь единственный практически целесообразный случай задания закона изменения вращающего лепесток момента в функции от угла поворота ψ лепестка $M = f(\psi)$, примем в качестве исходного уравнение вращения лепестка в виде

$$M = J \frac{d^2\psi}{dt^2} = J \varepsilon, \quad (37)$$

где J — момент инерции лепестка в гсм сек²
и ε — угловое ускорение в 1/сек².

Тогда, перенося все выводы, полученные нами выше для прямолинейного движения, на случай вращения твердого тела вокруг оси, путем простой замены линейной скорости v на угловую скорость ω , линейного ускорения a на угловое ускорение ε , перемещения s на угол поворота ψ , массы m на момент инерции J и силы X на момент силы M , найдем интересующие нас

Таблица

Сводная таблица формул по аналитическому определению скоростей и времени перемещения шторок и лепестков гильотин

Случай	Уравнение	Затворы	
		Гильотинные	Центральные
I. $y = e - cx$	27	$v = \frac{\sqrt{X_h + X_k}}{\sqrt{m}} \sqrt{s}$	$\omega = \frac{\sqrt{M_h + M_k}}{\sqrt{J}} \sqrt{\psi}$
	28	$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h - X_k}} \left \arcsin \frac{X_0}{X_h} - \arcsin \frac{X_k}{X_h} \right \sqrt{m}$	$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h - M_k}} \left \arcsin \frac{M_0}{M_h} - \arcsin \frac{M_k}{M_h} \right \sqrt{J}$
=	28*	$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h - X_k}} \left \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X_k}{X_h} \right \sqrt{m}$	$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h - M_k}} \left \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{M_k}{M_h} \right \sqrt{J}$
$X_k = 0$	28'	$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h}} \left \arcsin \frac{X_0}{X_h} \right \sqrt{m}$	$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h}} \left \arcsin \frac{M_0}{M_h} \right \sqrt{J}$
$X_k = 0, X_0 = X_h$	28**	$t = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h}} \sqrt{m}$	$t = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h}} \sqrt{J}$
II. $y = e + cx$	29	$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_k - X_h}} \left \ln \left(X_k + \sqrt{X_k^2 - X_h^2} \right) - \ln \left(X_0 + \sqrt{X_0^2 - X_h^2} \right) \right \sqrt{m}$	$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_k - M_h}} \left \ln \left(M_k + \sqrt{M_k^2 - M_h^2} \right) - \ln \left(M_0 + \sqrt{M_0^2 - M_h^2} \right) \right \sqrt{J}$
$y = cx, X_h = 0$	32	$v = \frac{\sqrt{X_k}}{\sqrt{m}} \sqrt{s}$	$\omega = \frac{\sqrt{M_k}}{\sqrt{J}} \sqrt{\psi}$
	34	$t = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_k}} \left \ln \frac{X_k}{X_0} \right \sqrt{m}$	$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_k}} \left \ln \frac{M_k}{M_0} \right \sqrt{J}$
III. $y = e = \text{const}$	35	$v = 1,41 \frac{\sqrt{X}}{\sqrt{m}} \sqrt{s}$	$\omega = 1,41 \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{J}} \sqrt{\psi}$
	36	$t = 1,41 \frac{\sqrt{s} - \sqrt{s_0}}{\sqrt{X}} \sqrt{m}$	$t = 1,41 \frac{\sqrt{\psi} - \sqrt{\psi_0}}{\sqrt{M}} \sqrt{J}$

Примечания:

- В частных случаях $s_0 = 0$ и $X_0 = X_h$, или соответственно $\phi_0 = 0$ и $M_0 = M_h$, расчетные
- значения входящих в формулы величин подставляются соответственно значениям переме-

ца 11
скому определению скоростей и времени
ных и центральных фотозатворов

формулы получаются из приведенных в таблице, путем простой подстановки указанных величин.
щения s или угла поворота ψ .

зависимости для всех рассмотренных выше случаев подстановкой в соответствующие уравнения необходимых значений величин.

Не повторяя всех произведенных выше выкладок и расчетов, приведем лишь общую сводную таблицу расчетных формул (табл. 11), служащих для определения скоростей и времени перемещения шторок гильотинных и лепестков центральных фотозатворов, соответственно всем разобранным выше случаям.

§ 19. Щелевые затворы

Теория щелевого затвора фотоаппарата „Спорт“ завода ГОМЗ. Фотозатворы щелевого типа, расположенные вблизи фокальной плоскости, принадлежат к затворам, у которых время экспозиции определяется двумя факторами:

- 1) временем полного рабочего перемещения щели;
- 2) шириной щели.

В рассматриваемом затворе оба указанные факторы, в соответствии с установкой индекса на шкале экспозиции, являются

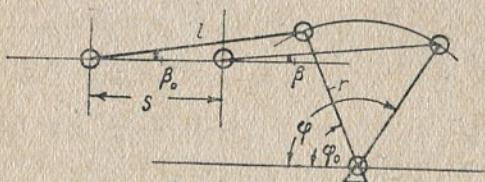


Рис. 118. Кинематическая схема механизма привода шторок аппарата „Спорт“.

переменными. Поставив перед собой задачу определения времени экспозиции, обратимся предварительно к кинематической схеме механизма затвора (рис. 118), состоящего из двух кривошипно-шатунных дезак-сированных механизмов с общей осью враще-

ния, приводящих в движение ползушки-шторки. Первый механизм служит для открытия щели, а второй, включаясь в действие в соответствии с выбранной установкой по времени экспозиции, предназначен для закрывания щели. Перемещения второй шторки и ширина щели, образуемая обеими шторками, определяются пятью установками цевки ведомого (второго) кривошипа, соответственно времени экспозиции $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$ и $\frac{1}{500}$ сек.

Положение цевки определяет время включения в работу второго механизма, начиная с которого оба кривошипа перемещаются по общему закону вплоть до момента, когда первый кривошип дойдет до упора и остановится.

Так как каждый кривошип перемещается под действием отдельной пружины, то момент остановки первого кривошипа определяет начало самостоятельного перемещения второго механизма. Поэтому, для определения необходимых расчетных параметров (усилий, перемещений и т. п.), необходимо четкое разграничение работы каждого механизма. В соответствии с конструкцией затвора цикл его работы может быть разбит на следующие три периода:

1) перемещение первой шторки на величину начального хода и ширины щели, определяемой установкой цевки для каждой экспозиции, под действием своей пружины;

2) совместное перемещение двух шторок до полного перемещения первой шторки, под действием двух пружин;

3) самостоятельное перемещение второй шторки на величину ширины щели и перекрытия, под действием своей пружины.

Необходимые для дальнейших определений и расчетов величины установлены в соответствии с приведенными периодами работы и помещены в таблицах (табл. 12 и 13).

Таблица 12

Фаза	Перемещения шторок в см			
	s_0	s_1	s'_0	s
Открытия	0,4	2,4	0,1	2,8
Закрытия	0,1	2,4	0,4	2,5

Таблица 13

Установки затвора	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{500}$
Угол поворота ϕ ведущего кривошипа до включения ведомого	40°,5	24°	15°,5	12°,5	6°
Перемещение ведущей шторки до включения ведомой в см	2,7	1,6	1,05	0,85	0,4

Располагая приведенными выше данными и диаграммой окружных усилий на кривошипах, перейдем к определению перемещений шторок и движущих шторки усилий.

Аналитическое определение перемещения шторки. Несмотря на то, что перемещения шторок были определены путем непосредственных измерений, произведем проверку последних для установления аналитических зависимостей между параметрами механизмов. Рассматривая схему механизма затвора, изображенную на рис. 118, для одного только, положим, ведущего механизма в исходном и конечном положениях, имеем

$$s = r \cos \varphi_0 + l \cos \beta_0 - l \cos \beta + r \cos (\pi - \varphi).$$

Так как угол β наклона шатуна к линии движения шторки весьма мал и не превышает $\beta_{\max} = 4^\circ$, то с некоторым приближением, полагая

$$\beta \approx 0,$$

получим перемещение

$$s = r(\cos \varphi_0 - \cos \varphi). \quad (38)$$

Подсчеты перемещений по приближенному уравнению (38) дают полное совпадение с результатами непосредственных изме-

рений и приводятся в табл. 14 для соответствующих углов поворота кривошипа.

Таблица 14

φ	68°,5	74°,6	110°,5	112°
$s \text{ см}$	0	0,4	2,8	2,9

Таким образом, для расчета перемещений можно пользоваться приближенной зависимостью, устанавливаемой уравнением (38).

Определение движущего шторку усилия. Движущее шторку усилие X в проекции на направление перемещения можно определять двоякими путями: 1) аналитическим, используя найденную выше зависимость между перемещением s и углом поворота φ кривошипа; 2) графическим, непосредственно по схеме расположения звеньев механизма. В том и другом случаях исходными данными являются значения окружных усилий T на цапфе кривошипа.

Аналитическое определение. Известная из теории механизмов зависимость между окружным усилием T , приложенным к цапфе кривошипа, и усилием X , приложенным к ползунку-шторке, представляется в виде

$$T = X \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}. \quad (39)$$

Из уравнения (39) интересующее нас усилие на шторке

$$X = T \frac{\cos \beta}{\sin(\varphi + \beta)}. \quad (40)$$

Принимая, по малости угла β

$$\beta \approx 0,$$

имеем, приближенно,

$$X = \frac{T}{\sin \varphi}. \quad (41)$$

Определяя значение угла поворота φ из уравнения (38)

$$\cos \varphi = \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r}$$

и подставляя в уравнение (41), имеем усилие на шторке

$$X = \frac{Tr}{\sqrt{r^2 \sin^2 \varphi_0 + 2rs \cos \varphi_0 - s^2}}. \quad (42)$$

Уравнение (42) устанавливает зависимость усилия X от окружного усилия T и перемещения шторки s .

Графическое определение. Графическое определение движущего усилия X элементарно просто и сводится к установлению отрезков на соответствующих положениях кривошипов; пересечение направлений последних прямыми, параллельными положе-

ниям шатуна, с вертикальным диаметром кривошипной окружности дают значения окружного усилия T .

Данные аналитического и графического определения усилия дали очень хорошее совпадение и приводятся в табл. 15 для соответствующих абсолютных углов поворота φ кривошипов.

Таблица 15

Установка	φ	Шторка № 1				Шторка № 2		Примечания
		0°	40°,5	43°,5	40°,5	43°,5	48°,5	
1 25	T_g	18	24	23,5	24	9,5	6,0	φ — абсолютный угол поворота кривошипов
	X_g	19,35	25,6	25,3	25	9,75	6,7	
	X_g	19,35	26,11	23,75	27,13	8,13	6,7	
1 50	T_g	18	24	23,5	24	43°,5	48°,5	Значения окружного усилия T_g взяты из эксперимента
	X_g	19,35	26,11	23,75	27,13	8,13	6,7	
	X_g	19,35	26,11	23,75	27,13	8,13	6,7	
1 100	T_g	18	24	23,5	24	43°,5	48°,5	
	X_g	19,35	25,5	24,13	27,5	7,75	6,7	
	X_g	19,35	25,5	24,13	27,5	7,75	6,7	
1 200	T_g	18	24	23,5	24	43°,5	48°,5	
	X_g	19,35	26,75	21,0	26,75	8,0	6,0	
	X_g	19,35	26,75	22,6	27,8	7,38	6,7	
1 500	T_g	18	24	23,5	24	43°,5	48°,5	
	X_g	19,35	28,13	22,0	28,5	7,0	6,7	
	X_g	19,35	28,13	22,0	28,5	7,0	6,7	

Аналитический расчет параметров затвора. Для определения скорости перемещения шторки воспользуемся уравнением (42), заметив, что числитель представляет собой момент окружного усилия на цапфе кривошипа

$$Tr = M.$$

Найдем предварительно значение последнего в функции от перемещения s шторки. Диаграмма кривых окружного усилия на кривошипе позволяет принять уравнение моментов в форме прямой линии вида

$$M = M_n - c\varphi. \quad (43)$$

Сделаем здесь необходимую оговорку, что в последнем уравнении принимается кривая моментов для отдельного участка. Вообще говоря, кривая окружных усилий, или моментов изменяется по несколько иному закону, что видно из сопоставления значений окружного усилия по таблице. В целях простоты и удобства решения вопроса об определении скорости мы прини-

Подставляя эти величины в уравнение (46), имеем

$$v_{\max} = \frac{1,41}{V_m} \sqrt{-70,2 [-0,358 - 0,376] - 0,5 [1,93^2 - 1,195^2]} 0,14,$$

$$v_{\max} = 32 \sqrt{51,44} \approx 2,3 \text{ м/сек.}$$

Сопоставляя результаты вычисления и произведенного нами ниже графического определения максимальной скорости

$$v_{\max \text{ гр}} = 2,53 \text{ м/сек.}$$

убеждаемся в удовлетворительном совпадении величин, а, следовательно, и в достаточности принятых исходных условий при составлении уравнения.

Для определения времени полного перемещения шторки в пределах действующего отверстия филькового окна, примем во внимание малую величину углового коэффициента и отбросим произведение, содержащее последний в качестве сомножителя. Тогда приближенное значение скорости

$$v \approx \frac{1,41}{V_m} \sqrt{-M_h \left[\arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r} - \arcsin (\cos \varphi_0) \right]}.$$

Для определения времени при условии $s_0 > 0$ имеем

$$dt = \frac{ds}{v} = \frac{V_m}{1,41} \sqrt{\frac{ds}{-M_h \left[\arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r} - \arcsin (\cos \varphi_0) \right]}}.$$

Представим последнее выражение в преобразованном виде, полагая

$$\arcsin (\cos \varphi_0) = A = \text{const.}$$

Тогда

$$\begin{aligned} dt &= \frac{V_m}{1,41 \sqrt{M_h}} \sqrt{\frac{ds}{\frac{A}{A} - \arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r}}} = \\ &= B \sqrt{\frac{ds}{A - \arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r}}}, \end{aligned}$$

где

$$\frac{V_m}{1,41 \sqrt{M_h}} = B$$

Принимаем подстановку

$$\arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r} = z,$$

тогда

$$\frac{r \cos \varphi_0 - s}{r} = \sin z$$

и

$$ds = -r \cos z dz.$$

Подставляя в исходное выражение для интегрирования, имеем

$$t = -Br \int_{z_0}^z \frac{\cos z}{\sqrt{A-z}} dz = C \int_{z_0}^z \frac{\cos z}{\sqrt{A-z}} dz \quad (47)$$

Подобный интеграл берется приближенно по формуле Симпсона или разложением числителя и знаменателя в ряд.

В целях проверки и большей надежности результата определим время обоими способами.

1. Разбиваем промежуток от s_0 до s на $2n$ равных частей и обозначаем

$$\frac{s - s_0}{2n} = h.$$

Таким образом, промежуток от s_0 до s будет заполнен числами:

$$s_0, s_0 + h, s_0 + 2h, \dots, s_0 + \frac{2n-1}{2n} h, s$$

или

$$s_0, x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}, s.$$

Формула Симпсона имеет вид

$$\begin{aligned} \int_{s_0}^s f(s) ds &= K \approx \frac{h}{3} [(y_0 + 2y_2 + 2y_4 + \dots + 2y_{2n-2} + y_{2n}) + \\ &+ 4(y_1 + y_3 + y_5 + \dots + y_{2n-1})]. \end{aligned}$$

Вводя обозначения

$$\begin{aligned} f(s_0) &= y_0, \\ f(x_1) &= y_1, \\ &\dots \\ f(x_{2n-1}) &= y_{2n-1}, \\ f(s) &= y_{2n}, \end{aligned}$$

найдем значения этих функций, прилагая решение к шторке № 1. Принимая $n = 6$, имеем

$$h = \frac{s - s_0}{2n} = \frac{2,4}{12} = 0,2.$$

Результаты вычисления функций сведены в табл. 16.

Таблица 16

y_0	3,03	y_1	2,5
$2y_2$	4,32	y_3	1,94
$2y_4$	3,57	y_5	1,645
$2y_6$	3,01	y_7	1,46
$2y_8$	2,92	y_9	1,32
$2y_{10}$	2,53	y_{11}	1,215
y_{12}	1,04		
Σ	20,42	4Σ	40,32

После подстановки полученных сумм в формулу имеем

$$K \simeq \frac{0,2}{3} [20,42 + 40,32] = 4,05.$$

Используя одну из предварительных зависимостей для определения времени в виде

$$t = B \int_{s_0}^s \frac{ds}{\sqrt{A - \arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r}}} \simeq BK$$

при

$$B = \frac{\sqrt{m}}{1,41 \sqrt{M_h}} = 0,00373,$$

имеем окончательно время перемещения шторки

$$t \simeq 0,00373 \cdot 4,05 = 0,0151 \text{ сек.}$$

Сопоставляя полученный результат с графическим определением времени для шторки № 1 (см. ниже)

$$t_{\text{граф}} = 0,0144 \text{ сек.},$$

можем считать приближенный аналитический метод вполне приемлемым для непосредственных расчетов времени перемещения шторки.

2. Принимаем для проверки времени выражение для времени по уравнению (47) и разлагаем числитель и знаменатель в ряд

$$\cos z = 1 - \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{3!} - \dots$$

Знаменатель по биному Ньютона

$$\frac{1}{\sqrt{A-z}} = \frac{1}{\sqrt{A}} \left(1 - \frac{z}{A}\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{A}} \left[1 + \frac{z}{2A} + \frac{1.3}{2.4} \frac{z^2}{A^2} + \dots\right].$$

Останавливаясь в обоих рядах на первых двух членах, получим после подстановки

$$\begin{aligned} t &= C \int_{z_0}^z \frac{\cos z}{\sqrt{A-z}} dz = \frac{C}{\sqrt{A}} \int_{z_0}^z \left(1 - \frac{z^2}{2}\right) \left(1 + \frac{z}{2A}\right) dz = \\ &= \frac{C}{\sqrt{A}} \int_{z_0}^z \left[1 + \frac{z}{2A} - \frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{4A}\right] dz. \end{aligned}$$

Интегрируя имеем

$$t = \frac{C}{\sqrt{A}} \left| z + \frac{z^2}{4A} - \frac{z^3}{6} - \frac{z^4}{16A} \right|_0^z \quad (48)$$

После подстановки значения z и пределов, имеем

$$t = \frac{C}{\sqrt{A}} [0,02 - 0,67].$$

При радиусе кривошипа $r = 3,9 \text{ см}$ коэффициенты

$$A = 0,376 \text{ и } C = -Br = -0,01452$$

и, наконец, время перемещения шторки

$$t = \frac{0,01452}{\sqrt{0,376}} 0,65 = 0,0154 \text{ сек.}$$

Как видим, результат подсчета времени по второму способу дает значение, также удовлетворяющее практике.

Проведенные выше расчеты времени, доведенные нами до приближенного решения, не дают, к сожалению, возможности установить в окончательном виде зависимости между параметрами. Только при втором способе (разложение в ряд) можно было бы представить уравнение (48) в развернутом виде, но оно получается настолько громоздким, что не представляет значительного интереса и поэтому не приводится.

Указанные выше приемы определения скорости и времени перемещения шторок, разумеется, могут быть применены при установке фотозатворов на любую экспозицию, но так как последние подробно рассматриваются ниже в примерах графического решения, то аналитический расчет их здесь не приводится.

ПРИМЕРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЙ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ

§ 20. Гильотинные затворы

Гильотинный затвор (опытная модель). Исходными данными являются величины движущего шторку усилия, полученные экспериментальным путем и помещенные в табл. 17. Данные определения относятся к двум шторкам, из которых шторка № 1 открывает, а шторка № 2 — закрывает отверстие объектива.

Проекции усилия натяжения пружины на направление перемещения шторки были определены для семи положений шторки.

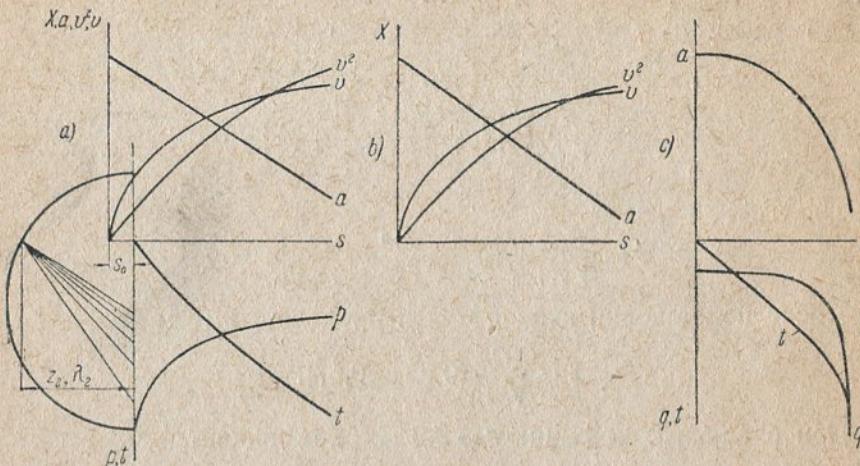


Рис. 119. Графики определения времени перемещения шторок опытной модели

Расчетные данные:

веса шторок $G_1 = 4,05 \text{ г}$, $G_2 = 4,03 \text{ г}$.

Перемещения шторок:

$$\begin{aligned} \text{полное} & \left\{ \begin{array}{l} s_1 = 2,3 \text{ см} \\ s_2 = 2,0 \text{ } \end{array} \right. \\ \text{начальное} & \left\{ \begin{array}{l} s_{01} = 0,25 \text{ см} \\ s_{02} = 0 \text{ (в действительности } 0,01 \text{ см).} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Таблица 17

Положение шторок	Усилие X в г	
	Шторка № 1	Шторка № 2
1	283,0	160,0
2	238,3	151,6
3	210,0	128,4
4	168,0	100,0
5	136,6	68,3
6	95,0	43,3
7	63,0	20,0

Графическое определение.

Шторка № 1 (рис. 119, а). Принятые масштабы построения исходной кривой $X = f(s)$:

для усилий 1 см оси ординат... $\xi = 20 \text{ г}$,
для перемещений 1 см оси абсцисс... $\alpha = 0,2 \text{ см}$.

Кривая изменения усилия подвергается операциям, подробно изложенным в кратком резюме по определению скорости и времени перемещения. Необходимые для графического определения данные получаются следующим образом.

Начальное ускорение движения $a_h = \frac{X_{1h}}{G_1} g = 68400 \text{ см/сек}^2$, следовательно, масштаб ускорений

$$1 \text{ см оси ординат} = \gamma_1 \text{ см/сек}^2 = \frac{a_h}{g} = \frac{68400}{14,15} = 4840 \text{ см/сек}^2.$$

Для определения скорости находим масштаб скоростей

$$\beta_1 = \sqrt{2\alpha\gamma_1} = 44 \text{ см/сек.}$$

Максимальная скорость в конце движения шторки

$$v_{1 \max} = \beta_1 l_{1 \max} = 4,38 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения шторки

$$t_1 = \frac{\alpha}{\beta_1} \frac{\lambda_2}{z_1^2} h_1 = 0,00619 \text{ сек.},$$

при $z_1 = 5 \text{ см}$.

Шторка № 2 (рис. 119, б и с).

Масштабы исходной кривой сохраняются прежними:

$$\alpha = 0,2 \text{ см},$$

$$\xi = 20 \text{ г.}$$

Начальное ускорение $a_h = \frac{X_{2h}}{G_2} g = 38900 \text{ см/сек}^2$.

Масштаб кривой ускорения $\gamma_2 = 4862,5 \text{ см/сек}^2$.

Масштаб кривой скорости $\beta_2 = \sqrt{2\alpha\gamma_2} = 44,1 \text{ см/сек.}$

Максимальная скорость $v_{2 \max} = \beta_2 l_{2 \max} = 3,00 \text{ м/сек.}$

Время перемещения шторки

$$t_2 = \frac{\beta_2}{\gamma_2} \frac{\lambda_2}{z_2^2} h' = 0,0112 \text{ сек.},$$

при $z_2 = 3 \text{ см}$ и $F = \lambda_2' h' = 11,1 \text{ см}^2$.

Время перемещения шторки № 2 определено при условии $s_{02} = 0$, так как начальное перемещение весьма мало.

Таким образом, полное время перемещения двух шторок, соответствующее времени открытия отверстия объектива и складывающееся из величин фазовых характеристик (время открытия и закрытия), получается равным

$$T_{\text{граф}} = t_1 + t_2 = 0,01739 \text{ сек} \sim 1/57,6 \text{ сек.}$$

Графоаналитическое решение. Кривая изменения усилия для шторок № 1 и № 2 имеет вид

$$X = \xi(e - cx),$$

т. е. решение совпадает со случаем I, разобранном выше, и определение скорости и времени производится по уравнениям (20), (22) и (22*).

Масштабы кривых сохраняются прежние.
Шторка № 1.

$$v = \beta \sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2}. \quad (20)$$

При $e = 14,15 \text{ см}$, $c = 0,952$ и $x_{1\max} = 11,5 \text{ см}$ скорость перемещения

$$v_{1\max} = 0,44 \sqrt{99,8} = 4,39 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения шторки

$$t = 1,41 \frac{\alpha}{\beta V c} \left[\arcsin \left(\frac{xc}{e} - 1 \right) - \arcsin \left(\frac{x_0 c}{e} - 1 \right) \right] \quad (22)$$

при

$$x_0 = \frac{s_{01}}{\alpha} = 1,25 \text{ см}$$

$$t_1' = 0,00621 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

При $e = 8 \text{ см}$, $c = 0,696$ и $x_{2\max} = 10 \text{ см}$ скорость перемещения

$$v_{2\max} = 0,441 \sqrt{ex - \frac{c}{2}x^2} = 2,98 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения шторки

$$t = \frac{\beta}{\gamma V 2c} \left| \frac{\pi}{2} + \arcsin \left(\frac{xc}{e} - 1 \right) \right| \text{ сек.} \quad (22*)$$

$$t_2' = 0,01107 \text{ сек.}$$

Полное время перемещения шторок при графоаналитическом решении

$$T = t_1' + t_2' = 0,01728 \text{ сек.} \approx 1/58 \text{ сек.}$$

Аналитическое определение.

Шторка № 1. Данные для расчета скорости и времени перемещения:

Начальное усилие $X_{1H} = 283 \text{ г}$.

Конечное усилие $X_{1K} = 63 \text{ г}$.

Значение усилия над кромкой отверстия (при $s = s_0$) $X_0 = 260,36 \text{ г}$.

Масса шторки $m_1 = 0,00413 \text{ г сек}^2/\text{см.}$

Скорость определяется по уравнению (27)

$$v = \frac{\sqrt{X_H + X_K}}{\sqrt{m}} \sqrt{s} = 4,39 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения из уравнения (28)

$$t_1'' = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_H - X_K}} \left| \arcsin \frac{X_0}{X_H} - \arcsin \frac{X_K}{X_H} \right| \sqrt{m} = 0,00621 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

Начальное усилие $X_{2H} = 160 \text{ г}$.

Конечное усилие $X_{2K} = 20 \text{ г}$.

Масса шторки $m_2 = 0,00411 \text{ г сек}^2/\text{см.}$

Скорость из уравнения (27)

$$v = 2,96 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения из уравнения (28*)

$$t_2'' = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_H - X_K}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X_K}{X_H} \right| \sqrt{m} = 0,011 \text{ сек.}$$

Полное время перемещения шторок при аналитическом определении

$$T'' = t_1'' + t_2'' = 0,01721 \text{ сек.} \approx 1/58,2 \text{ сек.}$$

Экспериментальное определение. На представленной фотографии эксперимента (рис. 121) при источнике света, дававшем 1000 импульсов в 1 сек., зафиксировано 19 импульсов. Таким образом, время экспозиции оказалось равным

$$T = 0,019 \text{ сек.} \approx 1/52,7 \text{ сек.}$$

Сопоставление результатов теоретического и экспериментального определений дает разницу, составляющую $\sim 0,0017$ сек. Последняя находит свое объяснение в том обстоятельстве, что при теоретических определениях не принималось во внимание сопротивление трения. Так как вертикальные составляющие движущего усилия (не приведенные в таблице усилий) достигают значительных величин, усилия трения должны были сказаться на конечных результатах. Однако, для большей простоты решения сопротивления были отброшены, и результаты оказались отличающимися на такую величину ($\sim 1/590$ сек.), которой смело можно пренебречь.

Затвор „Polyscop“ (стереоскопический.) Затвор аппарата „Polyscop“ состоит из одной шторки, перекрывающей

двойное отверстие объектива. Движущие усилия определялись экспериментальным путем, и вычисленные проекции на направление перемещения шторки помещены в табл. 18.

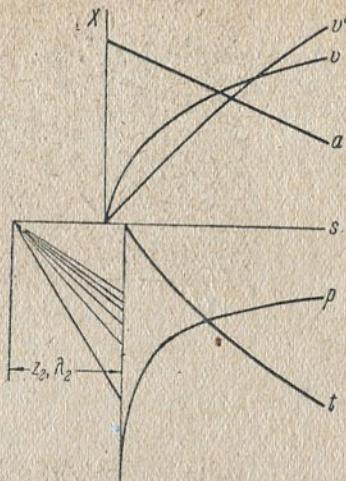


Рис. 120. Графики затвора камеры „Polyscop“.

Расчетное перемещение шторки $s = 2D + s_0 = 1,75 \text{ см}$.

Графический метод (рис. 120).

Масштабы: перемещений: $\alpha = 0,175 \text{ см}$,

$$\text{усилий} \quad \xi = 20 \text{ г.}$$

$$\text{Ускорение начальное } a_n = \frac{X_n}{G} g = 42000 \text{ см/сек}^2,$$

$$\text{Масштаб ускорений } \gamma = \frac{\xi}{m} = 5250 \text{ см/сек}^2.$$

$$\text{Масштаб скорости } \beta = \sqrt{2\alpha\gamma} = 42,8 \text{ см/сек.}$$

$$\text{Максимальная скорость } v_{\max} = \beta l_{\max} = 3,25 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения шторки

$$t = 0,00712 \text{ сек.} \sim 1/140,4 \text{ сек.}$$

Графоаналитический метод $X = \xi(e - cx)$.

Начальная ордината кривых усилий и ускорений $e = 8 \text{ см.}$

Максимальная абсцисса перемещения $x_{\max} = 10 \text{ см.}$

Абсцисса начального перемещения $x_0 = 0,857 \text{ см.}$

Угол наклона прямой $\delta = 24^\circ 5'$.

$$c = \operatorname{tg} \delta = 0,454.$$

$$\text{Максимальная скорость } v_{\max} = \beta \sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2} = 3,25 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения шторки по уравнению (22)

$$t = 0,00692 \text{ сек.} \sim 1/144,5 \text{ сек.}$$

Таблица 18

Положение шторки	Усилие X в г
1	160
2	140
3	119
4	95
5	75

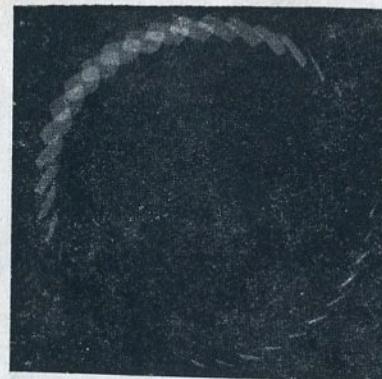


Рис. 121. Фотограмма опытной модели.

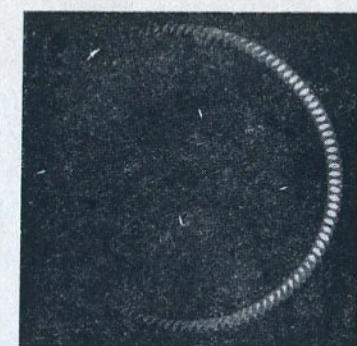


Рис. 122. Круговая фотограмма затвора „Monopol“.



Рис. 123. Фотограмма затвора „Polyscop“

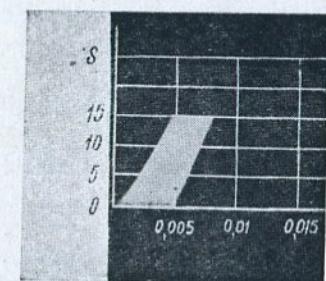


Рис. 124. Фотограмма затвора „Polyscop“.

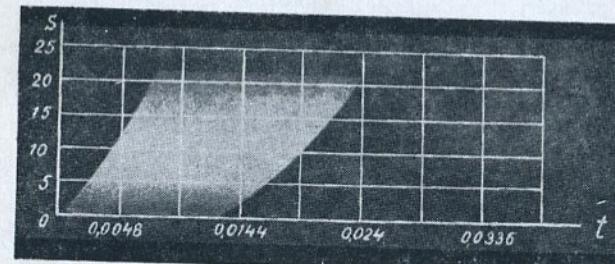


Рис. 125. $s = f(t)$ фотограмма затвора „Monopol“.

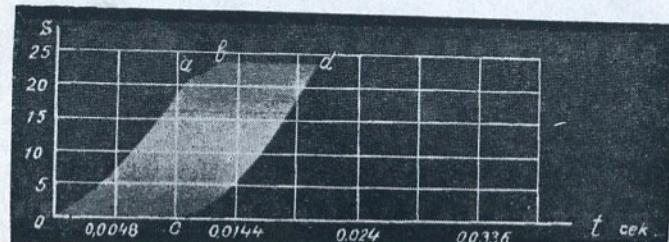


Рис. 126. Фотограмма затвора „Steno Jumelle“

Аналитический метод.

Начальное усилие $X_n = 160$ г.

Конечное усилие $X_k = 75$ г.

Усилие над кромкой отверстия $X_0 = 152,96$ г.

Масса шторки $m = 0,00382$ гсек²см.

Скорость по уравнению (27)

$$v = \frac{\sqrt{X_n + X_k}}{\sqrt{m}} \sqrt{s} = 3,28 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения по уравнению (28)

$$t = 0,00711 \text{ сек.} \sim 1/141 \text{ сек.}$$

Экспериментальное определение. На рис. 123 представлена наиболее характерная для затвора фотографма, полученная при установке шкалы экспозиции на $1/250$ сек. при выключенном тормозном механизме; источник света давал 3000 импульсов в 1 сек. На фотографии зафиксировался 21 импульс, что соответствует времени $t = 0,007$ сек. Это самая малая по времени экспозиция, которую дает затвор; все последующие более длительные, моментальные экспозиции получаются с участием тормоза.

Повторные испытания этого затвора по методу непрерывного фотографирования действующего отверстия на равномерно движущейся кинопленке (рис. 124) дали результат, близко совпадающий с предыдущим:

$$t = 0,00696 \text{ сек.}$$

В целях большей полноты приведем здесь данные экспериментального определения времени экспозиции и для других установок шкалы (табл. 19).

Сравнение результатов по теоретическому и экспериментальному определению времени приводит нас к установлению полного совпадения искомых величин.

Затвор „Le Constant“. Затвор фотоаппарата „Le Constant“ относится к затворам кулисного типа с обычной качающейся кулисой, осуществляющей двустороннюю передачу движения ползунам-шторкам. Схема механизма затвора представлена на рис. 56.

Ввиду того, что в рассматриваемом затворе скорость открытия осуществляется вручную, определение времени перемещения шторок сводится к установлению времени действия только при закрытии отверстия.

Таблица 19

Деления шкалы $1/n$ сек.	Полное время экспозиции сек.	Коэффициент свето- отдачи (к. п. д.) η
3	0,232	0,97
5	0,166	0,95
10	0,086	0,93
25	0,018	0,71
50	0,011	0,56
100	0,008	0,55
250	0,007	0,50

Возможность непосредственного применения одной из выведенных выше формул пока исключается, так как неизвестны еще законы изменения усилий, движущих шторки.

Заданной величиной является величина усилия, приложенного к ведущему звену (кривошипу), а определению подлежит усилие, приложенное к ведомому звену (шторка). Пользуясь экспериментом, можно, разумеется, определить необходимые величины искомых усилий, однако в момент трогания с места определение сопряжено с довольно значительной ошибкой.

В силу этих соображений определим искомые усилия графоаналитическим путем, с помощью начала возможных перемещений, рассматривая равновесие системы звеньев механизма. Отметим, что при рассмотрении механизма, ввиду полной симметричности расположения звеньев и одновременности перемещения шторок, можно пренебречь одной из них и рассматривать лишь одну симметричную половину кулисы.

Для определения движущего шторку статического усилия воспользуемся теоремой Лагранжа

$$P \delta s \cos(P, \delta s) = 0, \quad (49)$$

выражающей необходимое и достаточное условие равновесия системы и состоящее в том, что сумма элементарных работ всех действующих на систему сил должна быть равна нулю.

Полагая силу натяжения пружины F , приложенную в некоторой точке A кривошипа, заданной, найдем искомые усилия R , приведенные в точке E шторки на основании формулы (49). Перепишем (49) в виде

$$F \cos \alpha \cdot \delta a + R \cos \varepsilon \delta \varepsilon = 0,$$

где δa и $\delta \varepsilon$ — соответственно возможные перемещения точек A и E .

Переходя к графическому решению, отнесем перемещения точек A и E к соответствующему промежутку времени δt и найдем

$$F \cos \alpha \frac{\delta a}{\delta t} + R \cos \varepsilon \frac{\delta \varepsilon}{\delta t} = 0,$$

откуда

$$F \cos \alpha v_A = -R \cos \varepsilon v_E,$$

так как $\frac{\delta a}{\delta t}$ и $\frac{\delta \varepsilon}{\delta t}$ — соответственно скорости точек A и E приложения усилий.

Положив в масштабе построений

$$F \cos \alpha = F' = v_E$$

и разделив обе части равенства на v_E , имеем

$$\frac{F \cos \alpha}{v_E} v_A = -R \cos \varepsilon,$$

т. е.

$$v_A = -R \cos \varepsilon,$$

и окончательно

$$v_A = -X, \quad (50)$$

так как шторки перемещаются прямолинейно и направление движущего усилия X совпадает с направлением перемещения ($\cos \varepsilon = 1$).

Таким образом, для определения величины искомого усилия необходимо воспользоваться кинематическим методом (рис. 127).

Решение проводим с помощью метода повернутых скоростей и, положив усилие $F' = v_E^\top$, т. е. равным повернутой скорости точки E , найдем повернутую скорость v_A^\top точки A . На рисунке показано построение для одного положения шторки.

Приняв некоторый масштаб усилий, наносим на схему механизма в точку E вектор v_E^\top , по величине равный усилию F' и направленный по нормали к перемещению точки E . Скорость v_C^\top точки C найдем, проводя из конца v_E^\top прямую, параллельную звену EC , до пересечения с осью кулисы в точке \bar{C} , тогда

$$C \bar{C} = v_C^\top.$$

Имея в виду, что скорость точки B пальца кривошипа

$$v_B^\top = v_e^\top + v_r^\top$$

равна геометрической сумме скоростей переносного и относительного движений, найдем скорость v_e^\top переносного движения

$$v_e^\top = \frac{O_1 B}{O_1 C} v_C^\top$$

пропорциональным изменением скорости v_C^\top .

Направление скорости v_r^\top относительного движения известно, поэтому, проводя из конца v_e^\top направление v_r^\top (нормально к оси кулисы) до пересечения с направлением радиуса кривошипа найдем

$$v_B^\top = v_e^\top v_r^\top.$$

Определение скорости точки A не представляет затруднений:

$$v_A^\top = \frac{OA}{OB} v_B^\top$$

и находится графически пропорциональным изменением скорости v_B^\top .

Величина найденной, таким образом, скорости v_A принимается равной величине искомого усилия X .

Имея для натяжения пружины значения величин усилий: $F_1 = 381$ г для заданного положения (начальное при закрытии),

$F_2 = 351$ г — для спущенного положения (конечное при закрытии),
находим для шторки № 1

$$F'_1 = 381 \text{ } \text{z} \quad (\alpha_1 = 0),$$

$$F'_2 = F_2 \cos \alpha_2 = 347 \text{ r} \quad (\alpha_2 = 9^\circ).$$

Соответственно искомые усилия: $2X_u = 45$ з и $2X_k = 51$ з, распределяющиеся поровну между шторками, вследствие симметрии механизма.

Ввиду ничтожного перемещения точки A , точки приложения движущего кривошипа усилия, равного ~ 2 мм, можно считать полученные данные достаточными для расчетов и принять изменение усилия X по закону прямой линии.

Переходим теперь к определению времени, помня о том, что рассматривается всего лишь одна шторка и найденное усилие считается целиком приведенным к ней.

Расчетные данные:

Вес шторки $G_1 = 2,7$ г.

Перемещения шторки: полное $s = 2,456 \text{ см}$, начальное $s_0 = 0,42 \text{ см}$.

Графическое определение (рис. 128).

Масштабы: усилий $\xi = 15 \text{ з}$,
перемещений $\alpha = 0,409 \text{ см}$,
ускорений $\gamma = 1815 \text{ см/сек}^2$,
скоростей $\beta = 38,4 \text{ см/сек}$.

Максимальная скорость $v_{\max} = \beta l_{\max} = 2,055$ м/сек.

Время перемещения шторки

$$\lambda_2 = 3 \text{ cm}, z_2 = 3 \text{ cm}, h = 4,05 \text{ cm},$$

$$t = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{\lambda_2}{z_2^2} h = 0,0144 \text{ сек.}$$

Графоаналитическое определение. Соответственно закону изменения движущего шторку усилия имеем

$$X = \xi(e + cx),$$

т. е. решение совпадает со случаем II, и определение скорости и времени перемещения шторки производится по уравнениям (23) и (24).

(28) и (24).
Максимальная скорость при $x_0 = 1,025 \text{ см}$; $x = 6 \text{ см}$, $e = 4,5 \text{ см}$ и $c = 0,1$

$$v = \beta \sqrt{ex + \frac{c}{2}x^2} = 2,05 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения по уравнению (24)

$$t = 0.01425 \text{ сек.}$$

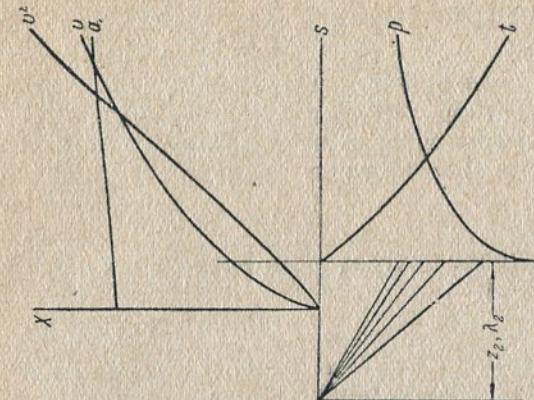


Рис. 128 Графики затвора "Le Constant".

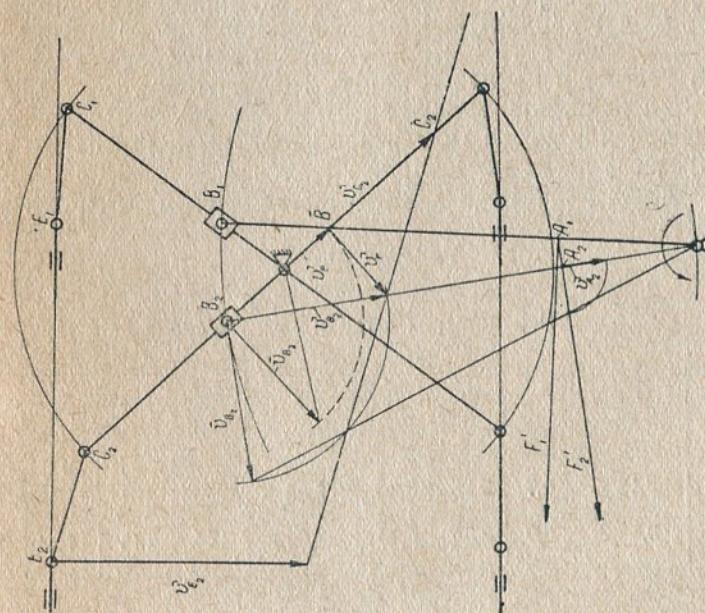


Рис. 127. Определение усилий на шторке затвора "Le Constant".

Аналитическое определение.

$$2X_h = 45 \text{ г}, \quad 2X_k = 51 \text{ г}, \quad 2X_0 = 46 \text{ г}.$$

По уравнению (29)

$$t = 0,01422 \text{ сек.}$$

Экспериментальное определение. При фотографировании через этот затвор источника света, дающего 1000 импульсов в 1 сек., зафиксировано на пластинке для фазы закрытия 14 импульсов, что соответствует времени

$$t = 0,014 \text{ сек.}$$

Общая продолжительность экспозиции при испытании получилась равной

$$T = 0,056 \text{ сек.}$$

Как видим, результаты расчета времени при закрытии отверстия совпали с экспериментальными данными.

Затвор „Мопорол“. Определение фазовых характеристик затвора „Мопорол“, схема которого представлена на рис. 52 производится методом, аналогичным методу, примененному к затвору „Le Constant“, так как экспериментальным путем было определено лишь усилие на ведущем звене.

В соответствии с кинематической схемой механизма и основными данными о перемещениях звеньев, принимаем механизм шторки № 1 за шарнирный четырехсторонник и известным уже путем находим скорости интересующих нас точек, а затем и движущие усилия в начале и конце хода шторки.

Определив исходное положение шторки № 2 и усилие на ведущем звене для этого момента, находим аналогичным приемом движущее усилие на шторке № 2.

Необходимые расчетные данные приводятся в табл. 20.

Таблица 20

Фаза	Вес шторки G г	Перемещения шторки в см				Усилия на шторках в г			
		s	s_1	s'_0	Расчетное s	X_h	X_0	X'_k	X_k
Открытия . .	3,15	0,7	2,35	0,35	3,05	200	184	128	122
Закрытия . .	3,1	0,3	2,35	0,75	2,65	144	144	140,4	140

Окружные усилия на ведущем звене: начальное $T_h = 550$ г и конечное $T_k = 500$ г

приложены на плече $l = 24,25 \text{ мм}$.

Угол поворота ведущего звена $\varphi = 56^\circ 5$.

Время перемещения шторок:

1. При открытии отверстия. Соответственно кривой изменения движущего усилия применяем уравнение (28)

$$t_1 = 0,00554 \text{ сек.}$$

Проверка графическим построением дает результат

$$t_{1\text{граф}} = \frac{\alpha}{\beta} \frac{\lambda_2}{z_2^2} h = \frac{0,567}{118,9} \frac{3}{9} 3,4 = 0,00542 \text{ сек.}$$

2. При закрытии отверстия. Так как значение величины усилия на кромке отверстия $X_0 = X_h$, то воспользуемся уравнением (28*)

$$t_2 = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h - X'_k}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X'_k}{X_h} \right| \sqrt{m} = 0,011 \text{ сек.}$$

Экспериментальное определение. Испытание затвора проводилось для моментальной экспозиции при выключенном тормозе. Таким образом, определялся предел моментальных экспозиций этого затвора при заданных его параметрах. Определение фазовых характеристик производилось двумя методами, фотограммы которых приведены на рис. 122 и 125.

Расшифровка фотограмм дала результаты, помещенные в табл. 21.

Таблица 21

Фотограмма	Время открытия сек.	Выдержка сек.	Время закрытия сек.
Круговая	0,0076	0,006	0,0116
В координатах $s - t$:	0,0074	0,0053	0,0112

Результаты эксперимента, как видим, вполне совпадают; что же касается сопоставления их с теоретическими, то разница, равная 0,0019 сек. для открытия отверстия, может считаться незначительной. Здесь могут быть высказаны соображения, аналогичные приведенным выше для опытной модели.

Затвор „Steno Jumelle“. Определению фазовых характеристик затвора предшествовало установление необходимых расчетных данных, значения которых помещены в табл. 22.

Время перемещения шторки при закрытии отверстия. Согласно данным измерений усилий на шторке по уравнению (28*)

$$t_2 = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{X_h - X'_k}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X'_k}{X_h} \right| \sqrt{m} = 0,00921 \text{ сек.}$$

Таблица 22

Фаза	Вес шторки	Перемещения шторки в см				Усилия на шторках в г				
		G г	s_0	s_1	s'_0	Расчетное s	X_h	X_o	X'_k	X_k
Открытия . .	5,71	0,33	2,68	0	3,01	—	—	—	—	—
Закрытия . .	5,085	0	2,64	0,37	2,64	365	365	130	100	

Примечание. Усилия для фазы открытия, неоднократно определенные, получались с большими расхождениями между опытами и поэтому были отброшены. Таким образом, время при открытии отверстия аналитически не определялось.

Экспериментальное определение времени. Из фотографии, характеризующей работу затвора и приведенной на рис. 126, время открытия, соответствующее времени перемещения первой шторки, $t'_1 = 0,012$ сек.

Время закрытия отверстия второй шторкой $t'_2 = 0,011$ сек.

К полученной при эксперименте фотографии необходимо сделать некоторые замечания:

а) кривая oab , полученная в результате перемещения первой шторки, имеет характерный участок ab , соответствующий моменту включения второй шторки и указывающий на происходящее в этот момент торможение первой;

б) в затворе отсутствует фаза работы полным отверстием (выдержка), о чем свидетельствует кривая cd перемещения второй шторки, начинающегося еще до остановки первой шторки;

в) в отрезке времени, определяемом участком ab , в движении находятся обе шторки, и имеет место явление диафрагмирования. Использовать этот затвор, как это явствует из фотографии, можно для отверстий с диаметром до 20 мм, при котором диафрагмирования еще не будет.

§ 21. Центральные затворы

Определение времени экспозиции затворов центрального типа может быть сведено к известным уже положениям, рассмотренным в главе о гильотинных затворах. Основным моментом является определение скорости ведомого звена, в данном случае лепестка затвора, открывающего и закрывающего отверстие объектива.

Рассмотрим решение задачи по определению времени экспозиции и фазовой характеристики для нескольких типичных центральных затворов.

Затвор „Compound“. Решение поставленной выше задачи начнем с рассмотрения механизма фотозатвора „Compound“, подвергавшегося подробному исследованию по определению пе-

ремещений и времени экспозиции. Общий вид затвора представлен на рис. 129 в некоторый момент открытия отверстия объектива. Ведущим звеном является рычаг завода A, укрепленный на барабане и вращающийся под действием спиральной

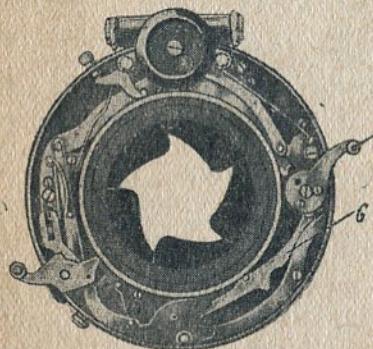


Рис. 129. Затвор „Compound“.

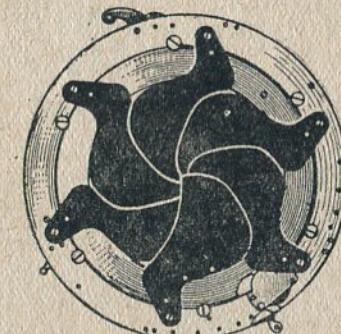


Рис. 130. Затвор „Compound“.

пружины (часового типа). Рычаг завода, являющийся кривошипом, связан шарнирно с тягой-шатуном G, в вырез которого входит палец кольца. Соединение кольца с лепестками изображено на рис. 130, представляющем вид на затвор сзади. Лепестки, имеющие неподвижную точку на корпусе, совершают колебательное движение вокруг последней и приводятся в движение от кольца, в щели которого входят пальцы лепестков.

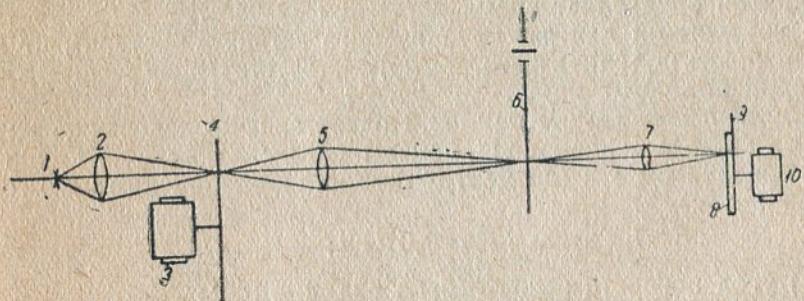


Рис. 131. Схема установки для фотографирования рычага завода.

Для получения необходимых кинематических данных по определению времени был поставлен эксперимент по определению перемещения рычага завода.

Экспериментальное определение перемещения рычага завода. Метод, использованный для определения перемещения ведущего звена механизма затвора, заключался в фотографировании в пульсирующем свете рычага завода, перемещавшегося под действием пружины. Схема специальной установки представлена на рис. 131, на котором 1—источник света, 2—конденсор,

собирающий пучок лучей на диск 4, 3 — мотор, 5 — проекционный объектив, 6 — испытуемый затвор (рычаг), 7 — съемочный объектив, 8 — фотопластинка, укрепленная на диске 9, 10 — мотор. Небольшое отверстие, имеющееся в рычаге завода, позволяет пропускать световые импульсы через строго определенное время на вращающуюся фотопластинку, после проявления которой получается исходная для определений фотография (рис. 132). Последняя состоит из двух окружностей соответственно начальному и конечному положениям отверстия рычага завода и ряда точек, изображающих мгновенные положения рычага во время его перемещения. Для удобства подсчетов и в целях большей ясности фотографии последняя увеличивается, и затем производятся измерения.

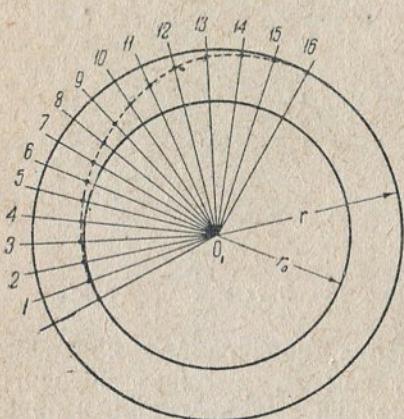


Рис. 132. Фотография перемещения рычага завода затвора „Compound“.

Через строго определенные промежутки времени, то число точек на кривой определяет время движения рычага.

Проведенный для рассматриваемого затвора эксперимент дал возможность получить фотографию, соответствующая расшифровка которой помещена ниже.

Экспериментальные данные. Подвергался исследованию рычаг завода затвора „Compound“, причем установлены:

1) радиус рычага (до центра отверстия, пропускающего световой поток)

$$R = 2,02 \text{ см};$$

2) угол поворота рычага (барабана) $\varphi = 145^\circ$;

3) путь, проходимый центром отверстия рычага (длина дуги),

$$s = R\varphi = 5,12 \text{ см}.$$

Данные расшифровки фотографии приведены в табл. 23.

Приводимые в табл. 23 цифры являются исходными и, вместе с кривой перемещения центра отверстия рычага, единственными данными для определения закона перемещения рычага. Последний может быть установлен на основании этих данных различными методами, к рассмотрению которых мы и перейдем, отметив здесь, что конечной целью на этом этапе является определение линейной скорости центра отверстия рычага. Дальнейшие опера-

ции по определению движения лепестка будут проведены на основании этих предварительных результатов.

Таблица 23

№ по порядку	Время t сек.	Расстояние от точки на кривой до начальной окружности h мм			$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ м/сек
			s мм	Δs	
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0,92	0,46
1	0,002	0,5	0,920	0,552	0,276
2	0,004	0,8	1,472	0,736	0,368
3	0,006	1,2	2,208	1,104	0,552
4	0,008	1,8	3,312	1,840	0,92
5	0,010	2,8	5,152	2,208	1,104
6	0,012	4,0	7,360	2,392	1,196
7	0,014	5,3	9,752	3,68	1,84
8	0,016	7,3	13,432	4,048	2,024
9	0,018	9,5	17,480	6,256	3,128
10	0,020	12,9	23,736	6,992	3,496
11	0,022	16,7	30,728	8,28	4,14
12	0,024	21,2	39,008	6,992	3,496
13	0,026	25,0	46,0	2,392	1,196
14	0,028	26,3	48,392	1,472	0,736
15	0,030	27,1	49,864	1,288	0,644
16	0,032	27,8	51,152		

Непосредственное определение перемещения рычага по дуге. Определение перемещения центра отверстия рычага можно произвести, воспользовавшись расстоянием h , учитя соответствующий масштаб фотографии.

Последний будет получен путем сравнения перемещений истинного (по дуге радиуса R) и на фотографии (расстояния h).

Пусть

$$s = ah,$$

где a — масштабный коэффициент,

тогда

$$a = \frac{s}{h} = \frac{51,2}{27,8} = 1,84.$$

Соответственно этому значению коэффициента вычислены дуги перемещений, занесенные в табл. 23.

Интересующая нас линейная скорость перемещения рычага определяется путем дифференцирования кривой пути (лучше всего приближенным табличным методом) с последующим построением кривой скорости (рис. 133). Таким образом, задача сводится к определению $v = f(t)$ по заданному значению функции $s = f(t)$.

Определение угла поворота рычага. Известно, что рычаг во время спуска совершает поворот на угол $\varphi = 145^\circ$. Определение угла поворота можно произвести следующим образом.

Воспользовавшись фотограммой и имея [или нанеся на последнюю] центр вращения, начальное и конечное положения центра отверстия, а также установив центр окружностей фотограммы,

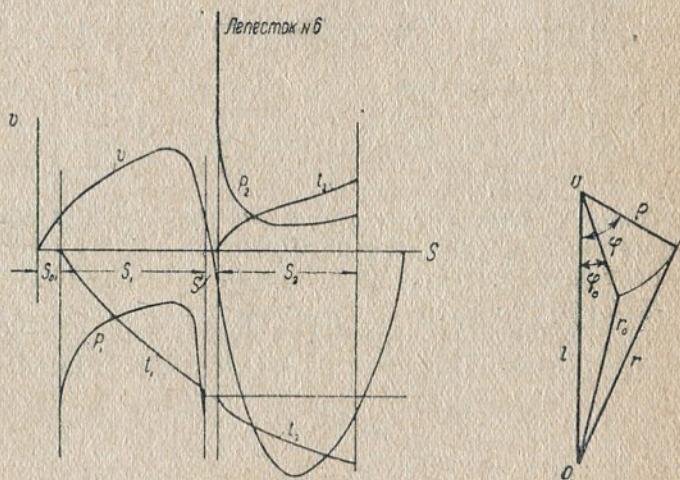
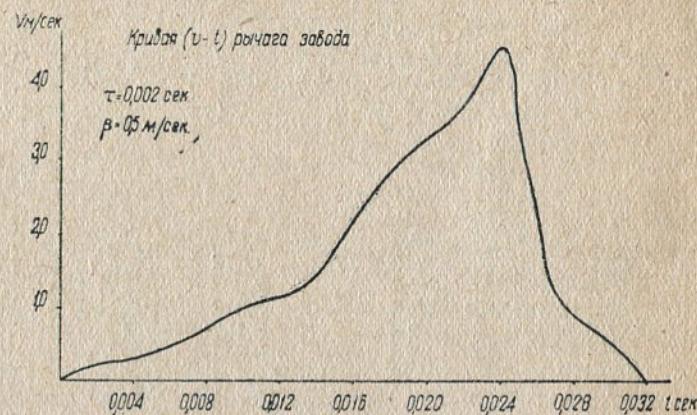


Рис. 133. Графики по определению времени экспозиции затвора „Compound“.

Рис. 134. Схема к определению угла поворота рычага.

можно определить угол поворота рычага с помощью уравнения окружности в полярных координатах. Действительно, принимая за полюс точку O_1 — центр окружности фотограммы, а за полярную ось прямую OO_1 , соединяющую центры фотограммы и вращения рычага, имеем (рис. 134)

$$r^2 = l^2 + \rho^2 - 2l\rho \cos \varphi, \quad (51)$$

где r — вектор радиус кривой на фотограмме,
 ρ — радиус рычага в масштабе фотограммы,

l — расстояние между центрами ($OO_1 = l$) на фотограмме,

φ — искомый угол поворота рычага.

Тогда из последнего уравнения

$$\varphi = \arccos \frac{(l^2 + \rho^2) - r^2}{2l\rho}$$

или, так как

$$l^2 + \rho^2 = \text{const} = A,$$

$$2l\rho = \text{const} = B,$$

окончательно получим

$$\varphi = \arccos \frac{A - r^2}{B}. \quad (52)$$

Для определения скорости перемещения рычага найдем сначала угловую скорость, для чего продифференцируем уравнение (52) по времени, заметив, что

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega \text{ — искомая угловая скорость,}$$

$$\frac{dr}{dt} = v_r \text{ — скорость изменения радиуса кривой на фотограмме.}$$

Итак,

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2r}{\sqrt{B^2 - (A - r^2)^2}} v_r. \quad (53)$$

Линейная скорость рычага

$$v = R\omega.$$

Определение угловой скорости вращения рычага. Определение угловой скорости вращения рычага может быть проведено аналитическим путем на основании экспериментального определения усилий или моментов ведущей пружины. Последняя, как известно, вращает барабан, на котором укреплен рычаг завода. Нам представляется, что непосредственное определение угловой скорости, основанное на свойствах ведущего органа — пружины, имеет значительный интерес и может привести к решению задачи в более общем виде, чем это имело место ранее.

Таблица 24

Повороты барабана		Усилие в г, приложенное на плече $l = 38$ мм		Момент в кг/см	
обороты	радианы	завод	спуск	завод	спуск
0,067	0,422	100	80	0,38	0,30
0,134	0,843	110	100	0,418	0,38
0,201	1,26	115	105	0,437	0,399
0,268	1,68	125	110	0,475	0,418
0,336	2,11	150	120	0,57	0,456
0,403	2,53	205	205	0,779	0,779

В результате испытания пружины заводного барабана были получены данные, помещенные в табл. 24.

Определение уравнения кривой усилий. Кривая моментов, как это видно из диаграммы (рис. 135), представляет типичное изменение момента в зависимости от угла закручивания пружины. В "идеальном" случае зависимость эта представляется линейной в виде

$$M = k\varphi.$$

Интересуясь лишь перемещением рычага завода при работе фотозатвора, остановимся на кривой спуска пружины и, имея в виду дать аналитическое решение, подвергнем ее соответствующей обработке.

Для установления зависимости $M = M(\varphi)$ или $T = T(\varphi)$ представим имеющуюся функцию в самом простом виде, определив для этого степень кривизны кривой. Отметим здесь, что, выбрав кривую спуска, мы переворачиваем ее на 180° вокруг вертикальной оси, естественно полагая, что

Рис. 135. График момента пружины заводного рычага $M = f(\varphi)$.

работа затвора начинается с крайней точки завода — спуска.

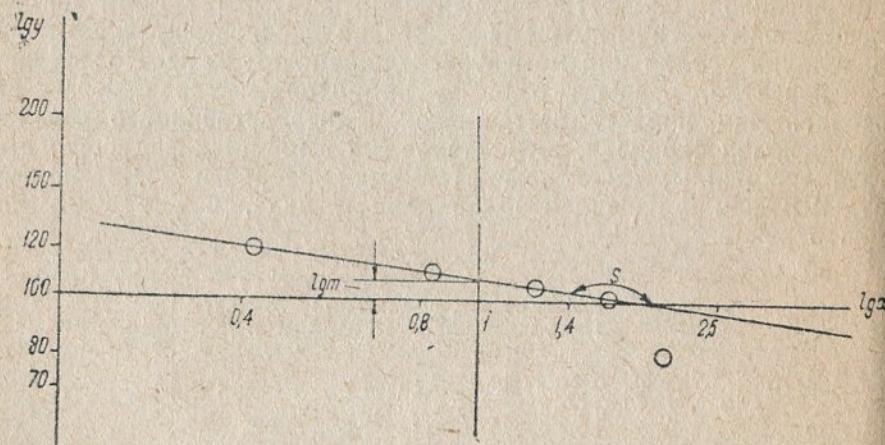


Рис. 135. График момента пружины заводного рычага $M = f(\varphi)$.

Степень кривизны кривой можно установить, воспользовавшись логарифмической бумагой (модуль $m = 100 \text{ мм}$), изображая кривую усилий в координатах $\lg x, \lg y$. Как видим из рис. 136, за исключением только двух крайних точек, не играющих впрочем

особого значения, все остальные точки расположились на прямой и, таким образом, степень зависимости одной величины от другой может быть легко установлена.

Уравнение прямой линии в логарифмической координатах

$$\lg y = \lg m + n \lg x, \quad (57)$$

откуда искомая зависимость

$$y = mx^n.$$

Для установления коэффициентов воспользуемся следующими соображениями:

1. Для определения коэффициента m при $x = 1$

$$\lg y = \lg m$$

и

$$m = y,$$

что для нашего случая дает значение $m = 0,108$.

2. Для определения коэффициента n .

$n = \tan \delta$ — тангенс угла, составляемого прямой с осью абсцисс.

Непосредственное измерение дает

$$\delta = 171^\circ,5$$

и, следовательно,

$$n = -0,149.$$

Таким образом, имеем окончательно уравнение кривой в виде

$$y = 0,108 x^{-0,149}. \quad (58)$$

Определение угловой скорости рычага *графоаналитическим методом* произведем с помощью основной формулы динамики

$$M = J\epsilon,$$

выражающей зависимость между моментом врачающих сил, моментом инерции тела и угловым его ускорением.

Полагая врачающий момент

$$M = TR,$$

имеем

$$TR = J\epsilon,$$

отсюда угловое ускорение

$$\epsilon = \frac{TR}{J},$$

т. е. угловое ускорение представляется кривой, аналогичной кривой моментов (или усилий), но только пропорционально измененной. Таким образом, изменение углового ускорения происходит по закону той же кривой, что и изменение усилий. Принимая некоторые масштабы построений, а именно:

- 1) для кривой усилий $T = \xi y$, 1 см оси ординат = ξ г;
 2) для угла поворота $\varphi = \alpha x$, 1 см оси абсцисс = α рад.,
 найдем масштаб кривой углового ускорения

$$\varepsilon = \gamma y \text{ 1/сек}^2, \text{ 1 см оси ординат} = \gamma \text{ 1/сек}^2.$$

Для определения угловой скорости имеем

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\varphi}{d\omega} \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

или, так как

$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon$$

$$\omega d\omega = \varepsilon d\varphi \quad (59)$$

Интегрируя последнее выражение, имеем

$$\int_0^\omega \omega d\omega = \int_0^\varphi \varepsilon d\varphi,$$

где принято $\omega_0 = 0$ при $\varphi = 0$.

Ход решения ясен и сводится к определению площади между кривой углового ускорения, двумя ординатами и осью абсцисс

$$df = y dx = mx^n dx.$$

С другой стороны,

$$y dx = \frac{\varepsilon}{\gamma} \frac{d\varphi}{\alpha} = \frac{\omega d\omega}{\alpha \gamma}.$$

Тогда

$$\frac{1}{\alpha \gamma} \int_0^\omega \omega d\omega = m \int_0^x x^n dx$$

и отсюда

$$\frac{\omega^2}{2\alpha\gamma} = \frac{m}{n+1} x^{n+1}$$

$$\omega^2 = [2\alpha\gamma] \left(\frac{m}{n+1} x^{n+1} \right) \quad (60)$$

и, наконец, угловая скорость

$$\omega = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{\frac{m}{n+1} x^{n+1}}. \quad (61)$$

Для единообразия принимаем

$$\beta = \sqrt{2\alpha\gamma} \text{ 1/сек.} — \text{масштаб угловой скорости},$$

$$l = \sqrt{\frac{m}{n+1} x^{n+1}} \text{ см} — \text{ординаты угловой скорости}.$$

Тогда

$$\omega = \beta l \text{ 1/сек.}$$

Уравнения (60) и (61) дают соответственно возможность построить кривые $\omega^2 - \varphi$ и $\omega - \varphi$.

Как видим из общего хода решения, последнее протекало совершенно аналогично определению скорости гильотинного затвора. Очевидно, что если понадобилось бы по каким-либо соображениям установить время работы рычага, то последнее можно было бы определить с использованием зависимостей

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt}.$$

Так как в нашем случае решение этого вопроса не представляет интереса, то мы на нем и не останавливаемся.

Для непосредственного *аналитического* расчета угловой скорости ведущего звена механизма затвора, преобразуем уравнение (61)

$$\omega = \sqrt{2\alpha\gamma} \sqrt{\frac{m}{n+1} x^{n+1}},$$

имея в виду, что

$$y = mx^n.$$

Тогда

$$\omega = \frac{1,41}{V^{n+1}} \frac{V^M}{V^J} \sqrt{\psi} \text{ 1/сек.} \quad (62)$$

Необходимая для расчета величина момента инерции J рычага завода (вместе с барабаном) была определена экспериментальным путем (методом качаний), причем получились следующие величины:

период колебаний $T = 0,3$ сек.
 расстояние центра тяжести от оси привеса . . . $s = 1,8$ см
 вес барабана с рычагом $G = 5,1$ г.

Момент инерции барабана относительно оси вращения найдем о известной формуле

$$J = J_0 - m(s^2 - s'^2),$$

где J_0 — момент инерции относительно оси качания,
 s' — расстояние от оси вращения до центра тяжести.

Окончательное значение искомого момента инерции

$$J = G s \frac{T^2}{4\pi^2} - m(s^2 - s'^2)$$

при $s' = 1,7$ см

$$J = 0,00506 \text{ г см сек}^2.$$

Полученное значение момента инерции дает возможность довести до окончательного решения определение угловой скорости рычага при графическом и аналитическом расчетах и сравнить, насколько близко совпадают значения ω при установленной степени кривизны кривой моментов $M = M(\varphi)$.

Введем численные значения масштабов кривых, изображенных на рис. 135,

$$\alpha = 0,3 \text{ рад};$$

$$\xi = 57 \text{ г см},$$

$$\gamma = \frac{\xi}{J} = 11260 \text{ 1/сек}^2$$

и масштаб кривой угловой скорости $\beta = \sqrt{2\alpha\gamma} = 81,1 \text{ 1/сек}$.

Произведенные нами подсчеты угловой скорости барабана по ординатам кривой и по формуле дают полное совпадение результатов. Последние не приводятся здесь, так как определение времени экспозиции затвора произведено было по экспериментальной кривой перемещения рычага завода.

Определение времени экспозиции базируется на предварительных операциях по определению перемещения рычага завода, которое, как было указано выше, может быть установлено различными методами. Несмотря на последнее обстоятельство, т. е. независимо от принятого метода определения перемещения рычага, во всех случаях, в конечном итоге, должна быть получена линейная скорость перемещения конца рычага, как ведущего звена механизма затвора. Определение же времени экспозиции связано с перемещением ведомого звена — лепестка затвора. Таким образом, необходимо перейти от рычага к лепестку и, воспользовавшись механизмом затвора (его кинематической схемой), определить перемещение лепестка и его скорость, а затем по кривой $v - s$ найти время, соответствующее расчетному перемещению.

Определение скорости движения лепестка. Из конструкции механизма затвора устанавливаем, для составления кинематической схемы механизма, следующие обстоятельства:

1. Рычаг завода, поворачивающийся вместе с барабаном и несущий на себе кривошип, перемещается под действием пружины.

2. Одна из точек шатуна непосредственным соприкосновением связана с кольцом затвора и поворачивает последнее при своем движении. При обратном перемещении шатуна последний под действием пружины отходит несколько назад, однако вплоть до последнего мгновения (положения в конце хода) связь шатуна с кольцом не теряется. Таким образом, шатун, перемещаясь по траекториям своих концов, одной из точек описывает дугу окружности (радиус кольца).

3. Кольцо, перемещаемое шатуном, вызывает перемещение лепестка, один конец которого шарнирно укреплен в корпусе затвора, а другая точка (палец) входит в щлицу кольца. Пользуясь соображениями о перемещении звеньев механизма, примем кинематическую схему его состоящей из соединения двух механизмов: шарнирного четырехсторонника и кулисного.

Использование первого механизма вполне уместно, так как оправдано перемещением одной из точек шатуна по дуге окруж-

ности и поэтому часть длины шатуна может быть отброшена, как лишенная значения при определении кинематических элементов движения.

Приняв подобную схему, перейдем к определению скорости лепестка, воспользовавшись для этой цели данными, полученными непосредственной обработкой перемещений по фотограмме (рис. 132). Этот путь, разумеется, наиболее простой и не требующий особых вычислений. Здесь заслуживает быть отмеченным одно обстоятельство, с которым в дальнейшем, при использовании других методов определения перемещения рычага, придется считаться. Мы имеем в виду точную фиксацию начальной и конечной точек перемещения рычага и положения центра его вращения.

При определении времени и установления расчетных перемещений лепестка, некоторый путь в начале и конце перемещения является начальным и в расчет времени не входит, поэтому точная фиксация, упомянутая выше, отпадает. Это очень важное обстоятельство, так как именно начальное и конечное положения рычага представляются на фотограмме сомнительными и трудно поддающимися определению, поскольку они расположены на двух окружностях светового потока; выбор на последних соответствующей точки чрезвычайно труден.

При постановке последующих экспериментов по снятию фотограммы перемещения рычага последнее обстоятельство было учтено, и производилась специальная фиксация трех характерных точек (центр вращения, начало и конец движения). Однако и при новом эксперименте не удалось еще окончательно связать кривую перемещения с началом и концом движения. Последнее представляется важным при определении перемещений аналитическим путем.

Переходя к определению скорости лепестка, по данным средних значений скорости (табл. 23) рычага, строим кривую скорости $v - t$ рычага и определяем значения скорости.

Кривая построена для масштабов

$$\text{времени . . . } \tau = 0,002 \text{ сек.},$$

$$\text{скорости . . . } \beta = 0,5 \text{ м/сек.}$$

Значения скорости помещены в табл. 25.

Исходными данными для дальнейших определений являются значения скорости перемещения кривошипа. Скорости крайней точки лепестка получим в виде локального годографа $v - s$ скорости, применив для этого метод повернутых скоростей. При построении скоростей были приняты следующие масштабы:

$$\text{чертежа (длин) . . . } 4 \text{ см} = 0,01 \text{ м (4 : 1)}$$

$$\text{скоростей } 1 \text{ см чертежа} = 0,0272 \text{ м/сек.}$$

Годограф повернутой скорости дает довольно плавное изменение скорости лепестка, значения которой приводятся в табл. 26.

Таблица 25

Точка	Время сек.	Скорость м/сек		Углы поворота рычага φ^o	Примечания
		рычага	кривошипа		
0	0	0	0	0	
1	0,002	0,2	0,0545	2,6	
2	0,004	0,3	0,0818	4,2	
3	0,006	0,45	0,122	6,3	
4	0,008	0,7	0,191	9,4	$v_{\text{рыч}} = 3,673 v$
5	0,010	1,0	0,273	14,6	
6	0,012	1,125	0,307	20,8	
7	0,014	1,4	0,382	27,6	
8	0,016	2,2	0,6	38,2	
9	0,018	2,75	0,75	49,6	
10	0,020	3,275	0,894	67,3	$\varphi = \frac{s}{0,01745 R}$
11	0,022	3,75	1,02	87,1	
12	0,024	4,55	1,24	110,1	
13	0,026	2,2	0,6	130,0	
14	0,028	0,9	0,245	137,0	
15	0,030	0,55	0,1495	141,0	
16	0,032	0	0	145,0	

Таблица 26

Скорости лепестков v м/сек

Лепесток № 6	Точка	Лепесток № 5
0	0	0
—	1	—
—	2	—
1,01	3	0,506
—	4	—
1,94	5	1,95
—	6	—
2,3	7	2,33
2,83	8	—
2,36	9	2,22
0,202	10	0,0682
—2,75	11	—2,48
—7,2	12	—7,2
—4,55	13	—4,44
—	14	—
—1,375	15	—1,1
0	16	0

Примечания:

1. Пропуски в определении скоростей некоторых точек объясняются лишь соображениями ясности чертежа, так как, даже при принятом масштабе $M 4:1$, точки (пальца лепестка) расположаются весьма близко друг от друга. Начальные точки, как было выяснено, особого значения не имеют.

2. Обратное движение кулисы начинается с точки 10.

Определение времени экспозиции затвора. Для определения времени экспозиции исходными данными являются значения скоростей перемещения лепестка. Сложность аналитического расчета скорости, практически сводящегося к установлению

угловых скоростей коромысла первого механизма и кулисы второго механизма, заставляют нас вести решение поставленной задачи чисто графическим путем. Надежность результатов графического метода, неоднократно продемонстрированная выше при расчете гильотинных затворов, не вызывает сомнений, и поэтому полученные результаты будем считать достаточно приемлемыми. Для графического определения времени, т. е. построения кривой $t-s$, построим кривую $v-s$ лепестка № 5 (рис. 133).

При построении приняты следующие масштабы:

$$\begin{aligned} \text{перемещений} &\dots \dots \dots \alpha = 0,01 \text{ м} \\ \text{скоростей} &\dots \dots \dots \beta = 1 \text{ м/сек} \end{aligned}$$

Установим теперь необходимые для расчета величины:

Диаметр отверстия $D = 51,5 \text{ мм}$.

Перемещения лепестка:

- a) полное $s = 76,5 \text{ мм}$; b) начальное при открытии отверстия ($\psi_0 = 10^\circ, 0$) $s_0 = 7,76 \text{ мм}$; c) при открытии отверстия... $s_1 = 26,4 \text{ мм}$ ($\psi_1 = 34^\circ, 0$); d) выдержка... $s' = 2,5 \text{ мм}$; e) закрытие... $s_2 = 26,4 \text{ мм}$.

При этих данных и выборе величин для графического интегрирования и определения площади вспомогательной кривой равными

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda = 2 \text{ см},$$

$$z_1 = z_2 = z = 2 \text{ см},$$

имеем:

1. Время, соответствующее перемещению лепестка при открытии отверстия

$$t_1 = \frac{\alpha}{\beta} \frac{1}{z^2} h_1 = \frac{0,01}{1,0} \cdot \frac{2}{4} 3,0 = 0,015 \text{ сек.}$$

2. Время, соответствующее перемещению лепестка при закрытии отверстия

$$t_2 = \frac{\alpha}{\beta} \frac{1}{z^2} h_2 = 0,0055 \text{ сек.}$$

3. Время, соответствующее перемещению лепестка за кромку отверстия, и возврата обратно (выдержка полного отверстия) вычисляется несколько сложнее ввиду того, что скорость в промежутке пересекает ось абсцисс, и определение времени с помощью использованного метода невозможно. Разобъем тогда участок на две части s_1 и s_2 и определим время перемещения аналитически, по среднему значению скорости в промежутках. Из графика скорости $v-s$ имеем

$$s'_1 = 0,9 \text{ мм}, \quad s'_2 = 1,6 \text{ мм},$$

$$v'_m = 0,5 \text{ м/сек}, \quad v''_m = 2 \text{ м/сек.}$$

Так как

$$t = \int \frac{ds}{v},$$

то для каждого участка отдельно имеем

$$t' = \frac{1}{v_m} \int_0^{s_1} ds = \frac{0,0009}{0,5} = 0,0018 \text{ сек.},$$

$$t'' = \frac{1}{v_m} \int_{s_1}^{s_2} ds = \frac{0,0016}{2} = 0,0008 \text{ сек.}$$

и, следовательно, время пробега лепестка вне пределов отверстия

$$t_3 = t' + t'' = 0,0026 \text{ сек.}$$

4. Время экспозиции

$$T_V = t_1 + t_2 + t_3 = 0,0231 \text{ сек.} \approx 1/43,4 \text{ сек.}$$

Полученный результат может быть проверен построением скорости лепестка № 6, методом, аналогичным указанному. Результаты построения приведены в табл. 26. Для расчета времени были приняты следующие масштабы и величины:

$$\alpha = 0,00687 \text{ м.}$$

$$\beta = 1,0 \text{ м/сек.}$$

- перемещения лепестка: a) $s = 68,7 \text{ мм.}$
 b) $s_{01} = 4,66 \text{ мм.} (\psi_0 = 6^\circ)$
 c) $s_1 = 26,4 \text{ мм.}$
 d) $s' = 2,32 \text{ мм.}$
 e) $s_2 = 26,4 \text{ мм.}$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda = 2 \text{ см.}$$

$$z_1 = z_2 = z = 2 \text{ см.}$$

$$t_1 = 0,01374 \text{ сек.},$$

$$t_2 = 0,0065 \text{ сек.},$$

$$t_3 = t' + t'' = 0,0016 + 0,00196 = 0,00356 \text{ сек.};$$

время экспозиции

$$T_{VI} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,0238 \text{ сек.} \approx 1/42 \text{ сек.}$$

Как видим, результаты графического определения скорости лепестков № 5 и № 6 приблизительно одинаковы и время экспозиции, подсчитанное для обоих случаев, также весьма близко подходит друг к другу. Подобное двукратное определение, произведенное для большей надежности результата, убеждает нас в том, что допущения, принятые нами при составлении кинематической схемы механизма затвора, оказали сравнительно ничтож-

ное влияние на результат. Последнее подтверждается еще тем, что экспериментальное определение показало время экспозиции для рассматриваемого затвора

$$T_{\text{эксп}} = 1/43 \text{ сек.},$$

и результаты, полученные расчетом, близко совпадают с действительными.

Аналогично исследованию движения рычага завода, проведенного различными методами, обратимся к решению поставленной задачи, исходя из усилий ведущей пружины. Полученные нами ранее данные по установлению степени кривизны кривой усилий и аналитической зависимости между угловой скоростью ω вращения рычага и углом поворота φ последнего носят сугубо теоретический характер и требуют излишней затраты времени на вычисления. Значительно проще воспользоваться лишь частью кривой, а именно прямолинейным участком ее, и привести все расчеты к формулам, известным уже из теории гильотинных затворов. Таким образом, с успехом и без особого ущерба для точности результатов может быть использована вся прежняя методика и введено единообразие расчета, независимо от рассматриваемого типа затвора.

Обращаясь к кривой усилий, построенной в некоторых масштабах $\alpha = 0,3 \text{ рад.}$ и $\xi = 0,015 \text{ кг}$, используем прямолинейный участок и заменим кривую усилий "идеальной" кривой. Как это видно из рис. 135, площади, ограниченные двумя этими кривыми, приблизительно одинаковы и поэтому ожидать каких-либо особо грубых расхождений в результатах не приходится. Проделанное нами графическое определение угловой скорости ω по экспериментальной кривой дает ординату для крайней точки

$$l = 7,66 \text{ см.}$$

Принимая закон изменения усилия по уравнению

$$y = e - cx,$$

придем к выражению для угловой скорости совершенно аналогично уравнению (20)

$$\omega = \beta \sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2} \text{ 1/сек.}$$

Пользуясь графиком кривой, имеем:

$$e = 8 \text{ см}, \quad x = 8,43 \text{ см}, \quad \frac{c}{2} = 0,1245$$

и, следовательно, ордината кривой

$$l = \sqrt{ex - \frac{c}{2} x^2} = 58,59 = 7,65 \text{ см},$$

вполне совпадает с графическим результатом.

Затвор „Rulex“. Механизм затвора „Rulex“ (рис. 34) совершенно аналогичен затвору „Compound“ и поэтому подробно не рассматривается. Определение фазовых характеристик произведем по данным определений величин моментов, вращающих лепесток, с использованием одного из случаев, разобранных выше.

Расчетные данные:

вес лепестка $G = 0,41 \text{ г}$,

углы поворота лепестка: начальный $\psi_0 = 6^\circ$,

в пределах отверстия $\psi_1 = 30^\circ$,

перекрытия $\psi_0' = 0^\circ$,

момент инерции лепестка $J = 0,0019 \text{ гсм}^2$,

при $T = 0,314 \text{ сек. и } s = 1,85 \text{ см.}$

Время перемещения лепестка при открытии отверстия.

Момент на лепестке: начальный $M_h = 104,7 \text{ гсм}$,

на кромке отверстия $M_0 = 90,4 \text{ гсм}$

конечный $M_k = 13,2 \text{ гсм}$.

Для расчета времени пользуемся уравнением (28), преобразованным для криволинейного движения (см. сводную таблицу формул — табл. 11)

$$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h - M_k}} \left| \arcsin \frac{M_0}{M_h} - \arcsin \frac{M_k}{M_h} \right| \sqrt{J}$$

Подставляя соответствующие значения входящих в уравнение величин, имеем

$$t_1 = \frac{0,792}{9,55} |1,038 - 0,1255| 0,0436 = 0,0033 \curvearrowright 1/300 \text{ сек.}$$

Время перемещения лепестка при закрытии отверстия.

Моменты на лепестке: начальный $M_h = 132 \text{ гсм}$,

на кромке отверстия $M_0 = 132 \text{ гсм}$

конечные $\begin{cases} M_k = 88 \text{ гсм} \\ M_k' = 96 \text{ гсм} \end{cases}$

углы поворота лепестка $\begin{cases} \psi_0 = 0 \\ \psi_1 = 30^\circ \\ \psi_0' = 6^\circ \end{cases}$

По уравнению (28*)

$$t = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h - M_k'}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{M_k'}{M_h} \right| \sqrt{J} = 0,00399 \curvearrowright 1/250 \text{ сек.}$$

Затвор „ГОМЗ“ (рис. 137). Расчетные данные:

вес лепестка $G = 0,288 \text{ г}$,

углы поворота лепестка: начальный $\psi_0 = 5^\circ, 8$,
в пределах отверстия $\psi_1 = 27^\circ, 5$,
перекрытия $\psi_0' = 5^\circ, 6$,
момент инерции лепестка $J = 0,00261 \text{ гсм}^2$

при $T = 0,391 \text{ сек. и } s = 2,47 \text{ см.}$

Время перемещения лепестка при открытии отверстия.
Моменты на лепестке:

начальный $M_h = 24,53 \text{ гсм}$,

на кромке отверстия $M_0 = 24,0 \text{ гсм}$,

конечный на кромке $M_k = 21,93 \text{ гсм}$,

конечный $M_k' = 21,25 \text{ гсм}$.

По уравнению (28) имеем, принимая
в виду ничтожной разницы $M_h = M_0$,

$$t_1 = \frac{\sqrt{\psi}}{\sqrt{M_h - M_k'}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{M_k'}{M_h} \right| \sqrt{J} = \\ = \frac{0,763}{1,61} 0,465 \cdot 0,051 = 0,0112 \text{ сек.}$$

Время перемещения лепестка при закрытии отверстия.

Моменты на лепестке: начальный

Рис. 137. Конструкция затвора ГОМЗ.

$M_h = 28,66 \text{ гсм}$,

на кромке отверстия $M_0 = 28,0 \text{ гсм}$,

конечный на кромке $M_k = 26,0 \text{ гсм}$,

углы поворота: $\psi_0 = 5^\circ, 6$,

$\psi_1 = 27^\circ, 8$,

$\psi_0' = 5^\circ, 8$.

Принимая, аналогично предыдущему случаю $M_h = M_0$, имеем

$$t_2 = \frac{0,758}{1,63} 0,44 \cdot 0,051 = 0,0104 \text{ сек.}$$

Затвор „Upicim“ (рис. 40). Расчетные данные приводим в табл. 27.

Таблица 27

Фаза	M_h	M_0	M_k'	M_k	ψ_0	ψ_1	ψ_0'	расчетное ψ	$J \text{ гсм}^2$
	в гсм								
Открытия . . .	72,8	80,5	134,2	134,2	4°	28°	0°	32°	0,006
Закрытия . . .	42,9	42,9	35,25	34,8	0°	28°	4°	28°	

Время перемещения лепестка при открытии отверстия.
Соответственно изменению кривой моментов должно иметь место

уравнение (29)

$$t_1 = \frac{V\psi}{\sqrt{M_k - M_h}} \left| \ln(M_k + \sqrt{M_k^2 - M_h^2}) - \ln(M_0 + \sqrt{M_0^2 - M_h^2}) \right| \sqrt{J},$$

$$t_1 = \frac{0,746}{7,84} |\ln 247,4 - \ln 115,7| 0,0774 = 0,00566 \text{ сек.}$$

При графической проверке (рис. 138) времяя перемещения оказалось равным

$$t_{1 \text{ гр}} = \frac{\alpha}{\beta} \frac{\lambda_2}{z^2} h = \frac{0,0873}{22,05} \frac{3}{9} 4,3 = 0,005675 \text{ сек.}$$

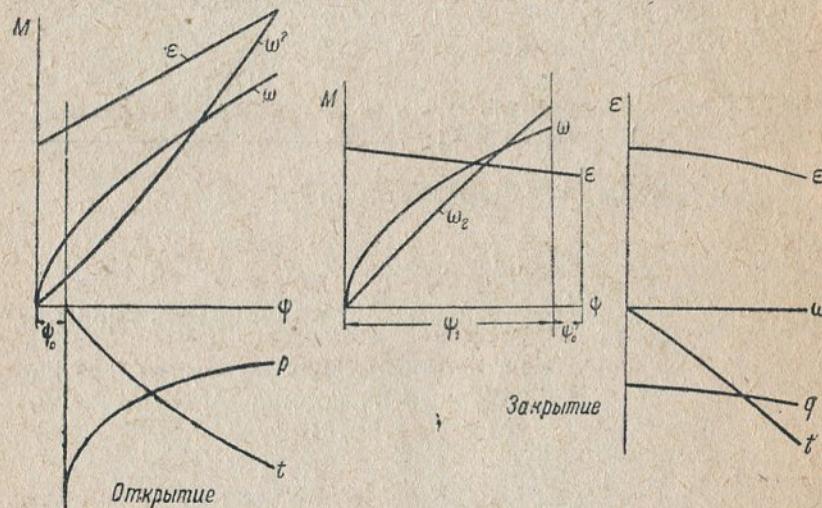


Рис. 138. Графики затвора „Unicam“.

Время перемещения лепестка при закрытии отверстия. Согласно уравнению (28)

$$t_2 = \frac{V\psi}{\sqrt{M_h - M'_k}} \left| \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{M'_k}{M_h} \right| \sqrt{J} = \frac{0,699}{2,765} 0,624 \cdot 0,0774 = 0,0122 \text{ сек.}$$

Графическая проверка (рис. 138) дает времяя перемещения лепестка

$$t_{2 \text{ гр}} = \frac{\beta}{\gamma} \frac{\lambda'_2}{z^2} h' = \frac{17,09}{1670} \frac{3}{9} 3,62 = 0,0123 \text{ сек.}$$

Затвор „Kodak“ (рис. 41). Расчетные данные приводятся в табл. 28.

Таблица 28

Фаза	Моменты в гсм				Углы поворота лепестка				Момент инерции J гсм сек ²
	M_h	M_0	M'_k	M_k	ψ_0	ψ_1	ψ'_0	ψ	
Открытия	34,5	33,12	23,46	21,7	4°,25	29°,75	4°,5	34°	
Закрытия	20,34	19,53	13,7	12,22	4°,5	29°,75	4°,25	34°,25	0,00108

Времяя перемещения лепестка при открытии отверстия. Ввиду незначительной разницы в величинах моментов начального и на кромке отверстия можно приближенно принять $M_h \approx M_0$ и по уравнению (28) найти времяя перемещения

$$t_1 = \frac{0,771}{3,32} 0,824 \cdot 0,0328 = 0,00628 \text{ сек.}$$

Времяя перемещения лепестка при закрытии отверстия. Совершенно аналогично, положив $M_h \approx M_0$, найдем

$$t_2 = \frac{0,772}{2,675} 0,863 \cdot 0,0328 = 0,00818 \text{ сек.}$$

Затвор камеры „Лилипут“ зав. ГОМЗ. Затвор камеры „Лилипут“, как это известно из его описания, обладает характерной особенностью — весь процесс съемки происходит при одностороннем перемещении лепестка. Таким образом, полное времяя экспозиции может быть определено сразу по одной общей кривой моментов

$$M = f(\psi).$$

Для расчета полного времения экспозиции можно воспользоваться одной из подходящих к данному случаю формул, а фазовые характеристики рассчитать по соответствующим участкам кривой, относящимся к открытию, выдержке и закрытию отверстия затвора. Однако в целях простоты решения воспользуемся здесь только графическим приемом и определим полное времяя экспозиции, как представляющее наибольший интерес.

Предварительно подлежит определению момент инерции лепестка, вычисляемый по следующим наблюденным данным:

Вес лепестка $G = 1,08 \text{ г.}$

Расстояние центра тяжести от оси качания $s = 0,6 \text{ см.}$

Расстояние центра тяжести от центра вращения лепестка $s' = 0,37 \text{ см.}$

Период колебания лепестка $T = 0,284 \text{ сек.}$

Тогда момент инерции

$$J = G s \frac{T^2}{4\pi^2} - \frac{G}{g} (s^2 - s'^2) = 0,001082 \text{ гсм сек}^2.$$

Необходимые расчетные данные помещаем в табл. 29.

Начальное перемещение лепестка при открытии $\phi_0 = 0^\circ$.
Перекрытие в конце хода (при закрытии) $\phi'_0 = 4^\circ$.
Так как $M_h \sim M_0$, то можно воспользоваться приближенным решением.

Таблица 29

Угол поворота лепестка ψ	0°	4°	36°	72°	106°	110°
Момент M гсм	17,2	16,9	12,35	6,8	1,95	1,3
Фаза	Открытие	Выдержка	Закрытие	Перекрытие в конце хода		

Необходимые вычисления масштабов графика:

- 1) оси абсцисс $\alpha = 0,349$ рад.
- 2) оси ординат: углового ускорения $\gamma = \frac{\epsilon}{y} = \frac{M}{J_y} = 46401/\text{сек}^2$.
угловой скорости $\beta = \sqrt{2\alpha\gamma} = 56,8 \text{ 1/сек}$.

При $\lambda_2 = z_2 = 1 \text{ см}$ и ординате кривой времени $h' = 1,5 \text{ см}$ полное время экспозиции

$$t = \frac{\beta}{\gamma} \frac{\lambda_2}{z_2^2} h' = 0,01835 \cong 1/54,6 \text{ сек.}$$

Экспериментальное определение временей дает следующие результаты:

- время открытия $t_1 = 0,009 \text{ сек.}$
выдержка полного отверстия $t_3 = 0,006 \text{ сек.}$
время закрытия $t_2 = 0,004 \text{ сек.}$
Полное время экспозиции $T = 0,019 \text{ сек.} \cong 1/52,6 \text{ сек.}$

Результаты, как видим, получились весьма близко совпадающие друг с другом.

§ 22. Щелевые затворы

Определение времени перемещения шторо-затвора „Спорт“. Установка затвора на экспозицию $1/25 \text{ сек.}$ (рис. 139). Воспользовавшись данными по определению движущих усилий, строим кривые $X_1 - s$ и $X_2 - s$. По виду кривых устанавливаем, что для шторки № 1 уравнение кривой

$$X_1 = \xi(e + cx),$$

известное уже из прошлого материала и фигурировавшее в гильотинном затворе „Le Constant“. Время перемещения шторки

в этом случае определяется уравнением (24)

$$t = 1,41 \frac{\alpha}{\beta \sqrt{c}} \left| \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2} x + \sqrt{\frac{c}{2}} \sqrt{ex + \frac{c}{2} x^2} \right) - \ln \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2} x_0 + \sqrt{\frac{c}{2}} \sqrt{ex_0 + \frac{c}{2} x_0^2} \right) \right|.$$

Расчетные данные шторки № 1.

Вес шторки	$G_1 = 1,91 \text{ г.}$
Перемещения	$\begin{cases} x_1 = 11,2 \text{ см}, \\ x_{01} = 1,6 \text{ см}, \end{cases}$
Масштабы	$\begin{cases} \alpha = 0,0025 \text{ м}, \\ \xi = 0,0025 \text{ кг.} \\ e = 7,74 \text{ см}, \\ c = 0,24 (\delta = 13^\circ,5). \end{cases}$

Ускорение $a_1 = \frac{X_1}{m_1} = 99,4 \text{ м/сек}^2$,

$$\gamma_1 = 12,82 \text{ м/сек}^2.$$

Скорость $\beta_1 = \sqrt{2\alpha\gamma_1} = 0,253 \text{ м/сек.}$

$$v_{1 \max} = \beta_1 l_{1 \max} = 2,53 \text{ м/сек.}$$

Время перемещения шторки

$$t_1 = \frac{0,0025}{0,253 \cdot 0,346} |\ln 8,7 - \ln 5,25| = 0,0144 \text{ сек.}$$

Для шторки № 2 кривая $X_2 - s$ удовлетворяет уравнению

$$X_2 = \xi(e - cx),$$

и, следовательно, время перемещения шторки

$$t_2 = 1,41 \frac{\alpha}{\beta \sqrt{c}} \left| \arcsin \left(\frac{xc}{e} - 1 \right) - \arcsin \left(\frac{x_{02}c}{e} - 1 \right) \right| \text{ сек.} \quad (22)$$

Расчетные данные:

Вес шторки	$G_2 = 2,04 \text{ г.}$
Перемещения	$\begin{cases} x_2 = 10,0 \text{ см}, \\ x_{02} = 0,4 \text{ см}, \end{cases}$
Масштабы	$\begin{cases} \alpha = 0,0025 \text{ м}, \\ \xi = 0,0025 \text{ кг.} \\ e = 4 \text{ см}, \\ c = 0,132. \end{cases}$

Ускорение $a_2 = \frac{X_2}{m_2} = \gamma_2 v_2$,

$$\gamma_2 = 12,0 \text{ м/сек}^2.$$

Скорость $\beta_2 = \sqrt{2\alpha\gamma_2} = 0,245 \text{ м/сек.}$

Время перемещения шторки

$$t_2 = \frac{0,0025}{0,245 \cdot 0,256} |\arcsin 0,987 - \arcsin 0,662| = 0,0272 \text{ сек.}$$

Полное время перемещения двух шторок

$$T_{25} = t_1 + t_2 = 0,0416 \sim 1/24,1 \text{ сек.}$$

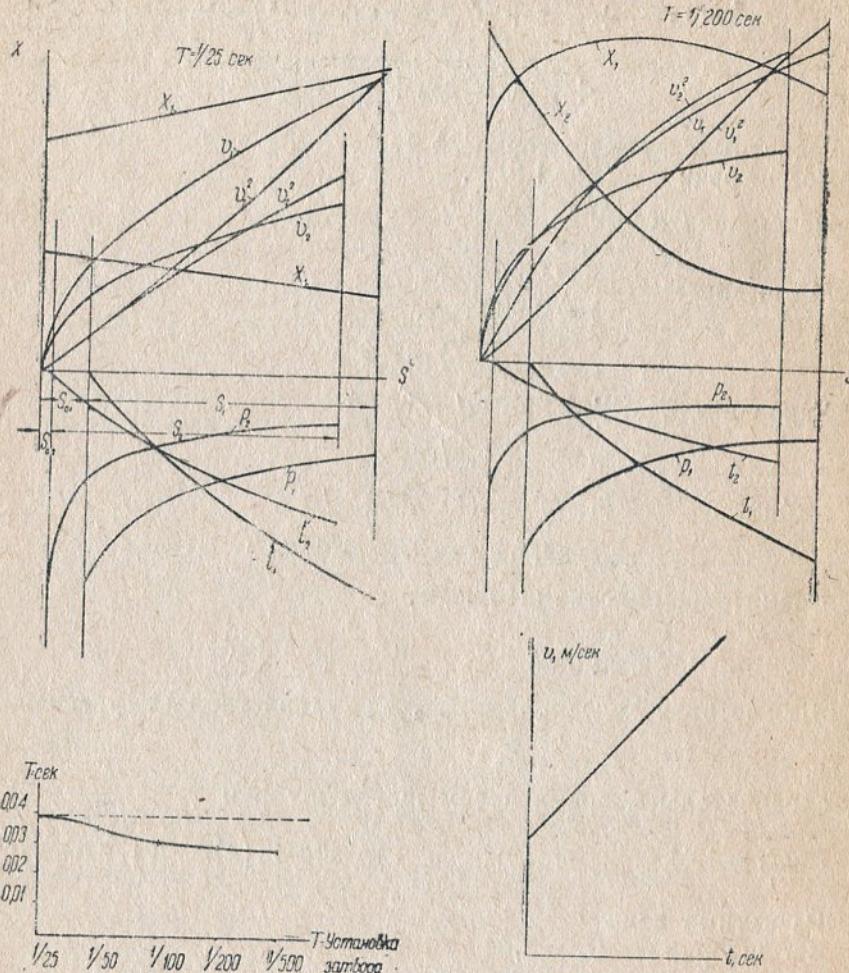


Рис. 139 и 140. Графики затвора „Спорт“ (установки $1/25$ и $1/200$ сек.).
Кривые изменения T в функции от экспозиции $v = f(t)$.

Проверка графическим решением привела к результатам:
Шторка № 1.

$$\lambda_1 = 5 \text{ см}, z_1 = 5 \text{ см}, h_1 = 7,3 \text{ см},$$

$$t_1 = \frac{\alpha}{\beta_1} \frac{\lambda_1}{z_1^2} h_1 = 0,0144 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

$$\lambda_2 = 5 \text{ см}, z_2 = 3 \text{ см}, h_2 = 4,75 \text{ см},$$

$$t_2 = \frac{\alpha}{\beta_2} \frac{\lambda_2}{z_2^2} h_2 = 0,026 \text{ сек.}$$

Суммарное время перемещения шторок

$$T_{25 \text{ гр}} = 0,0404 \sim 1/24,8 \text{ сек.}$$

Установка затвора на экспозицию $1/50$ сек. Так как для рассматриваемой и всех последующих установок кривые усилия отличаются от простейших, то решение проводилось графическим путем.

Шторка № 1.

$$\lambda_1 = 5 \text{ см}, z_1 = 5 \text{ см}, h_1 = 7,5 \text{ см},$$

$$t_1 = \frac{\alpha}{\beta_1} \frac{\lambda_1}{z_1^2} h_1 = 0,0148 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

$$\lambda_2 = 5 \text{ см}, z_2 = 3 \text{ см}, h_2 = 3,7 \text{ см},$$

$$t_2 = 0,0218 \text{ сек.}$$

Суммарное время перемещения шторок

$$T_{50} = 0,0366 \sim 1/27,4 \text{ сек.}$$

Установка затвора на экспозицию $1/100$ сек.

Шторка № 1.

$$\lambda_1 = z_1 = 5 \text{ см}, h_1 = 6,7 \text{ см},$$

$$t_1 = 0,01325 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

$$\lambda_2 = 5 \text{ см}, z_2 = 3 \text{ см}, h_2 = 3,24 \text{ см},$$

$$t_2 = 0,01835 \text{ сек.}$$

Суммарное время

$$T_{100} = 0,0316 \sim 1/31,7 \text{ сек.}$$

Установка затвора на экспозицию $1/200$ сек (рис. 140).

Шторка № 1.

$$\lambda_1 = z_1 = 5 \text{ см}, h_1 = 6,4 \text{ см},$$

$$t_1 = 0,01262 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

$$\lambda_2 = 5 \text{ см}, z_2 = 3 \text{ см}, h_2 = 3,2 \text{ см},$$

$$t_2 = 0,0181 \text{ сек.}$$

Суммарное время

$$T_{200} = 0,0307 \sim 1/32,6 \text{ сек.}$$

Установка затвора на экспозицию $1/500$ сек.

Шторка № 1.

$$\lambda_1 = z_1 = 5 \text{ см}, h_1 = 6,25 \text{ см.}$$

$$t_1 = 0,01235 \text{ сек.}$$

Шторка № 2.

$$l_2 = 5 \text{ см}, z_2 = 3 \text{ см}, h_2 = 3 \text{ см}.$$

$$t_2 = 0,017 \text{ сек.}$$

Суммарное время

$$T_{500} = 0,0294 \text{ } 1/_{34,1} \text{ сек.}$$

В целях проверки произведенных расчетов времени перемещения шторок сопоставим полученные результаты с данными



Рис. 141. Фотограмма затвора „Спорт“ для $1/_{25}$ сек.

экспериментального определения кривых $s - t$ перемещения шторок (рис. 141 и табл. 30).

Таблица 30

Установка по шкале	Время перемещения шторок в сек.	
	эксперимен- тальное	расчетное
$1/_{25}$	0,0605	0,0404
$1/_{50}$	0,0374	0,0366
$1/_{100}$	0,0345	0,0316
$1/_{200}$	0,0328	0,0307
$1/_{500}$	0,0264	0,0294

Сопоставление приведенных в таблице данных приводит к установлению весьма близкого совпадения результатов. Некоторое расхождение, получившееся при экспериментальном определении, может быть отнесено за счет известного торможения шторки № 2, весьма отчетливо представленного на фотографии. Время раздельного перемещения шторок для установки $1/_{25}$ (по фотографии) суммарно $T_{25} = 0,0445$ сек., что весьма близко подходит к расчетной величине.

Небольшие расхождения в остальных случаях не имеют, разумеется, решающего значения.

Рассмотренные нами выше примеры § 20—22 определения времени перемещения лепестков и шторок для различных затворов, несмотря на некоторое расхождение в абсолютных значениях при сопоставлении с экспериментальными данными, позволяют

все же сделать вывод о полной применимости всех выведенных зависимостей и положить их в основу предварительного расчета параметров.

Само собой разумеется, что то или иное использованное уравнение решается относительно только одной из входящих в него величин, в качестве которой лучше всего принимать значение момента, врачающего лепесток, а остальными необходимо задаться.

В дальнейшем в соответствии с выбранной кинематической схемой механизма затвора подбирается ведущая пружина.

Краткое решение этого последнего вопроса будет изложено в гл. V.

ГЛАВА V

ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗАТВОРА

Каждый, впервые сталкивающийся с вопросом изучения устройства фотографических затворов, поражается сложностью конфигурации деталей, подчас затрудняющей понимание взаимодействия механизмов. Поэтому мы подчеркиваем, что, приступая к анализу затвора, надо прежде всего выяснить его кинематическую схему. Точно также приступая к проектированию нового затвора, надо начать с выбора кинематической схемы, по ней провести расчет основных параметров (перемещений, действующих усилий и пр.), а затем перейти к конструктивному оформлению.

Надо помнить, что вся сложность конфигураций деталей является результатом именно конструкторской работы над проектной кинематической схемой и вытекает из необходимости выдерживать габариты, обеспечить возможность взаимного перемещения деталей и т. п. В такой последовательности вопрос о конфигурации решается в достаточной степени элементарно с помощью графического построения механизмов в основных рабочих положениях. Таким образом, основной, наиболее сложной, задачей является правильный выбор кинематических величин, определяющих время действия затвора.

На основании материалов, изложенных в предыдущих главах, порядок расчета при проектировании фотографического затвора намечается следующий:

1. Выбор основных фотографических параметров, в соответствии с назначением затвора.
2. Выбор типа и схемы затвора.
3. Построение теоретической диаграммы работы (фазовая характеристика) и сравнение ее с экспериментальными данными по к. п. д. аналогичных существующих затворов.
4. Определение врачающего момента на лепестке.
5. Установление минимальных габаритов затвора и увязка кинематической схемы с последними.
6. Построение схемы действующих усилий и определение характеристики ведущей пружины $P = f(\varphi)$.
7. Проверка распределения усилий пружины во время работы между отдельными механизмами.

8. Проверка фазовой характеристики исходя из найденных моментов, приводящих в движение механизмы.

9. Конструктивное оформление кинематической схемы с проверкой возможности взаимного перемещения деталей.

Из-за недостатка места нами приведена лишь постановка задачи расчета. Не приводя последний полностью, покажем ниже на конкретном примере элементы расчета и проектирования некоторых основных данных центрального затвора.

§ 23. Техническое задание и его разработка

При постановке проектирования нового затвора необходимо, естественно, задаться некоторыми первичными данными по характерным параметрам затвора и их зависимости друг от друга. Переходя к проектированию, мы помещаем ниже примерный перечень вопросов, подлежащих разрешению и составляющих техническое задание на проектирование.

1. Назначение фотозатвора. Фотозатвор рассчитывается для постановки на камеру для съемки движущихся объектов при следующих условиях:

фокус объектива F	7,5 см
максимальная скорость движущегося объекта v	0,75 м/сек
минимальное расстояние объекта от объектива x	5 м

2. Предел минимального полного времени экспозиции данного затвора определяется из приведенных выше данных. Вторым пределом полного времени экспозиции задаемся равным $T = 1$ сек. Шкала экспозиции принимается обычная для эквивалентного времени экспозиции ($1, \frac{1}{2}, \frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \frac{1}{25}, \frac{1}{50}, \frac{1}{100}, \frac{1}{150}$ сек.). Затвор должен давать кроме моментальных экспозиций также короткие и длительные выдержки.

3. Наибольший диаметр диафрагмы, определяемый расчетом объектива принимаем равным условно 15,5 мм.

4. Кинематические схемы механизмов привода, перемещения лепестков и тормозного для нашего примера принимаем по следующей типовой схеме (рис. 142).

Для разбираемого примера предел минимального полного времени экспозиции определяется из условия

$$v' = \frac{f}{x} v = \frac{0,075}{5} 0,75 = 0,01125 \text{ сек}$$

и полное время экспозиции при нерезкости в 0,1 мм

$$T = \frac{0,1}{11,25} = 0,0089 \sim \frac{1}{112,5} \text{ сек.}$$

Как известно из опыта, время открытия для затворов с диаметром отверстия до 20 мм лежит в пределах $\frac{1}{250} \div \frac{1}{300}$ сек. Для нашего случая берем время открытия $t_1 = \frac{1}{300}$ сек., остальную часть времени, приходящуюся на выдержку и закрытие, распределяем поровну

$$t_2 = t_3 = \frac{1}{275} \text{ сек.}$$

Построив по выбранным данным график работы затвора, определяем η . В примере $\eta = 100 \int_0^T F dt = 0,64\%$. Для

качественной оценки полученное значение η сравниваем по графику рис. 46 с близкими по типу существующими образцами.

В нашем примере получившееся значение η близко совпадает с данными для затвора „Сомриг“ без самосъемки, качественная характеристика которого, как известно, высока.

Таким образом, дальнейшей задачей будет выбор соответствующих параметров, которые при данной кинематической схеме обеспечили бы результат, близкий к запроектированному.

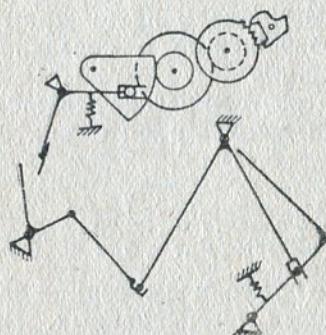


Рис. 142. Кинематические схемы механизмов, привода, перемещения лепестков и регулятора.

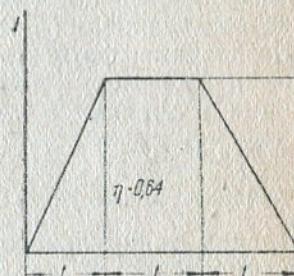


Рис. 143. График фазовых
характеристик.

Выбор основных габаритных размеров. Определение минимальных габаритных размеров затвора производится по заданному наибольшему диаметру диафрагмы и связано с построением профиля лепестка.

Для построения профиля последнего необходимо еще задаться величиной перекрытия лепестков в центре отверстия и перебегом при полном открытии. Эти параметры выбираются из соображений: 1) светонепроницаемости затвора; 2) предупреждения повторного приоткрывания отверстия (по причине отскакивания лепестков величина перекрытия должна быть больше возможного расхождения лепестков при закрывании отверстия); 3) предупреждения прикрывания отверстия лепестками в момент полного открытия из-за неточности изготовления приводного кольца и пальца лепестков.

Практически достаточно, если величина перекрытия в центре отверстия $\delta = 1,2 - 4 \text{ мм}$, а величина перебега $\delta' = 0,5 - 2 \text{ мм}$.

В дальнейшем выбранные величины перекрытия и перебега корректируются при расчете времени перемещения лепестков.

Построение профиля лепестка (отверстие перекрывают три лепестка). Вычерчиваем (рис. 144) три концентрических окруж-

НОСТИ РАДИУСОВ

$$r = \frac{d}{2}, \quad r_1 = \frac{1}{2} d + \delta', \quad R = 2 \left(\frac{1}{2} d + \delta + \delta' \right)$$

и производим разметку центров вращения лепестков.

Проводим прямую через центр вращения лепестка O_1 и центр отверстия затвора O .

Из центра O_2 радиусом O_2b проводим дугу bc и радиусом OO_2 проводим дугу OD и отмечаем точку d_1 . Радиусом $Ob = r_1$ соединяем точки c и d_1 .

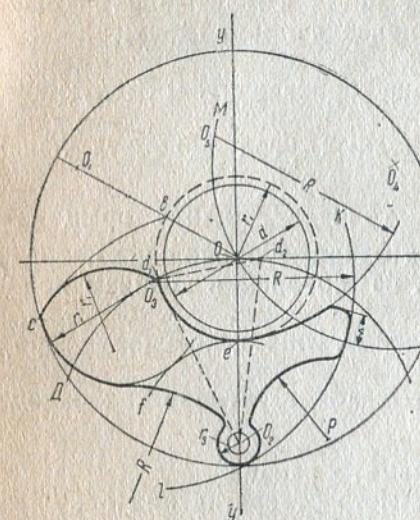


Рис. 144. Построение профиля лепестка.

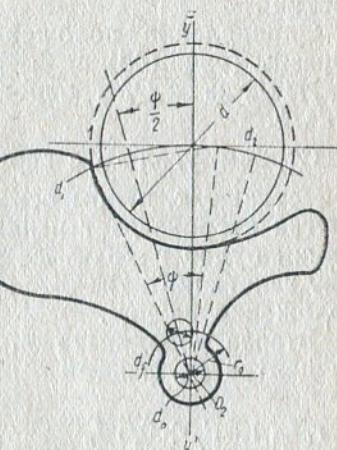


Рис 145. Определение положения пальца на лепестке

Радиусом r_1 проводим дугу окружности, касательной к наружной окружности, с центром на дуге CD .

Из центра O_3 радиусом r_3 проводим дугу ef

Из смещенного центра O_3 (на величину перебега) радиусом R описываем дугу kl .

Из центра O_4 проводим дугу MN радиуса OO_4 до наружной окружности.

Из центра O_2 радиусом r_3 описываем окружность

К дуге Dc проводим касательную окружность радиуса R до пересечения с окружностью радиуса r_3 (конструктивно).

Радиусом r_1 из точки P (выбираем конструктивно) проводим дугу до пересечения дуги kl .

Через точку e радиусом R (с центром O_5 , лежащим на окружности MN) проводим дугу, образующую направляющую часть лепестка.

Этим заканчивается построение геометрического профиля лепестка. Конструктивный профиль будет несколько отличаться от геометрического, получившиеся острые углы притупляются ($\rho = 2 \div 2,2$ мм).

Окружность радиуса $R = 2 \left(\frac{1}{2}d + \delta + \delta' \right)$ будет минимальным габаритом основания затвора, корректируемым при дальнейшей разработке механизмов и их размещении по основанию.

Определение положения пальца на лепестке. В крайних положениях палец должен располагаться симметрично относительно оси, проходящей через центр вращения лепестка и затвора. Это требование определяется соображениями движения пальца в кулисе (кольце, приводящем в движение лепестки).

Определение положения пальца производится следующим образом (рис. 145).

Из \triangle -ка $d_1O_2d_2$ определяем полный угол поворота лепестка ψ .

Строим угол $\frac{\psi}{2}$ с вершиной в точке O_2 (центр вращения лепестка) так, чтобы ось $y'y$ была одной стороной угла, тогда другая сторона даст направление, на котором в крайнем положении будет находиться палец.

Аналогично находится направление, определяющее второе положение пальца.

Вторая координата определяется конструктивно как радиус из центра O_2 , равный

$$r_0 = 1,5 d_f + 0,5 d_o \quad \begin{aligned} (d_f &— диаметр пальца \\ d_o &— диаметр отверстия под ось). \end{aligned}$$

В нашем случае

$$r_0 = 1,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 2 = 4 \text{ мм.}$$

Определение момента на лепестке. Предварительный расчет величины момента на лепестке неизбежно является приближенным и окончательно корректируется в процессе изготовления образца.

После определения конфигурации лепестка и положения пальца известными из теории методами определяется момент инерции J лепестка относительно центра вращения. Для рассматриваемого лепестка, изготовленного из стали толщиной $h = 0,07$ мм, вычисленное графическим путем значение момента инерции оказалось равным

$$J \approx 0,00037 \text{ гсм}^2.$$

Принимая закон изменения кривой вращающих лепесток моментов M по прямой линии типа

$$M = \xi(e - cx)$$

и задаваясь значением M_k , равным моменту, создаваемому встречной пружиной

$$M_k = 5 \text{ гсм}$$

и значением отношений

$$\frac{M_0}{M_h} = 0,9 \quad \text{и} \quad \frac{M_k}{M_h} = 0,4,$$

найдем значение M_h начального момента на лепестке по уравнению (28):

$$t = \frac{V\psi}{\sqrt{M_h - M_k}} \left| \arcsin \frac{M_0}{M_h} - \arcsin \frac{M_k}{M_h} \right| \sqrt{J},$$

откуда, при $\psi = 26^\circ,3$ имеем

$$\sqrt{M_h - 5} = \frac{0,678 \cdot 0,7 \cdot 0,0192}{0,0033} = 2,75$$

и, следовательно, искомый момент

$$M_h = 12,58 \text{ гсм.}$$

Имея кинематическую схему механизма привода и перемещения лепестков, конструктивно оформляем ее в минимально заданных габаритах и определяем необходимое усилие главной пружины, вращающей рычаг завода (кривошипа). Не приводя здесь за недостатком места полученный при расчете усилий график, укажем на величины найденных значений момента на кривошипе:

$$M_1 = 52,5 \text{ гсм}$$

(в начале хода),

$$M_2 = 41,25 \text{ гсм}$$

(над кромкой отверстия в конце хода).

По этим данным подбирается пружина.

§ 24. Краткое описание конструкции и проектирование некоторых деталей

Конструктивное оформление принятой типовой кинематической схемы механизма привода и движения лепестков (рис. 142) и общая компоновка деталей затвора представлены на рис. 146, а, б и с.

На рис. 146, а механизм показан во взвешенном (исходном) положении, а на рис. 146, б — в спущенном (отработанном). Взаимодействие звеньев механизма представляется следующим образом. Кривошип 1 и связанный с ним рычаг завода удерживаются в исходном положении спусковым рычагом 5; при наложении на спусковой рычаг кривошип выходит из зацепления с последним. Вращаясь под действием пружины, кривошип передает движение шатуну 2, который приводит в движение кольцо 4 с помощью вклепанного в него пальца 3. При вращении кольца 4 (кулисы) происходит перемещение лепестков. Дви-

жение кривошипа ограничивается упором 12. Рычаги длительной и короткой выдержки на рис. 146 не показаны, а их ось вращения отмечена точкой 13. Возвратное движение кольца 4 происходит под действием пружины 20.

На рис. 146, с приводится принципиальная кинематическая схема механизма регулятора, рассчитанного на работу от 1 до $\frac{1}{50}$ сек. В интервале от 1 до $\frac{1}{10}$ сек. включительно механизм работает с анкером 19, в интервале $\frac{1}{25} - \frac{1}{50}$ сек. анкер выключается, и торможение кривошипа осуществляется сопротивлением системы шестерен регулятора. Перемещение сектора регу-

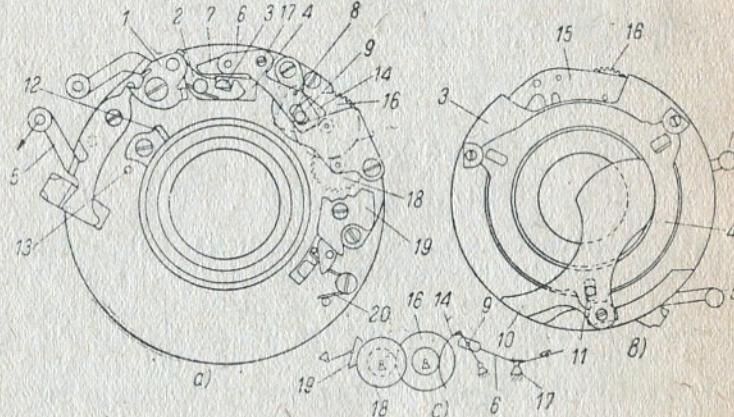


Рис. 146. Конструкция проектируемого затвора.

лятора 14 определяется предварительной установкой пальца 9, вклепанного в сектор 14, на соответствующей кривой регулировочного кольца. При экспозиции $\frac{1}{25}$ сек. сектор, ведомый поводком 6, совершает свое полное перемещение, а при экспозиции в $\frac{1}{50}$ сек. лишь половинное.

Определение положения кривошипа в момент выхода пальца кольца лепестков из зацепления с шатуном (рис. 147).

Задано

$$BD = 1 \text{ мм}$$

$$DC = 2,2 \text{ ,}$$

$$AB = 6,4 \text{ ,}$$

Условие выхода пальца кольца из зацепления с шатуном: точки *B* и *C* должны лежать на траектории центра пальца кольца (нижнего среза). По заданным размерам выреза шатуна *BD* и *CD* имеем из прямоугольного \triangle -ка *BDC*

$$BC = \frac{BD}{\sin \alpha} = 2,416 \text{ мм}; \quad \frac{BD}{DC} = \operatorname{tg} \alpha \quad \text{и} \quad \alpha = 24^\circ 26'.$$

Из построения шатуна известно, что основание выреза *CD* параллельно прямой, соединяющей центр *A* вращения шатуна с краем выреза *B*, иначе $AB \parallel DC$.

Продолжаем *CD* до пересечения с перпендикуляром, опущенным из центра шатуна *A* на эту прямую в точке *E*.

Из \triangle -ка *ACE* имеем

$$AE = BD = 1 \text{ мм}, \quad EC = ED + DC = AB + DC = 8,6 \text{ мм},$$

$$AC = \frac{AE}{\sin \beta} = 8,635 \text{ мм}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{AE}{EC} = 0,116,$$

$$\beta \approx 6^\circ 39'.$$

Найденную величину *BC* откладываем (в любом месте) на траектории пальца кольца. Из точки *B* радиусом *AB* = 6,4 мм засекаем дугу. Из точки *C* радиусом *AC* = 8,635 мм засекаем дугу до пересечения с дугой радиуса *AB*. Полученная точка *A* есть центр вращения шатуна и принадлежит жесткому \triangle -ку *ABC*.

Вращаем \triangle *ABC* вокруг центра *O* так, чтобы сторона *BC* скользила по траектории пальца кольца, тогда точка *A* описывает дугу радиусом *R* = *OA*. Точка *M* пересечения этой дуги с траекторией центра пальца кривошипа определит истинное положение кривошипа в момент выхода пальца кольца из зацепления с шатуном.

Проектирование кулачка кулисы. Кулачок должен включать регулятор в тот момент, когда лепестки открыли полное отверстие.

Выключение регулятора происходит в момент подхода лепестков (при обратном ходе) к краю отверстия.

Основной задачей при проектировании кулачка 7 (рис. 146, *a*) является определение точек включения и выключения тормоза; в остальном профиль кулачка вычерчивается из конструктивных соображений.

По кинематической схеме определяется угол поворота кривошипа, соответствующий тому моменту, когда лепестки, открывая отверстие, достигли края последнего.

Проще этот угол можно определить прямо из графика $\psi = f(t)$ и $\varphi = f(t)$.

В нашем примере $\varphi = 95^\circ$.

Найденный угол φ_a откладывается от начального положения кривошипа (рис. 148).

Из центра вращения кривошипа описываем окружность радиусами r_1 и r_2 выступа кривошипа, предназначенного для включения тормоза.

Пересечение дуги радиуса r_1 со стороной угла φ_a даст теоретическую точку включения механизма.

Точка расцепления кулачка и выступа кривошипа, соответствующая выключению тормоза, находится аналогично включению, с той лишь разницей, что сторона найденного угла φ_b пересека-

ется с дугой радиуса r_2 . Точка B определяет момент выключения механизма.

Из центра вращения поводка O_1 радиусом $OB = r_3$ делаем засечку на прямой OA .

Отрезок AC определяет конструктивный размер кулачка.
Регулировка включения механизма возможна подгибкой упора кулачка.

Построение профиля рычага K . Кривошип должен быть остановлен в момент перехода лепестками края отверстия затвора (что в нашем примере соответствует углу поворота кривошипа $\varphi = 32^{\circ}15'$).

Рычаг K вводится как упор для кривошипа и перемещается спусковым рычагом в момент его расцепления с кривошипом (точки A и B).

Проводим траекторию точки A , принадлежащей кривошипу. Проводим траекторию точки B , принадлежащей спусковому рычагу. Точка C — точка расцепления.

Соединяем точки B и C с центром O_1 вращения спускового рычага. Строим траекторию точки D , принадлежащей спусковому рычагу (радиусом O_1D).

Находим на этой траектории положение точки D в момент расцепления кривошипа и спускового рычага (точка D'), для чего продолжаем стороны O_1C и O_1B до пересечения с траекторией точки D в точках C_1 и B_1 , хорду откладываем от точки D и получаем D' ($C_1B_1 = DD'$). Радиусом O_2D' проводим окружность.

Конструктивно задаемся длиной упора O_2K и его шириной b . Строим траекторию точки K .

Для упора точка K переходит в K' , что определяет угол поворота рычага.

На дуге радиуса O_2D' откладываем угол $K'O_2K$ от точки D' ; это и будет вторая искомая точка D'' рычага, соприкасающегося с упором.

Аналогично строится рычаг для D длительных выдержек.

Определение положения ведущего пальца на секторе тормозного механизма (рис. 150). В момент выключения тормоза вектор усилия, передаваемого с поводка на палец сектора, должен быть одновременно нормален к радиусам вращения поводка и кривошипа, т. е. при передаче усилия с поводка на сектор не должно быть второй составляющей.

Это условие определяется необходимостью сохранить возможно больший врачающий момент в то время, когда ведущее звено в конце хода (периода торможения) создает значительно меньший, в сравнении с начальным, момент. Очевидно, максимально выгодным случаем будет тот, когда при передаче усилий от поводка к сектору не будет второй составляющей.

Через центры вращения поводка O_1 и сектора O_2 проводим прямую O_1A до пересечения с дугой сектора.

От наружной дуги сектора по радиусу AO_2 откладываем величину диаметра пальца $d = 1,5 \text{ мм}$ (выбирается конструктивно).

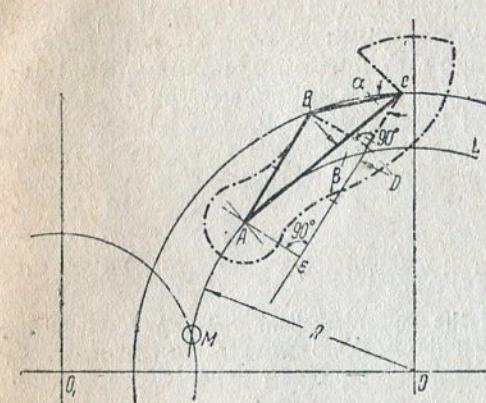


Рис. 147. Определение положения кривошипа.

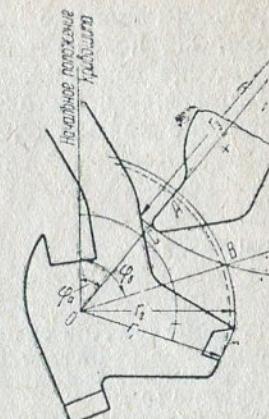


Рис. 148. Построение кулачка.

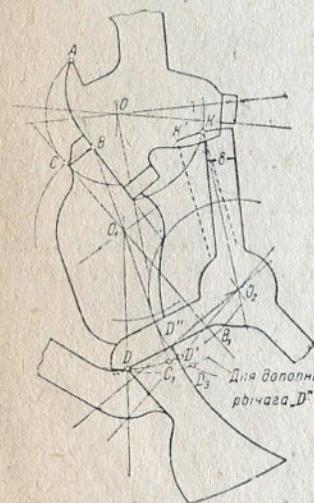


Рис. 149. Построение профиля рычага K .

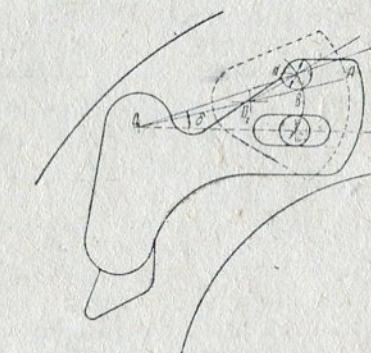


Рис. 150. Определение положения ведущего пальца на секторе тормозного механизма.

Из центра O_2 радиусом O_2B описываем дугу. Вычерчиваем окружность пальца d , касательную к OA с центром на дуге O_2B . Таким образом будет найдено крайнее положение пальца сектора.

Проводим прямую через центры пальца сектора и вращения поводка. На полученной прямой строим угол δ (в направлении перемещения сектора), равный углу поворота поводка (определенного ранее) и находим второе положение центра пальца на пересечении прямой O_1C и дуги радиуса O_2B .

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Pritschow. „Die photographische Kamera und ihr Zubehör... Hand. der wissenschaftlichen und angew. Photographie, B. II, J. Springer Wien 1931.
2. K. Gehlhoff. „Испытания центральных затворов“, Feinmechanik u. Präzision, 1935, № 4 10/11.
3. A. Arnulf et M. Schleeweis. „Sur une metode d'étude des obturateurs centraux d'objectifs photographiques“, Revue d'optique, № 1 1935.
4. O. Micut. „Beiträge zur Theorie der Irisblende“, Photogr. Industrie, 1930 № 3—4.
5. А. Мельников. „Теория фотозатворов“, Гостранстехиздат, 1938.
6. Ф. В. Дроздов. „Детали точного аппарата- и приборостроения“. ОНТИ, 1936.
7. Различная журнальная литература и каталоги фирм.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5

Глава I

Общие сведения

§ 1. Вопросы классификации фотоаппаратов	7
§ 2. Краткий обзор типов советских фотоаппаратов	8
„Фотокор 1“	8
„Фотокор 3“	9
„Турист“	9
„Спорт“	10
„Репортер“	11
Штативная камера 13 × 18 см	12
„Лилипут“	12
„Смена“	12
„ФЭД“	13
Камера для формата кадра 6 × 6 см	14

Глава II

Фотографические затворы

§ 3. Признаки и схема классификации фотозатворов	15
§ 4. Общие соображения при выборе параметров фотозатворов	17
§ 5. Затворы, располагаемые в плоскости объектива	20
§ 6. Щелевые затворы	22
Определение основных параметров щелевого затвора по K. Pritschow'y	24
Обтюраторные затворы перед пленкой	28

Типы фотографических затворов

§ 7. Центральные затворы	33
Механизмы центральных фотозатворов	33
Назначение механизмов	34
Общие условия взаимодействия механизмов	35
Типовые кинематические схемы механизмов привода и перемещения лепестков	35
§ 8. Кинематические схемы механизмов центральных затворов и примеры конструктивного их оформления	36

§ 9. Фотозатворы гильотинного типа	47
Затвор стереоскопической камеры "Polyscop"	49
Затвор камеры ящичного типа "Monopol"	51
Затвор "Steno Jumelle"	52
Затвор "Le Constant"	53
§ 10. Щелевые затворы	54
Затвор фотографического аппарата "Спорт"	58
Затвор "H. Ergemann" с закрытым заводом	59
Затвор зеркальной камеры "Mentor"	61
Затвор камеры "Contessa-Nettel"	63
Затвор камеры "Ica-Rekord"	63
Затвор камеры "Leica"	64
Затвор камеры "Репортер"	68
§ 11. Диафрагма и элементы ее теории	

Глава III

Экспериментальное исследование фотографических затворов

Цели и задачи исследования	76
§ 12. Методы экспериментального исследования фотографических характеристик по методу	76
Определение фотографических характеристик по методу	76
A. Arnulf и M. Schleeweis	76
Измерение времени экспозиции маятником	79
Съемка вращающейся точки	79
Фотографирование лампы переменного тока на подвижной пленке	81
Определение времени экспозиции при помощи камертона	82
Метод Nutting'a	83
Колебание светящейся точки	84
Кинематографическая съемка работы затвора	84
§ 13. Методы испытания щелевых затворов	87
Метод теневой проекции	87
Метод непосредственного определения кривых $s = f(t)$	87
Определение времени экспозиции в данной точке	92
Контрольное испытание затворов при помощи фотоэлемента	92
Определение кривых $s = f(t)$ для затворов гильотинного типа	92

Глава IV

Теория фотографических затворов

§ 14. Прямолинейное движение шторки (гильотинные затворы)	96
§ 15. Графическое определение скорости и времени перемещения шторки	98
Определение скорости	98
Определение времени	101
§ 16. Графоаналитическое определение скорости и времени перемещения шторки	103
§ 17. Аналитическое определение скорости и времени перемещения шторки	109

Краткое резюме по определению скорости и времени перемещения шторки	114
§ 18. Криволинейное движение лепестка (центральные затворы)	115
§ 19. Щелевые затворы	118
Теория щелевого затвора фотоаппарата "Спорт" завода ГОМЗ	118

Примеры теоретического и экспериментального исследования фотографических затворов

§ 20. Гильотинные затворы	127
Гильотинный затвор (опытная модель)	127
Затвор "Polyscop" (стереоскопический)	131
Затвор "Le Constant"	133
Затвор "Monopol"	138
Затвор "Steno Jumelle"	139
§ 21. Центральные затворы	140
Затвор "Compound"	140
Затвор "Rulex"	156
Затвор "ГОМЗ"	156
Затвор "Unicam"	157
Затвор "Kodak"	158
Затвор камеры "Лилипут" зав. ГОМЗ	159
§ 22. Щелевые затворы	160
Определение времени перемещения шторок затвора "Спорт"	160

Глава V

Примерный расчет и проектирование механизма центрального затвора

§ 23. Техническое задание и его разработка	167
§ 24. Краткое описание конструкции и проектирование некоторых деталей	171
Литература	176

§

§

Сдано в производство 31/V 1939 г. Подписано к печати 3/X 1939 г. Учетно-авторск. листов 11,78. Печ. листов 11¹/₄. Формат бумаги 60×92/16. Бум. листов 6. Колич. знаков в бум. листе 101000. Тираж 10000. Индекс 5-2(4). Леноблгорлит 4740. Тип. Оборонгиза. Киев, Крещатик 42.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строки	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
72	11 сверху	$\cos \beta_g = 1 - \frac{R_g^2 + r - 2rR_g \cos \Delta}{2r^2}$	$\cos \beta_g = 1 - \frac{R_g^2 + r^2 - 2rR_g \cos \Delta}{2r^2}$	авт.
74	2	(6)	(5)	
96	10 снизу	$\frac{d^2 x}{dt^2}$	$\frac{d^2 x}{dt^2}$	авт.
108	9 снизу	$\sqrt{ex_0 + \frac{c}{2}x^2}$	$\sqrt{ex_0 + \frac{c}{2}x_0^2}$	тип.
116	3 сверху	=	$X_0 = X_h$	тип.
124	6 снизу	$\sqrt{\frac{A}{A} - \arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r}}$	$\sqrt{A - \arcsin \frac{r \cos \varphi_0 - s}{r}}$	корр.
126	3 снизу	$\cos z = 1 - \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{3!} - \dots$	$\cos z = 1 - \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{4!} - \dots$	автор
131	15 сверху	$\left \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X_k}{X_h} \right \sqrt{m} = 0,011 \text{ сек.}$	$\left \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{X_k}{X_h} \right \sqrt{m} = 0,011 \text{ сек.}$	"
134	19 "	$\delta s \cos (P, \delta s) = 0,$	$\sum \delta s \cos (P, \delta s) = 0,$	тип.
135	10 снизу	$v_B^\top = v_e^\top v_r^\top$	$v_B^\top = v_e^\top + v_r^\top$	тип.
155	2 снизу	58,59	$\sqrt{58,59}$	автор
160	1 сверху	$\psi_0 = {}^\circ$	$\psi_0 = 4^\circ$	тип.
167	9 снизу	сек	м/сек	корр.

Л. П. Рифтин и Г. Я. Гриневич. Механизмы фотоаппаратов. Зак. № 867.

~~LIBRARY OF THE SOCIETY FOR THE HISTORY OF~~