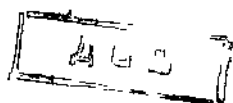


628.9:478.5  
Г60

Проф. д-р Е. М. ГОЛДОВСКИЙ



# СВЕТОТЕХНИКА КИНОСЪЕМКИ

ГОСКИНОИЗДАТ

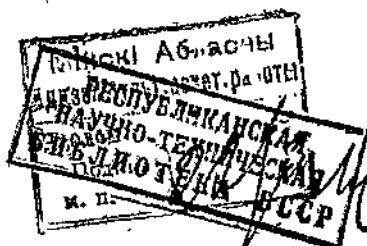
## ОПЕЧАТКИ

| Страница        | Строка                    | Напечатано                                                | Должно быть                                       |
|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 30 <sup>а</sup> | Подпись<br>к рис. 17<br>✓ | Рис. 17. Схема устройства селенового фотоэлемента и глаза | Рис. 17. Схема устройства селенового фотоэлемента |
| 46              | 12 сверху,<br>4-я колонка | 19 000                                                    | 19,00                                             |
| 60              | 1 сверху                  | ... пламенной дуги является положительное пламя 2         | ... пламенной дуги является положительное пламя 1 |
| 116             | 15                        | $\Sigma = 70\%$                                           | $\epsilon = 70\%$                                 |

62897778.5

Г 60

Проф. д-р Е. М. ГОЛДОВСКИЙ



Д Е П

# СВЕТОТЕХНИКА КИНОСЪЕМКИ

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

46030

1983. 8. 6. 08

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

235 18-50

ГОСКИНОИЗДАТ  
Москва 1944

Редактор *С. Архангельский*

Л34015

Подписано к печати 5/І 1944 г.

Печ. л. 143/4.

Учетно-изд. листов 19. В 1 печ. л. 52160 зн. Тираж 1500 экз. Зак. № 1063.

Изд. № 15.

Ремесленное училище № 3. Москва, Хохловский, 7.



В кинотехнической литературе отсутствуют книги, посвященные современной светотехнике киносъёмочного процесса. Данная работа предназначена заполнить этот пробел. Она знакомит читателя со световыми величинами и единицами, световыми характеристиками тел, световыми измерениями, свойствами применяемых при киносъёмке источников света, осветительными приборами для киносъёмки, основами расчета киносъёмочного освещения, особенностями освещения при натуральных и цветных киносъёмках. В соответствии со спецификой светотехники киносъёмочного процесса подробно рассмотрены лишь источники света, имеющие преимущественное применение при киносъёмке, причем особое внимание обращено на активничность, точность цветопередачи, постоянство светового потока, шум при горении и другие характеристики источников света, особо важные для кинематографии.

В книге приводятся характеристики киноосветительных приборов, указываются области их применения и даются схемы расположения световых точек для ряда случаев киносъёмки.

Естественно, конечно, что эти схемы не могут являться единственно возможными, так как расположение осветительных приборов при съёмке зависит от художественных задач, поставленных перед кинооператором, и искусства последнего. Вопросы мастерства кинооператора, связанные с работой в павильоне и на натуре и использованием светофильтров, необходимо возможно быстрее осветить в отдельной книге, посвященной технике киносъёмки и операторскому мастерству.

Книга „Светотехника киносъёмки“ предназначена для широкого круга киноспециалистов, связанных со съёмочным процессом: кинооператоров, фотографов, инженеров, техников, осветителей, и особенно студентов высших учебных заведений и техникумов кинематографии.

Данная работа не имеет характера монографии. В ней, в форме, удобной для обучения светотехнике киносъёмочного процесса, приведен лишь материал, достаточно исследованный и изученный. Книга написана так, что математические выводы формул могут быть опущены малоподготовленным читателем.

Автор

## § 1. Лучистая энергия и зрение

Светотехника изучает электромагнитные излучения, способные вызывать раздражение сетчатой оболочки человеческого глаза и создавать световое ощущение, обуславливая тем самым процесс видения. Разнообразные электромагнитные излучения по природе своей одинаковы — они отличаются между собой длиной волны  $\lambda$ .

Известный в настоящее время спектр электромагнитных излучений показан на рис. 1. В основном только узкая полоса электромагнитного спектра, а именно излучения с длиной волны от 0,4 до 0,76 микрона ( $1 \mu = 1 \text{ микрон} = 0,001 \text{ мм}$ ) изучаются в светотехнике, так как лишь эти излучения воспринимаются нашим глазом как световые. Однако смежные с видимой частью спектра области невидимых инфракрасных и ультрафиолетовых лучей также представляют значительный интерес для светотехников. Инфракрасные лучи присутствуют в большом количестве в излучении почти всех источников света; хотя и невидимые, они легко узнаются по тепловому действию, хорошо известному киноактерам; учет этого теплового излучения необходим также для суждения об экономичности источников света. Ультрафиолетовые лучи отличаются сильным

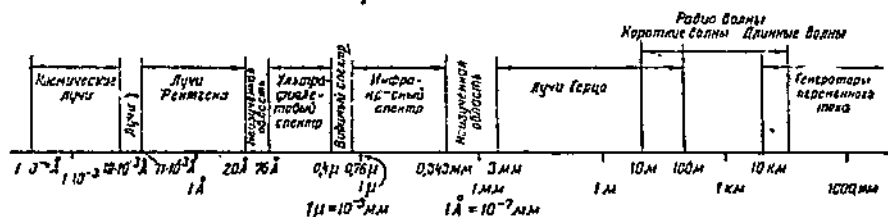


Рис. 1. Спектр электромагнитных колебаний

фотохимическим действием и используются в ряде фотографических процессов. Ультрафиолетовые лучи обладают также способностью вызывать ожоги кожи и наружных оболочек глаза; незнание работников кинематографии с этим обстоятельством может оказаться причиной самых тяжелых несчастных случаев, в то время как простые и общедоступные меры предосторожности делают обращение с источниками ультрафиолетового излучения совершенно безопасным.

Наконец, в последние годы свечение специальных веществ — люминофоров — под влиянием ультрафиолетовых лучей с большим успехом используется для построения высокоэкономичных источников искусственного дневного света — флуоресцирующих ламп.

Энергия электромагнитного излучения — лучистая энергия — излучается, распространяется и поглощается не непрерывно, а отдельными порциями — квантами. Световой квант равен  $\epsilon = h\nu$ , где  $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$  эрг/сек. — постоянная Планка,  $\nu$  — частота излучения.

Так как

$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

где  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/сек — скорость света, то

$$\epsilon = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}. \quad (1)$$

Следовательно, кванты коротковолновых излучений обладают большей энергией, чем кванты длинноволновых лучей. Квантовая природа света особенно сказывается в явлениях, связанных с излучением и поглощением света, как например, при фотоэлектрическом эффекте, в фотохимических процессах и т. д. Энергия отдельного кванта, однако, настолько мала, что самый слабый источник света ежесекундно излучает миллиарды квантов. Поэтому при решении всех вопросов, связанных с техникой освещения, можно считать, что излучение, распространение и поглощение света происходят непрерывно.

Перейдем теперь к более детальному ознакомлению со свойствами видимой части спектра. Лучи света в зависимости от их длины волны обладают той или иной цветностью. В табл. 1 приведены некоторые средние данные о длине волны для обычно различаемых в спектре основных цветов.

| Цвет                    | Таблица 1             |  |
|-------------------------|-----------------------|--|
|                         | Длина волны<br>(в мμ) |  |
| Красный . . . . .       | 620—760               |  |
| Оранжевый . . . . .     | 585—620               |  |
| Желтый . . . . .        | 565—585               |  |
| Желто-зеленый . . . . . | 550—565               |  |
| Зеленый . . . . .       | 510—550               |  |
| Голубой . . . . .       | 480—510               |  |
| Синий . . . . .         | 450—480               |  |
| Фиолетовый . . . . .    | 390—450               |  |

Данные табл. 1 относятся к так называемым однородным или монохроматическим излучениям, т. е. к излучениям с одной общей длиной волны. Сложное, немонахроматическое излучение, состоящее из излучений с различными длинами волн, может быть белым или, если в его составе преобладает излучение какой-либо части видимого спектра, цветным, хотя при этом цвет и не будет таким насыщенным, как в случае монохроматического излучения. Примером белого немонахроматического излучения может служить свет солнца, примерами цветного излучения — свет голубого неба, желтый свет свечи, свет, отражаемый зеленой травой, листьями и т. д. Сложное излучение может иметь непрерывный или линейчатый спектр. В первом случае мы имеем дело с совокупностью бесчисленного множества излучений, причем длины волн их составляют некоторую непрерывную последовательность. Во втором случае, напротив, имеются излучения лишь с некоторым конечным количеством длины волн. Так, например, накалившее тело служит источником излучения с непре-

рывным спектром, электрический разряд в газе — источником излучения с линейчатым спектром.

Излучения разной длины волны не только вызывают впечатление различных цветов, но и ощущаются глазом как неодинаково яркое. Чувствительность глаза в зависимости от длины волны изменяется в весьма больших пределах, что можно видеть из принятых Международной комиссией по освещению для среднего человеческого глаза значений относительной чувствительности или, как принято говорить, относительной видности (табл. 2).

Таблица 2

| Длина волны<br>(в мμ)<br>(λ мμ) | Относительная<br>видность<br>(Kλ) | Длина волны<br>(в мμ)<br>(λ мμ) | Относительная<br>видность<br>(Kλ) |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 400                             | 0,0004                            | 580                             | 0,870                             |
| 410                             | 0,0012                            | 590                             | 0,757                             |
| 420                             | 0,0040                            | 600                             | 0,631                             |
| 430                             | 0,0116                            | 610                             | 0,503                             |
| 440                             | 0,023                             | 620                             | 0,381                             |
| 450                             | 0,038                             | 630                             | 0,265                             |
| 460                             | 0,060                             | 640                             | 0,175                             |
| 470                             | 0,091                             | 650                             | 0,109                             |
| 480                             | 0,139                             | 660                             | 0,061                             |
| 490                             | 0,208                             | 670                             | 0,032                             |
| 500                             | 0,323                             | 680                             | 0,017                             |
| 510                             | 0,503                             | 690                             | 0,0082                            |
| 520                             | 0,710                             | 700                             | 0,0041                            |
| 530                             | 0,862                             | 710                             | 0,0021                            |
| 540                             | 0,954                             | 720                             | 0,00125                           |
| 550                             | 0,995                             | 730                             | 0,00052                           |
| 556                             | 1,000                             | 740                             | 0,00025                           |
| 560                             | 0,995                             | 750                             | 0,00012                           |
| 570                             | 0,952                             | 760                             | 0,00006                           |

На рис. 2 изображена кривая 1 зависимости относительной видности от длины волны, построенная по данным Международной комиссии по освещению. Эта кривая соответствует дневному зрению, в котором основную роль играют светочувствительные элементы — колбочки.

При очень слабом освещении, когда в зрительном процессе участвуют светочувствительные элементы второго рода — палочки, максимум кривой видности сдвигается в сторону более коротких лучей спектра (кривая 2 — сумеречного зрения, см. рис. 2). Это явление носит название эффекта Пуркина.

Пример 1. Определить частоту и квант лучей с длиной волны 500 мμ. Частота составит

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^{10}}{500 \cdot 10^{-7}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ пер/сек.}$$

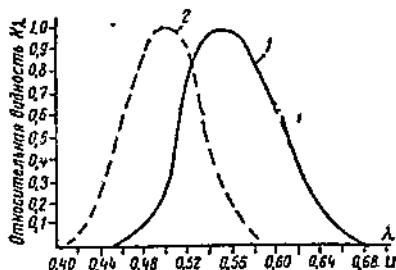


Рис. 2. Кривая видности глаза

Световой квант  $\varepsilon = 6.55 \cdot 10^{-27} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 0,393 \cdot 10^{-11}$  эрг.

Пример 2. Сравнивая относительную видимость фиолетовых ( $\lambda_1 = 0,44 \mu$ ) и желто-зеленых лучей ( $\lambda_2 = 0,556 \mu$ ), видим, что первая примерно в 44 раза меньше, так как  $K_{\lambda_1} = 0,023$  и  $K_{\lambda_2} = 1$ . Следовательно, для получения одинакового зрительного эффекта мощность фиолетовых лучей с  $\lambda_1 = 0,44 \mu$  должна быть в 44 раза больше, чем мощность желто-зеленых лучей.

## § 2. Световые величины и единицы

Мощность лучистой энергии  $P = \frac{dw^*}{dt}$  носит название лучистого потока и выражается в эргах в секунду или ваттах.

Для случая равномерного излучения лучистый поток определяется излучаемой в одну секунду энергией. Очевидно, лучистый поток еще не определяет качеств источника света в смысле создания им видимых для глаза лучей: могут быть и такие излучатели, лучи которых целиком лежат в невидимой части спектра. Поэтому вводится понятие светового потока, под которым понимают мощность лучистой энергии, оцениваемую по производимому ею световому ощущению.

Световой поток монохроматического излучения мощностью  $P_\lambda$ , для которого относительная видимость равна  $K_\lambda$ , выражается соотношением

$$F_\lambda = K_\lambda \cdot P_\lambda. \quad (2)$$

Если излучение не монохроматическое, а сложное

$$P = P_{\lambda_1} + P_{\lambda_2} + P_{\lambda_3} + \dots + P_{\lambda_n},$$

то световой поток будет равен

$$F = K_{\lambda_1} \cdot P_{\lambda_1} + K_{\lambda_2} \cdot P_{\lambda_2} + \dots + K_{\lambda_n} \cdot P_{\lambda_n}, \quad (3)$$

где  $K_{\lambda_1}, K_{\lambda_2}, \dots, K_{\lambda_n}$  — значения видности, соответствующие длинам волн  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ .

Для излучения с непрерывным спектром  $P = \int E_\lambda d\lambda$  световой поток определяется в общем виде

$$F = \int E_\lambda K_\lambda d\lambda, \quad (4)$$

где

$$E_\lambda = \frac{dP}{d\lambda}. \quad (5)$$

спектральная интенсивность лучистого потока.

Вычисление светового потока по формуле (4) должно производиться графически или численно, так как аналитическое выражение функции  $K_\lambda = f(\lambda)$ , а иногда и  $E_\lambda = f(\lambda)$  достаточно сложно.

Световой поток, как и лучистый поток, можно было бы выражать в ваттах, так как относительная видимость  $K_\lambda$  имеет нулевую размерность. Однако это не принято. Световой поток монохроматического излучения мощностью в  $P_\lambda = 1$  вт с длиной волны  $\lambda = 556$  мμ, для которого  $K_\lambda = K_{\max} = 1,0$  по формуле (2) также равен единице. Эта единица называется световым ваттом и обозначается лw.

\* w — лучистая энергия.

В настоящее время общепринятой единицей светового потока, выбранной задолго до установления кривой относительной видности, является люмен, который равен  $\frac{1}{681}$  светового ватта. Точная величина люмена в СССР определяется по эталонным электрическим лампам накаливания, выверяемым и хранимым Всесоюзным научноисследовательским институтом метрологии и стандартизации в Ленинграде (см. ОСТ 4891).

В табл. 3 для иллюстрации приведены некоторые встречающиеся в практике величины световых потоков.

Таблица 3

| Источник света                                 | Световой поток (в лм)<br>приблизительно |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Лампа накаливания 220 в 100 вт . . . . .       | 1 000                                   |
| 220 в 1000 вт . . . . .                        | 17 000                                  |
| Дуговая лампа постоянного тока с пламенным уг- |                                         |
| лями 80 а . . . . .                            | 120 000                                 |
| Дуговая лампа интенсивного горения 150 а       | 400 000                                 |

Для характеристики распределения светового потока источников по различным направлениям излучения пользуются понятием силы света.

Если излучатель имеет весьма малые относительные размеры, что бывает при расстояниях от излучателя до освещаемой поверхности, значительно, превышающих размеры излучателя, то под силой света такого источника, называемого точечным, понимают величину угловой плотности светового потока, излучаемого в определенном направлении. Согласно определению сила света  $I$  есть отношение светового потока  $dF$  к телесному углу  $d\omega$ \*, внутри которого этот поток излучается:

$$I = \frac{dF}{d\omega} \quad (6)$$

Если световой поток в телесном угле, равном  $\omega$ , распределен равномерно, то сила света  $I$  определяется, как

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (7)$$

За единицу силы света в СССР, так же как и за границей, принята одна международная свеча (с), которая равна силе света источника, излучающего в телесном угле в один стерадиан\*\*, равномерно распределенный световой поток в один люмен.

Эталоны международной свечи осуществляются с помощью специальных ламп накаливания, сила света которых измеряется особыми методами

\* Напомним, что телесный угол измеряется отношением величины поверхности, вырезаемой им на сфере, центр которой совмещен с вершиной телесного угла, к квадрату радиуса этой сферы.

\*\* Напомним, что стерадианом называется такой телесный угол, который вырезает из шаровой поверхности с радиусом, равным единице, площадь, равную единице, когда вершина угла находится в центре шара.

с большой точностью. Эталоны из ламп накаливания трудно воспроизводимы; поэтому Международный комитет мер и весов постановил с 1940 г. ввести новую единицу силы света — так называемую новую свечу. Величина последней установлена таким образом, чтобы яркость абсолютно черного тела, измеренная при температуре затвердевания платины (2046, 5° К), составляла 60 новых свечей с 1 см<sup>2</sup>. Предназначенное для этой цели абсолютно черное тело по решению Международного комитета мер и весов представляет собой двойной сосуд из окиси тория; внутри сосуда находится трубочка из того же материала, погруженная в платину. При расплавлении платины (с помощью индукционных токов) отверстие трубочки светится как черное тело.

В Германии за единицу силы света принята свеча Гейфнера, которая составляет 0,9 международной свечи.

В табл. 4 приведены некоторые средние данные о силах света источников, встречающихся в практике.

Таблица 4

| Источники                                 | Сила света (в свечах) — приблизительно |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| Лампа карманного фонаря . . . . .         | 1                                      |
| Лампа накаливания 100 <i>вт</i> . . . . . | 100                                    |
| 1000 <i>вт</i> . . . . .                  | 1 500                                  |
| Пржектор для киношлемки . . . . .         | до 20·10 <sup>6</sup>                  |

Пусть имеется источник, сила света которого во всех направлениях одинакова. Тогда полный световой поток такого источника будет равен

$$F = I \cdot \omega = 4\pi I, \quad (8)$$

так как полный телесный угол, окружающий точку, равен 4π стерадиан.

В том случае, если сила света, излучаемая источником в разных направлениях, различна, можно ввести понятие средней сферической силы света  $I_0$ , под которой понимают некоторую фиктивную величину, соответствующую силе света равномерно излучающего во все стороны излучателя, дающего общий световой поток, равный рассматриваемому.

Таким образом

$$F = \int_0^{4\pi} I d\omega = 4\pi I_0, \quad (9)$$

откуда

$$I_0 = \frac{F}{4\pi} = \frac{F}{12,57} \quad (10)$$

Если измерить силу света источника во всех направлениях от его центра и отложить от этого центра векторы, изображающие в масштабе силы света, то концы этих векторов обозначат поверхность так называемого фотометрического тела данного источника, характеризующего распределение его силы света в пространстве. Если через ось симметрии фотометрической поверхности провести плоскость, то при пересечении указанной выше поверхности и плоскости получится кривая, называемая продольной кривой распределения силы света. Если же пересечь упомя-

нутую поверхность плоскостью, перпендикулярной к ее оси симметрии и проходящей через центр источника света, то получится поперечная кривая распределения силы света. В случае, когда фотометрическая поверхность источника света образуется вращением продольной кривой распределения сил света вокруг оси симметрии, световой поток может быть найден аналитически.

Пусть (рис. 3) кривая 1 представляет собой продольную кривую распределения сил света источника  $O$ . Внутри некоторого элементарного телесного угла  $d\omega$ , образованного вращением элементарного плоского угла  $d\alpha$ , сила света может быть принята постоянной и равной  $I_\alpha$ , тогда элементарный поток, излучаемый в угле  $d\omega$ , будет равен

$$dF = I_\alpha d\omega. \quad (11)$$

Найдем зависимость между плоским углом  $\alpha$  и телесным углом  $\omega$ , образованным вращением этого плоского угла. Проведя, как показано на рис. 3, окружность радиусом, равным  $R$ , определим, что поверхность, вырезаемая на сфере радиуса  $R$  дугой  $ds$  при вращении угла  $d\alpha$  вокруг оси симметрии продольной кривой распределения сил света, будет равна  $2\pi h \cdot ds$ , где  $h$  — перпендикуляр, опущенный из точки  $B$  на ось симметрии.

Телесный угол равен отношению поверхности части сферы, на которую он опирается, к квадрату радиуса сферы; поэтому

$$d\omega = \frac{2\pi h \cdot ds}{R^2}.$$

Как видно из треугольника  $OAB$ ,  $h = R \sin \alpha$ ; следовательно, принимая во внимание, что для бесконечно малых значений угла  $ds = R d\alpha$ , получим

$$d\omega = 2\pi \sin \alpha d\alpha. \quad (12)$$

Таким образом зависимость между телесным углом  $\omega$  и плоским углом  $\alpha$  имеет вид:

$$\omega = \int_0^\alpha d\omega = \int_0^\alpha 2\pi \sin \alpha d\alpha = 2\pi (1 - \cos \alpha). \quad (13)$$

Подставляя в уравнение (11) значение  $d\omega$  из выражения (12), получим

$$dF = I_\alpha d\omega = 2\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha,$$

т. е.

$$F = 2\pi \int_0^\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha. \quad (14)$$

Если зависимость между  $I_\alpha$  и углом  $\alpha$  выражается аналитически, то формула (14) позволяет вычислить световой поток источника света. Часто

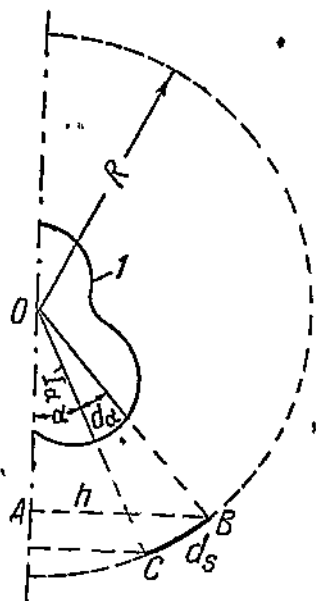


Рис. 3. Кривая распределения сил света



приходится использовать графические или численные методы расчета светового потока источника по заданной продольной кривой распределения сил света. Из существующих многочисленных способов расчета (Руссо, Русселя и др.) наиболее простым является метод угловых коэффициентов. При вычислении по этому методу берутся силы света через равные линейные углы и множатся на величины соответствующих телесных углов. Эти произведения дают световые потоки, излучаемые в упомянутых телесных углах. Сумма таких произведений для всех углов от 0 до 180° дает полный световой поток источника. Значения угловых коэффициентов приведены в табл. 5.

Таблица 5

| Зона                | Направление<br>силы света | Телесный угол<br>(в стерadianах) |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 0°—10° и 170°—180°  | 5° и 175°                 | 0,0954                           |
| 10°—20° и 160°—170° | 15° и 165°                | 0,283                            |
| 20°—30° и 150°—160° | 25° и 155°                | 0,463                            |
| 30°—40° и 140°—150° | 35° и 145°                | 0,628                            |
| 40°—50° и 130°—140° | 45° и 135°                | 0,774                            |
| 50°—60° и 120°—130° | 55° и 125°                | 0,897                            |
| 60°—70° и 110°—120° | 65° и 115°                | 0,992                            |
| 70°—80° и 100°—110° | 75° и 105°                | 1,058                            |
| 80°—90° и 90°—100°  | 85° и 95°                 | 1,091                            |

Освещенностью поверхности называется отношение освещающего эту поверхность светового потока к величине поверхности. Если световой поток  $F$ , падающий на некоторую поверхность  $S$ , распределяется на поверхности равномерно, то освещенность  $E$  будет равна

$$E = \frac{F}{S}. \quad (15)$$

В случае неравномерного освещения поверхности освещенность  $E$  будет меняться от точки к точке, причем

$$E = \frac{dF}{ds}, \quad (16)$$

где  $ds$  — бесконечно малая поверхность, освещаемая потоком  $dF$ .

Единица освещенности — люкс ( $лк$ ) равен освещенности, создаваемой на поверхности в 1  $м^2$  равномерно распределенным световым потоком в 1 люмен ( $лм$ ).

При больших освещенностях применяют единицу освещенности — фот, большую люкса в 10 000 раз; таким образом фот соответствует освещенности, создаваемой 1  $лм$  на поверхности в 1  $см^2$ .

Освещенность  $E$ , создаваемую точечным источником, можно вычислить, зная силу света  $I$  источника, по формуле

$$E = \frac{I}{R^2} \cdot \cos \alpha,$$

где  $R$  (рис. 4) — расстояние от источника света до площадки, а  $\alpha$  — угол, образованный между лучом света и перпендикуляром к площадке.

Действительно, пусть в точке  $O$  (рис. 4) имеется источник света, излучающий на бесконечно малую площадку  $ds$  световой поток внутри телесного угла  $d\omega$ . По определению телесного угла:

$$d\omega = \frac{ds \cdot \cos \alpha}{R^2}.$$

В таком случае  $ds = \frac{R^2}{\cos \alpha} d\omega$ , а, следовательно, освещенность  $E$  выразится в виде:

$$E = \frac{dF}{ds} = \frac{dF}{d\omega} \cdot \frac{\cos \alpha}{R^2} = \frac{I}{R^2} \cos \alpha. \quad (17)$$

Так как  $\cos \alpha \leq 1$ , то освещенность будет максимальной в том случае, если  $\alpha = 0$ , т. е. когда лучи будут падать перпендикулярно к освещаемой поверхности. В этом случае освещенность будет равна:

$$E = \frac{I}{R^2}. \quad (18)$$

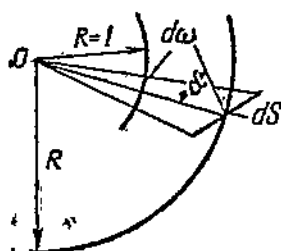


Рис. 4. Схема для расчета освещенности поверхности

Выражение (18) имеет большое значение в светотехнике и известно под названием закона квадратов расстояний. Как следует из этого закона, освещенность в 1 лк создается на плоскости, на которую свет падает перпендикулярно от источника силой света в 1 свечу, удаленного на расстояние 1 м\*.

В Америке и Англии часто в качестве единицы освещенности принимают футосвечу ( $f \cdot c$ ), равную освещенности, создаваемой потоком в 1 лк, распределенным равномерно на площади в 1 фут<sup>2</sup>; 1 футосвеча = 10,76 лк.

В табл. 6 даны некоторые примеры освещенностей, встречающихся на практике.

Таблица 6

|                                                             |                   |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|
| Освещенность на улице в яркий солнечный день . . . . .      | до 100 000 лк     |
| Освещенность в комнате в яркий солнечный день . . . . .     | до 1 000—3 000 лк |
| Освещенность в помещениях при электрическом свете . . . . . | 15—200 лк         |
| Освещенность при киносъемке в студии . . . . .              | до 15 000 лк      |
| Освещенность экрана при кинопроекции . . . . .              | 15—150 лк         |

Освещенность характеризует плотность падающего на данную поверхность светового потока и не связана со световыми свойствами этой поверхности. Для характеристики плотности светового потока, отражаемого или пропускаемого поверхностью (или плотности светового потока поверхностей, излучающих самостоятельно), вводят понятие светимости.

\* Отсюда происходило вышедшее ныне из употребления название единицы освещенности—метросвеча, применяемое теперь только частью сенситометристов.

Под светимостью поверхности в какой-либо точке понимают отношение светового потока ( $dF$ ), излучаемого элементом поверхности  $ds$ , к величине этого элемента, т. е.

$$R = \frac{dF}{ds} \quad (19)$$

Светимость, так же как и освещенность, измеряется в фотах. Между светимостью и освещенностью (для отражающих свет, а не самостоятельно излучающих поверхностей) существует очевидная зависимость:

$$R = \rho E, \quad (20)$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения поверхности.

Яркостью  $B$  светящейся поверхности  $S$  в каком-либо направлении называется отношение силы света  $I_\alpha$  поверхности в этом направлении к площади проекции  $\Pi p_\alpha S$  светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к рассматриваемому направлению, т. е.

$$B_\alpha = \frac{I_\alpha}{\Pi p_\alpha S}.$$

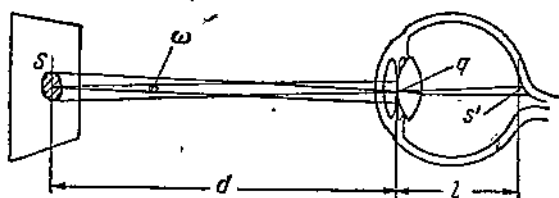
Для элемента  $dS$  поверхности  $S$

$$B = \frac{dI}{dS \cos \alpha}, \quad (21)$$

где  $\alpha$  — угол между данным направлением и нормалью к рассматриваемой поверхности в данной точке.

При рассмотрении освещенных поверхностей человеческий глаз реагирует не на освещенность их, а на их яркость.

Пусть светящаяся площадка  $S$  расположена на расстоянии  $d$  от глаза, глубина которого  $l$ , а площадь зрачка  $q$  (рис. 5). В таком случае световой поток, исходящий от площадки и падающий на зрачок глаза, составит величину



$$F = I\omega = \frac{Iq}{d^2},$$

где  $I$  — сила света площадки в направлении  $d$ , а  $\omega$  — телесный угол, равный  $\frac{q}{d^2}$ .

Рис. 5. Рассмотрение глазом поверхности

Если  $\tau$  — коэффициент пропускания средины глаза, то прошедший внутрь глаза световой поток будет равен

$$F' = \frac{Iq}{d^2} \cdot \tau.$$

Следовательно, изображение  $S'$  площадки  $S$  на сетчатке глаза будет иметь освещенность

$$E = \frac{F'}{S'} = \frac{Iq\tau}{d^2 S'}.$$

Принимая во внимание, что для данного случая  $L=BS$ , а

$$\frac{S'}{S} = \frac{l^2}{d^2}$$

и, выполняя необходимые подстановки, получим

$$E = \frac{\tau I q}{S' d^2} = \frac{\tau B S q}{S' d^2} = \tau B \frac{q}{l^2}. \quad (22)$$

Формула (22) показывает, что освещенность сетчатки зависит от яркости излучающей свет поверхности и не зависит от расстояния этой поверхности от глаза.

Единицей яркости является стильб ( $сб$ ) — яркость равномерно светящейся плоской поверхности  $1 см^2$ , сила света которой в перпендикулярном к ней направлении равна 1 свече.

Применяются и другие единицы яркости, например, миллистильб ( $1 мсб = 0,001 сб$ ), килостильб ( $1 ксб = 1000 сб$ ). Часто пользуются единицей яркости, носящей название апостильба („люкса на белом“). Апостильбом называется яркость идеально рассеивающей плоской поверхности, яркость которой одинакова во всех направлениях и светимость которой равна  $1 лм$  с  $1 м^2$ ;  $1 сб = 31400$  апостильб ( $асб$ ). В американской литературе часто применяют единицы яркости — ламберт и фут-ламберт. Ламберт — яркость идеально рассеивающей поверхности, светимость которой равна одному фоту. Ламберт равен  $\frac{1}{\pi} сб$ .

Яркость абсолютно белой, идеально рассеивающей поверхности при освещенности в  $1 лк$  равна  $1 асб$ , при  $E=1$  фоту,  $B=1$  ламберту.

Фут-ламберт — яркость абсолютно белой рассеивающей поверхности, на которой создана освещенность в  $1$  футо-свече;  $1$  фут-ламберт  $= 3,42 \cdot 10^{-4} сб = 10,76 асб$ .

В качестве примера в табл. 7 приведены яркости некоторых светящихся поверхностей.

Таблица 7

| Светящаяся поверхность                                                      | Яркость (в сб) — приблизительно |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Пламя стеариновой свечи . . . . .                                           | 0,7                             |
| керосиновой лампы . . . . .                                                 | 1,1                             |
| Ртутная лампа низкого давления . . . . .                                    | 2—3                             |
| Пламя газовое . . . . .                                                     | 3—6                             |
| Вольфрамовая нить в пустотной лампе накаливания . . . . .                   | 140—200                         |
| Вольфрамовая нить в газополной лампе накаливания . . . . .                  | 800—1 200                       |
| Вольфрамовая нить в газополной лампе накаливания для киносъемки . . . . .   | 3 000                           |
| Кратер угольной дуги с чистыми углями . . . . .                             | 18 000                          |
| интенсивного горения . . . . .                                              | 80 000                          |
| Ртутная лампа высокого давления . . . . .                                   | до 120 000                      |
| Солнце в зените . . . . .                                                   | 100 000—150 000                 |
| Яркость экрана в кинотеатре . . . . .                                       | $0,5 \div 5 \cdot 10^{-3}$      |
| Яркость белого листа бумаги в комнате при искусственном освещении . . . . . | $1 \div 5 \cdot 10^{-3}$        |

Пример 3. Для лучей с длиной волны  $600 \text{ мк}$  относительная видимость составляет 0,631; следовательно, 10 *вт* такого излучения будут иметь световой поток  $0,631 \times 10 = 6,31 \text{ вт}$  светового ватта ( $\text{lw}$ )  $= 6,31 \times 621 \approx 3900 \text{ лм}$ .

Пример 4. Если источник света излучает световой поток  $F = 100 \text{ лм}$  в телесном угле  $\omega = 2$ стерадианам, то сила света источника равна  $I = \frac{100}{2} = 50 \text{ свечей}$ .

Пример 5. Средняя сферическая сила света источника, излучающего общий световой поток в 250 *лм*, составляет  $I = \frac{F}{12,57} = \frac{250}{12,57} \approx 20 \text{ свечей}$ .

Пример 6. Принимая плоский угол  $\alpha = 60^\circ$ , найдем телесный угол  $\omega$ , образованный вращением этого плоского угла, по формуле (13):

$$\omega = 2\pi(1 - \cos 60^\circ) = 2\pi(1 - 0,5) = \pi = 3,14 \text{ стерадианов.}$$

Пример 7. Из представленной на рис. 31а продольной кривой распределения сил света вольфрамовой лампы накаливания следует, что она излучает под углом  $70^\circ$  к вертикальной оси симметрии около 80 свечей, под углом  $170^\circ$  — 40 свечей и под углом  $0^\circ$  — 95 свечей.

Пример 8. Площадь  $S = 50 \text{ м}^2$ , равномерно освещенная световым потоком в 6000 *лм*, имеет освещенность

$$E = \frac{F}{S} = \frac{6000}{50} = 120 \text{ лк} = 120 \cdot 10^{-4} \text{ фота.}$$

Пример 9. Если площадка находится на расстоянии  $R = 5 \text{ м}$  от источника, сила света которого равна 12500 свечей, причем угол падения  $\alpha = 30^\circ$ , то освещенность площадки будет равна:

$$E = \frac{I}{R^2} \cos \alpha = \frac{12500}{5^2} \cos 30^\circ \approx 430 \text{ лк.}$$

Пример 10. Светящаяся площадка  $S = 10 \text{ м}^2$  равномерно излучает световой поток в 3000 *лм*; светимость площадки составит

$$R = \frac{F}{S} = \frac{3000}{10 \cdot 100^2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ фот.}$$

Пример 11. Кратер дуговой лампы площадью  $S = 500 \text{ мм}^2$  излучает в перпендикулярном направлении  $I = 80000 \text{ свечей}$ ; следовательно,

яркость кратера равна  $B = \frac{I}{S} = 16000 \text{ сб.}$

### § 3. Световые характеристики тел

Всякое тело может быть охарактеризовано тремя световыми характеристиками: коэффициентом поглощения света  $\alpha$ , коэффициентом отражения света  $\rho$  и коэффициентом пропускания света  $\tau$ . Для каждого тела сумма коэффициентов

$$\alpha + \rho + \tau = 1. \quad (23)$$

Коэффициент отражения света  $\rho$  определяется отношением отражаемого поверхностью тела светового потока  $F_0$  к потоку  $F_n$ , падающему на нее, т. е.

$$\rho = \frac{F_0}{F_n} \quad (24)$$

Отражаемый световой поток может быть условно разделен на зеркально-отражаемый и рассеянно-отражаемый поток. Соответствующие коэффициенты называются коэффициентом зеркального отражения и коэффициентом рассеянного отражения. Коэффициент зеркального (направленного) отражения плоской поверхности есть отношение светового потока, для которого после отражения от плоской поверхности применяется закон квадратов расстояний, начиная от изображения источника света ко всему световому потоку, падающему на образец. Коэффициентом рассеянного отражения света плоской поверхности называют отношение светового потока, для которого после отражения от плоской поверхности применяется закон квадратов расстояний, начиная от некоторой точки на поверхности ко всему световому потоку, падающему на поверхность. Общий коэффициент отражения плоской поверхности равен сумме коэффициентов направленного и рассеянного отражения света.

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

46030

Следующие положения:

1. Луч падающий и луч отраженный находятся в одной плоскости перпендикулярном, восстановленным к поверхности в точке падения.
2. Угол падения и угол отражения равны друг другу. При зеркальном отражении яркость изображения источника света пропорциональна яркости и не зависит от освещенности зеркально отражающей поверхности. Для плоских зеркальных поверхностей телесные углы, заключенные падающий и отраженный световые потоки, одинаковы по величине и форме.

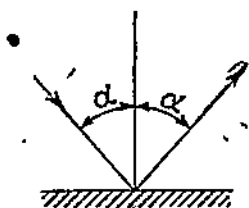


Рис. 6. Направленное отражение света

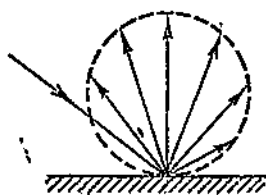


Рис. 7. Диффузное отражение света

Чисто зеркальному отражению отвечает лишь идеально полированная поверхность. Рассеянное отражение бывает различных видов. Идеальная диффузно-рассеивающая поверхность (рис. 7) отражает (или излучает) световой поток таким образом, что яркость ее при рассматривании под любым углом остается величиной постоянной, т. е. яркость в любом направлении  $B_\alpha$  равна  $B_\perp$ , наблюдаемой в перпендикулярном направлении  $B_\alpha = B_\perp$ . При величине поверхности  $S$  можно написать

$$B_\alpha = \frac{I_\alpha}{S \cos \alpha} \quad \text{и} \quad B_\perp = \frac{I_\perp}{S}$$

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

где  $I_\alpha$  и  $I_\perp$  — силы света, излучаемые под углом  $\alpha$  и в перпендикулярном к поверхности  $S$  направлении.

Из найденных формул следует, что

$$\frac{I_\alpha}{S \cos \alpha} = \frac{I_\perp}{S},$$

т. е.

$$I_\alpha = I_\perp \cos \alpha, \quad (25)$$

Полученное выражение в светотехнике носит название закона Ламберта и относится к большему или меньшему приближению к некоторым отражающим поверхностям, например, к гипсу, белым матовым краскам и т. д.

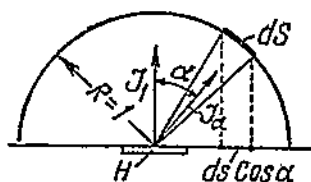


Рис. 8. Отражение света рассеивающей поверхностью

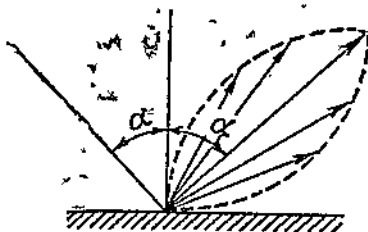


Рис. 8а. Направленно-рассеянное отражение

Для поверхностей, удовлетворяющих закону Ламберта, можно вывести зависимость между яркостью  $B$  и освещенностью  $E$  при известном коэффициенте диффузного отражения  $\rho$  в виде  $B = \frac{\rho E}{\pi}$ .

Действительно, пусть поверхность  $H$  (рис. 8) излучает световой поток в соответствии с законом Ламберта (25), т. е.  $I_\alpha = I_\perp \cos \alpha$ .

Световой поток, излучаемый поверхностью  $H$ , определяется на основании формулы, (14):

$$F = 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_\alpha \sin \alpha \, d\alpha = 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_\perp \cos \alpha \cdot \sin \alpha \, d\alpha = \pi I_\perp \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2\alpha \, d\alpha.$$

Произведя интегрирование, найдем

$$F = \pi I_\perp. \quad (26)$$

Разделив обе части выражения (26) на площадь  $H$  поверхности источника излучения, получим

$$\frac{F}{H} = \frac{\pi I_\perp}{H}, \text{ т. е. } R = \pi B,$$

где  $R$  — светимость площади  $H$ .

Так как  $R = \rho E$ , где  $E$  — освещенность площади  $H$ , а  $\rho$  — коэффициент диффузного отражения ее, то

$$B = \frac{\rho E}{\pi}, \quad (27)$$

где  $E$  выражена в фотах.

Таким образом для диффузно-отражающих поверхностей определяют яркость, зная освещенность поверхности, и наоборот.

Если поверхность отражает свет в соответствии с законом Ламберта, а  $\rho = 1$ , то она называется абсолютно белой поверхностью.

Коэффициентом яркости в каком-либо направлении поверхности, отражающей (или пропускающей) свет, называется отношение яркости  $B$  этой поверхности в данном направлении к яркости  $B_0$  абсолютно белой поверхности, имеющей ту же освещенность

$$\tau = \frac{B}{B_0} = B \cdot \frac{\pi}{E}. \quad (28)$$

Зная освещенность поверхности и коэффициент яркости в данном направлении, можно в соответствии с формулой (28) найти яркость поверхности в этом направлении. Сравнивая формулы (27) и (28), замечаем, что коэффициент яркости для диффузно-отражающей поверхности равен ее коэффициенту отражения. При направленно-рассеянном отражении коэффициент яркости поверхности может быть и больше единицы.

Рассеивающие поверхности часто обладают помимо диффузного отражения также и направленным рассеянием (рис. 8а). В этом случае яркость поверхности зависит от направления падающего на нее светового потока.

Направленно-рассеянным отражением обладают матированные металлические поверхности. Ряд поверхностей (например, эмалированных) обладает одновременно диффузным и зеркальным отражением; в таком случае говорят о смешанном отражении поверхности.

Коэффициент пропускания света определяется отношением прошедшего сквозь тело светового потока к потоку, падающему на него. Прошедший сквозь тело световой поток может быть условно разделен на поток, проходящий направленно, т. е. без изменения направления, и на рассеянный поток. Соответствующие коэффициенты называются коэффициентом направленного пропускания и коэффициентом рассеянного пропускания. Измеряя весь световой поток, прошедший сквозь тело, получают общий коэффициент пропускания света.

При направленном пропускании (рис. 9,а) источник света ясно виден через пропускающее свет тело, а форма, направление и величина телесного угла, в котором распространяется световой поток, сохраняются неизменными. По этой причине освещенность, создаваемая прошедшим через образец световым потоком, подчиняется закону квадратов расстояний, измеренных от источника света, а яркость источника света, видимая через образец, равна яркости источника, помноженной на коэффициент пропускания. Наиболее распространенными телами, обладающими направленным пропусканием, являются прозрачные стекла.

Рассеянное пропускание может быть диффузным или направленно-рассеянным. Поверхность, обладающая диффузным пропусканием, характеризуется тем, что яркость ее в любом направлении постоянна (рис. 9,б). Диффузным пропусканием обладают молочные стекла, в основной массе которых находятся отдельные частицы, вызывающие благодаря отличному от основной массы показателю преломления многократные отклонения направления лучей света.



Направленно-рассеянное пропускание (рис. 9,с) характеризуется тем, что тело рассеивает проходящий через него световой поток преимущественно в направлениях, близких к направлению падения света.

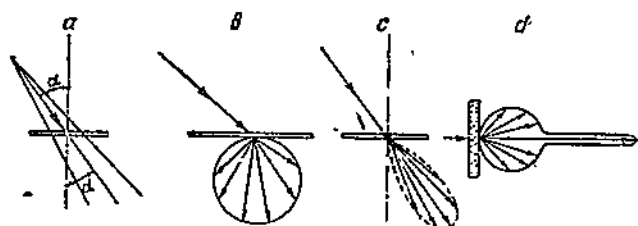


Рис. 9: а—направленное пропускание; б—диффузное пропускание света; с—направленно-рассеянное пропускание света; д—пропускание света проявленным фотографическим изображением

На практике для получения направленно-рассеянного пропускания используют стекла с матированной поверхностью, причем тонкая матировка дает незначительное рассеяние, более грубая — большее.

Смешанное пропускание характеризуется одновременным наличием направленного и рассеянного пропускания.

В качестве примера среды, обладающей смешанным пропусканием, можно привести проявленный слой фотографического изображения (рис. 9,д), опалиновое стекло и т. д.

Величина пропускания светового потока фотографическим слоем характеризуется обычно его оптической плотностью. Оптической плотностью обработанного фотографического слоя называется десятичный логарифм обратной величины коэффициента пропускания, т. е.  $D = \log \frac{1}{\tau}$ .

В табл. 8 приведены световые характеристики некоторых материалов.

Таблица 8

| Материал                     | Коэффициент отражения |             | Коэффициент пропускания |             | Коэффициент поглощения |
|------------------------------|-----------------------|-------------|-------------------------|-------------|------------------------|
|                              | направленного         | рассеянного | направленного           | рассеянного |                        |
| Прозрачное стекло            | 0,08—0,10             | —           | 0,80—0,85               | —           | 0,05—0,10              |
| Молочное стекло              | 0,04—0,05             | 0,45        | $10^{-5}$ — $10^{-3}$   | 0,40        | 0,10                   |
| Полированное серебро . . . . | 0,92                  | —           | —                       | —           | 0,08                   |
| Полированный хром . . . . .  | 0,65                  | 0,17        | —                       | —           | 0,12—0,18              |

Пример 12. Гипсовая пластинка размерами  $S=4 \times 6$  см с коэффициентом отражения  $\rho=0,85$  имеет освещенность  $E=500$  лк, тогда яр-

кость ее составит согласно (27)  $B = \frac{\rho E}{\pi} = \frac{0,85 \cdot 500 \cdot 10^{-4}}{3,14} = 0,0135 \text{ сб.}$

Световой поток, отражаемый пластинкой  $F = E_{\rho} S = 0,85 \cdot 500 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 1,02 \text{ лм}$ ; следовательно, сила света в перпендикулярном направлении равна по (26)  $I_1 = \frac{E}{\pi} = \frac{1,02}{3,14} = 0,32 \text{ свеч.}$  Под углом  $\alpha = 45^\circ$   $I_{\alpha} = I_1 \cos \alpha = 0,32 \cos 45^\circ = 0,23 \text{ свеч.}$

Пример 13. Поверхность с освещенностью  $E = 200 \text{ лк}$  и яркостью  $5 \text{ мсб}$  имеет коэффициент яркости  $r = \frac{\pi \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-4}} = 0,785$ . Яркость поверхности в апостильбах составит  $B \cdot 31400 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 31400 = 157 \text{ асб.}$

#### § 4. Световые измерения

Измерения световых величин могут быть выполнены с большой точностью различными способами. Современная фотометрия — наука, устанавливающая методы световых измерений, подразделяется на визуальную и объективную.

##### А. Визуальная фотометрия

Визуальная фотометрия использует в качестве светочувствительного прибора человеческий глаз. Хотя глаз и не в состоянии непосредственно судить о количественных соотношениях между световыми величинами, однако равенство яркостей двух смежных одноцветных поверхностей глазом может быть установлено с точностью до  $\pm 10\%$ .

Поэтому методы визуальной фотометрии базируются в основном на постепенном изменении величины яркости освещаемых поверхностей для получения так называемого фотометрического равновесия, т. е. равенства яркостей сравниваемых между собой смежных поверхностей. При фотометрировании, так же как и при всяких измерениях, определяемая световая величина сравнивается при посредстве специальных приборов, называемых фотометрами, с величиной, принятой за единицу.

Количественное изменение яркости поверхностей, называемых полями сравнения, в светотехнических измерительных приборах основывается преимущественно на следующих принципах:

1. Пусть имеются два источника света с силой света  $I_1$  и  $I_2$  в направлении, перпендикулярном к освещаемой площади, находящейся от источников на расстояниях  $R_1$  и  $R_2$ .

Тогда освещенности  $E_1$  и  $E_2$ , создаваемые источниками света на рассматриваемой площади, будут соответственно  $E_1 = \frac{I_1}{R_1^2}$  и  $E_2 = \frac{I_2}{R_2^2}$ .

Если допустить, что освещенности  $E_1$  и  $E_2$  равны, то  $\frac{I_1}{R_1^2} = \frac{I_2}{R_2^2}$ ,

откуда  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2}$ , т. е. силы света относятся друг к другу как квадраты их расстояний от освещаемой площади при условии, что лучи падают перпендикулярно поверхности.

Зная  $I_2$ , легко определить  $I_1$  из соотношения

$$I_1 = I_2 \cdot \frac{R_1^2}{R_2^2}. \quad (29)$$

2. Можно изменять яркость поверхности не за счет переменного расстояния, как это только что рассмотрено, а с помощью изменения угла падения света на данную поверхность.

В этом случае, как мы установили, освещенность рассматриваемой поверхности изменяется пропорционально косинусу угла, образованного падающим лучом, и перпендикуляром к поверхности (формула 17).

3. Изменение яркости может быть также достигнуто применением поглощающих свет фильтров. Особенно удобными для измерительных целей являются фильтры, изготовленные в виде клина. Прохождение света при этом подчиняется закону Ламберта-Бера:

$$I_K = I_0 \cdot e^{-kx}, \quad (30)$$

где  $I_0$  — сила света, падающего на клин,  $I_K$  — сила света, прошедшего через клин,  $k$  — постоянная клина, а  $x$  — расстояние по длине клина.

В качестве фильтров обычно применяются дымчатые стекла. При использовании клинового фильтра в фотографической фотометрии обращается особое внимание на нейтральность его, т. е. на отсутствие избирательного поглощения.

4. Психологическое восприятие глазом периодически изменяющегося и равномерно в той же самой последовательности повторяющегося света такое же, как в случае его равномерного излучения. На этом принципе (закон Тальбота) основывается изменение силы света с помощью так называемых вращающихся секторных дисков.

Величина светового потока, проходящего через вращающийся секторный диск, изменяется пропорционально площади раскрытия диска, т. е.

$$F = F_0 \cdot \frac{S}{S_0}, \quad (31)$$

где  $F_0$  — световой поток, падающий на экран в случае отсутствия диска, и  $F$  — поток после прохождения света через диск, а  $\frac{S}{S_0}$  — отношение площади выреза диска или угла открытия сектора ко всей площади диска или к углу в  $360^\circ$ .

В настоящее время имеются конструкции, позволяющие производить плавное изменение пропускания света секторным диском, не останавливая вращения последнего.

5. Изменение яркости полей сравнения может быть получено, наконец, на принципе поляризации света. Если световой луч пропустить через поляризатор и анализатор — призмы из кристалла исландского шпата (углекислого кальция), состоящие из разрезанных определенным образом и склеенных канадским бальзамом элементов, то вследствие поляризации света ослабление луча происходит пропорционально квадрату косинуса относительного угла поворота призмы. В случае же одновременного про-

хождения через анализатор двух сравниваемых лучей, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, относительное ослабление будет пропорционально квадрату тангенса угла поворота.

Основными световыми измерениями в светотехнике являются измерения силы света, светового потока, освещенности, яркости и световых свойств материалов.

Измерение силы света источника обычно производится с помощью фотометрической скамьи — прибора, имеющего по всей длине шкалу с

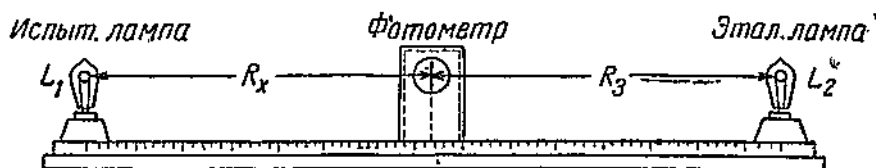


Рис. 10. Схема фотометрической скамьи

делениями и направляющие, по которым перемещаются эталонная лампа, испытуемый источник света и фотометр (рис. 10).

В настоящее время наиболее распространенным фотометром является фотометр Люммера-Бродхуна.

На рис. 11а схематически изображено расположение отдельных элементов установки при работе на фотометрической скамье. Световой поток от источников света падает с двух сторон на белый гипсовый экран с поверхностями  $a$  и  $b$ . Яркость экрана наблюдается с помощью зеркал  $m$  и  $n$  через зрительную трубу и специальную призму — так называемый кубик Люммера-Бродхуна. Этот кубик представляет собой две призмы  $A$  и  $B$ , из которых призма  $A$  имеет срезанную шаровую поверхность, плотно прижатую к плоской гипотенузной поверхности призмы  $B$ .

Свет, падающий на призму от зеркала  $m$ , проходит через плоскость  $S$  без изменения направления и попадает в глаз наблюдателя. Свет от зеркала  $n$ , проходя через плоскость  $S$ , глазом не улавливается; в остальных же участках призмы, претерпевая полное внутреннее отражение, поступает в зрительную трубу. Таким образом наблюдатель видит два поля — одно внутри другого, отличающиеся по яркости в случае различной освещенности фотометрического экрана.

Перемещая головку фотометра на скамье, можно достигнуть полного равенства яркостей полей сравнения. Тогда на основании закона квадратов расстояний можно, измерив расстояние  $R_x$  и  $R_z$  от источников света

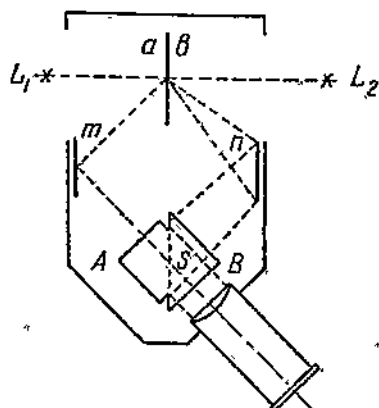


Рис. 11а. Схема фотометрической головки Люммера-Бродхуна

до фотометрического экрана и, зная силу света  $I_0$  эталонной лампы, определить силу света  $I_x$ :

$$I_x = I_0 \frac{R_x^2}{R_0^2}$$

Для получения большей точности измерения применяется несколько видоизмененный контрастный кубик, с помощью которого наблюдатель видит четыре особо расположенных поля сравнения.

Устройство контрастного кубика Люммера-Бродхуна показано на рис. 11б. В призме сделано три углубления —  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ . Боковые

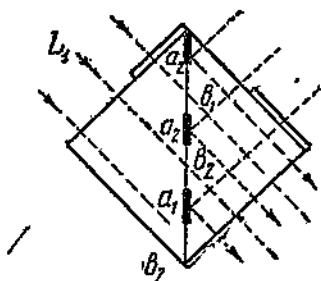


Рис. 11б. Контрастный кубик Люммера-Бродхуна

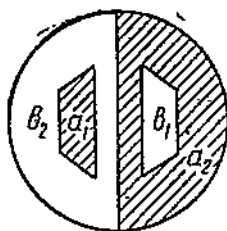


Рис. 11с. Видимое поле контрастного кубика

поверхности кубика до половины покрыты плоскими стеклами, ослабляющими на 80% прошедший через них световой поток.

Лучи света источника света  $L_1$  проходят через участки  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  призмы, причем прошедший через  $b_1$  свет ослаблен на 80% по отношению к потоку, прошедшему через участки  $b_2$ . Лучи же, попадающие на участки  $a_2$  и  $a_1$ , претерпевают полное внутреннее отражение и поглощаются зачерненными стенками прибора. Падающие на кубик от источника света  $L_2$  лучи света на участках  $a_2$  и  $a_1$  испытывают полное внутреннее отражение и образуют два поля сравнения, из которых поле, соответствующее  $a_1$ , ослаблено на 80% относительно  $a_2$ . На участках  $b_1$  и  $b_2$  лучи света источника  $L_2$  проходят сквозь кубик и поглощаются стенками прибора.

При рассматривании с помощью окуляра освещенных полей картина окажется подобной изображению на рис. 11с, причем сравнение яркостей полей достигается уравниванием контрастов  $b_1$  по отношению к  $a_2$  и  $a_1$  по отношению к  $b_2$ . Нарушение контраста человеческого глаз обнаруживает с точностью 0,5%; поэтому фотометрическая скамья с контрастной призмой Люммера-Бродхуна является прибором, позволяющим производить измерения с наибольшей точностью, необходимой при различных измерениях в практике.

Измерение силы света источника или осветительного прибора в различных направлениях и получение фотометрических тел производится с помощью поворотного штатива или особого зеркального аппарата. Основными деталями этого аппарата являются одно или два зеркала, отража-

ющие свет под различными углами с осью симметрии от источника света на фотометр. При вращении зеркала можно обычным фотометром определить кривую распределения сил света в продольной плоскости. Вращая источник света вокруг его оси симметрии, можно измерить величину сил света в плоскости, перпендикулярной его оси, т. е. получить кривую распределения сил света в поперечной плоскости.

Измерение светового потока, излучаемого источником света, обычно производится с помощью так называемого шарового фотометра, изображенного на рис. 12. Этот прибор состоит из белого шара, выкрашенного внутри белой диффузно рассеивающей краской, и фотометрической головки с лампой сравнения. Шар имеет два отверстия: через одно вводится внутрь шара испытуемый источник, через другое производится наблюдение. Принцип действия шара основывается на предположении равномерного и диффузного отражения света всеми частями внутренней поверхности шара. Пусть внутри шара помещен источник света, имеющий световой поток  $F$ , создающий на внутренних стенках шара освещенность  $E_{лр}$ , распределение которой по поверхности шара зависит от светораспределения источника. Вследствие многократных отражений в шаре на стенках его создается некоторая дополнительная освещенность. Теория показывает, что освещенность  $E_{отр}$  отраженного света одинакова во всех точках шара, величина  $E_{отр}$  определяется соотношением

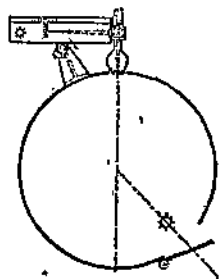


Рис. 12. Схема шарового фотометра Ульбрихта

$$E_{отр} = F \cdot \frac{\rho}{4\pi R^2(1-\rho)} = \text{const } F. \quad (32')$$

Если закрыть наблюдательное окошко шара молочным стеклом, то яркость его при условии предохранения от попадания на него прямых лучей от источника света будет пропорциональна световому потоку источника. Константа шара находится путем предварительного измерения светового потока эталонной лампы.

Применяя шар большого диаметра (до 3 м), можно определять величину светового потока не только ламп, но и осветительных приборов значительных размеров.

Измерение освещенности может быть выполнено с помощью обычного фотометра. Однако для измерения освещенности разработан ряд весьма портативных конструкций приборов, носящих название люксметров. Рассмотрим наиболее употребительный в СССР люксметр Государственного оптического института (ГОИ).

Как видно из рис. 13, от лампы сравнения 1 световой поток падает на экран 2, могущий вращаться вокруг оси. Яркость экрана наблюдается глазом через окуляр 3 посредством зеркал 4 и 5. Устанавливая гипсовый экран 6 в плоскости, освещенность которой следует измерить, наблюдают его яркость через частично посеребренное стекло 5. Получение равенства яркостей наблюдаемых полей сравнения достигается введением фильтров 7 и плавным поворотом экрана 2. Пределы измерения — от 1 до 60 000 лк. Точность измерений не свыше 15%.

При фотометрировании цветных источников света, например ртутных ламп, получение равенства яркостей сравниваемых полей фотометра значительно затрудняется различием в их окраске, так как глаз не в состоянии с достаточной точностью непосредственно определить равенство яркостей цветных полей.

Существуют два основных метода фотометрирования цветных источников света: выравнивание цвета с помощью фильтров и метод измерений с помощью мигающего фотометра.

Первый из указанных способов заключается в том, что перед лампой сравнения устанавливается светофильтр с такими спектральными характеристиками, что цвет прошедшего через него светового потока становится таким же, как цвет излучения испытуемого источника света.

Второй метод основывается на том, что сравниваемые между собой яркости полей видны не одновременно, а последовательно, в быстром и непрерывном чередовании. Возникающие в глазу ощущения мигания (мерцание) обуславливаются исключительно различием в их яркостях, так как разница в цветах даже при незначительном числе миганий в се-

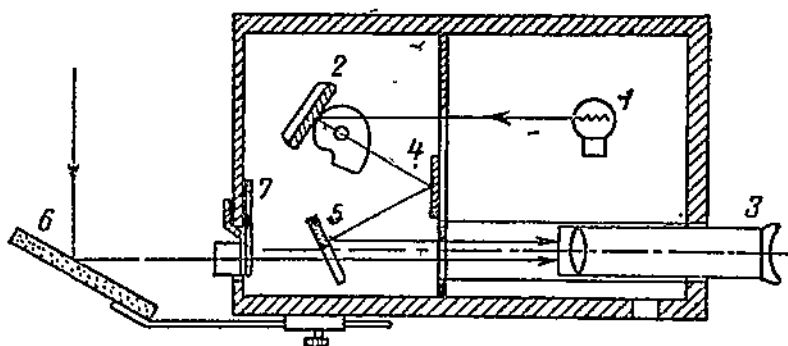


Рис. 13. Схема люксметра ГОИ

кунду исчезает — цвета смешиваются. С изменением расстояния между источниками света и призмой фотометра при достижении равенства яркостей граней призмы мигание совершенно устраняется.

Измерение яркости в зависимости от ее величины производится различными способами. Если измеряют большие яркости, например яркости кратера дуги, то используют вспомогательную линзу -1 (рис. 14а), устанавливаемую между источником света 2 и фотометром 3 таким образом, чтобы изображение светящейся площадки 4 получалось в плоскости молочной пластинки фотометра 5. Если обозначить через  $B$  — искомую яркость источника света,  $r$  — радиус вспомогательной линзы (если она не имеет диафрагмы),  $\tau$  — коэффициент пропускания линзы,  $S_1$  — площадь проекции светящейся площадки,  $S_2$  — площадь изображения кратера на молочной пластинке фотометра,  $E$  — освещенность этой пластинки,  $f$  и  $d$  — соответственно расстояния линзы до светящейся площадки и ее изображения, то

$$B = E \cdot \frac{f^2}{\tau \cdot \pi r^2}.$$

Действительно, световой поток, прошедший через линзу 1, будет равен

$$F = I \omega \tau = B \tau S_1 \frac{\pi r^2}{d^2};$$

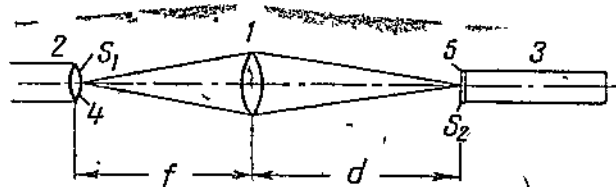


Рис. 14а. Схема измерения яркости

следовательно, освещенность пластинки молочного стекла фотометра составит

$$E = \frac{F}{S_2} = \tau B \cdot \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{\pi r^2}{d^2}.$$

Так как

$$\frac{S_1}{S_2} = \left( \frac{d}{f} \right)^2,$$

то

$$E = B \frac{\pi r^2}{f^2} \tau,$$

откуда искомая яркость определится в виде

$$B = E \frac{f^2}{\tau \cdot \pi r^2}. \quad (33)$$

Следовательно, измерив освещенность  $E$  и зная величины  $f$ ,  $r$  и  $\tau$ , легко определить величину  $B$ .

Небольшие величины яркости поверхностей, обычно встречающиеся на практике, часто измеряют с помощью люксметра, например типа ГОИ.

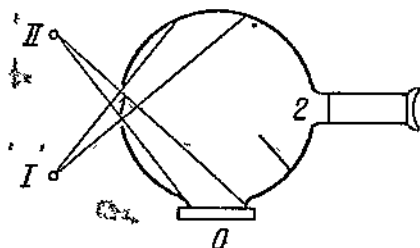


Рис. 14б. Схема измерения коэффициента отражения света

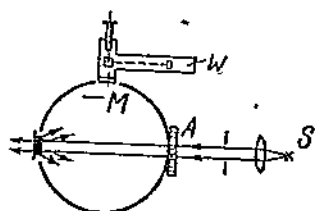


Рис. 14с. Схема измерения коэффициента пропускания света

В этом случае внешний экран снимается, и прибор направляется непосредственно на испытуемый объект. Если шкала прибора в момент, отвечающий равенству яркостей полей сравнения, показывает освещенность  $A_1$  лк., а освещенность в той же точке при наличии экрана  $A_2$  лк., то при



неизменных условиях освещения коэффициент отражения поверхности (при диффузном отражении) определится из отношения:

$$\rho_x = \rho_{\text{экр}} \cdot \frac{A_1^*}{A_2},$$

где  $\rho_{\text{экр}}$  — коэффициент отражения экрана люксметра, с которым последний градуировался ( $\rho_{\text{экр}} \approx 0,85$ ).

Подставив в формулу (27) значение  $\rho = \rho_x$  и  $E = A_2 \cdot 10^{-4}$  фот, найдем яркость объекта из выражения

$$B = \frac{\rho E}{\pi} = \frac{\rho_{\text{экр}} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot A_2}{\pi \cdot 10^4} = \frac{\rho_{\text{экр}} \cdot A_1}{\pi \cdot 10^4} \text{ сб.} \quad (34)$$

Измерение общего коэффициента отражения может быть выполнено с помощью шарового фотометра по схеме рис. 14б.

Испытуемый образец  $O$  укрепляется снаружи шара перел отверстием в нем. Пучок света от источника  $L$ , находящегося в положении  $I$ , направляется через отверстие  $I$  в шаре и измеряется освещенность стенки 2 шара. Затем лампу перемещают в положение  $II$ , направляя свет лампы на испытуемый образец, и снова измеряют освещенность стенки 2 шара. Отношение этой освещенности к освещенности, измеренной в первом случае, даст величину общего коэффициента отражения.

Измерение коэффициента пропускания света может быть выполнено с помощью шарового фотометра при установке испытуемого образца, осветительного устройства и фотометра согласно схеме, указанной на рис. 14с.

Перед отверстием в стенке шара помещается испытуемый образец. Световой поток от источника света с помощью проекционного устройства направляется перпендикулярно к поверхности образца. В случае, если отверстие в противоположной стороне шара будет открыто, световой поток, прошедший через него направленно, выйдет из шара, и измерение будет относиться к диффузной составляющей коэффициента пропускания света. При закрытом отверстии измерение относится к общему коэффициенту пропускания света. Отношение показания фотометра при измерении с закрытым и открытым отверстием шара к показанию фотометра при отсутствии испытуемого образца определяет соответствующий коэффициент пропускания света.

Однако измерение коэффициента пропускания света не всегда целесообразно производить при освещении тела параллельным пучком света. Так например, значительно более правильным при измерении мутных сред является измерение их световых характеристик в рассеянном свете. Для этой цели в качестве осветителя применяют или второй шар с укрепленной внутри лампой накаливания (как, например, в изготовляемом в СССР фотометре Гуревича) или светящуюся поверхность молочного стекла.

В кинематографии измерения пропускания и поглощения света особенно часто производятся при определении оптической плотности почер-

\* По этой формуле может быть определен коэффициент отражения объекта.

нения киноплёнки. Для этой цели обычно пользуются специальными фотометрами, называемыми денситометрами.

Одним из наиболее распространенных в кинематографической практике денситометров является денситометр Кэпстаффа. Аппарат имеет освещающую лампу *A* (рис. 15), перемещаемую с помощью винта *R*. Свет от

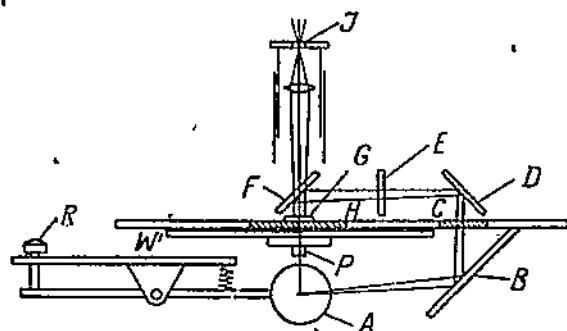


Рис. 15. Схема денситометра Кэпстаффа

лампы *A* проходит через круглый клин *W*, могущий вращаться вокруг оси *P*, и попадает на молочное стекло *H*, на котором лежит пленка, подлежащая измерению. В то же время световые лучи, идущие от лампы *A*, отражаются с помощью зеркал *B* и *D*, причем для обеспечения равномерности освещения на пути лучей помещены два молочных стекла *C* и *E*. Падая на полупрозрачное зеркало *F*, расположенное под углом в  $45^\circ$ , лучи частично отражаются книзу, освещая поверхность поля сравнения, представляющую стеклянную слабо посеребренную и покрытую лаком пластинку, имеющую прозрачный кружок диаметром 0,5 мм. При рассматривании через окуляр *I* видно круглое пятно, освещенное молочным стеклом *H*, причем это пятно окружено сравниваемым полем, освещенным светом, отраженным зеркалами *B*, *D* и *F*. Вращая клин *W*, добиваются равенства освещенности полей, причем плотности непосредственно отсчитываются на шкале прибора.

Ошибка при световых измерениях, основанных на методах визуальной фотометрии, в общем невелика.

При работе с точными электроизмерительными приборами ошибка измерения силы света на фотометрической скамье не превышает у опытных фотометристов  $1-2\%$ .

При пользовании люксметрами и приборами, служащими для целей световых измерений во внелабораторных условиях, ошибки измерений часто повышаются до  $10-15\%$ . Приборы для измерения оптической плотности проявленного изображения дают ошибку измерений порядка  $3-5\%$ .

## В. Объективная фотометрия

Результаты светотехнических измерений, основанных на методах визуальной фотометрии, сильно зависят от индивидуальных свойств глаза наблюдателя. Для достижения большей точности, а главное — ускорения

процесса световых измерений применяются специальные приборы — фотоэлементы, которые под влиянием падающего на них света создают электрические токи, могущие быть измеренными электрическими приборами.

Принципиально для объективного фотометрирования могут быть использованы фотоэлементы различных типов. Однако в практике фотометрии используют обычно лишь селеновые фотоэлементы с фотоэффектом в пограничном слое, так как: 1) эти фотоэлементы не требуют приложения к ним какого-либо внешнего напряжения, 2) чувствительность фотоэлементов достаточно высока (300—500  $\text{мкА/лм}$ ), 3) кривая спектральной чувствительности селеновых элементов близка к кривой видности глаза (рис. 16) (для полного сравнения спектральных характеристик глаза и селенового фотоэлемента перед ним может быть установлен специальный светофильтр), 4) селеновые фотоэлементы обладают достаточным постоянством своих свойств при работе, 5) они просты в изготовлении и удобны в эксплуатации.

Селеновый фотоэлемент состоит из очищенной от окислов железной пластины, покрытой путем возгонки тонким слоем селена, поверх которого с помощью катодного распыления наносится тонкий слой золота или платины (рис. 17). На поверхности селена между ним и слоем

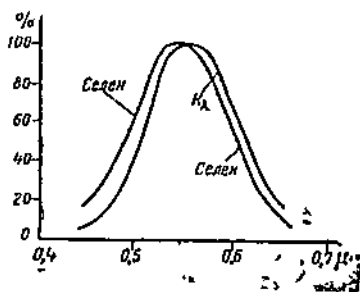


Рис. 16. Кривые спектральной чувствительности селенового фотоэлемента и глаза

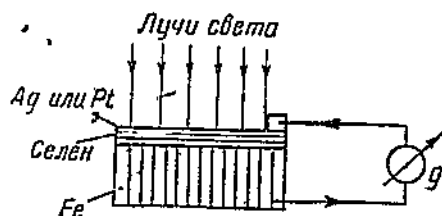


Рис. 17. Схема устройства селенового фотоэлемента и глаза

платины образуется запирающий слой, обладающий односторонней проводимостью. Под действием света на границе между селеном и слоем платины образуются электроны, которые проникают через запирающий слой и создают ток во внешней цепи от железной пластинки (положительно-го электрода) к платиновому слою (отрицательному электроду).

В зависимости от величины падающего на фотоэлемент светового потока сила тока внешней цепи изменяется, причем в случае короткого замыкания фотоэлемента сила тока в широких пределах пропорциональна освещенности (кривая 1, рис. 18а).

В практических условиях фотоэлемент замкнут на измерительный прибор, обладающий некоторым сопротивлением. Это сопротивление нарушает отмеченную пропорциональность между освещенностью фотоэлемента и фототоком, причем нарушение пропорциональности оказывается тем значительнее, чем больше сопротивление измерительного прибора (кривые 2, 3, 4, 5 на рис. 18а).

Обычно при работе с селеновыми фотоэлементами принимают меры для использования полной их мощности и получения прямолинейной зависимости фототока от освещенности. Для этого при малых величинах последней применяют измерительные приборы с большим сопротивле-

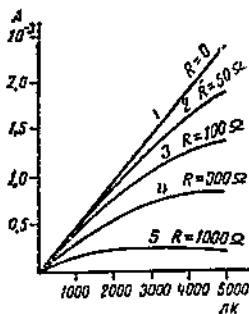


Рис. 18а. Зависимость силы тока селенового фотоэлемента от освещенности

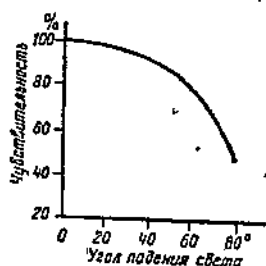


Рис. 18б. Зависимость тока селенового фотоэлемента от угла падения света

нием, при измерении же больших освещенностей пользуются измерительными приборами с малым сопротивлением (обычно шунтируют прибор с большим сопротивлением). Нужно отметить, что величина фототока селенового фотоэлемента изменяется при постоянной освещенности в зависимости от угла падения на него световых лучей, как это видно на рис. 18б. В специальных случаях приходится принимать меры, чтобы устранить эту зависимость хотя бы для углов меньше 60°.

Селеновые фотоэлементы, снабженные специальным фильтром, приравливающим спектральную характеристику их к кривой видности, могут быть применены во всех устройствах, предназначенных для измерения световых величин. Ошибка при измерениях световых величин с помощью таких фотоэлементов не превосходит 1—2%.

Селеновые фотоэлементы с измерительными приборами могут быть применены, конечно, и для измерения оптических плотностей проявленного фотографического слоя. На рис. 19 изображена для примера схема такого фотоэлектрического денситометра, предложенного Л. Лобелем. Этот аппарат состоит из лампы  $L$ , освещающей два селеновых фотоэлемента  $A$  и  $B$ , соединенных друг с другом с помощью потенциометра  $H$ , в цепь которого включен высокочувствительный гальванометр  $C$ . Перемещая движок  $D$  потенциометра, добиваются нулевого показания гальванометра. Если затем перед фотоэлементом  $B$  поместить пленку  $F$ , плотность которой подлежит измерению, а перед фотоэлементом  $A$  — фотографический клин  $K$ , то, передвигая последний, можно добиться сохранения нулевого показания

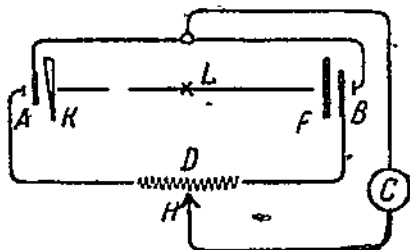


Рис. 19. Фотоэлектрический денситометр Лобеля

гальванометра, что при соответствующей градуировке клина обеспечит непосредственное определение величины измеряемой плотности.

Фотоэлектрические люкметры получили широкое применение для измерений освещенности экранов кинотеатров, печатающего окна копировальных аппаратов и т. д. Особенно же распространение получили они за последнее время для целей измерения освещенности снимаемых объектов при киносъемке.

Пример 14. Если эталонный источник света с силой света  $I_2=100$  свечей находится от экрана на расстоянии 0,3 м и уравнение освещенностей экрана фотометра достигнуто при расстоянии испытуемого источника света от экрана фотометра 1,7 м, то сила света испытуемого источника составит  $I_{исп} = 100 \left( \frac{1,7}{0,3} \right)^2 = 3210$  свечей.

Пример 15. Пусть измеренная освещенность экрана шарового фотометра составляет 140 лк, постоянная шара равна 0,7, тогда световой поток источника света равен  $F = \frac{140}{0,7} = 200$  лм.

В начале развития кинематографии съемки производились только при солнечном свете под открытым небом, поэтому все первые кинофильмы имели натурные сюжеты.

В дальнейшем, когда стали снимать игровые фильмы и съемки пришлось перенести в закрытые помещения (павильоны), освещение декораций достигалось устройством раскрывающихся стеклянных крыш. Требования к художественному качеству фотографий и желание уменьшить зависимость киносъемки от погоды заставили кинооператоров помимо солнечного света использовать несовершенные дуговые лампы, применявшиеся в то время фотографами.

Специальные осветительные приборы для киносъемок с мощными дуговыми лампами выпустила в 1904 г. впервые фирма „Юпитер“\*. С 1909 г. в киностудиях стала применяться ртутная лампа низкого давления (постоянного тока), выпущенная Купер Хевитом.

Ртутная лампа просуществовала недолго и в связи с повышением требований в области эффектного освещения снова уступила свое место дуговым лампам.

Осветительные приборы с дуговыми лампами в течение 20 с лишним лет являлись для кинематографии основными источниками света, получившими громадное распространение во всех киноателье мира. За это время они были сильно усовершенствованы и улучшены. В 1920 г. были изготовлены первые типы кинопржекторов.

Начиная с 1920 г., в ателье стали снова проникать ртутные лампы (переменного тока). Примерно с 1925 г. в Америке начали применять для киносъемок лампы накаливания, которые получили весьма быстрое распространение в связи с появлением специальных сортов пленки и требованиями звукового кино к бесшумности источников света.

Однако по многим причинам, которые будут рассмотрены ниже, лампы накаливания не смогли полностью вытеснить дуговые лампы, и в настоящее время для освещения при киносъемке кроме ламп накаливания применяют дуговые лампы. За последние годы в киностудиях некоторое распространение получили также разные типы газоразрядных ламп, в частности — флуоресцирующие источники света. В специальных случаях киносъемки иногда продолжают пользоваться светом ртутных ламп.

Наконец, солнечный свет чрезвычайно широко применяется для киносъемок часто в комбинации с искусственными источниками света.

\* Это и является причиной того, что осветительные приборы с дуговыми лампами на кинопроизводстве часто называют юпитерами

## § 5. Законы излучения

Источники света излучают световую энергию за счет нагрева излучателя—обычно твердого тела (температурное излучение), свечения газов под влиянием электрического тока (электrolюминисценция) или комбинарованного действия температурного излучения и электrolюминисценции.

К температурным излучателям следует отнести лампы накаливания, к люминисцирующим излучателям—различные газосветные трубки, к комбинированным—дуговые лампы.

### А. Температурное излучение

Для изучения законов температурного излучения в светотехнике обычно рассматривают излучение идеального излучателя, так называемого абсолютно черного тела. Абсолютно черное тело по своему определению поглощает целиком падающую на него световую энергию, т. е. обладает для всех волн света коэффициентом поглощения, равным единице. Так как

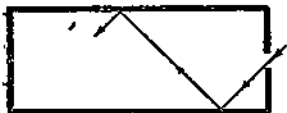


Рис. 20. Схема абсолютно черного тела

в природе таких тел не существует, то изготовляют искусственное абсолютно черное тело, которое (рис. 20) представляет в простейшем виде нагреваемый электрическим током угольный полый цилиндр, в котором имеется небольшое, отверстие. Лучи света, попадающие в это отверстие, многократно отражаются от стенок цилиндра, практически поглощаются полностью.

Кирхгоф вывел закон, согласно которому отношение излучательной способности тела к его поглощательной способности для всех тел одинаково и зависит от температуры нагрева тела и от длины волны.

Под излучательной способностью  $E_{\lambda,T}$  понимают интенсивность излучения единицы поверхности, т. е. отношение мощности излучаемой с единицы поверхности в интервале длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda + d\lambda$  к величине  $d\lambda$  этого интервала излучения данной волны  $\lambda$ . Поглощательная способность для излучения данной волны  $\lambda$  есть отношение поглощаемой энергии к энергии падающей. Если обозначить через  $E_{\lambda,T}$  излучательную способность, а через  $A_{\lambda,T}$ —поглощательную способность любого тела, то:

$$\frac{E'_{\lambda,T}}{A'_{\lambda,T}} = \frac{E''_{\lambda,T}}{A''_{\lambda,T}} = \dots S_{\lambda,T} = \text{const.} \quad (35)$$

Величина  $A_{\lambda,T}$  не может быть более единицы и максимально равна ей. Отсюда ясно, что наибольшей интенсивностью излучения будет обладать так называемое абсолютно черное тело, для которого  $A_{\lambda,T}=1$ , и что тело тем лучше испускает лучи, чем лучше оно их поглощает. Следовательно, наилучшим температурным излучателем является абсолютно черное тело, поглощающее всю падающую на его поверхность энергию.

Принимая в формуле (35) значение для  $A_{\lambda,T}=1$ , получим, что  $S_{\lambda,T} = E_{\lambda,T}$ , т. е. величина  $S_{\lambda,T}$  соответствует излучательной способности абсолютно черного тела при определенной длине волны  $\lambda$  и температуре  $T^\circ \text{K}$ .

Изучая зависимость  $S_{\lambda,T}$  от температуры и длины волны, Планк вывел, что:

$$S_{\lambda,T} = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}, \quad (36)$$

где постоянные  $c_1 = 3,7 \cdot 10^{-12} \text{ вт} \cdot \text{см}^2$ , а  $c_2 = 1,43 \text{ см} \cdot \text{град}$ .

Стефан и Больцман нашли закон (именуемый законом Стефана-Больцмана), который гласит, что мощность энергии излучения с единицы поверхности абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры  $T$ :

$$P = \sigma T^4 \text{ вт/см}^2. \quad (37)$$

где  $\sigma = 5,74 \cdot 10^{-12} \text{ вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{град}^{-4}$ .

Связь между длиной волны, соответствующей максимуму интенсивности излучения, и абсолютной температурой была найдена Вином и носит название закона смещения Вина:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2900 \text{ см} \cdot \text{град}, \quad (38)$$

где  $\lambda_{\text{max}}$  — длина волны (выраженная в микронах), соответствующая максимальной мощности излучений,  $T^\circ$  — абсолютная температура в градусах Кельвина.

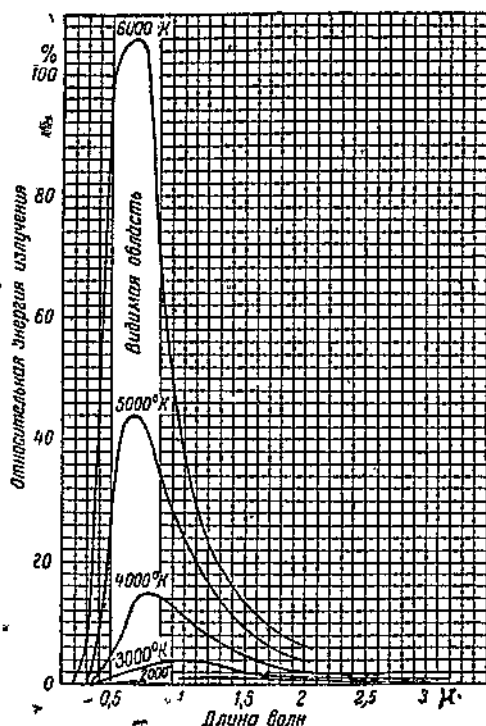


Рис. 21. Кривые интенсивности излучения абсолютно черного тела

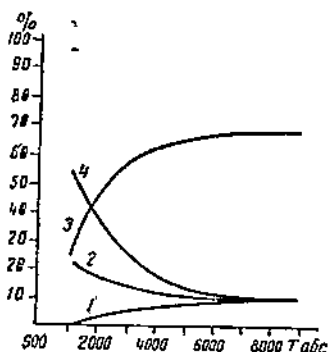


Рис. 22. Относительное изменение интенсивности цветов в спектре абсолютно черного тела

На рис. 21 представлены кривые интенсивности излучения черного тела для разных температур в зависимости от длины волны. Кривые по-



строены для 2000, 3000, 4000, 5000 и 6000° К, причем светлая часть сетки ограничивает видимую часть спектра. Из кривых следует, что наибольшая интенсивность излучения попадает в интервал от 0,4  $\mu$  до 0,76  $\mu$  при температуре абсолютно черного тела в 6000° К. Относительное изменение интенсивности отдельных цветов в спектре абсолютно черного тела в зависимости от температуры представлено на рис. 22 в виде кривых 1, 2, 3 и 4, причем кривая 1 относится к синему цвету (интервал длин волн от 0,4 до 0,5  $\mu$ ), кривая 2 — к зеленому и желтому цветам (интервал длин волн 0,5 — 0,585  $\mu$ ), кривая 3 — к оранжевому цвету (интервал длин волн от 0,585 до 0,605  $\mu$ ), кривая 4 — к красному цвету (интервал длин волн от 0,605 до 0,7  $\mu$ ).

Яркость абсолютно черного тела с увеличением температуры непрерывно увеличивается (табл. 9).

Таблица 9

| Температура абсолютно<br>черного тела (в °К) | Яркость (в сб) |
|----------------------------------------------|----------------|
| 1200                                         | 001,44         |
| 1400                                         | 0,2429         |
| 1600                                         | 2,085          |
| 1800                                         | 11,31          |
| 2000                                         | 44,28          |
| 2200                                         | 136,3          |
| 2400                                         | 342,6          |
| 2600                                         | 778,9          |
| 2800                                         | 1552,0         |
| 3000                                         | 2827,0         |
| 3500                                         | 9432,0         |
| 4000                                         | 23400,0        |
| 5000                                         | 84100,0        |
| 6000                                         | 198300,0       |

Законы излучения для абсолютно черного тела с некоторыми поправками применимы для большинства материалов, используемых в качестве тела накаливания источников света.

Прежде чем познакомиться со свойствами различных излучателей, дадим понятие о цветовой и яркостной (черной) температурах. Яркостной (черной) температурой какого-либо тела называют такую температуру черного тела, при которой оно имеет ту же яркость, что и данный излучатель, нагретый до некоторой температуры, носящей название истинной (или действительной). Цветовая температура данного излучателя есть та температура черного тела, при которой оно излучает световой поток, одинаковый по цветности со световым потоком рассматриваемого излучателя. Применяемые в качестве тел накала современных источников света материалы делятся на серые и селективные излучатели.

Серыми излучателями называются тела, поглощательная способность которых одинакова для излучения всех длин волн. Представителем таких излучателей является уголь, нашедший широкое применение в кинемато-

графии в качестве электрода для дуговых ламп. Интенсивность излучения серых излучателей определяется законом Планка (36), в который вводится в качестве множителя поглощательная способность  $A < 1$ .

$$E_{\lambda, T} = A c_1 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}. \quad (39)$$

Для угля  $A \approx 0,7$ .

Для серых излучателей цветовая температура равна действительной температуре. Спектральные кривые интенсивности серых излучателей пропорциональны соответствующим кривым абсолютно черного тела.

У селективных излучателей поглощательная способность непостоянна по спектру и, следовательно, спектральный состав и цвет излучения отличаются от состава и цвета излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Цветовая температура селективных излучателей отличается от истинной их температуры. К селективным излучателям относятся вольфрам, молибден, осмий и др.

Рассмотрим вольфрам, представляющий значительный практический интерес как основной материал для нити лампы накаливания.

Если принять среднюю излучательную способность абсолютно черного тела по всему спектру излучения и для любой температуры за 100%, то зависимость относительной величины средней излучательной способности вольфрама от температуры представится в виде кривой (рис. 23). Данная кривая показывает, что при температуре 1900° вольфрам излучает 26% мощности излучения абсолютно черного тела, при температуре 2300° мощность излучения увеличивается до 30%, при температуре 3500° — до 37%. Что же касается видимой части спектра, то при любой температуре распределение энергии в спектре излучения таково, что у вольфрама в видимой части спектра излучается большая доля общей мощности, чем у абсолютно черного тела.

Такая селективность излучения является одним из преимуществ вольфрама для изготовления тела накала электрических ламп.

Другим достоинством вольфрамовой нити является возможность значительного нагрева вольфрама, что, как следует из закона Стефана-Больцмана, увеличивает общую мощность излучения, а в соответствии с законом смещения Вина увеличивает долю излучения, приходящуюся на видимую часть спектра.

При этом весьма ценным свойством вольфрама является относительно небольшая испаряемость его при накаливании и прочность вольфрамовых нитей.

В табл. 10 приведены некоторые характеристики вольфрамовой нити.

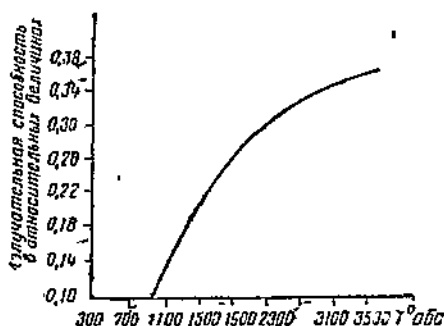


Рис. 23. Излучательная способность вольфрама в функции температуры

| Истинная температура (в °K) | Цветовая температура (в °K) | Яркостная температура (в °K) | Излучаемая мощность $\beta$ (в $\text{вт/см}^2$ ) | Световая отдача (в $\text{лм/вт}$ ) | Испарение с 1 $\text{см}^2$ в 1 сек. (в $\text{г/см}^2 \text{сек.}$ ) |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 2 000                       | 2 038                       | 1 857                        | 24,04                                             | 2,84                                | $5,51 \cdot 10^{-13}$                                                 |
| 2 200                       | 2 242                       | 2 026                        | 38,2                                              | 5,52                                | $3,92 \cdot 10^{-11}$                                                 |
| 2 400                       | 2 452                       | 2 192                        | 57,7                                              | 9,39                                | $1,37 \cdot 10^{-9}$                                                  |
| 2 600                       | 2 668                       | 2 356                        | 83,8                                              | 14,34                               | $2,76 \cdot 10^{-8}$                                                  |
| 2 800                       | 2 878                       | 2 516                        | 117,6                                             | 20,53                               | $3,51 \cdot 10^{-7}$                                                  |
| 3 000                       | 3 094                       | 2 678                        | 160,5                                             | 27,25                               | $3,04 \cdot 10^{-6}$                                                  |
| 3 300                       | 3 422                       | 2 903                        | 245,4                                             | 38,90                               | $5,02 \cdot 10^{-5}$                                                  |
| 3 600                       | 3 760                       | 3 110                        | 360,0                                             | 50,70                               | $4,86 \cdot 10^{-4}$                                                  |

## В. Электролюминисценция

В то время как при температурном излучении преимущественная часть мощности переходит в инфракрасное излучение, бесполезное с точки зрения светотехники, при электролюминисценции, т. е. свечении газов и паров под влиянием электрического разряда, можно достигнуть излучения основной части мощности в видимой части спектра.

Если к электродам, помещенным в трубку с разреженным газом или паром, подвести электрическое напряжение, то при определенных условиях разрежения и величине напряжения наблюдается свечение газа (пара) в трубке. При этом вблизи анода образуется светящийся слой (рис. 24), а за ним — более темное пространство и далее на большей части длины трубки — светлое анодное или положительное сечение  $ab$ . У катода образуется тонкий светящийся слой  $e$ , затем помещается темное пространство  $ed$  (Гитторфа или Крукса) и отрицательное катодное свечение  $dc$ . Между положительным и отрицательным свечением находится темный промежуток  $bc$  (Фарадеево пространство). Описанный характер свечения в трубке носит название тлеющего разряда. При этом напряжение распределяется равномерно лишь на участке  $ad$  разрядной трубки, у анода и катода имеют место скачки потенциала, так называемые катодное и анодное падения напряжения. Анодное падение напряжения сравнитель-



Рис. 24. Электрический разряд.

но невелико, так как находящиеся в трубке свободные электроны с большой скоростью движутся к аноду, катодное же падение напряжения оказывается значительным вследствие образуемого возле катода мало-подвижными ионами газа объемного заряда.

Катодное падение напряжения является причиной непрерывности процесса тлеющего разряда; под влиянием значительной разницы потенциалов у катода положительные ионы с большим ускорением ударяются

о катод и освобождают из него электроны, идущие к аноду, поддерживая разряд.

В тлеющем разряде световое излучение достигается использованием либо отрицательного, либо положительного свечения, причем чаще всего используется положительное свечение. При движении электронов к аноду встречающиеся с ним атомы газа или пара испытывают упругие и неупругие удары: первые ведут к повышению температуры газа и обычно не создают видимого свечения; вторые приводят к возбуждению атома, которое сказывается в увеличении энергии атома вследствие передачи ему энергии удара электрона. Электрон атома за счет дополнительной энергии переносится с нормальной внутренней орбиты на более внешние орбиты, отвечающие большему содержанию энергии в атоме. Затем возбужденный атом снова возвращается в первоначальное состояние, причем отдает полученный им избыток энергии в виде излучения.

Это излучение носит название резонансного и характеризуется отдельными спектральными линиями, которые при выборе соответствующих газов (паров) и давления их в трубке могут находиться в пределах видимой части спектра.

Так, например, разряд в парах натрия при низком давлении дает резонансное излучение с длиной волны  $\lambda = 0,5890 - 0,5896 \mu$ , довольно близкой к максимуму кривой видности. Резонансное излучение зависит от давления газа в трубке и при повышении его уменьшается, так как поглощается газом.

Возбужденные атомы могут и не отдавать своей энергии в виде светового излучения. Сталкиваясь с другими атомами, возбужденные атомы испытывают так называемые удары второго рода, в результате чего имеет место нагревание газа. При неупругом ударе возможна также ионизация атома газа или пара, которая происходит вследствие переноса электрона атома на весьма удаленные орбиты ионов и полного освобождения электрона атома\*. При встрече электронов происходит нейтрализация их (т. е. рекомбинация). Эта рекомбинация, если она происходит у стенок трубки, всегда является причиной выделения тепла. Кроме того, она вызывает дополнительное (нерезонансное) излучение как в видимой, так и в невидимой части спектра.

При повышении давления нерезонансное видимое излучение вначале возрастает, затем падает и снова возрастает; в соответствии с этим существуют газосветные лампы низкого и высокого давления.

Увеличение плотности тока при тлеющем разряде приводит к сильной бомбардировке катода положительными ионами. В таком случае катод становится источником термоионной эмиссии, катодное падение напряжения резко уменьшается и тлеющий разряд переходит в дуговой\*\*, причем источником света служит положительное свечение газа.

Изменение спектра газосветных ламп в сторону приближения его к спектру дневного света при сохранении высокой светоотдачи газового разряда может быть достигнуто путем применения люминисцирую-

\* Это происходит при значительной энергии вызвавшего неупругий удар электрона.

\*\* Следует отметить, что термоионная эмиссия с поверхности катода может быть достигнута и с помощью внешнего источника энергии, например накала катода.

щих веществ, испускающих свой характерный свет под влиянием освещения их посторонними лучами. При этом согласно закону Стокса возбужденные лучи имеют большую длину волны, чем возбуждающие.

Люминисцирующие вещества, называемые люминофорами, весьма разнообразны по своим свойствам: некоторые из них имеют способность светиться более или менее продолжительное время (до нескольких часов) после предварительного освещения, другие же флуоресцирующие вещества после освещения их могут светиться лишь малые доли секунды, и потому свечение их заметно только во время освещения посторонним светом.

Простейшим видом флуоресценции является свечение газов и паров под действием освещения их резонансным излучением, т. е. излучением такой частоты  $\nu$ , что световой квант  $h\nu$  как раз равен энергии, необходимой электрону атома газа для перехода из нормального состояния в возбужденное. В светотехнике используется почти исключительно флуоресценция твердых тел.

На каждый поглощенный квант возбуждающего света излучается меньше одного кванта вследствие потерь энергии, не сопровождающихся излучением света. Отношение числа излученных квантов к числу поглощенных называется квантовым выходом и характеризует степень преобразования энергии люминофором.

Спектры флуоресцирующих веществ весьма разнообразны; они представляют собой обычно довольно широкие полосы в видимой части спектра, несколько перекрывающие спектры возбуждения.

Применяемые в светотехнике люминофоры представляют собой обычно сульфиды или силикаты (вещества типа  $ZnS$ ,  $CaO$  и т. д.), активированные тяжелыми металлами  $Cu$ ,  $Cd$ ,  $Mn$ , и т. д. Спектры излучения этих люминофоров представляют сплошные участки в видимой части.

Первые попытки применить люминофоры были сделаны около 30 лет назад Купер Хевитом, который использовал для изобретенных им ртутных ламп низкого давления экраны из родамина. В 1936 г. в США были изготовлены ртутные лампы с родаминowymi экранами со сроком службы в тысячу часов. Более удачным оказалось применение в ртутных лампах низкого давления фосфоров Ленарда, как например, активированного медью сернистого цинка; на этом принципе в настоящее время строятся в СССР и за границей наиболее экономичные и совершенные источники искусственного дневного света.

### С. Коэффициент полезного действия источника света

Всякий излучатель имеет ту или иную мощность излучения в области видимой части спектра наряду с излучением невидимых лучей. Применительно к кривой видности глаза и качествам излучателя можно найти коэффициент полезного действия генератора излучений.

Обозначим спектральную интенсивность излучения в промежутке между  $\lambda$  и  $\lambda + d\lambda$  через  $E_{\lambda, T}$ , тогда величина  $E_{\lambda, T} d\lambda$  представляет мощность излучения в пределах от  $\lambda$  до  $\lambda + d\lambda$ .

Если для источника света построить кривую зависимости спектральной интенсивности от длины волны (рис. 25), то площадь всей кривой в

пределах от длины волны  $\lambda=0$  до максимальной  $\lambda=\infty$  даст полный лучистый поток источника  $P = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} E_{\lambda,T} d\lambda$  ат. Видимые излучения заключаются лишь в пределах длин волн от 0,4 до 0,76  $\mu$  (точнее от 0,38

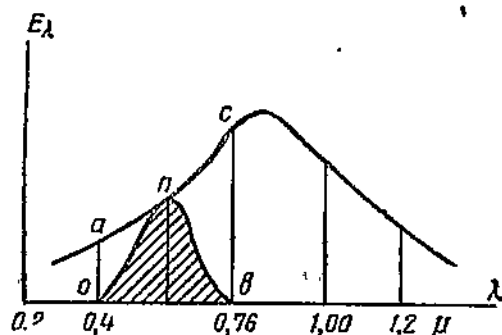


Рис. 25. Распределение энергии в спектре излучения

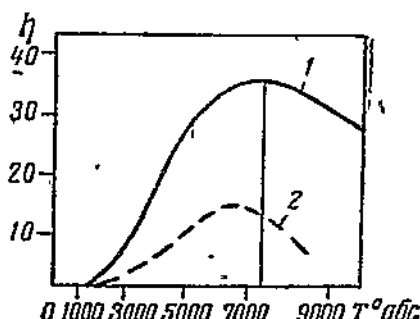


Рис. 26. Энергетический и световой к.п.д. абсолютно черного тела

до 0,78  $\mu$ ); поэтому полезная для глаза мощность излучателя будет представлять участок площади кривой (рис. 25) между перпендикулярами, восстановленными к оси абсцисс из точек, соответствующих  $\lambda=0,4 \mu$

и  $\lambda=0,76 \mu$ , т. е.  $P_n = \int_{\lambda=0,4}^{\lambda=0,76} E_{\lambda,T} d\lambda$ .

$$\text{Отношение } \eta_o = \frac{P_n}{P} = \frac{\int_{\lambda=0,4}^{\lambda=0,76} E_{\lambda,T} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} E_{\lambda,T} d\lambda}, \quad (40)$$

указывающее, какая часть энергии излучается в видимой для глаза части спектра, называется энергетическим коэффициентом полезного действия источника света.

Световой поток данного источника света изобразится площадью, заштрихованной на рис. 25 кривой *onb*, представляющей величину

$$F = \int_{0,4}^{0,76} K_\lambda E_{\lambda,T} d\lambda.$$

$$\text{Отношение } \eta_c = \frac{F}{P} = \frac{\int_{0,4}^{0,76} K_\lambda E_{\lambda,T} d\lambda}{\int_0^\infty E_{\lambda,T} d\lambda} \quad (41)$$

называется световым коэффициентом полезного действия источника света.

Для абсолютно черного тела энергетический коэффициент полезного действия не превосходит 40%, достигая максимума при 7000° К (кривая 1, рис. 26), световой же коэффициент полезного действия имеет максимальное значение в 14,5% при температуре в 6500° К (кривая 2).

Если бы источник света всю получаемую энергию превращал в лучи с длиной волны в 556 мμ, для которой относительная видимость равна единице, то к. п. д. такого источника был бы  $\eta_c = 1$ . При этом, как следует из определения светового ватта, 1 *вт* соответствует 621 *лм* ( $\frac{1}{621}$  — „механический эквивалент света“). При превращении всей подводимой энергии в излучение белого света в интервале длин волн от 0,4 μ до 0,76 μ, 1 *вт* эквивалентен 220 *лм* и, следовательно, 1 *лм* белого света эквивалентен  $\frac{1}{220}$  *вт*.

В табл. 11 приведены данные о световом коэффициенте полезного действия некоторых излучателей, основанных на температурном излучении. Кроме коэффициента полезного действия в таблице указана световая отдача источников света, которая выражается количеством излучаемых люменов на ватт расходуемой мощности (*лм/вт*).

Таблица 11

| Излучатель                                                    | Температура<br>(в °К) | Световая отдача<br>излучения<br>(в лм/вт) | Световой коэфф.<br>полезного действия<br>(в %) |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Излучение при $\lambda = 556$ мμ                              | —                     | 621                                       | 100                                            |
| Идеальный излучатель белого света . . . . .                   | —                     | 220                                       | 35,5                                           |
| Максимальная световая отдача абсолютно черного тела . . . . . | 6500                  | 90                                        | 14,5                                           |
| Солнце в зените . . . . .                                     | —                     | 86                                        | 13,8                                           |
| Вольфрам при плавлении . . . . .                              | 3663                  | 50                                        | 8,1                                            |
| Газополная вольфрамовая лампа накаливания . . . . .           | 2800                  | 20                                        | 3,2                                            |
| Пустотная вольфрамовая лампа накаливания . . . . .            | 2430                  | 10                                        | 1,6                                            |
| Лампа накаливания с угольной нитью . . . . .                  | 2135                  | 3,22                                      | 0,52                                           |
| Газонакаливаемая лампа . . . . .                              | 2000                  | 1,12                                      | 0,18                                           |
| Керосиновая лампа . . . . .                                   | 1850                  | 0,25                                      | 0,04                                           |
| Стеариновая свеча . . . . .                                   | 1750                  | 0,10                                      | 0,017                                          |

Значительно большие значения коэффициентов полезного действия имеют место у некоторых источников света, основанных на люминесценции (газосветные лампы) или на одновременном существовании электрического разряда в газах и температурного излучения (табл. 12).

Пример 16. Увеличение температуры абсолютного тела в два раза вызывает увеличение общей мощности излучения в  $2^4 = 16$  раз.

Пример 17. При абсолютной температуре в 500° К длина волны, соответствующая максимальной интенсивности излучения, равна

$\lambda = \frac{2900}{500} = 5,8 \mu$ , т. е. максимум излучения лежит в инфракрасной части спектра; тело в этом случае начинает обнаруживать слабое свечение.

Таблица 12

| Излучатель                                                                          | Световая отдача излучения в (лм/вт) | Световой коэффициент полезного действия (в %) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Излучение при $\lambda = 556 \text{ м}\mu$ . . . . .                                | 621                                 | 100                                           |
| Натриевая лампа при плотности тока $0,1 \text{ а/см}^2$ (лабораторная модель) . . . | 400                                 | 64                                            |
| Натриевая лампа промышленного типа                                                  | 50                                  | 8,1                                           |
| Ртутная лампа сверхвысокого давления                                                | 60                                  | 9,0                                           |
| Ртутная лампа высокого давления . . .                                               | 40                                  | 6,4                                           |
| Дуговая лампа интенсивного горения                                                  | 35                                  | 5,6                                           |
| Лампы „Игар“ . . . . .                                                              | 30                                  | 4,8                                           |
| Высоковольтная газосветная труба (неоновая или аргоновая) длиной 2 м                | 15,6                                | 2,5                                           |
| Дуговая лампа с пламенными углями постоянного тока . . . . .                        | 15                                  | 2,4                                           |
| Ртутная лампа низкого давления . . .                                                | 15                                  | 2,4                                           |
| Неоновая лампа тлеющего света . . .                                                 | 0,2                                 | 0,03                                          |

При повышении температуры до  $1000^\circ \text{K}$  цвет накаливаемого тела переходит в красный, и только при температуре абсолютно черного тела в  $1200^\circ \text{K}$  тело начинает светиться желтым светом. Чтобы абсолютно черное тело имело максимум интенсивности в желто-зеленой части спектра,

необходимо иметь абсолютную температуру накала:  $T^\circ = \frac{2900}{0,556} = 5290^\circ \text{K}$ .

Пример 18. Из кривой, изображенной на рис. 26, следует, что световой к. п. д. абсолютно черного тела достигает максимума при температуре  $6500^\circ$  и при дальнейшем росте температуры падает. Это объясняется сильным ростом ультрафиолетового излучения (в соответствии с законом смещения), бесполезного с точки зрения зрительного восприятия.

Пример 19. Зная световой коэффициент полезного действия источника света, легко найти и световую отдачу, т. е. число люменов, излучаемых на 1 вт потребляемой мощности. Для этого необходимо величину коэффициента полезного действия помножить на 621.

## § 6. Лампы накаливания

Лампами накаливания называются источники света, основанные на накаливании электрическим током нитей, помещенных в безвоздушную или наполненную инертным газом среду.

В качестве тела накаливания вначале имел широкое применение уголь, и угольная лампа, окончательно оформленная Эдисоном в 1879 г., была первой практически эксплуатируемой лампой накаливания. Угольная нить, приготовленная из специально обработанных растительных волокон, в



наиболее совершенных угольных лампах накаливалась в безвоздушной среде до температуры не выше  $1800^{\circ}\text{C}$ , обеспечивала лишь незначительную световую отдачу (около  $3,6 \text{ лм/вт}$ ). Дальнейшее улучшение техники изготовления нитей угольных ламп позволило повысить их световую отдачу до  $5 \text{ лм/вт}$ , что, однако, не могло оказаться достаточным. Причиной столь низкой отдачи угольных ламп является относительно небольшая температура нити накаливания.

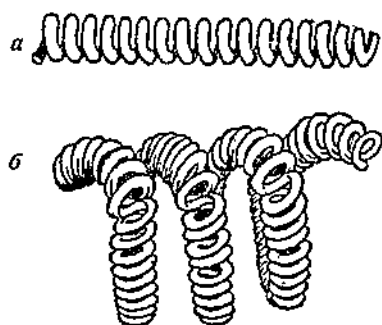


Рис. 27. Спиральная и биспиральная нити

На смену угольным лампам пришли вскоре лампы, в которых в качестве материала для построения нити накаливания применялись металлы тантал и осмий, выдерживающие сравнительно высокие температуры. Эти металлы благодаря ряду недостатков не получили большого распространения и были вытеснены вольфрамом (1903 г.).

Вольфрам, имеющий температуру плавления в  $3655^{\circ}\text{K}$ , накаливается в обычных пустотных лампах накаливания до температуры примерно в  $2500^{\circ}\text{K}$  и позволяет достичь световой отдачи в  $10\text{—}11 \text{ лм/вт}$ . Однако на этом техника вольфрамовой лампы не остановилась, и уже в 1912 г. были изготов-

лены вольфрамовые лампы, нить которых находится в атмосфере инертного газа, — так называемые газополные лампы.

В современной газополной лампе вольфрамовая нить помещена в стеклянную колбу, наполненную инертным газом. Наполнение колбы газом имеет целью предохранение нити от распыления, которое наблюдается у вольфрама вследствие большой температуры.

Так как при накале нити в атмосфере газа от поверхности ее вследствие конвекции и теплопроводности газа отводится значительное количество тепла, то понятно стремление уменьшить общую поверхность нити. Для этого нить свивают в спираль с очень близко прилегающими витками (рис. 27, а), причем такая спираль, как показывает опыт, в смысле охлаждения приближается к проволоке, имеющей диаметр, равный диаметру спирали.

Для наполнения колб газополных ламп применяются инертные газы — азот, аргон, криптон и ксенон. Наиболее экономичными являются лампы с наполнением из смеси криптона и ксенона, так как эта смесь обладает меньшей теплопроводностью, чем азот и аргон, и, следовательно, тепловые потери на охлаждение ламп могут быть уменьшены. Однако получение ксенона и криптона в промышленных масштабах еще только осваивается, поэтому обычно газополные лампы имеют наполнение из смеси аргона и азота ( $86\%$  аргона и  $14\%$  азота). Лампы мощностью менее  $60 \text{ вт}$  делают пустотными, но в целях унификации их тело накала изготавливается также с нитью спиральной формы.

В табл. 13 приведены данные, характеризующие влияние конструкции и газа, наполняющего колбу, на распределение потерь и световую отдачу вольфрамовой лампы накаливания мощностью  $100 \text{ вт}$  при сроке службы в 1000 часов.

Таблица 13

|                                | Пустотная<br>лампа | Лампа с<br>наполнением<br>аргоном | Лампа<br>с криптоном<br>и ксеноном |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Видимое излучение (в %)        | 7                  | 10                                | 13                                 |
| Невидимое излучение (в %)      | 86                 | 68                                | 76                                 |
| Потери в держателях (в %)      | 7                  | 3                                 | 2                                  |
| Потери в газе (в %)            | 0                  | 19                                | 9                                  |
| Общая рассеянная энергия (в %) | 100                | 100                               | 100                                |

Для характеристики баланса энергии у вольфрамовых ламп накаливания приводится табл. 14 для ламп различных мощностей.

Таблица 14

| Мощность<br>лампы<br>(в <i>вт</i> ) | Темпера-<br>тура нити<br>(в $^{\circ}\text{K}$ ) | Световая<br>отдача<br>(в <i>лм/вт</i> ) | Потери энергией (в %)                                        |                                                          |                                             |                                     |                                |                                                   |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                     |                                                  |                                         | свето-<br>вой отда-<br>чи за счет<br>охлаждения<br>держателя | Энергия, из-<br>лучаемая в<br>видимой ча-<br>сти спектра | Энергия,<br>излучаемая<br>вне козырь-<br>ка | Энергия,<br>поглощае-<br>мая колбой | Энергия,<br>отводимая<br>газом | Энергия,<br>отводимая<br>вводами и<br>держателями |
| 25                                  | 2535                                             | 10,2                                    | 2,3                                                          | 7,0                                                      | 91,2                                        | 7,0                                 | —                              | 1,8                                               |
| 60                                  | 2767                                             | 12,8                                    | 3,9                                                          | 7,6                                                      | 69,1                                        | 7,1                                 | 22,2                           | 1,6                                               |
| 100                                 | 2837                                             | 15,4                                    | 4,1                                                          | 9,3                                                      | 72,8                                        | 7,0                                 | 18,5                           | 1,7                                               |
| 200                                 | 2878                                             | 17,0                                    | 4,2                                                          | 10,2                                                     | 77,4                                        | 7,2                                 | 13,7                           | 1,7                                               |
| 500                                 | 2940                                             | 19,6                                    | 4,3                                                          | 11,4                                                     | 82,3                                        | 6,7                                 | 9,2                            | 1,8                                               |
| 1000                                | 2995                                             | 20,5                                    | 8,8                                                          | 12,0                                                     | 82,1                                        | 7,1                                 | 6,1                            | 4,8                                               |

В табл. 15 приведены световые и электрические характеристики стандартных ламп, изготавливаемых в СССР (ОСТ-5154).

Экономичность вольфрамовой лампы в значительной степени возрастает, если применяют двойное скручивание спирали нити накала (рис. 27, б). У таких „биспиральных“ ламп потери энергии на охлаждение газом и отвод тепла подводными к спирали ток, крючками меньше, чем у ламп с ординарной спиралью. Поэтому коэффициент полезного действия биспиральных ламп выше, чем у ламп с ординарной нитью. Зато механическая прочность этих ламп ниже в связи с облегчением замыкания отдельных спиралей друг с другом.

В табл. 16 приведены световые и электрические характеристики некоторых биспиральных ламп.

Несмотря на высокие температуры (до 3000°K) накала нити газополных ламп световой коэффициент полезного действия их измеряется немногими процентами (см. табл. 11). Во всяком случае они не оправдывают даваемого им иногда названия полуваттных (т. е. потребляющих  $\frac{1}{2}$  *вт* на одну свечу). Только очень мощные (в 3000 и более ватт) лампы потребляют около 0,6 *вт* на свечу, а маломощные лампы имеют

Таблица 15

| Напряжение<br>(в в) | Мощность<br>(в вт) | Световой<br>поток<br>(в лм) | Световая<br>отдача<br>(в лм/вт) | Д о п у с к и |      |                    |                   |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|------|--------------------|-------------------|
|                     |                    |                             |                                 | Мощность      |      | Световая отдача    |                   |
|                     |                    |                             |                                 | макс.         | мин. | макс.<br>(в лм/вт) | мин.<br>(в лм/вт) |
| 110—120—127         | 15                 | 124                         | 8,25                            | 16,5          | 13,5 | 9,24               | 7,26              |
|                     | 25                 | 225                         | 9,00                            | 27,5          | 22,5 | 10,68              | 7,92              |
|                     | 40                 | 380                         | 9,50                            | 44,0          | 36,0 | 10,64              | 8,36              |
|                     | 60                 | 645                         | 10,75                           | 66,0          | 54,0 | 11,83              | 9,68              |
|                     | 100                | 1275                        | 12,75                           | 110,0         | 90,0 | 14,03              | 11,48             |
|                     | 150                | 2175                        | 14,50                           | 105           | 135  | 15,95              | 19,05             |
|                     | 200                | 3050                        | 15,25                           | 220           | 180  | 16,78              | 13,73             |
|                     | 300                | 4875                        | 16,25                           | 330           | 270  | 17,38              | 14,63             |
|                     | 400                | 6760                        | 16,90                           | 440           | 360  | 18,59              | 15,21             |
|                     | 500                | 8725                        | 17,45                           | 550           | 450  | 19,20              | 15,71             |
|                     | 750                | 13690                       | 18,25                           | 825           | 675  | 20,08              | 16,43             |
|                     | 1000               | 19000                       | 19,000                          | 1100          | 900  | 20,90              | 17,10             |
| 220                 | 25                 | 191                         | 7,65                            | 27,5          | 22,5 | 8,57               | 6,73              |
|                     | 40                 | 336                         | 8,40                            | 44,0          | 36,0 | 9,41               | 7,39              |
|                     | 60                 | 540                         | 2,00                            | 66,0          | 54,0 | 10,08              | 7,92              |
|                     | 100                | 1000                        | 10,0                            | 110           | 90,0 | 11,00              | 9,00              |
|                     | 150                | 1710                        | 11,41                           | 165           | 135  | 12,55              | 10,27             |
|                     | 200                | 2510                        | 12,56                           | 220           | 180  | 13,82              | 11,30             |
|                     | 300                | 4100                        | 13,65                           | 330           | 270  | 15,02              | 12,29             |
|                     | 400                | 5760                        | 14,40                           | 440           | 360  | 15,84              | 12,96             |
|                     | 500                | 7560                        | 15,12                           | 550           | 450  | 16,63              | 13,61             |
|                     | 750                | 12230                       | 16,31                           | 826           | 675  | 17,94              | 14,63             |
|                     | 1000               | 172000                      | 17,20                           | 1100          | 900  | 18,92              | 15,48             |

Таблица 16

| Напряжение<br>(в в) | Световой поток<br>(в лм) | Мощность<br>(в вт) | Световая отдача<br>(в лм/вт) |
|---------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|
| 110—127             | 900                      | 71                 | 12,69                        |
| 110—127             | 1300                     | 96                 | 13,54                        |
| 230                 | 1300                     | 109                | 11,92                        |

большой расход энергии, больший даже, чем у пустотных ламп накаливания.

Кроме увеличения световой отдачи, повышение температуры накала нити ламп накаливания позволяет улучшить спектр излучений, приближая его к спектру солнца за счет увеличения энергии лучей с короткой длиной волны.

Это видно из рис. 28а, где приведены характеристики зависимости энергии излучений вольфрамовой лампы от длины волны для разных температур накала нити от 2600 до 3500°К.

Зависимость распределения излучения в видимой части спектра для газоподных и пустотных ламп накаливания изобразится в виде кривых 4 и 2 рис. 28б\*. На том же рисунке излучение белого цвета представится

\* На рисунке кривые 4 и 2 состоят каждая из двух кривых, отвечающих минимальной и максимальной температуре ламп данного типа.

прямой, параллельной оси абсцисс. Мы видим, что цветность излучения лампы накаливания далеко отстает от белого цвета, а также от цвета излучений голубого неба (кривая 3), облачного неба (кривая 1) и цвета солнца (кривая 5). Для улучшения спектра лампы накаливания нить помещают в колбу из голубого стекла, свободно пропускающую излучения в синей части спектра и задерживающую лучи в красной области спектра (так называемые лампы дневного света — кривая 6).

Срок службы нормальных ламп накаливания составляет 1000 часов, причем к концу этого срока световой поток лампы может уменьшить свою величину до 80% от первоначального.

Уменьшение светового потока в процессе горения у ламп накаливания происходит вследствие распыления нити, которое приводит к поглощению некоторой части светового потока, и в связи с уменьшением в ее диаметра.

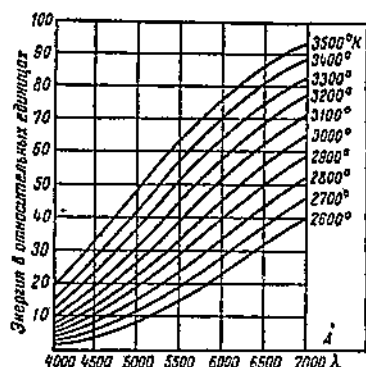


Рис. 28а. Распределение энергии излучения вольфрамовой лампы при понижении температуры нити. Соответственно уменьшению

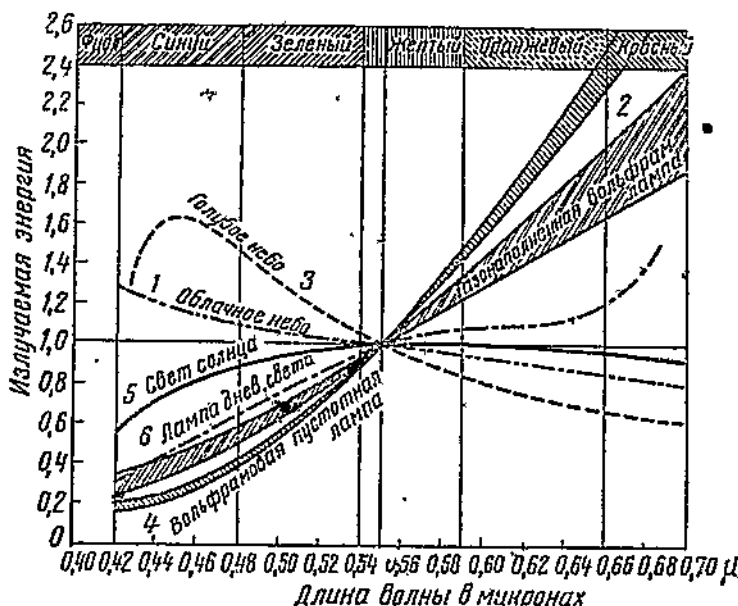


Рис. 28б. Распределение энергии излучения вольфрамовых ламп разных типов

толщины нити идет рост ее сопротивления, падение потребляемого тока и мощности. Так как потребляемая при этом мощность падает медленнее, чем световой поток, то световая отдача лампы с течением

времени уменьшается. Зависимость светового потока, силы тока, мощности и световой отдачи от числа часов горения газополных ламп представлена на рис. 29 (кривые 1, 2 и 3).

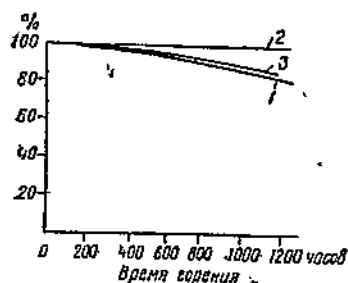


Рис. 29. Изменение характеристик газополных ламп в процессе горения

за собой уменьшение срока службы ламп, который не превосходит 100 часов, понижаясь у некоторых типов ламп до 30 и менее часов\*.

Применяемые для киносъемки лампы накаливания с газовым наполнением имеют обычно более высокую температуру накала нити, чем нормальные газополные лампы. Это делается с целью повышения световой отдачи ламп и улучшения спектральной характеристики излучений и приближения спектра лампы к спектру дневного света. Кроме того, с ростом температуры нити увеличивается энергия излучения в области коротких волн, к которым чувствительны фотографические эмульсии.

Повышение температуры накала нити у киносъемочных ламп накаливания влечет за собой уменьшение срока службы ламп, который не превосходит 100 часов, понижаясь у некоторых типов ламп до 30 и менее часов\*.

Таблица 17

| Лампы<br>„Фотофлуд“ | Мощность<br>(в <i>вт</i> ) | Световой<br>поток (в <i>лм</i> ) | Световая<br>отдача<br>(в <i>лм/вт</i> ) | Срок службы<br>(в часах) |
|---------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| № 1                 | 250                        | 8 650                            | 34,6                                    | 3                        |
| № 2                 | 500                        | 17 000                           | 34,0                                    | 6                        |
| № 3                 | 1 000                      | 33 500                           | 33,5                                    | 10                       |

В целях повышения габаритной яркости тела накаливания\*\* нить киносъемочных ламп накаливания располагают весьма компактно, как показано на рис. 30, *a* и *b*. При этом спирали расположены в одной плоскости в целях облегчения фокусировки лампы, а крепление нити обеспечивает устойчивость спиралей во время горения.

В табл. 18 приведены некоторые характеристики изготавливаемых в СССР для напряжения 110—120 в газополных ламп для киносъемки.

В табл. 19 даны характеристики некоторых американских ламп для киносъемки, рассчитанных на напряжение 110 — 120 в.

\* В некоторых случаях (например при цветных съемках) американской практики киносъемки находит себе применение лампы накаливания с особо сокращенным сроком службы (лампы „Фотофлуд“), данные которых приведены в табл. 17.

\*\* Различают обычно поверхностную и габаритную яркость тела накаливания. Поверхностная яркость нити определяется делением силы света на площадь проекции поверхности тела накала, полученной для того же направления, как и сила света. Габаритная яркость равна отношению силы света лампы к площади габарита тела накаливания. Габаритная яркость определяет пригодность данного источника света для работы вместе с оптическими системами — отражателями и линзами.

Таблица 18

| Мощность<br>(в <i>вт</i> ) | Минимальная<br>габаритная<br>яркость (в <i>сб</i> ) | Максимальная<br>сила света<br>(в свечах) | Световой<br>поток<br>(в <i>лм</i> ) | Световая<br>отдача<br>(в <i>лм/вт</i> ) | Длина<br>лампы<br>(в <i>мм</i> ) | Диаметр<br>колбы<br>(в <i>мм</i> ) | Высота<br>светового<br>центра (в <i>мм</i> ) | Форма<br>колбы                       | Максимальные<br>размеры<br>светящегося<br>тела (в <i>мм</i> ) | Срок<br>службы<br>(в часах) |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 10 000                     | 2 780                                               | 32 000                                   | 280 000                             | 28,0                                    | 430                              | 250                                | 305                                          | Шаро-<br>образная                    | 73 × 24                                                       | 100                         |
| 5 000                      | 1 820                                               | 20 000                                   | 127 500                             | 25,5                                    | 350                              | 200                                | 250                                          | То же                                | 55 × 20                                                       | 100                         |
| 3 000                      | 1 010                                               | 10 000                                   | 72 300                              | 24,1                                    | 375                              | 95/120                             | 180                                          | Цилиндрич.<br>с шаровым<br>утюжением | 39 × 16                                                       | 100                         |
| 2 000                      | 973                                                 | 6 100                                    | 47 400                              | 23,7                                    | 360                              | 80/105                             | 120                                          | То же                                | 32,5 × 13,5                                                   | 100                         |
| 1 000                      | 839                                                 | 2 500                                    | 22 200                              | 22,2                                    | 240                              | 70                                 | 135                                          | Цилиндрич.                           | 18 × 13,5                                                     | 100                         |
| 500                        | 540                                                 | 1 040                                    | 10 500                              | 21,0                                    | 135                              | 65                                 | 75                                           | То же                                | 13 × 14,5                                                     | 100                         |

Таблица 19

| Мощность<br>(в <i>вт</i> ) | Световая отдача<br>(в <i>лм/вт</i> ) | Температура<br>(в °K) | Яркость нити<br>(в <i>сб</i> ) |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1 000                      | 24,2                                 | 3 185                 | 2 040                          |
| 9 000                      | 27,3                                 | 3 290                 | 2 630                          |
| 10 000                     | 31,0                                 | 3 350                 | 3 035                          |
| 30 000                     | 31,0                                 | 3 350                 | 3 035                          |

Яркости, достигаемые в лампах для киносъемки, относительно велики. Это непосредственно следует, например, из сравнения значений яркости табл. 18 и табл. 15, справедливой для нормальных ламп накаливания с обычным кольцеобразным (рис. 30, *с*) или, реже, зигзагообразным (рис. 30, *д*) расположением спирали.

В соответствии с расположением спиралей продольная кривая распределения света изменится: для кольцеобразного расположения она имеет вид 1 (рис. 31а), для зигзагообразной — вид 2. Проекционная лампа для киносъемки благодаря специфическому расположению нити имеет продольную кривую распределения сил света, приведенную на рис. 31б.

В киносъемочной практике лампы накаливания применяют для напряжения в 110—120 *в*. Лампы, рассчитанные на более высокое напряжение, имеют при одинаковой мощности меньшую световую отдачу. Это непосредственно следует из рассмотрения и сравнения данных для изготавливаемых в СССР кинопроекционных ламп, рассчитанных на напряжение 220 *в* — табл. 20 с данными табл. 18.

| Напряжение<br>(в в) | Мощность<br>(в <i>вт</i> ) | Световой поток<br>(в <i>лм</i> ) | Световая<br>отдача (в <i>лм/вт</i> ) | Средний срок<br>службы<br>(в часах) |
|---------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 220                 | 1 000                      | 20 800                           | 20,8                                 | 100                                 |
| 220                 | 1 500                      | 31 900                           | 21,3                                 | 100                                 |
| 220                 | 3 000                      | 65 400                           | 21,8                                 | 100                                 |

Хотя более низкое напряжение обеспечивает большую экономичность ламп накаливания, однако в киностудиях лампы низкого напряжения применяются в виде исключения и то лишь небольших мощностей. При больших мощностях изготовление ламп для низкого напряжения испытывает огромные технологические трудности — главным образом в связи со значительными токами, нагружающими вводы лампы, и необходимостью применять специальные сорта стекла.

Вследствие выделения тепла в лампах накаливания колбы их нагреваются более или менее значительно в зависимости от мощности лампы, причем температура колбы достигает 200°C. Для предохранения вводов тока в лампу и ее цоколя от влияния высокой температуры колбы

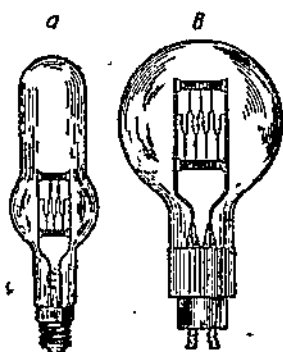


Рис. 30: *a, b* — расположение нити у вольфрамовых ламп для киносъемки

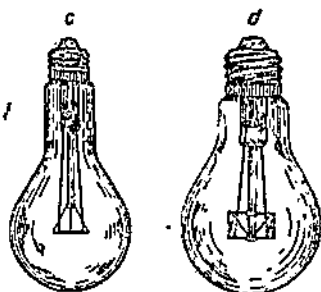


Рис. 30: *c, d* — кольцообразное и зигзагообразное расположение нити вольфрамовых ламп

лампы вблизи цоколя суживают, а также на пути конвекционных токов ставят слюдяные экраны.

В мощных киносъемочных газополных лампах температура колбы сильно увеличивается и достигает 300° С и более, вследствие чего применяются специальные сорта стекла. Для уменьшения влияния температуры на цоколь и вводы мощные газополные лампы эксплуатируются в фиксированном положении горения. При этом нормальным рабочим положением лампы считается подвеска ее цоколем вниз.

Верхняя часть колбы лампы делается в виде цилиндра, имеющего большой объем для правильной циркуляции конвекционных потоков газа; что предохраняет стекло лампы от размягчения под действием

высокой температуры. Кроме того, верхняя цилиндрическая часть колбы служит для конденсации на ее внутренних стенках паров вольфрама,

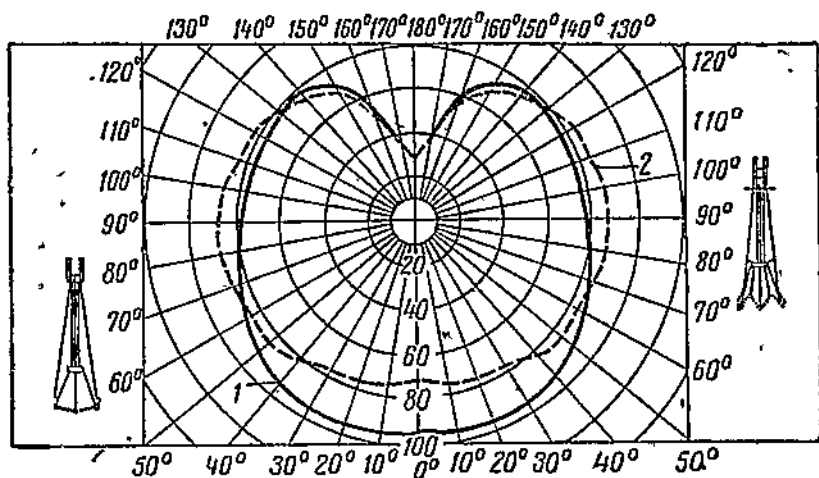


Рис. 31а. Продольная кривая распределения сил света у лампы с кольцеобразной и с зигзагообразной нитью

увлекаемых потоками газа. Это предохраняет рабочую часть колбы от потемнения.

Нужно отметить, что у мощных газополных ламп для кино съемки распыление нити идет в связи с высокой температурой ее накала весьма интенсивно. Указанная выше форма колбы лампы лишь частично препятствует почернению колбы в процессе горения. Для возможности уничтожения налета вольфрама на внутренних стенках рабочей части колбы в каждую лампу при ее изготовлении вводится крупнозернистый порошок вольфрама. При сотрясении лампы этот порошок стирает налет на внутренней части колбы и делает ее снова прозрачной.

Другим способом уменьшения потемнения колб является применение так называемых улавливающих сеток, которые помещаются вблизи нити, находятся под электрическим напряжением лампы и притягивают к себе распыленные частицы вольфрама.

Характеристики ламп зависят от подведенного к ним напряжения. Если питающее напряжение изменяет свою величину против номинального, то

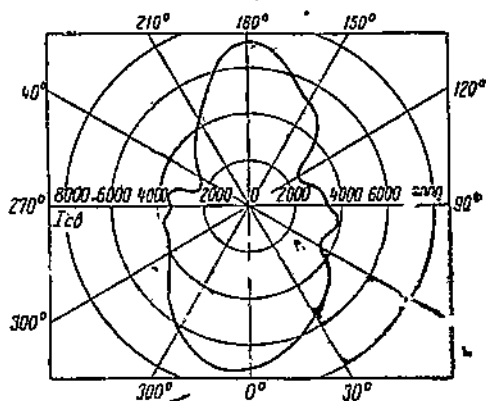


Рис. 31б. Продольная кривая распределения сил света у кино съемочной лампы



происходит прежде всего изменение температурного режима нити лампы. Характер изменения температуры (в процентах от нормальной) в зависимости от величины напряжения, выраженного в процентах от нормального для газополных ламп мощностью 200—1000 *вт* можно уяснить из рис. 32. В соответствии с изменением температуры нити изменяются величины

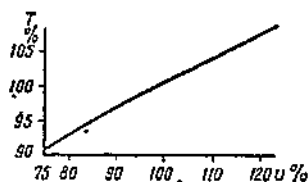


Рис. 32. Зависимость температуры нити вольфрамовой лампы от напряжения

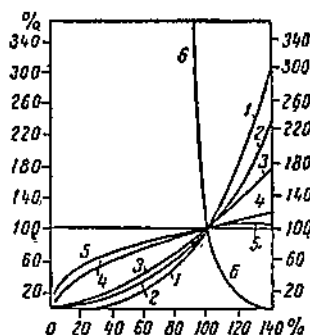


Рис. 33. Характеристики газополных ламп в функции приложенного напряжения

светового потока, световой отдачи, тока, мощности, сопротивления нити и срока службы лампы.

При изменении напряжения в пределах  $\pm 10\%$  от нормального изменение указанных выше величин пропорционально изменению напряжения в некоторой степени, величина которой зависит от мощности и типа лампы. Для нормальных газополных ламп можно считать, что для светового потока соответствующий показатель степени равен 3,5; для световой отдачи  $\approx 1,96$ ; для потребляемой лампой мощности — 1,54; для силы тока — 0,54.

Если обозначить через  $V_n$  нормальное для лампы напряжение в вольтах, через  $V_x$  — напряжение при заданном режиме, то для изменений светового потока будем иметь зависимость

$$\frac{F_x}{F_n} = \left( \frac{V_x}{V_n} \right)^{3,5}, \quad (42)$$

где  $F_x$  и  $F_n$  — соответственно световые потоки при заданном и нормальном режиме.

Отношение световой отдачи при заданном режиме ( $g_{ox}$  лм/вт) к световой отдаче лампы при нормальном режиме ( $g_{on}$  лм/вт) будет выражаться в виде:

$$\frac{g_{ox}}{g_{on}} = \left( \frac{V_x}{V_n} \right)^{1,96}. \quad (43)$$

Для отношения мощности при заданном режиме ( $P_x$  вт) к мощности при нормальном режиме работы лампы ( $P_n$  вт) получим

$$\frac{P_x}{P_n} = \left( \frac{V_x}{V_n} \right)^{1,54}. \quad (44)$$

Сопротивления нити лампы при заданном режиме ( $R_{x \text{ ом}}$ ) и в нормальном режиме ( $R_n \text{ ом}$ ) будут относиться, как

$$\frac{R_x}{R_n} = \left( \frac{V_x}{V_n} \right)^{0,46} \quad (45)$$

В противоположность перечисленным величинам срок службы лампы сокращается при росте напряжения. Если обозначить срок службы лампы при нормальном напряжении через  $L_n$  и при другом напряжении через  $L_x$ , то можно написать

$$\frac{L_n}{L_x} = \left( \frac{V_x}{V_n} \right)^{13,1} \quad (46)$$

На рис. 33 представлены зависимости светового потока — кривая 1, световой отдачи — кривая 2, потребляемой мощности — кривая 3, силы тока — кривая 4, сопротивления — кривая 5 и срока службы — кривая 6 от относительной величины напряжения лампы.

Частые включения и выключения лампы накаливания сказываются на уменьшении ее долговечности. Дело в том, что сопротивление электрическому току вольфрамовой нити газополной лампы в холодном состоянии примерно в 10—12 раз меньше, чем при горении лампы; поэтому пусковой ток через лампу в момент включения может достигнуть 10—12-кратной величины нормального. Не говоря уж о том, что такой ток несмотря на незначительное время его прохождения (до 1 сек.) может иногда вызывать повреждения в питающих электрических сетях, нужно отметить также, что прохождение его в продолжение даже долей секунды будет вызывать быстрое механическое разрушение нити, особенно при тех частых включениях и выключениях, которые обычны для ателье. Для уменьшения пускового тока мощных (свыше 2000 вт) газополных ламп в заграничной практике киностудий, а за последнее время и в СССР, применяются специальные реостаты, которые обычно выполняют функции пускового сопротивления, вводимого в цепь лампы лишь в момент ее включения и выключаемого при горении.

Газополные лампы для киносъемки получили за последнее время самое широкое применение по следующим причинам:

- 1) почти не требуют ухода (отсутствие углей, реостатов и пр.);
- 2) непосредственно (без трансформаторов и тому подобных устройств) включаются в сеть;
- 3) горят совершенно спокойно и в общем одинаково на постоянном и переменном токах в противоположность некоторым другим источникам света киностудий, которые требуют для рациональной работы постоянный ток;
- 4) дешевы в эксплуатации;
- 5) при горении не выделяют вредных газов;
- 6) могут быть изготовлены на нормальное для ателье напряжение и, следовательно, не имеют потерь в реостатах;
- 7) почти мгновенно после включения обеспечивают нормальный световой поток (у других источников света требуется некоторое время на установление нормального режима горения), что дает возможность вы-

ключать лампы накаливания на время коротких перерывов в съемке и, следовательно, сберечь электрическую энергию;

8) могут гореть с недокалом (постепенное повышение напряжения позволяет создавать некоторые весьма ценные эффекты, как например, эффект восхода солнца, и, кроме того, работа ламп накаливания с недокалом — главным образом при установке света\* — сберегает их от быстрого сгорания);

9) при горении почти не шумят.

Недостатками газополных ламп накаливания с точки зрения применения их для киносъемки являются:

1) большая чувствительность к механическим повреждениям, что касается не только стекла (колбы лампы), но в значительной степени и нити, которая не выносит тряски и передвижения, а также наклона лампы (более  $20^\circ$ ) во время горения;

2) значительная отдача тепла, что особенно заметно у мощных ламп;

3) незначительный срок службы, составляющий у ламп с повышенной светоотдачей 100 часов и менее.

В заключение необходимо отметить, что вольфрамовая газополная лампа в теперешнем ее выполнении, пожалуй, достигла пикового предела возможной для нее экономичности. Увеличение светоотдачи лампы накаливания возможно путем повышения температуры накала нити. Так как для вольфрамовой нити это практически невозможно, то может лишь возникнуть вопрос об изготовлении тела накала из других материалов, обладающих более высокой, чем вольфрам, температурой плавления. Такими материалами являются карбиды некоторых металлов: так, карбид тантала имеет  $T_{\text{плавл}} = 4150^\circ$ ; смесь из карбидов тантала и гафния плавится при  $4215^\circ$ . Изготовление ламп из этих материалов позволило бы поднять коэффициент полезного действия до  $80\%$  и выше. Однако применение нитей из указанных материалов затрудняется их значительной хрупкостью и трудностью обработки.

Пример 20. В соответствии с данными табл. 15 нормальная лампа накаливания в 500 *вт* (120 *в*) имеет световой поток 8725 *лм*; световая отдача лампы равна, следовательно,  $\frac{8725}{500} = 17,45 \frac{\text{лм}}{\text{вт}}$ ; средняя сферическая сила света равна  $I_0 = \frac{8725}{12,57} = 695$  свечей; расход энергии на одну свечу составит 0,72 *вт/с*.

Пример 21. Если нормальная лампа накаливания 110 *в* 1000 *вт* включена в сеть 120 *в*, т. е. на напряжение, равное  $\frac{120}{110} \cdot 100 = 109\%$  номинального, то в соответствии с кривыми рис. 36 световой поток лампы возрастет до  $135\%$  номинального, т. е. до 1350 *лм*, а срок службы упадет до  $35\%$  номинального, т. е. до 350 часов.

\* Под установкой света при киносъемке понимают процесс перестановки осветительных приборов для получения нужного характера освещения кадра.

## § 7. Дуговые лампы

Если два электрических проводника, находящихся под известным напряжением, сблизить до соприкосновения и затем раздвинуть, то в образовавшемся промежутке появится свечение, называемое вольтовой дугой. Дуга может быть осуществлена между любой парой проводников электрического тока, но для целей освещения получила распространение высокотемпературная и яркая дуга между электродами из угля.

Впервые вольтова дуга между угольными электродами была получена в 1802 г. проф. Петровым в Петербурге. Так как работы Петрова не были известны за границей, то честь изобретения дуги приписывается английскому ученому Дэви (1808 г.). Название свое вольтова дуга получила вследствие того, что впервые она была получена между горизонтальными электродами, причем благодаря циркуляции теплого воздуха светящийся столб между углями изогнулся в виде дуги.

Работа дуговой лампы как источника света основана на совместном существовании в электрической дуге газового разряда и температурного излучения. Дуговые лампы с угольными электродами могут быть разделены на:

1. Угольные дуги, работающие с беззольными углями, причем основным источником излучения является кратер положительного угля (простые дуги).
2. Угольные дуги, работающие с зольными углями, в которых свечение создается в основном газовым промежутком (пламенные дуги).
3. Высокоинтенсивные дуги, работающие с зольным положительным углем, в глубоком кратере которого образуется газовое облачко большой яркости, являющееся основным источником излучения (дуги интенсивного горения).

В зависимости от характера горения дуговые лампы делятся на дуги открытого горения, работающие со свободным доступом воздуха, и дуги закрытого горения — с затрудненным доступом воздуха к дуге.

По роду применяемого тока различают дуговые лампы постоянного и переменного тока.

### А. Электроды дуговых ламп

Электроды дуговых ламп должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) материал электродов должен при накаливании непосредственно переходить в газообразное состояние, минуя стадию плавления;
- 2) он должен быть в достаточной степени теплостойким и обеспечивать отсутствие разрушений в части, окружающей кратер при нагреве;
- 3) допускать высокую температуру нагрева кратера;
- 4) по всей длине электродов материал должен быть однородным;
- 5) материал электродов должен обеспечивать их достаточную механическую прочность;
- 6) иметь достаточную электропроводность;
- 7) пламенные материалы, вводимые в электроды, должны быть равномерно распределены в фитиле электродов.

В первых дуговых лампах электроды изготовлялись из древесного угля, но уже в 1843 г. Фуко предложил весьма быстро сгорающие древесные угли заменить углями, выпиленными из ретортного кокса. Затем в угли стали добавлять натуральный графит, обладающий из всех видов углерода наибольшей электропроводностью. В настоящее время основной составной частью угля является сажа минерального происхождения, которая имеет минимальное содержание золы.

Для угольного производства наиболее пригодной является так называемая тяжелая сажа с удельным весом 2,03—2,05 с содержанием золы не более 0,50%, вполне сухая и чистая. Кроме сажи и графита, в состав угля может быть введен более дешевый ретортный уголь, имеющий удельный вес около 1,9 и содержащий 0,50% влаги и 0,18% золы, получаемый на раскаленных стенках реторт в газовом производстве. Применяется также нефтяной кокс, представляющий собой черную блестящую губчатую массу, являющуюся продуктом перегонки нефти в ретортах. Нефтяной кокс содержит до 1% золы и при предварительном обжиге при температуре около 1400°С теряет летучие вещества (0,4%), причем удельный вес его в накаленном состоянии составляет 1,84. Сажа в виде пыли или мелко измельченный кокс смешивается со связующим веществом — каменноугольной смолой. Смола перед употреблением обезживается и освобождается от летучих примесей путем прогрева при температуре около 200°С. Применение каменноугольной смолы обуславливается низкой ценой, малой зольностью (0,06%), большой вязкостью и содержанием углерода, остающегося до 30% в угле при обжиге, что увеличивает его плотность.

Производство однородных углей ведется следующим образом: все твердые вещества, получаемые не в порошкообразном виде, подвергаются тщательному измельчению, и, так как при многократном размоле и просеивании в них могут попасть железные опилки, их пропускают через специальную магнитную очистительную машину. Размельченный и очищенный материал развешивается соответственно рецептам и засыпается в мешальные машины, куда вводится также и нагретая до 120° каменноугольная смола. Полученная из мешалок угольная масса поступает на бегуны, подогреваемые паром для получения большой пластичности. На особых штамповальных молотах из полученной массы изготовляют цилиндрические патроны весом около 45 кг, называемые „куличами“; размеры этих куличей точно соответствуют размерам угольных гидравлических прессов.

Прессование осветительных углей производится на горизонтальных гидравлических прессах при давлении до 400 атм. Поршень пресса, входя постепенно в рабочий цилиндр, уплотняет, сжимает и, выпрессовывая, выбрасывает через мундштук угольные стержни длиной в 1 м с сечением, соответствующим диаметру выбранного мундштука. Марка углей при этом отгискивается специальным роликом, находящимся у мундштука. Полученные сырые угли должны обязательно подвергнуться сильному обжигу. Если угли недостаточно обожжены, то вследствие малой электропроводности при горении они начинают нагреваться по всей длине, что портит металлические части дуговых ламп и нарушает нормальный процесс горения дуги. Обжиг углей должен происходить по возможности без доступа воздуха, чтобы уголь при этом не выгорал. Для этого

угли помещают в цилиндрические тигли диаметром 200 мм и высотой 120 мм из огнеупорной глины, затем засыпают угольным порошком, после чего крышки снаружи тщательно обмазываются глиной. Обжиг производится в печах системы Мантгейма в течение 15 суток, причем температуру углей медленно доводят до 1500°C и после прогрева в течение 24 часов плавно уменьшают до нормальной температуры помещения.

Из углей при накаливании удаляются непрочные составные части. После обжига увеличивается механическая прочность и электропроводность углей; они приобретают серостальной цвет и металлический звон. После разубки и проверки на прямизну на наклонной стальной доске осветительные угли постунают в отделочное отделение, где у однородных бесфитильных углей выравниваются оба торца, а затем один из них на шлифовальном станке затачивается на конус. Для обточки угля применяют исключительно карбундовые круги.

При производстве пламенных и фитильных углей употребляют также в качестве шлакующих веществ борную кислоту  $B(OH)_3$  и буру  $Na_2B_4O_7$ . Для получения пламени белого цвета употребляют плавиковый шпат  $CaF_2$  и фтористый церий  $CeF_3$ , для получения желтого и золотисто-желтого света — только плавиковый шпат и, наконец, для получения красноватого оттенка пламени — фтористый стронций  $SrF_2$ . Фитильная масса связывается калиевым жидким стеклом  $SiO_2K_2O$ .

Изготавливаются фитильные угли, так же как и однородные, но при прессовании применяют мундштук особой конструкции, позволяющий получать угли в виде трубок.

После промывки жидким стеклом фитильного отверстия в обожженных углях они наполняются на ручных прессах фитильной массой и постунают в сушильную печь. Процесс сушки продолжается около суток и происходит при температуре в 60—80°C. Для повышения электропроводности углей их часто покрывают электролитическим путем медной оболочкой.

Строение пламени в дуге постоянного тока с чистыми угольными электродами, горящими в условиях свободного доступа воздуха, представлено на рис. 34а.

К кратеру 1 прилежит газовое облачко 2 синеватого цвета, окруженное темножелтой оболочкой и отделенное от внешнего ореола пламени 3 темным пространством 4. Последнее заполнено парами углерода при температуре ниже той, которая соответствует красному калению.

В ореоле 3, охватывающем электроды по поверхностям 5 и 6, за счет доступа кислорода происходит сгорание углеродистых частиц, сопровождаемое незначительным свечением. Относительно высокая температура углей на поверхностях 5 и 6 создается частично за счет нагревания ореолом 3, а главное — вследствие подведения тепла от кратера. Области 7 и 8 оказываются также сильно нагретыми, особенно область 8 вследствие явлений конвекции. Основным источником света в такой дуге является кратер, в котором достигается температура испарения углерода.

В то время как кратер положительного угля имеет характерное углубление, отрицательный уголь приобретает заостренную форму. При

этом на раскаленной поверхности отрицательного угля образуется яркое пятно („отрицательный кратер“), являющееся основным источником электронной эмиссии катода. При переменном токе оба электрода приобре-



Рис. 34а. Строение пламени дуговой лампы с чистыми углями

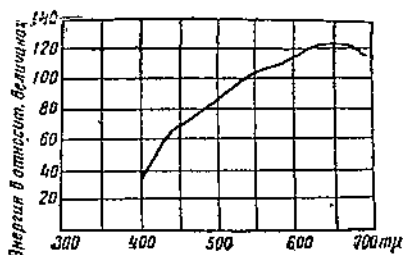


Рис. 34б. Спектральная характеристика дуги с чистыми углями

тают одинаковую заостренную форму. В связи с различной температурой кратера и отрицательного угля положительный уголь сгорает быстрее; поэтому диаметр его выбирают в 1,3—1,5 раза больше диаметра отрицательного угля. Плотность тока в чистых углях постоянного тока обычно выбирают для положительного угля около  $0,08 \text{ а/мм}^2$ , для отрицательного  $0,15 \text{ а/мм}^2$ . При переменном токе диаметр обоих углей одинаков; его выбирают, исходя из плотности тока  $0,1 \text{ а/мм}^2$ . Скорость

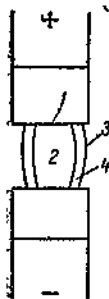


Рис. 35а. Строение пламени дуговой лампы закрытого горения

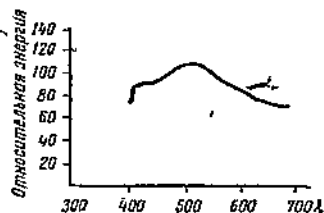


Рис. 35б. Спектральная характеристика дуги закрытого горения

сгорания чистых углей составляет от 10 до 20 мм в час. Спектральная характеристика дуги с чистыми углями приведена на рис. 34б.

Дуга закрытого горения имеет несколько отличную структуру пламени. На рис. 35а представлена структура дуги, горящей в атмосфере азота, из которой видно, что области 7 и 8 отсутствуют. Спектральная

характеристика дуги закрытого горения с чистыми угольными электродами изображена на рис. 35б. Для этого рода дуги характерно сильное излучение в области коротковолновой части спектра (придающее ее свету фиолетовый оттенок), плоские края углей и значительная величина дугового промежутка. У дуговых ламп закрытого горения с чистыми углями плотность тока составляет около  $0,05 \text{ а/мм}^2$  независимо от рода питающего тока. Скорость сгорания весьма невелика — около  $1\text{—}2 \text{ мм/в час}$ , что дает возможность использовать одну пару углей в течение 200—250 часов против 15—20 часов для дуговых ламп открытого горения с чистыми углями.

Температура и яркость углей закрытой дуги может быть значительно увеличена при повышении давления газа, в котором дуга горит. В табл. 21 приведены соответствующие данные, полученные Люммером.

Таблица 21

| Давление<br>(в атм.) | Абсолютная<br>температура<br>(в °К.) | Относитель-<br>ная яркость | Давление<br>(в атм.) | Абсолютная<br>температура<br>(в °К.) | Относитель-<br>ная яркость |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 0,1                  | 3875                                 | 0,59                       | 4,0                  | 5470                                 | 4,4                        |
| 0,2                  | 3985                                 | 0,70                       | 6,0                  | 5860                                 | 6,0                        |
| 0,4                  | 4085                                 | 0,835                      | 8,0                  | 6210                                 | 7,8                        |
| 0,6                  | 4145                                 | 0,925                      | 10,0                 | 6520                                 | 9,5                        |
| 0,8                  | 4180                                 | 0,975                      | 14,0                 | 7015                                 | 12,7                       |
| 1,0                  | 4200                                 | 1,0                        | 18,0                 | 7410                                 | 15,6                       |
| 2,0                  | 4900                                 | 2,5                        | 22,0                 | 7700                                 | 18*                        |

Дуговые лампы высокого давления практического применения не получили.

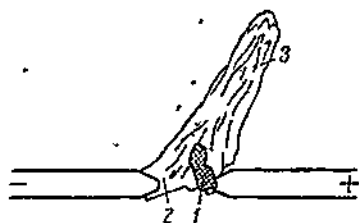


Рис. 36а. Строение пламени дуговой лампы с пламенными углями

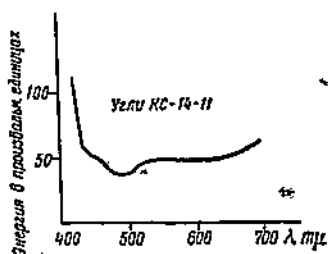


Рис. 36б. Спектральные характеристики пламенной дуги с углем „KC“

В пламенной дуге большое значение в световом балансе имеют светящиеся газы, что показывает структура пламени, изображенная на рис. 36а. Дуга характеризуется положительным 1 и отрицательным 2 пламенем, причем, поскольку пламенный материал вводится в положительный уголь,

\* Эта величина соответствует яркости в 255 000 сб.



источником света у пламенной дуги является положительное пламя 2 и продолжение его — „язык“ (или „борода“) 3, в который положительное пламя переходит. Положительный уголь обычно снабжается пламенным фитилем, диаметр которого составляет около 0,5 диаметра угля. Форма раскаленных частей пламенных углей не отличается от таковой для чистых углей одинакового рода тока. Плотность тока в пламенных углях доходит до  $0,4 \text{ а/мм}^2$ , особенно в дугах для киносъёмочного освещения. Скорость сгорания пламенных углей весьма значительна и достигает 50—60 мм в час, что приводит к сроку горения пары пламенных углей в 7—8 часов. Распределение энергии в спектре пламенной дуги сильно зависит от состава фитиля.

На рис. 36b приведена кривая относительного распределения энергии дуги с углями „КС“.

Особо следует отметить появление в последнее время пламенных углей высокой интенсивности, приобретших большое значение в кинопроизводстве.

Угли для дуг интенсивного горения (постоянного тока) отличаются увеличенным диаметром фитиля, содержащим большой процент фтористых соединений церия и других земель его группы. При горении раскаленные

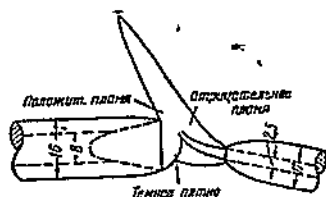


Рис. 37a. Строение пламени дуги высокой интенсивности

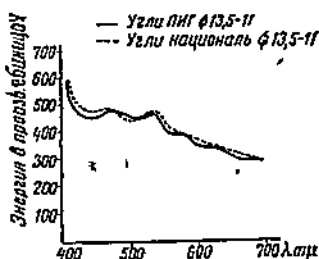


Рис. 37b. Распределение энергии в спектре интенсивной дуги

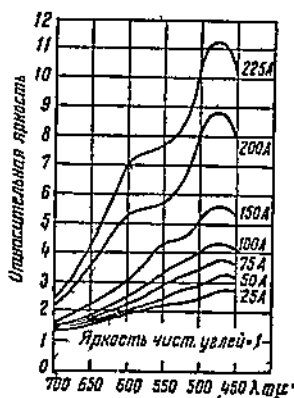


Рис. 37c. Относительное распределение энергии дуги интенсивного горения в зависимости от силы тока

газы, удерживающиеся внутри глубокого (15—18 мм) кратера, приобретают значительную яркость, превосходящую в 5—6 раз яркость кратера дуговых ламп с чистыми углями. В качестве отрицательного электрода обычно применяют чистый уголь с легко испаряющимся мягким угольным фитилем.

лем. Структура строения пламени дуги интенсивного горения представлена на рис. 37а. Пламя дуги состоит из положительного и отрицательного пламени, исходящего из соответствующих электродов, причем переход вещества из одного пламени в другое происходит в слабой степени. Область положительного пламени сравнительно однородна, в отрицательном пламени резко выделяется яркая зона, называемая „кратерным пучком“, характерная для пламенных дуг с большой плотностью тока в столбе.

Конфигурация отрицательного пламени мало зависит от наличия кратера и связана лишь с плотностью тока.

Для равномерного обгорания стенок кратера положительный уголь дуги постоянно вращается. В случае остановки вращения угля верхний участок кратера обгорает быстрее, и вследствие вытекания раскаленных газов яркость дуги заметно понижается (до  $50\%_{10}$ ). Плотность тока в интенсивных углях доходит до 1,5 и более ампер на квадратный миллиметр; скорость сгорания углей весьма значительна и составляет от 2 до 8 мм в минуту. На рис. 37б приведена кривая распределения энергии в спектре высокointенсивной дуги, а на рис. 37с показаны кривые относительного распределения энергии для различных сил тока по сравнению с энергией простой дуги. Кривые показывают большое излучение этих дуг в области коротких длин волн, что делает их спектр приближающимся к дневному и придает им большую ценность для киноъемок. Распределение энергии в спектре интенсивной дуги зависит от наличия кратера и величины тока. При больших силах тока изменение распределения энергии в спектре зависит только от изменения глубины кратера, независимо от того, какими путями оно получено (например, изменением расположения углей).

### В. Простая дуга

Устойчивому горению дуговой лампы при данной длине дуги отвечают определенное напряжение и сила тока. Спокойное горение дуги сохраняется при некотором изменении длины дуги и силы тока, потребляемой ею. При определенном увеличении силы тока наступает неустойчивый режим работы дуги, переходящий в неспокойное горение, сопровождаемое характерным шипением. Причина шипения — в увеличенном доступе воздуха к кратеру, который вследствие повышения силы тока чрезмерно растет. Благодаря интенсивному сгоранию угля на поверхности кратера образующиеся газообразные продукты горения прикрывают в этом месте уголь от доступа воздуха. После удаления этих газов воздух снова приходит в соприкосновение с частями кратера, и этот процесс продолжается непрерывно. В результате воздух интенсивно перемещается, что обнаруживается в виде шипения. Шипение дуги сопровождается появлением на поверхности кратера ряда светлых и темных пятен, приобретением конца отрицательного угля формы накаливаемого добела гриба и зелено-вато-голубой окраской самой дуги.

Зависимости напряжения дуги от силы тока, называемые вольтамперными характеристиками дуги, представлены для различных расстояний между углями, начиная от 1 и кончая 7 мм (рис. 38). Из этих кривых следует, что чем меньше длина дуги, тем меньше пределы изменения тока

могут быть допущены. Увеличение длины дуги сопровождается повышением напряжения на ее клеммах в том случае, если сила тока не изменяется. Форма кривых на рис. 38 показывает, что зависимость между напряжением на дуге  $v$  и силой тока  $i$  не может быть выражена законом Ома.

Сопротивление же дуги, выражаемое формулой  $R = \frac{v}{i}$ , может быть названо кажущимся сопротивлением, зависящим от многих причин, в част-

ности от давления газов в дуге, состава и температуры углей и т. п.

На основании формы кривых рис. 38 Айртон установила, что зависимость  $v = f(i)$  может быть представлена в виде

$$v = \alpha + \beta L + \frac{\gamma + \delta L}{i}, \quad (47)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  — постоянные, зависящие от свойств углей, а  $L$  — длина дуги, измеренная между внешней окружностью кратера и концом отрицательного угля.

Рис. 38. Вольтамперные характеристики дуги

При увеличении силы тока  $i$ , т. е. при уменьшении длины дуги, в пределе напряжение дуги становится (при  $i = \infty, L = 0$ ) равным постоянной  $\alpha$ , т. е.  $v_{\min} = \alpha$ , следовательно,  $\alpha$  — минимальное напряжение, которое необходимо для образования дуги.

Что же касается физического значения остальных констант, входящих в формулу (47), то  $\beta$  характеризует падение напряжения в дуге на единицу ее длины,  $\gamma$  и  $\delta$  зависят в значительной степени от электродов (уголь, металл и т. д.) так же, как и  $\alpha$ . Для примера укажем, что постоянные  $\alpha, \beta, \gamma$  и  $\delta$  для дуги постоянного тока с диаметром положительного угля в 11 мм и отрицательного в 9 мм имеют для чистых углей значения:  $\alpha = 38,9$ ;  $\beta = 2,07$ ;  $\gamma = 11,66$ ;  $\delta = 10,54$ .

Минимальное напряжение, необходимое для образования вольтовой дуги, согласно данным разных исследователей различно, что в значительной степени зависит от размеров и материалов углей. Можно считать, что в среднем для чистых углей величина  $\alpha = 36$  в. Напряжение на дуге при ее горении складывается из падения напряжения, происходящего вблизи анода — анодного падения напряжения ( $v_a$ ), из катодного падения напряжения, имеющего место вблизи катода ( $v_k$ ), и из падения напряжения между анодом и катодом, равным  $bL$ , где  $b$  есть падение напряжения на 1 см длины дуги.

Если учесть, что потеря напряжения в углях весьма мала благодаря их незначительному сопротивлению, то напряжение в дуге может быть представлено в следующем виде:

$$v = v_a + v_k + bL. \quad (48)$$

Величина анодного падения напряжения в среднем составляет около 30 в, а катодного — 8 в, причем эти величины зависят от диаметра, сорта и качества углей, а также от длины дуги. При прохождении тока через

дугу в ней возникает противоэлектродвижущая сила, величина которой изменяется с силой тока в незначительных пределах, составляя от 6 до 14 в. Общее напряжение для нормального горения дуговой лампы колеблется для чистых углей и открытой дуги примерно от 40 до 60 в в зависимости от силы тока. Для закрытой дуги оно увеличивается до 140—150 в за счет большой длины дугового промежутка.

Все пространство между углями в дуге наполнено ионами, имеющими как положительный, так и отрицательный заряды.

Положительно заряженные ионы притягиваются катодом и бомбардируют его поверхность с такой силой, что она раскаляется. С своей стороны эта раскаленная поверхность катода испускает электроны, которые, вылетая с большой скоростью, расщепляют нейтральные молекулы газа, находящиеся на пути от катода к аноду. При этом вновь образованные положительно заряженные ионы притягиваются к катоду, вызывая дальнейшее повышение температуры его поверхности, в то время как электроны движутся к аноду, отдавая ему свой заряд и вызывая его нагрев.

В результате движения ионов в цепи дуги появляется электрический ток, величина которого связана с количеством вылетающих из катода электронов. Число последних зависит от температуры катода, так как при достаточном его накале кинетическая энергия электронов превосходит силу притяжения ядер молекул.

Таким образом основным условием существования электрической дуги является наличие накаливаемого катода.

Температура нагрева углей дуги постоянного тока различна для разного рода углей, изменяется для одной и той же дуги от анода к катоду и не зависит от силы тока.

В среднем можно считать, что температура кратера анода достигает  $4200^{\circ}\text{K}$ , в то время как катод имеет температуру около  $3500^{\circ}\text{K}$ . Вследствие высокой температуры яркость кратера у чистых углей составляет около 15—16 ксб<sup>\*</sup>. Она не зависит от силы тока при небольших изменениях величины последнего.

Световой поток дуговой лампы постоянного тока с чистыми углями в основном создается кратером положительного угля, который дает 85% общего светового потока лампы. Дуга, являясь лишь проводником тока между углями, дает около 5% светового потока; наконец, катод создает 10% полного светового потока дуги. Таким образом простая дуга является в основном температурным „серым“ излучателем. Кривая распределения силы света дуги зависит от многих факторов: например, от диаметра углей, их материала, силы тока, напряжения, длины дуги, давления в окружающем дугу пространстве, от расположения углей и т. д. Если, например, угли расположены на одной вертикальной оси, то, как показывает продольная кривая распределения света (рис. 39, а), максимальная сила света будет под углом в  $30\text{—}40^{\circ}$  к горизонту. При углях, расположенных под прямым углом, свет отбрасывается вперед, причем продольная кривая распределения его подобна изображенной на рис. 39, б и имеет грушевидную форму.

<sup>\*</sup> Под яркостью углей обычно понимают среднюю яркость центральной зоны кратера (площадью 3—5 мм<sup>2</sup>).

Электрическая дуга является своеобразным подвижным проводником для тока; поэтому в магнитном поле на нее действуют электромагнитные силы. Это используется при конструировании мощных дуговых ламп, применяемых в киноаппарате. При больших силах тока дуга горит неспо-

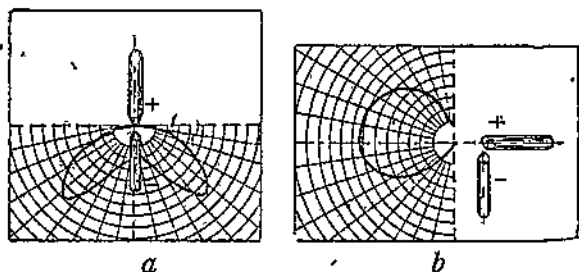


Рис. 39. Кривые распределения сил света дуги

койно и „бегает“ по окружности кратера. Применяя кольцеобразные магниты, можно заставить дугу центрироваться и гореть более спокойно за счет взаимодействия ее магнитного поля с магнитным полем магнита. Для усиления магнитных свойств успокаивающих магнитов последние иногда снабжаются обмоткой, включаемой последовательно с углями. Наконец, магнитные действия дуги используются для выдувания дуги в определенном направлении с целью изменить кривую распределения силы света.

К дуге переменного тока с некоторыми поправками может быть применено уравнение Айртон, однако при других значениях постоянных  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$ .

Напряжение, необходимое для поддержания дуги переменного тока, колеблется в зависимости от силы тока и длины дуги от 22 до 35 в.

При прохождении переменного тока через дугу сила тока дуги меняется синусоидально (или почти синусоидально), если источник тока, питающий дугу, имеет синусоидальную форму кривой напряжения. Напряжение же на дуге сильно искажается и значительно отличается от синусоиды. Кривые тока и напряжения проходят одновременно через свои нулевые значения; далее, однако, кривая напряжения резко поднимается вверх до значения в 40—50 в, сохраняя эту величину почти постоянной, до конца полупериода, где она быстро падает. При этом вблизи нулевых значений тока кривая напряжения дуги возрастает по своему абсолютному значению, образуя пики.

Поскольку максимальные значения напряжения и тока не совпадают, можно условно считать, что между напряжением и силой тока дуги существует определенный сдвиг фаз.

Коэффициент мощности увеличивается с ростом частоты и для обычной частоты у мощных дуг с чистыми углями равен 0,8—0,95.

Изменения во времени величины переменного тока обуславливают значительное снижение температуры раскаленных концов углей и тем самым уменьшают общий световой поток дуги сравнительно с дугой постоянного тока при тех же значениях силы тока.

На рис. 40 для сравнения представлены зависимости силы света дуги от величины токов — переменного и постоянного.

Из сравнения этих кривых видно, что, например, при силе тока  $i = 25$  а постоянный ток создает в 4,5 раза большую силу света, чем

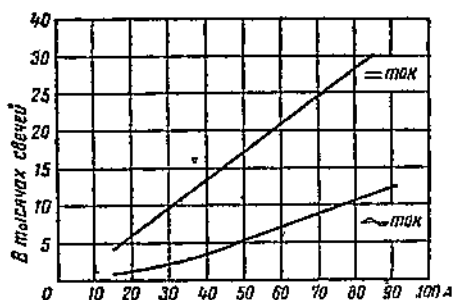


Рис. 40. Зависимость максимальной силы света дуги с чистыми углями от силы тока

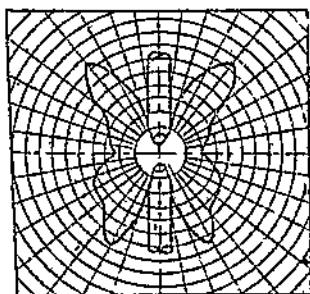


Рис. 41. Продольная кривая распределения силы света дуги переменного тока

переменный; при увеличении же силы тока разница в силах света дуги переменного и постоянного тока уменьшается.

Продольная кривая распределения силы света дуговой лампы переменного тока (рис. 41) обнаруживает отсутствие ясно выраженного крагера и состоит как бы из двух кривых двух дуговых ламп постоянного тока. Сама дуга дает 50% общей силы света, а каждый из углей — по 47,5%. Световая отдача дуговой лампы переменного тока примерно в 1,5—2 раза меньше, чем у дуговой лампы постоянного тока, питаемой током равной силы, составляя около 10—15 лм/вт.

Магнитные действия дуги используются также в мощных дуговых лампах переменного тока для получения более спокойного горения дуги. Вместо успокаивающего магнита с обмоткой, как это имеет место в дугах постоянного тока, в дугах переменного тока применяют медные короткозамкнутые кольца, расположенные таким образом, чтобы дуга помещалась вдоль их оси. Принцип работы этих колец заключается в возбуждении в них переменным магнитным полем дуги токов Фуко, взаимодействующих с магнитным полем дуги.

### С. Пламенная дуга

Дуговая лампа с пламенными углями является источником света, у которого наряду с температурным излучением углей огромное значение приобретает свечение газового промежутка.

В зависимости от качества углей световое излучение пламени дуги может составить до 50 и более процентов общего светового потока лампы. Вследствие этого пламенная дуга представляет собой источник света с относительно большой поверхностью свечения.

Вольтамперная характеристика пламенной дуги не отличается по форме от характеристики простой дуги и является «отрицательной». При этом зависимость напряжения от силы тока подчиняется уравнению Айртон, но при иных, чем у чистых углей, значениях постоянных  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$ .

Дуговая лампа с пламенными углями может гореть как на постоянном, так и на переменном токе, причем в последнем случае световой поток ее в 2—3 раза меньше того светового потока, который имеет дуга при питании постоянным током.

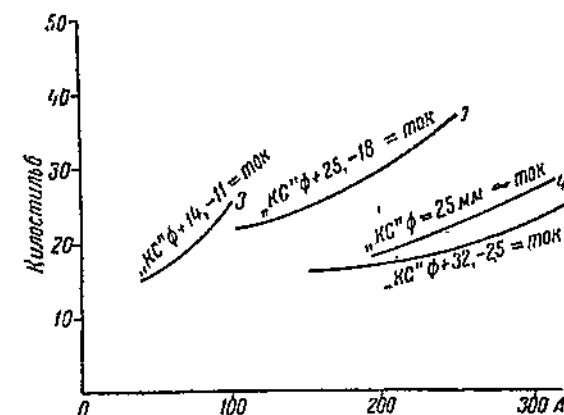


Рис. 42а. Зависимость яркости от тока дуги для углей «КС»

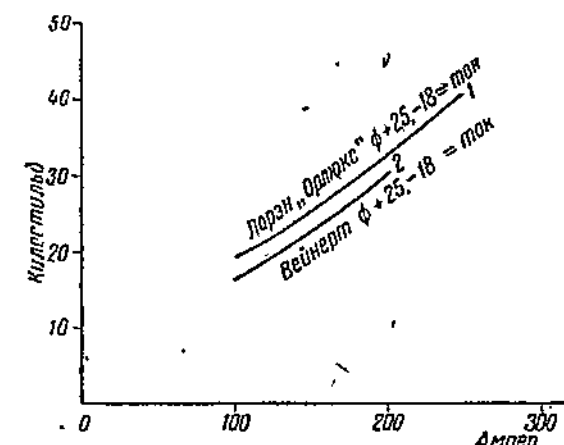


Рис. 42б. Зависимость яркости от тока дуги для заграничных углей

Яркость дуговой лампы с пламенными углями зависит от силы тока и качества углей и может иметь при постоянном токе значения от 15—16 ксб до 30—40 ксб.

Напряжение на клеммах дуги изменяется в зависимости от силы и рода тока, а также от качества углей и свойств неорганических соединений, введенных в фитиль углей. Для пламенных дуг постоянного тока напряжение составляет около 50—70 в, при переменном токе оно уменьшается до 40—50 в. Световые характеристики пламенных дуг зависят от рода применяемых углей. Мы ограничимся рассмотрением некоторых световых характеристик пламенных углей марки «КС» (кинсьемочные) завода «Электроугли», имеющих преимущественное применение в съёмочных ателех СССР.

Анализ пламенных углей «КС» показывает, что в оболочке (т. е. угле

без фтиля) находится до 98,5% чистого углерода и около 1,5% различных примесей, обычно  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Ti}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ . В фтиле пламенных углей «КС» заключается целый ряд редких земель — фтористый церий и др.

Яркость углей «КС» в значительной степени зависит от диаметра углей и силы тока. При уменьшении диаметра углей в связи с ростом плотности тока яркости углей «КС» возрастают. Кривые 1 и 2 рис. 42а, представляющие зависимости яркости дуги постоянного тока с пламенными углями «КС»,  $d_+ = 25 \text{ мм}$ ,  $d_- = 18 \text{ мм}$  и  $d_+ = 32 \text{ мм}$ ,  $d_- = 25 \text{ мм}$  показывают, что при более тонких углях яркость доходит до 36,5 ксб против 18 ксб у более толстых углей.

Кривая 1 справедлива для токов от 100 до 250 а, при меньших значениях тока должны быть взяты более тонкие углы. Кривая 3 на рис. 42а показывает характер изменения яркости для углей „КС“ с диаметром  $d_+ = 14$  мм и  $d_- = 11$  мм при изменении токов от 40 до 100 а.

При горении пламенной дуги на переменном токе яркость ее значи-

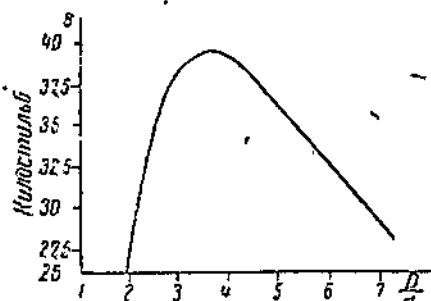


Рис. 43а. Зависимость яркости дуги от диаметра фтиля



Рис. 43б. Зависимость силы света дуги от диаметра фтиля

тельно падает и составляет для углей „КС“ диаметром 25 мм величину в 26,5 ксб при токе в 300 а (см. кривую 4 на рис. 42а).

Яркость углей „КС“ незначительно уступает яркости зарубежных пламенных углей одного и того же диаметра для равных сил токов. На рис. 42б приведены для иллюстрации кривые 1 и 2 зависимости яркости пламенных дуговых ламп с углями Лорэн „Орлюкс“ и Вейнерт.

Яркость пламенной дуги зависит от диаметра фтиля углей и силы тока.

На рис. 43а представлена зависимость яркости кратера положительного угля „КС“ от диаметра фтиля для силы тока 150 а при диаметре положительного угля в 22 мм (диаметр отрицательного угля—16 мм). По оси абсцисс отложены отношения диаметра угля  $D$  к диаметру фтиля  $d$ . Как видно из кривой, яркость кратера возрастает от 25 до 39 ксб, имея максимум при отношении  $\frac{D}{d} \approx 3$ . Это отношение обычно и соблюдается у углей типа „КС“.

Сила света дуговой лампы с пламенными углями также зависит от диаметра фтиля, причем характер этой зависимости тот же, что и для яркости. На рис. 43б представлена зависимость силы света от диаметра фтиля для дуговой лампы с пламенными углями на 150 а. Диаметр положительного угля—22 мм, диаметр отрицательного угля—16 мм, на оси абсцисс отложены значения  $\frac{D}{d}$ . Как следует из рис. 43а и 43б, максимумы кривых яркости и силы света несколько сдвинуты.

Для определенного соотношения  $\frac{D}{d}$  сила света дуговой лампы с пламенными углями является функцией потребляемой мощности. На рис. 44 приведена зависимость силы света пламенных дуг постоянного тока от величины последнего для углей  $d_+ = 25$  мм и  $d_- = 18$  мм. Угли



исследованных дуг были расположены по отношению друг к другу под углом в  $70^\circ$ , а сила света измерялась в направлении оси положительного угла. Из рассмотрения кривых 1, 2 и 3, соответствующих углям

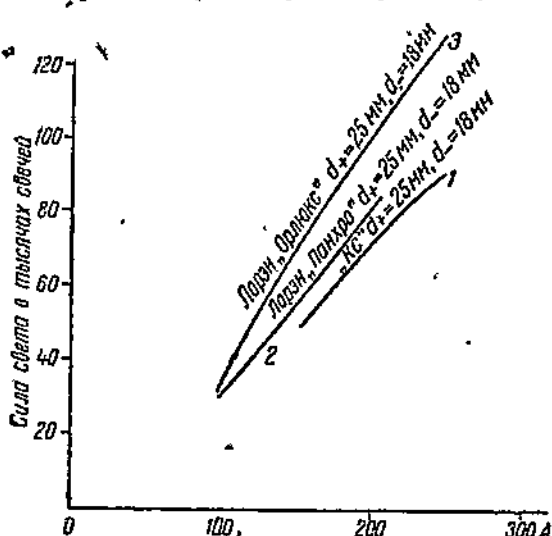


Рис. 44. Зависимость силы света дуги от потребляемого тока

„КС“, Лорэн „Панхро“ и Лорэн „Орлюкс“, видно, что угли „КС“ имеют примерно на  $25\%$  меньшую силу света, чем лучшие заграничные угли.

Для углей „КС“, горящих на переменном токе, работами НИКФИ установлено, что: 1) наиболее рациональное отношение диаметра угля к диаметру фитиля  $\frac{D}{d} = 2$ ; 2) сила

света на переменном токе в 2—3 раза меньше силы света углей постоянного тока; 3) горение углей „КС“ на переменном токе в общем менее спокойно, чем на постоянном, и наиболее устойчиво для углей

с фитилями в форме звездочки. В табл. 22 приведены некоторые данные, характеризующие применяемые в киностудиях угли.

#### Д. Высокоинтенсивная дуга

Дуговая лампа с интенсивными углями по своей природе является преимущественно дугой постоянного тока. В создании светового потока у интенсивной дуги еще более, чем у пламенной, возрастает роль газов, которые дают вместе со стенками кратера до  $60—80\%$  всего светового потока лампы. Повышение температуры кратера положительного угля достигается значительным увеличением плотности тока. В интенсивной дуге удастся достигнуть высоких температур не самого угля, но паров, расположенных в его кратере. Яркость в связи с высокой температурой паров редких земель фитиля у кратера интенсивных углей доходит в центральной части до  $90 \text{ ксб}$ . Излучаемый световой поток благодаря большим яркостям для обычных мощных интенсивных дуговых ламп примерно в 1,5 раза более светового потока пламенных углей для той же силы тока. За счет этого световая отдача интенсивных углей увеличивается, достигая  $35—40 \text{ лм/вт}$ .

К интенсивным углям не может быть применено уравнение Айртон, и вольтамперная характеристика интенсивной дуги лишь при относительно небольших токах отрицательна. При нормальных соответствующих рабочему режиму токах вольтамперная характеристика дуги имеет положительный характер, т. е. с ростом силы тока напряжение на дуге возрастает. Напряжение на клеммах дуговой лампы интенсивного горе-

Таблица 22

| Типы дуговых ламп                                                                               | Режим горения      |                                     | Длина дуги (в мм) | Средняя яркость<br>центральной зоны<br>кратера (в кcd) | Максимальная сила<br>света (в свечах) | Световой поток<br>(в лм) | Средняя отдача<br>(в лм/вт) | Скорость стора-<br>ния углей<br>(в мм/час) | Длина углей<br>(в мм) | Марка и диаметр<br>углей (в мм) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
|                                                                                                 | сила тока<br>(в а) | напряже-<br>ние<br>на дуге<br>(в в) |                   |                                                        |                                       |                          |                             |                                            |                       |                                 |
| Дуговая лампа с пламенны-<br>ми углями и ручной ре-<br>гулировкой (постоянный<br>ток) . . . . . | 150                | 65                                  | 20                | 36,0                                                   | 80 000                                | 320 000                  | 32,8                        | 65,—60                                     | 330                   | 22,—16<br>КС*                   |
| Дуговая лампа с пламенны-<br>ми углями и ручной ре-<br>гулировкой (переменный<br>ток) . . . . . | 150                | 35                                  | 15                | 18,0                                                   | 20 000                                | 180 000                  | 18,5                        | 47                                         | 330                   | 22, КС*                         |
| Дуговая лампа с пламенны-<br>ми углями и ручной ре-<br>гулировкой (постоянный<br>ток) . . . . . | 80                 | 50                                  | 12                | 27,0                                                   | 30 000                                | 100 000                  | 25,0                        | 75,—65                                     | 330                   | 14,—11<br>КС*                   |
| Дуговая лампа с пламенны-<br>ми углями и ручной ре-<br>гулировкой (переменный<br>ток) . . . . . | 80                 | 35                                  | 12                | 18,0                                                   | 7000                                  | 50 000                   | 18,0                        | 25                                         | 330                   | 14, КС*                         |

ия обычно выше, чем у пламенных дуг, и составляет 75—80 в. Большое значение у интенсивной дуги приобретает расположение углей; при оптимальном их расположении имеют место максимальная яркость, сила вета и наиболее устойчивый режим горения. Размеры кратера и его глубина зависят от расположения углей. Приведем некоторые характеристики интенсивной дуги с интенсивными углями советского изготовления марки „ПИГ“ (завод „Электроугли“).

Наивыгоднейшее положение отрицательного угля по отношению к положительному для углей „ПИГ“ согласно исследованиям НИКФИ зависит от диаметра углей и силы тока. В табл. 23 приведены соответствующие данные.

Таблица 23

| Диаметр углей<br>(в мм) |        | Режим горения      |                       | Оптимальный<br>угол наклона<br>отрицательного<br>угля к положи-<br>тельному (в °) | Максималь-<br>ная яркость<br>центральной<br>зоны кра-<br>тера (в ксб) |
|-------------------------|--------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| полож.                  | отриц. | сила<br>тока (в а) | напряже-<br>ние (в в) |                                                                                   |                                                                       |
| 16                      | 11     | 150                | 78                    | 15                                                                                | 64,7                                                                  |
| 13,5                    | 11     | 120                | 65                    | 25                                                                                | 61,7                                                                  |
| 11                      | 11     | 75                 | 55                    | 30                                                                                | 37,1                                                                  |

Яркость кратера положительного угля „ПИГ“ интенсивной дуги в различных зонах разная и убывает от центра кратера к его периферии.

На рис. 45 приведены кривые, характеризующие яркость кратера на различных расстояниях от центра кратера для углей „ПИГ“  $d_+=16$  мм и  $d_-=11$  мм при различных силах тока.

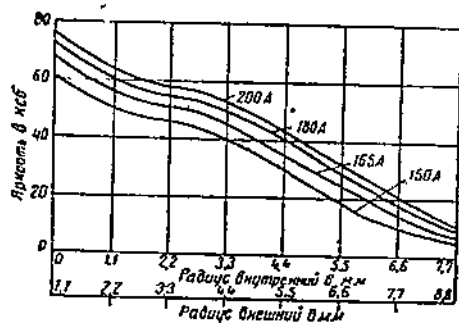


Рис. 45. Средняя яркость зон кратера углей „ПИГ“ при различных значениях тока

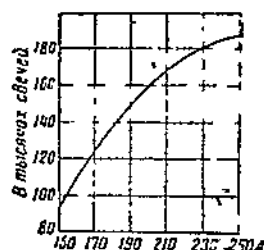


Рис. 46. Зависимость силы света интенсивной дуги от тока

На основании кривых рис. 45 следует, что: 1) яркость кратера распределяется по его площади весьма неравномерно; 2) при увеличении силы тока яркость кратера увеличивается.

Увеличение приложенного к интенсивной дуге напряжения при условии сохранения постоянной силы тока (за счет изменения длины дуги) также приводит к росту яркости дуги. Это можно видеть из данных табл. 24,

справедливой для углей „ПИГ“ диаметром  $d_+=13,5$  мм и  $d_-=11$  мм при постоянном значении силы тока  $i=120$  а.

Спектральная характеристика интенсивной дуги характеризуется линейчатым спектром наряду с непрерывным спектром (фоном). Рост силы тока не вызывает качественных изменений линейчатого спектра, при токах более 100 а наблюдается значительный рост интенсивности непрерывного фона.

Таблица 24

| Напряжение дуги (в в) | Яркость центра кратера (в ксб) | Длина дуги (в мм) | Диаметр кратера (в мм) | Глубина кратера (в мм) |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| 55                    | 56,4                           | 11                | 11,5                   | 7                      |
| 60                    | 56,7                           | 13                | 10,5                   | 7                      |
| 65                    | 57,8                           | 17                | 11,0                   | 7                      |
| 70                    | 59,5                           | 20                | 10,5                   | 7                      |
| 75                    | 61,7                           | 24,5              | 11,0                   | 8                      |
| 80                    | 64,5                           | 28                | 11,0                   | 8,5                    |

Сила света интенсивной дуги с углями „ПИГ“, измеренная в направлении оси кратера, при увеличении тока растет согласно кривой рис. 46, справедливой для углей  $d_+=16$  мм и  $d_-=11$  мм. Рост силы тока от 150 до 250 а вызывает увеличение силы света в два раза с 95 000 свечей до 190 000 свечей, однако дальнейшее изменение силы света при росте тока, как следует из характера кривой, замедляется.

Изменение величины подведенного к лампе напряжения также вызывает изменение силы света интенсивной дуги. На рис. 47а приведена зависимость (кривая 1) силы света высокоинтенсивной дуги от величины

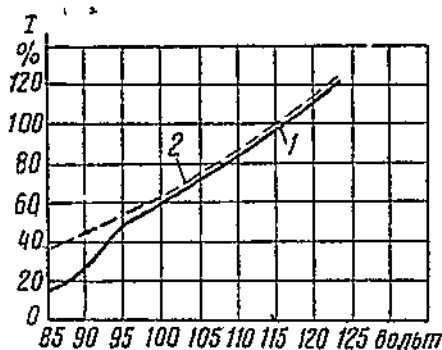


Рис. 47а. Влияние напряжения на силу света дуги интенсивного горения

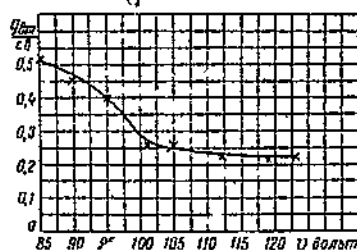


Рис. 47б. Удельный расход энергии дуги интенсивного горения в зависимости от напряжения

напряжения на дуге (в процентах по отношению к нормальному). Для сравнения на том же рисунке показана кривая 2, дающая зависимость силы света лампы накаливания от ее напряжения. Как видно, изменение напряжения на дуговой лампе интенсивного горения сказывается еще сильнее, чем на лампе накаливания, особенно при резком уменьшении напряжения.

Световая отдача дуговой лампы с углями „ПИГ“ зависит от приложенного напряжения и с ростом последнего увеличивается. Это следует из кривой рис. 47*b*, которая показывает зависимость расхода мощности на одну свечу ( $\text{вт/с}$ ) дуговой лампы с углями „ПИГ“ от величины напряжения (отложено по оси абсцисс в процентах от нормального).

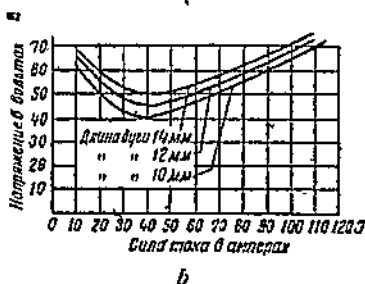
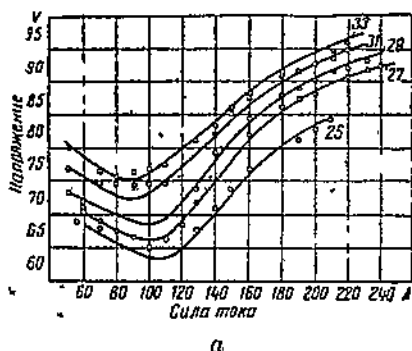


Рис. 48: *a*, *b* — вольтамперные характеристики дуги интенсивного горения

Вольтамперные характеристики дуг интенсивного горения показаны на рис. 48, *a*, *b* соответственно для интенсивных углей „ПИГ“  $d_+ = 16 \text{ мм}$ ,  $d_- = 11 \text{ мм}$  и  $d_+ = d_- = 11 \text{ мм}$ . На рис. 48 приведено семейство вольтамперных характеристик, каждая из которых отвечает определенной длине дуги\*.

Так как для углей „ПИГ“  $d_+ = 16 \text{ мм}$  и  $d_- = 11 \text{ мм}$  нормальная нагрузка составляет  $150 \text{ а}$ , а для углей с  $d_+ = d_- = 11 \text{ мм}$  нормальная нагрузка  $75 \text{ а}$ , то, как видно из приведенных кривых, для рабочих токов интенсивной дуги с углями „ПИГ“ вольтамперная характеристика положительна. Начало подъема вольтамперной характеристики сопровождается образованием кратера и разграничением положительного и отрицательного пламени.

#### Е. Добавочные сопротивления к дуговым лампам

Дуговые лампы, имеющие отрицательную вольтамперную характеристику, т. е. простые и пламенные дуги, горят обычно с последовательно включенным с углями добавочным сопротивлением. Пусть дуговая лампа с простыми или пламенными углями горит при некотором токе  $i_1$  и, следовательно, напряжении  $U_1$ , определяемом вольтамперной характеристикой дуги (см. рис. 38). При горении лампы возможны некоторые колебания силы тока, причем большая сила тока требует для спокойного горения дуги меньшего напряжения, меньшая сила тока — большего напряжения. Так как напряжение питающего тока обычно является постоянным, то, очевидно, спокойное горение дуговой лампы при питании ее непосредственно от источника тока невозможно. Для удовлетворения „отрицательной“ характеристики дуги необходимо последовательно с ней включить сопротивление, которое при росте тока в цепи будет умень-

\* Длина дуги, которой отвечает данная кривая, указана (в мм) рядом с кривой.

нять напряжение на клеммах дуги; при уменьшении величины тока напряжение на дуге будет возрастать в связи с уменьшением падения напряжения в реостате.

Таким образом для устойчивого горения дуги последовательно с ней должно быть включено сопротивление, в котором обычно поглощается 15—30% мощности, расходуемой дуговой лампой. Кроме создания условий для спокойного горения дуги сопротивление имеет еще назначение предохранить сеть от замыкания при соприкосновении углей в момент зажигания лампы, так как источник тока оказывается замкнутым накоротко через угли, сопротивление которых незначительно.

Третье назначение реостата заключается в том, чтобы уменьшить ток в момент включения дуги, что необходимо для образования нормального кратера. Как показывает опыт, для создания нормального светового режима дуговой лампы пусковой ток не должен превышать половины рабочего тока.

Наконец, сопротивление, последовательно включаемое с дугой, должно поглощать некоторое избыточное напряжение, обеспечивая напряжение на дуге, отвечающее режиму ее горения. В обычных условиях, когда дуговая лампа для напряжения в 40—60 в включена в сеть с напряжением в 110—120 в, в добавочном сопротивлении требуется погасить до 50% напряжения сети.

При высоких по отношению к напряжению дуговой лампы напряжениях сети (например, 110—220 в), если это оказывается возможным, включают лампу не в одиночку, а несколько последовательно для лучшего использования напряжения сети. Очевидно, что добавочное сопротивление такой системы последовательно включенных дуговых ламп будет меньше, чем сопротивление для одиночно включенной лампы. Величина сопротивления для дуговой лампы легко определяется как часть от деления избыточного напряжения сети (по отношению к напряжению дуги) на величину тока дуговой лампы. Чтобы при включении дуговой лампы в момент соприкосновения углей сила тока не превосходила нормального тока дуги, сопротивление реостата должно быть больше, чем при горении дуги. Однако на практике пренебрегают некоторым ростом пускового тока в момент включения дуговой лампы, и добавочное сопротивление не регулируется.

В кинематографической практике для дуговых ламп основное распространение получили омические добавочные сопротивления и весьма незначительное — индукционные. Омические сопротивления представляют собой катушки, состоящие из определенного количества витков проволоки, обладающей большим удельным сопротивлением. Количество витков проволоки, участвующих в работе, т. е. включенных последовательно с дуговой лампой, можно изменить с помощью особых приспособлений. Это осуществляется в специальной конструкции реостатов, из которых более употребительны реостаты с рубильниками (рис. 49). При включении одного рубильника, например, первого, ток проходит по первой спирали; при включении двух спиралей ток увеличится за счет уменьшения сопротивления при параллельном включении двух спиралей. При включении третьего и четвертого рубильников сопротивление соответственно еще более упадет.

Дуги интенсивного горения, имеющие положительную вольтамперную характеристику, могут гореть устойчиво и без наличия реостата, вклю-

ленного последовательно с углями. Однако добавочное сопротивление в этом случае оказывается необходимым для предохранения сети от короткого замыкания в момент зажигания дуги и для погашения избыточного напряжения сети. В реостатах интенсивных дуг поглощается около 30—40 в, так как напряжение сети постоянного тока обычно составляет 110—120 в, а напряжение дуги — около 80 в.

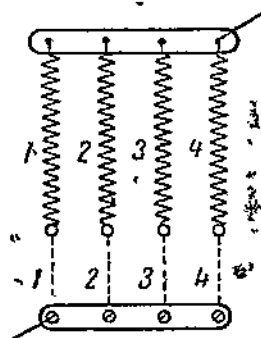


Рис. 49. Схема реостата дуговых ламп с рубильниками

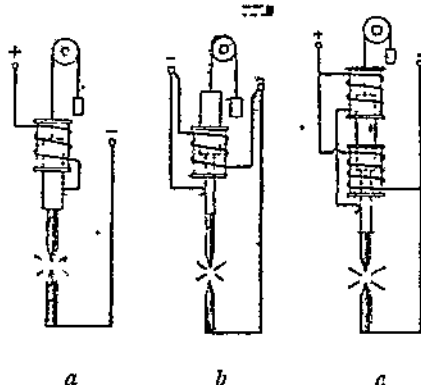


Рис. 50: a, b, c—регуляторы дуговых ламп

Как и в случае интенсивных дуг, реостат интенсивных дуговых ламп делается нерегулируемым, тем более, что интенсивные дуговые лампы обычно работают при некоторой определенной величине тока.

## Г. Регуляторы дуговых ламп

При горении дуговой лампы промежуток между углями за счет их сгорания постепенно увеличивается, что вначале влечет за собой неспокойное горение, а затем и обрыв дуги. Регулирование расстояния между углями в кинематографической практике осуществляется обычно вручную, иногда же для этой цели применяют специальные приспособления, называемые регуляторами дуговых ламп.

Применяемые в настоящее время регуляторы изготавливаются в виде различных конструкций, основанных на магнитных действиях тока. Эти регуляторы для простых и пламенных дуговых ламп имеют последовательное шунтовое и дифференциальное включение регулирующих катушек.

На рис. 50, a схематически представлена дуговая лампа с последовательным регулятором. Верхний уголь, соединенный с железным сердечником, связан цепью, перекинутой через блок с грузом, вес которого меньше веса верхнего угля сердечника.

Таким образом при спокойном состоянии угли сближены и касаются друг друга. Железный сердечник входит свободно в катушку с небольшим количеством витков толстой проволоки, соединенной последовательно с углями. Как только такая дуговая лампа будет присоединена к источнику тока, появившийся ток создаст магнитное поле катушки, и железный сердечник начнет втягиваться в катушку до тех пор, пока разница в весе сердечника с углем и груза не уравнивается втягиваю-

шей силой катушки. Это наступит в момент, когда сила тока достигнет нормального значения для данного механизма и дуги. Последовательный регулятор при своем действии поддерживает постоянной силу тока дуги. Если уголи обгорят, длина дуги и ее сопротивление увеличатся, следовательно, сила тока уменьшится. Тогда втягивающая сила катушки уменьшится, и верхний уголь начнет приближаться к нижнему до тех пор, пока сила тока не достигнет нормальной для данной лампы величины. При сильно сближенных углях действие регулятора будет направлено к увеличению расстояния между углями и уменьшению тока.

У ламп, снабженных шунтовыми регуляторами, параллельно дуге (рис. 50, б) включена регулирующая катушка из большого числа витков тонкой проволоки с большим сопротивлением. Таким образом в катушку заходит незначительная часть ( $2-5\%$ ) тока дуги.

Вес верхнего угля и железного сердечника, с одной стороны, и груза, с другой, подобран так, что последний тяжелее первого.

В момент включения ток пойдет только в шунтовую обмотку, и железный сердечник втянется в катушку. При соприкосновении углей через них пойдет ток большой силы, что повлечет за собой большое падение напряжения на реостате дуговой лампы, а следовательно, напряжение на регулирующей катушке уменьшится. Это приведет к ослаблению тока, заходящего в катушку, т. е. уменьшит ее втягивающее усилие. Сердечник начнет под действием груза подниматься вверх, и уголи станут раздвигаться до тех пор, пока сила втягивания катушки окажется равной разности веса сердечника с углем и груза.

Сгорание углей вызовет увеличение заходящего в катушку тока, т. е. увеличение втягивающего усилия катушки и сближение углей. Шунтовой регулятор поддерживает на клеммах дуги постоянное напряжение.

Дифференциальный регулятор имеет и шунтовую и последовательную катушки, причем обе они действуют друг против друга (рис. 50, в). Вес железного сердечника (и верхнего угля) у дифференциального регулятора подобран так, что уравнивается весом груза; следовательно, регулятор должен действовать при любом положении углей. Если уголи сдвинуты, то действует последовательная обмотка, в противном же случае — шунтовая. Так как катушки действуют друг против друга, то устойчивое положение углей наступит в тот момент, когда втягивающие усилия обеих катушек уравниваются. В процессе регулировки дифференциальный регулятор обеспечивает постоянно сопротивление дуги, т. е. постоянное расстояние между углями. Дуговая лампа с дифференциальным регулятором является наиболее совершенной и благодаря постоянству силы тока и напряжения имеет постоянную мощность видимых излучений.

Дуговые лампы с последовательным регулятором надо включать одиночно, а не последовательно во избежание влияния регулирования одного регулятора на правильно горящую лампу. Добавочное сопротивление ламп с последовательным регулятором должно быть небольшим. Лампы с шунтовым регулятором должны иметь большое добавочное сопротивление и могут быть включены последовательно. Наконец, дуговые лампы с дифференциальным регулятором могут работать с любым сопротивлением и включать их можно как одиночно, так и последовательно.

В то время как простые и пламенные дуговые лампы могут применяться как с регуляторами, так и с ручной регулировкой, интенсивные



дуги работают только с регулируемыми механизмами. Регулятор интенсивной дуги должен обеспечить существенно необходимое для создания кратера непрерывное вращение положительного угля и плавное перемещение положительного и отрицательного углей для создания постоянной длины дуги.

Вращение и подача положительного угля в дугах интенсивного горения производится с помощью мотора постоянного тока и системы зубчатых или червячных передач. Подача отрицательного угля производится от того же механизма или непрерывно в течение горения дуги или же скачками через определенные промежутки времени. Диаметр углей, скорость их подачи, число оборотов положительного угля, угол между углями и сила тока дуги выбираются таким образом, чтобы обеспечить равномерное горение дуговой лампы и постоянство величины и глубины кратера.

### Г. Вольфрамовая дуговая лампа

Интересной конструкцией дуговой лампы является дуга между электродами из вольфрама, или, как ее называют, точечная лампа, применяемая иногда для освещения при микростемках.

Эта лампа состоит из стеклянной колбы, внутри которой находятся два шарика из вольфрама с выведенными наружу контактами. Колба наполняется азотом, аргоном, гелием или неонком при давлении порядка 10—15 мм ртутного столба. Оба электрода лампы обычно касаются друг друга, но при прохождении через них тока раздвигаются, так как подводящие ток пластины спаяны из двух металлов, обладающих различными температурными коэффициентами расширения.

Достоинства вольфрамовой дуги заключаются в высокой экономичности (до 30 мк/вт), в относительно слабом нагревании колбы и близкой к дневному свету спектральной характеристики излучений.

Яркость вольфрамовой дуги достигает 4000 св, а срок службы определяется в 500—1000 часов.

Недостатки вольфрамовых дуг заключаются в сложности включения в сеть, небольшой мощности лампы, больших потерь в реостате (напряжение на дуге составляет лишь около 40 в), значительном уменьшении силы света при сравнительно небольших падениях напряжения, причем в случае уменьшения напряжения более чем на 20% дуга прерывается.

Дальнейшим развитием вольфрамовой дуговой лампы является так называемая солнечная лампа.

Конструкция этой лампы видна на рис. 51. Лампа наполнена аргоном при давлении в несколько сантиметров и содержит некоторое количество ртути. Параллельно вольфрамовым электродам прикреплена вольфрамовая же спираль. При включении лампы спираль накаливается до высокой температуры (около 3000° К) и потоком электронов ионизирует сперва аргон, а затем пары ртути, причем между электродами возникает дуговой разряд. Основной особенностью лампы (колба которой изготовлена из специального стекла с высоким коэффициентом пропускания ультрафиолета) является чрезвычайно удачное имитирование солнечного света как в видимой части спектра, так и в ультрафиолете, причем в ультрафио-

левой части спектра имеет место еще более короткое излучение ( $\lambda = 289 \text{ мк}$ ), чем у солнца ( $\lambda = 300 \text{ мк}$ ).

## § 8. Ртутные лампы

Ртутные лампы основаны на свечении электрического разряда в парах ртути. Ртутные лампы делятся на лампы низкого, высокого и сверхвысокого давления.

### А. Ртутные лампы низкого давления

Первые ртутные лампы низкого давления, получившие еще в 90-х годах практическое применение в кинематографии, были изготовлены в Америке фирмой Купер-Хевит. В СССР производство ртутных ламп было впервые организовано на Электrozаводе в 1927 г. В настоящее время применение этих ламп для киносъемок прекратилось, так как шум при их зажигании и горении затрудняет производство звуковых съемок, а появление панхроматических пленок потребовало источников света, спектр которых приближался бы к спектру дневного света.

Так как ртутные лампы могут применяться для специальных случаев киносъемки, мы опишем наиболее распространенные ртутные лампы низкого давления переменного тока.

Ртутная лампа переменного тока состоит из стеклянной трубки длиной около 130 см, имеющей на одном конце шарообразный, несколько приплюснутый баллон, наполненный ртутью, и на другом конце — два стеклянных выступа с железными электродами (рис. 52а).

Ртуть, являющаяся катодом лампы, должна быть всегда соединена с платиновым электродом, впаянным в стекло и оканчивающимся цоколем с зажимным винтом. Два анода лампы состоят из железных колпачков, также прикрепленных к цоколям посредством платиновых электродов.

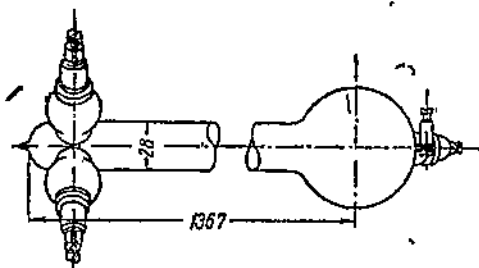


Рис. 52а. Общий вид ртутной лампы

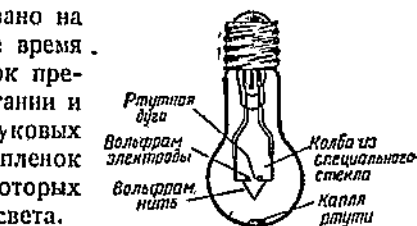


Рис. 51. Дуговая вольфрамовая лампа солнечного света

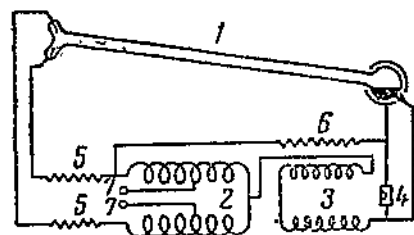


Рис. 52б. Схема включения ртутной лампы низкого давления

Зажигание лампы производится автоматически посредством специального автомеханизма, состоящего из автотрансформатора, дросселя с II-образным сердечником, сопротивления зажигающего контура, двух изоляторов с анодными сопротивлениями и ртутного прерывателя.

Процесс включения лампы заключается в разрыве с помощью ртутного прерывателя зажигающего контура; при этом между металлической обкладкой колбы и ртутью напряжение значительно повышается, вызывая ионизацию пространства внутри трубки.

Электрическая схема включения ртутной лампы приведена на рис. 52b. Напряжение от автотрансформатора 2 проводится к анодам лампы через анодные реостаты 5 и 5, сопротивление которых колеблется от 3 до 5 ом. В цепи дросселя 3 и ртутного прерывателя 4 включено дополнительное сопротивление 6 для уменьшения силы тока в момент зажигания лампы.

В лампе происходит дуговой разряд в парах ртути. На поверхности ртути образуется яркое, быстро перемещающееся так называемое катодное пятно, являющееся основанием дуги и имеющее температуру 2000—3000°K. Под действием электрического поля поток электронов, излучаемый катодным пятном, устремляется к аноду. Пройдя разность потенциалов в 10,39 в, электроны развивают скорость, достаточную для ионизации молекул ртути, находящихся в ртутной лампе вследствие испарения ртути в катодном пятне. В процессе ионизации молекулы ртути расщепляются на электроны и положительные ионы. Образовавшиеся положительные ионы устремляются к катоду со скоростью, достигающей у поверхности ртути до 2700 м/сек.; и, раскаляя его в месте удара, поддерживают высокую температуру катодного пятна.

Вследствие того, что источник электронов — катодное пятно — имеется только на одном электроде, ртутная лампа обладает свойством выпрямителя. При питании ртутной лампы переменным током в момент, когда на одном из анодов напряжение по отношению к катоду делается отрицательным, дуговой разряд переходит на другой анод, имеющий в течение данного полупериода положительный по отношению к катоду потенциал.

Мощность ртутных ламп ограничивается температурными свойствами стекла колбы. В отличие от кварцевых ламп, температура которых достигает 300—400°C, в обычно употребляющихся для кино съемки лампах допускается нагрев колбы лампы в средней части не выше 60—75°C.

Напряжение и сила тока ртутной лампы зависят от длины и поперечного сечения лампы, а также от плотности и величины давления ртутных паров. Последняя в свою очередь зависит от температурного режима, устанавливающегося при горении лампы.

После зажигания лампы напряжение и сила тока по мере нагревания лампы сильно изменяются и устанавливаются относительно постоянными лишь спустя 15—20 мин.

Световое излучение ртутной лампы вызывается объемным свечением паров ртути. Из кривых распределения силы света лампы в продольной и поперечной плоскости (рис. 53) следует, что свечение ртутной лампы достаточно точно соответствует излучению светящегося цилиндра равномерной яркости. Ртутная лампа типа РЛ-2 (Московского электролампового завода) расходует до 500 вт при световом потоке в 4100 лм, наибольшей силы света в 400 свечей, яркости (в перпендикулярном к оси трубки направлении) в 1,8 св и световой отдаче 8,2 лм/вт.

Яркость ртутной лампы по всей длине одинакова. С течением времени горения лампы трубка изнутри темнеет и сила света лампы уменьшается.

Голубовато-зеленый цвет лампы обуславливается линейчатым спектром излучения паров ртути, основные линии которого в желтой части спектра  $\lambda = 577-579$  м $\mu$ , в зеленой—546 м $\mu$ , в синей—434—436 м $\mu$ , в фиолетовой—405—408 м $\mu$ , в ультрафиолетовой—365—366 м $\mu$ .

### В. Ртутные лампы высокого давления

При повышении давления внутри колбы ртутной лампы наблюдается значительное увеличение световой отдачи, причем спектральный состав излучения изменяется. Синее-зеленое свечение ртутных ламп низкого давления переходит в излучение, близкое к белому. Впрочем, красных лучей в излучении ртутных ламп высокого давления все же очень мало, что приводит к искажению цветности освещаемых этими лампами предметов.

Ртутные лампы, работающие при давлении внутри трубки от 100 мм Hg до нескольких атмосфер, называются лампами высокого давления. Они имеют повышенную сравнительно с лампами низкого давления светотдачу, достигающую до 40—45 лм/вт и яркость до 300 св.

В табл. 25 приведены данные ртутных ламп высокого давления, изготовляемых Московским электроламповым заводом под названием „Игар-4“ и „Игар-5“ (рис. 54).

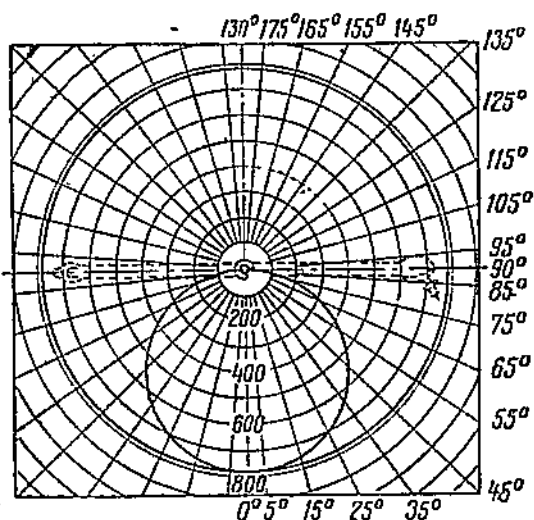


Рис. 53. Кривая распределения сил света ртутной лампы низкого давления

Таблица 25

| Данные лампы                                             | „Игар-4“ | „Игар-5“ |
|----------------------------------------------------------|----------|----------|
| Напряжение сети (в в) . . . . .                          | 220      | 220      |
| „ на лампе (в в) . . . . .                               | 130—135  | 130—135  |
| Сила тока (в а) . . . . .                                | 3,1—3,2  | 4,5      |
| Мощность лампы (в вт) . . . . .                          | 365—370  | 470      |
| Полная мощность лампы с дросселем . . . . .              | 390      | 500      |
| Световой поток (в лм) . . . . .                          | 13000    | 14500    |
| Световая отдача лампы (в лм/вт) . . . . .                | 35       | 30       |
| Коэффициент мощности лампы с дросселем . . . . .         | 0,5      | 0,5      |
| Давление паров ртути во время горения (в атм.) . . . . . | 1,5—2    | 1,5—2    |
| Срок службы (в час) . . . . .                            | 800—1500 | 800—1500 |

Лампа „Игар“ включается последовательно с дросселем в сеть с напряжением 220 в.

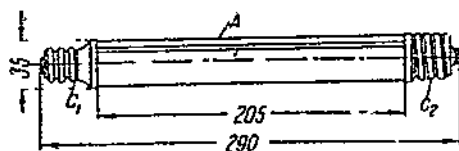


Рис. 54. Лампа „Игар“

После включения лампа начинает „разгораться“ постепенно, причем лишь спустя 10—15 минут световой поток и яркость трубки достигают своих максимальных значений.

### С. Ртутные лампы сверхвысокого давления

При давлениях порядка 150—300 атм., как впервые обнаружил голландский физик Боль (1935 г.), светотдача ртутных ламп чрезвычайно повышается, доходя до 60—65 лм/вт.

Разряд в парах ртути происходит лишь в центральной части объема колбы лампы (отшнурованный или контрагированный столб), поэтому яркость разряда весьма высока (до 100 000 сб и более). Яркость ртутной лампы сверхвысокого давления не одинакова в разных точках разряда. Так как на оси шнура теплоотдача меньше, то температура и яркость в этом месте значительно больше, чем яркость на некотором расстоянии от оси, где благодаря близости к стенкам колбы наблюдается интенсивная теплоотдача. На рис. 55а показано относительное распределение яркости ртутной лампы сверхвысокого давления. Вследствие неравномерного распределения яркости практически может быть использована светящаяся площадка очень небольших размеров. Яркость ртутной лампы сверхвысокого давления зависит от величины

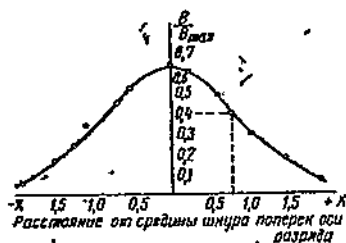


Рис. 55а. Распределение яркости шнура ртутной лампы сверхвысокого давления

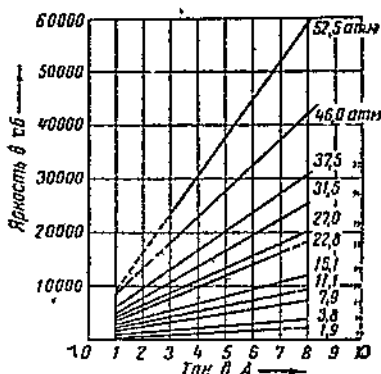


Рис. 55б. Яркость ртутной лампы сверхвысокого давления в зависимости от силы тока и давления

давления, с одной стороны, и силы тока—с другой. На рис. 55б приведены зависимости максимальной яркости ртутной лампы сверхвысокого давления в функции тока для разных значений давления в колбе лампы.

Спектр ртутной лампы состоит из отдельных линий, довольно сильно „размытых“, что создает дополнительное излучение (так называемый „фон“), улучшающее цветопередачу ртутной лампы сверхвысокого давления.

Спектральное распределение излучения ртутной лампы сверхвысокого давления характеризуется кривой рис. 56, а, полученной для лампы с водяным охлаждением. Данные лампы: давление паров 140 атм., напряжение 500 в, сила тока 1,13 а, мощность 485 вт. На рис. 56, б дано распределение энергии в излучении ртутной лампы сверхвысокого давления с воздушным охлаждением мощностью 400 вт изготовления Московского электролампового завода.

Как следует из спектральной характеристики, красных лучей в спектре ртутной лампы сверхвысокого давления все же недостаточно, благодаря чему передача цвета освещаемых этой лампой предметов еще далеко не совершенна.

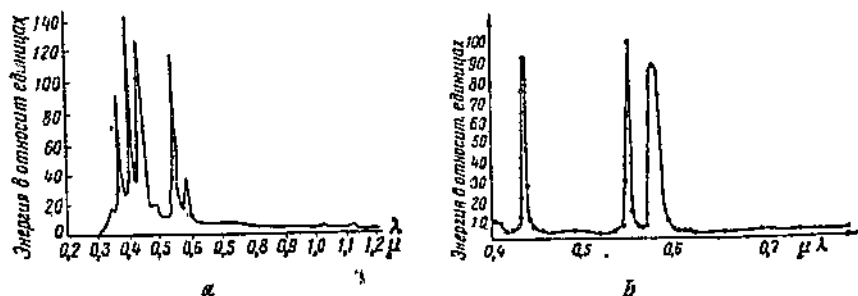


Рис. 56 а, б—спектр ртутной лампы сверхвысокого давления

Наибольшая часть излучений лампы приходится на ультрафиолетовую область спектра. Так, для ртутных ламп сверхвысокого давления фирмы „Филипс“ (500 вт 100 атм.) из 100% радиации 44% приходится на долю ультрафиолетовой части спектра, 28% на долю инфракрасной и 28% на долю видимой части спектра.

Ртутная лампа сверхвысокого давления может работать как на постоянном, так и на переменном токе. При работе на переменном токе ртутной лампы сверхвысокого давления обнаруживается характерное искажение формы напряжения и тока. Хотя обе кривые совпадают по фазе, но деформация их приводит к появлению некоторого коэффициента мощности, составляющего около 0,9.

Изменение подводимого к лампе напряжения вызывает почти пропорциональное увеличение тока, потребляемой мощности и светового потока, причем световыдача лампы остается почти неизменной.

Лампа работает с последовательно включенным сопротивлением, причем нормальный режим устанавливается постепенно в течение 5—6 минут. После отключения лампы повторное зажигание ртутной лампы сверхвысокого давления возможно лишь спустя 10—20 минут, в течение которых происходит охлаждение лампы и уменьшение давления паров ртути благодаря конденсации ее на стенках колбы.

Ртутные лампы сверхвысокого давления выпускаются Московским электроламповым заводом.

На рис. 57 показана лампа сверхвысокого давления с воздушным охлаждением изготовления Московского электролампового завода. Лампа имеет шаровую колбу, заключенную в стеклянную рубашку; расстояние между электродами 3,8 мм, мощность лампы  $P = 406 \text{ вт}$ , ток  $i = 7,4 \text{ а}$ , при напряжении  $v = 59 \text{ в}$ , коэффициент мощности  $= 0,9$ .

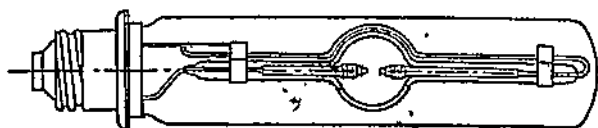


Рис. 57. Ртутная лампа сверхвысокого давления Московского электролампового завода

Для целей киносъемки ртутные лампы сверхвысокого давления в настоящее время применения еще не имеют. За последнее время в конструкцию ртутных ламп сверхвысокого давления внесен целый ряд улучшений, открывающий большие возможности для этих источников света в области киносъемки. Для обеспечения более равномерного распределения яркости шнура ламп каждый электрод делают составным из многих отдельных элементов. Мощность лампы доходит до 1,5—2 кВт и выше. Спектр ртутных ламп высокого давления значительно исправляется и путем введения в колбу лампы помимо паров ртути также паров кадмия приближается к спектру дневного света. Наконец, невозможность быстрого, повторного зажигания ртутной лампы сверхвысокого давления преодолена путем изготовления ламп с подвижными электродами, которые при зажигании лампы сводятся вместе, как у обычной электрической дуги.

#### Ртутные лампы с люминофорами

В последнее время в американской практике киносъемки получили некоторое (правда, пока весьма малое) распространение ртутные лампы

Таблица 26

| Данные лампы                      | Мощность и тип лампы |                       |                       |                      |                        |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
|                                   | 15 вт<br>46 см (Т-8) | 15 вт<br>46 см (Т-12) | 20 вт<br>60 см (Т-12) | 30 вт<br>90 см (Т-8) | 40 вт<br>122 см (Т-12) |
| Диаметр колбы (в мм) . . . . .    | 25                   | 35                    | 35                    | 25                   | 35                     |
| Напряжение сети (в в) . . . . .   | 110—125              | 110—125               | 110—125               | 208—250              | 208—250                |
| Сила тока в лампе (в а) . . . . . | 0,30—0,32            | 0,32—0,35             | 0,34—0,37             | 0,32—0,37            | 0,40—0,44              |
| Напряжение у ламп (в в) . . . . . | 54—58                | 46—50                 | 60—64                 | 100—106              | 105—111                |
| Срок службы (в час)               | 2 000                | 2 000                 | 2 000                 | 2 000                | 2 000                  |

| Мощность и тип лампы          | 15 см (Г-8)          |               |                          | 15 см (Г-12)         |               |                          | 20 см (Г-12)         |               |                          | 30 см (Г-8)          |               |                          | 40 см (Г-12)         |               |                          |
|-------------------------------|----------------------|---------------|--------------------------|----------------------|---------------|--------------------------|----------------------|---------------|--------------------------|----------------------|---------------|--------------------------|----------------------|---------------|--------------------------|
|                               | Светов. поток (в лм) | Яркост (в cd) | Светов. отдача (в лм/см) | Светов. поток (в лм) | Яркост (в cd) | Светов. отдача (в лм/см) | Светов. поток (в лм) | Яркост (в cd) | Светов. отдача (в лм/см) | Светов. поток (в лм) | Яркост (в cd) | Светов. отдача (в лм/см) | Светов. поток (в лм) | Яркост (в cd) | Светов. отдача (в лм/см) |
| Характер света                |                      |               |                          |                      |               |                          |                      |               |                          |                      |               |                          |                      |               |                          |
| Дневной . . . . .             | 450                  | 0,52          | 30                       | 450                  | 0,41          | 30                       | 660                  | 0,45          | 33                       | 1 110                | 0,68          | 37                       | 1 600                | 0,48          | 40                       |
| Белый . . . . .               | 530                  | 0,72          | 35,3                     | 530                  | 0,48          | 35,3                     | 760                  | 0,52          | 38                       | 1 320                | 0,78          | 44                       | 1 880                | 0,58          | 47                       |
| Синий . . . . .               | 310                  | 0,43          | 30,7                     | 310                  | 0,30          | 30,7                     | 450                  | 0,30          | 23                       | 760                  | 0,48          | 26                       | —                    | —             | —                        |
| Зеленый . . . . .             | 900                  | 1,25          | 60                       | 900                  | 0,82          | 60                       | 1 300                | 0,85          | 65                       | 2 250                | 1,37          | 75                       | —                    | —             | —                        |
| Жуко-розовый . . . . .        | 300                  | 0,41          | 20                       | 300                  | 0,25          | 20                       | 440                  | 0,30          | 22                       | 750                  | 0,46          | 25                       | —                    | —             | —                        |
| Золотисто-оранжевый . . . . . | 380                  | 0,51          | 25,3                     | 380                  | 0,34          | 25,3                     | 540                  | 0,36          | 27                       | 930                  | 0,56          | 31                       | —                    | —             | —                        |
| Красный . . . . .             | 45                   | 0,06          | 3                        | 45                   | 0,04          | 3                        | 60                   | 0,04          | 3                        | 120                  | 0,04          | 4                        | —                    | —             | —                        |



низкого давления, снабженные люминофорами. Эти лампы, по спектру излучения весьма близкие к дневному свету, применяются для съемок крупным планом и для освещения гримерных при выборе красок для грима.

Ртутная лампа с люминофором является лампой низкого давления с аргоновым наполнением (для облегчения зажигания лампы), внутренняя поверхность колбы которой покрыта люминисцирующими веществами. Лампа зажигается с помощью специальной схемы и может работать как на постоянном, так и на переменном токе. Выполняются лампы обычно в виде трубок относительно большой длины (от 45 до 150 см) при мощности до 80—100 *вт*. Изготовление более мощных ламп пока еще затруднительно.

В табл. 26 приведены данные некоторых изготавливаемых в США флуоресцирующих ламп.

В зависимости от состава флуоресцирующего порошка лампы могут давать синий, зеленый, золотисто-оранжевый, ярко-розовый, красный, белый и дневной свет. Лампы последнего типа снабжены люминофором,

состоящим из смеси трех флуоресцирующих составов, спектральные кривые которых взаимно перекрываются, причем в результате получается свет, не отличный от дневного.

В табл. 27 приведены характеристики изготавливаемых в США флуоресцирующих ламп с различным спектром излучения.

Как следует из данных табл. 27, световая отдача флуоресцирующих ламп очень высока сравнительно со световой отдачей других типов ламп. Потери в дросселе снижают светоотдачу на 10—25%.

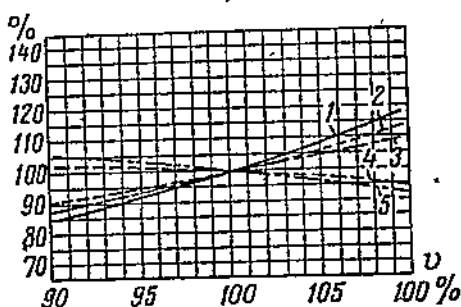


Рис. 58. Характеристика флуоресцирующих ламп в зависимости от напряжения

При изменении напряжения в сети характеристики флуоресцирующих ламп изменяются. На рис. 58 кривые 1, 2, 3, 4, 5 представляют соответственно изменения (в процентах от нормальных значений) силы тока, светового потока, потребляемой мощности, напряжения на лампе и коэффициента полезного действия в функции сетевого напряжения, питающего лампу (также выраженного в процентах от нормального).

В СССР ртутные лампы с люминофорами разработаны во Всесоюзном электротехническом институте для мощностей до 80 *вт* и в ближайшее время начнут выпускаться нашей промышленностью.

### § 9. Основы химического действия света

В некоторых случаях под влиянием действия света на различные вещества в этих последних наблюдаются химические превращения. Гротгус в 1819 г. доказал, что химически действуют только те лучи, которые поглощаются этими веществами (основной закон фотохимии). В 1873 г. Фогель показал, что вещество может подвергаться химическому превращению не только под влиянием поглощаемых им лучей, но и под влиянием лучей, поглощаемых примесями к этому веществу. Примеси эти, названные Фогелем оптическими сенсibilизаторами, вводятся во все эмульсии негативных пленок, применяемых для киносъемки. Они позволили изготовить ортохроматические и панхроматические светочувствительные фотографические слои, расширив диапазон лучей света, химически действующих на фотоэмульсии.

В качестве светочувствительного вещества фотографического слоя современных негативных кинопленок, применяемых для съемки, используют обычно галогидные соли серебра, обладающие особенно большой светочувствительностью.

Под влиянием действия света при киносъемке в фотографическом слое пленки образуется так называемое скрытое изображение, становящееся видимым в результате проявления.

Согласно последним работам Гэрнея и Мотта образование скрытого изображения происходит следующим образом.

При освещении кристалла бромистого серебра отдельные кванты света поглощаются ионами брома. При поглощении кванта света энергия его идет на вырывание из иона брома\* избыточного электрона, который переходит в нейтральный атом брома. Свободные электроны начинают блуждать по кристаллу бромистого серебра и захватываются сенсibilизирующими ядрами\*\*, сообщая им отрицательный заряд. Последний притягивает к себе положительные ионы серебра из решетки кристалла бромистого серебра, которые передвигаются к сенсibilизирующему ядру и соединяются с находящимися там избыточными электронами. При этом образуются нейтральные атомы серебра, которые отлагаются на сенсibilизирующем

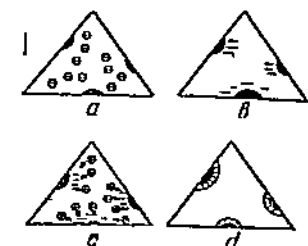
\* У отрицательно заряженного иона брома избыточный электрон вместе с остальными электронами вращается вокруг положительно заряженного ядра брома. Нейтральный атом брома не имеет такого свободного электрона.

\*\* Сенсibilизирующими ядрами называются мельчайшие частицы сернистого и металлического серебра, появляющиеся на поверхности зерен бромистого серебра и являющиеся центрами чувствительности эмульсии. Чем больше сенсibilизирующих ядер находится на поверхности зерна, тем эмульсия более чувствительна к действию света.

ядре, образуя скрытое изображение. При фотографической обработке это изображение и является в дальнейшем центром проявления.

На рис. 59 показана схема образования скрытого изображения по Гэрнею и Мотту.

Рис. 59, *a* изображает электроны, блуждающие по кристаллу; рис. 59, *b* — захват электронов сенсibiliзирующими ядрами, приобретающими при этом отрицательный заряд; рис. 59, *c* — картину притяжения ионов серебра отрицательно заряженными сенсibiliзирующими ядрами; рис. 59, *d* — соединение ионов серебра с электронами и превращение их в атомы металлического серебра, отложившихся на ядрах и образовавших скрытое изображение.



Как показали Бунзен и Роско, фотохимический эффект  $N$ , т. е. количество превращенного (разложенного) под действием света вещества, пропорционально освещенности  $E$  вещества и времени экспозиции  $t$ , т. е.

$$N \equiv Et \equiv H, \quad (49)$$

Рис. 59 *a, b, c, d* — схема образования скрытого изображения

где  $H = E \cdot t$  носит название количества освещения (выражается, обычно в люкс-секундах).

Выражение (49) показывает, что при росте освещенности неизменность фотохимического эффекта может быть достигнута пропорциональным уменьшением времени экспозиции и, наоборот, увеличение времени экспозиции при соответствующем уменьшении освещенности не изменит величины фотохимического эффекта. В силу указанной зависимости закон Бунзена и Роско носит название закона взаимозаместимости.

Шварцшильд показал, что величина фотохимического эффекта, т. е. применительно к используемым негативным эмульсиям количество металлического серебра, восстановленного под действием света, не подчиняется закону взаимозаместимости. По Шварцшильду

$$N \equiv E \cdot t^p, \quad (50)$$

где  $p$  — постоянная Шварцшильда — может иметь в зависимости от рода эмульсии и величины освещенности значения, как большие, так и меньшие единицы.

Для каждой фотохимической эмульсии существует такая оптимальная освещенность ( $E_{opt}$ ), при которой величина  $p=1$ . При росте освещенности по отношению к оптимальной величина  $p$  увеличивается, асимптотически приближаясь к некоторому предельному значению, которое равно  $p = \frac{1}{1-\alpha}$ , где  $\alpha$  — постоянная Крона, величина, меньшая единицы, зависящая от рода эмульсии, но не зависящая от освещенности.

Если же освещенности уменьшаются сравнительно с оптимальной, то величина  $p$  будет падать асимптотически, приближаясь к значению

$$p = \frac{1}{1 + \alpha}.$$

Соответствующие исследования показывают, что величина оптимальной освещенности для современных высокочувствительных негативных эмульсий, применяемых для киносъемки, находится в пределах от 0,1 до 1 лк, значение же величины  $\alpha$  составляет около 0,2.

Таким образом в зависимости от величины освещенности при съемке на современных сортах негативных киноплёнок будут иметь место следующие граничные соотношения:  $N \propto E \cdot t^{0,8}$  [ $E$  — значительно (в 100—200 раз) меньше  $E_{\text{опт.}}$ ];  $N \propto E \cdot t$  ( $E = E_{\text{опт.}}$ );  $N \propto E \cdot t^{1,2}$  [ $E$  — значительно (в 100—200 раз) больше  $E_{\text{опт.}}$ ].

Как показывают расчеты (см. главу VII), освещенность светочувствительного слоя пленки при современных киносъемках измеряется десятками люксов; следовательно, для вычислений фотохимического эффекта значение величины  $p$  может быть принято равным единице.

Фотохимическое действие света зависит от угла, под которым падают лучи на фотографический слой. В обычных условиях фотографирования с помощью объективов можно поэтому ожидать уменьшения фотохимического эффекта на киноплёнке в зависимости от удаления рассматриваемой точки от центра кадра.

Отмеченное уменьшение фотохимического эффекта происходит, во-первых, вследствие уменьшения освещенности кадра в зависимости от угла падения световых лучей, прошедших через объектив, и, во-вторых, вследствие меньшего фотохимического действия наклонных лучей сравнительно с перпендикулярными к фотослою.

Освещенность киноплёнки к краям кадра уменьшается пропорционально косинусу в четвертой степени угла, образуемого с оптической осью главным лучом в рассматриваемой точке кадра. Если обозначить этот угол через  $\theta$ , а освещенность в центре кадра —  $E_0$ , то освещенность  $E_1$  точки кадра, удаленной от центра, выразится, как  $E_1 = E_0 \cdot \cos^4 \theta$ .

Эта зависимость может быть установлена, исходя из следующих соображений\*.

Световой поток  $dF_0$ , попадающий на входной зрачок объектива  $O$  от элемента площади  $ds_0$ , лежащего на оптической оси, определится из выражения (рис. 60, а):

$$dF_0 = B ds_0 d\omega_0, \quad (51)$$

где  $B$  — яркость площадки  $ds_0$ , а  $d\omega_0$  — телесный угол. Если яркость снимаемого объекта одинакова, то от всякого элемента  $ds_1$ , не находящегося на оптической оси, на объектив упадет световой поток

$$dF_1 = B ds_1 d\omega_1 \cos \theta. \quad (52)$$

\* Приводимые расчеты, выведенные для случая весьма малого зрачка объектива, вполне справедливы и для практически применяемых объективов.

Величины телесных углов в формулах (51) и (52) могут быть вычислены из соотношений

$$d\omega_0 = \frac{q}{PQ_0^2} \text{ и } d\omega_1 = \frac{q \cos \theta}{PQ_1^2},$$

где  $PQ_1 = \frac{PQ_0}{\cos \theta}$ , а  $q$  — площадь выходного зрачка объектива.

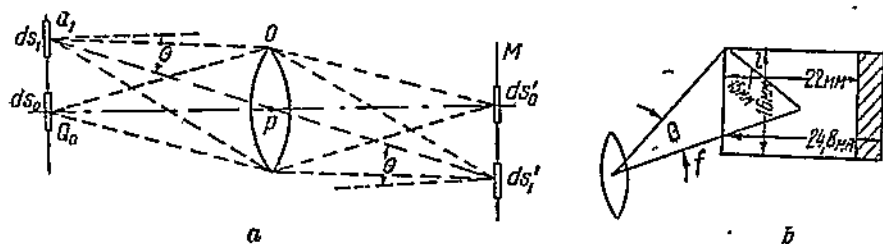


Рис. 60а, б—схема падения света на пленку через объектив

Для светового потока  $dF_1$  получим, следовательно, выражение

$$dF_1 = B \cos \theta \cdot ds_1 \cdot \frac{q}{PQ_0^2} \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos \theta = B ds_1 \frac{q}{PQ_0^2} \cos^4 \theta.$$

Беря  $ds_1 = ds_0$ , будем иметь

$$dF_1 = dF_0 \cos^4 \theta. \quad (53)$$

Освещенности пленки  $M$  (рис. 60,а) на площадках  $ds'_0$  и  $ds'_1$ , отвечающих площадкам  $ds_0$  и  $ds_1$  снимаемого объекта, будут соответственно  $E_1$  и  $E_0$ , причем на основании уравнения (53)

$$E_1 = E_0 \cos^4 \theta. \quad (54)$$

Как легко видеть, для крайних точек кадра угол  $\theta$  соответствует половине угла зрения объектива, поэтому для каждого объектива может быть подсчитано уменьшение освещенности изображения у краев кадра сравнительно с освещенностью в центре кадра.

В наиболее неблагоприятных условиях освещения окажутся края кинокадра на стороне против фонограммы (см. рис. 60,б). При этом наибольший угол  $\theta$  определится из выражения:

$$\theta = \arccos \frac{f}{\sqrt{f^2 + l^2}} \text{ и, следовательно, } E_1 = E_0 \frac{f^4}{(f^2 + l^2)^2} \quad (55)$$

Для случая киносъемки на 35-мм пленку величина  $l$  составляет около  $\frac{1}{2} \sqrt{16^2 + 24,8^2} \approx 15$  мм. Следовательно, для наиболее употребительных киносъемочных объективов с фокусным расстоянием  $f = 24, 25, 28, 35, 50, 75$  и  $100$  мм получим (табл. 28) значения угла  $\theta$  и  $\cos^4 \theta$ .

Таким образом при короткофокусных объективах, применяемых для современной киносъемки, освещенность в краю кадра может понизиться

\* В действительности уменьшение освещенности к краям изображения происходит в еще большей степени за счет виньетирования.

примерно в два раза по отношению к освещенности в центре его с соответственным уменьшением фотохимического эффекта. Для длиннофокусных объективов влияние уменьшения освещенности оказывается более слабым.

Таблица 28

| Фокусное расстояние объектива | $\theta^\circ$ | $\cos^4 \theta$ |
|-------------------------------|----------------|-----------------|
| 24                            | 31,3           | 0,52            |
| 25                            | 30,6           | 0,54            |
| 28                            | 28,3           | 0,63            |
| 35                            | 23,1           | 0,72            |
| 50                            | 16,2           | 0,85            |
| 75                            | 11,5           | 0,92            |
| 100                           | 8,1            | 0,96            |

Уменьшение фотохимического эффекта лучей света, связанное с влиянием наклона лучей, характеризуется данными табл. 29, полученными В. Фесенковым и В. Курановым. В таблице приведены коэффициенты, показывающие уменьшение фотохимического эффекта, вызванное наклоном лучей, причем влияние падения освещенности, рассмотренное выше, не учитывается.

Таблица 29

| Угол падения лучей по отношению к перпендикуляру (в $^\circ$ ) | Коэффициент уменьшения фотохимического эффекта |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 0                                                              | 1,0                                            |
| 47,8                                                           | 1,0                                            |
| 55,8                                                           | 0,96                                           |
| 62,1                                                           | 0,86                                           |
| 69,0                                                           | 0,78                                           |
| 73,2                                                           | 0,68                                           |

Исходя из данных этой таблицы, можно считать, что в практических условиях падения света через объективы на киноплёнку (см. табл. 28) указанный эффект может быть оставлен без внимания.

Результатом фотохимического эффекта является почернение фотографического эмульсионного слоя. Следовательно, между оптической плотностью  $D$  проявленного изображения и количеством освещения существует определенная зависимость:

$$D = f(Et). \quad (56)$$

Эта зависимость может быть выражена более или менее приближенно аналитически путем сложных математических соотношений.

Чаще всего в кинематографии пользуются экспериментально полученными кривыми (так называемыми характеристическими кривыми), построенными в системе прямоугольных координат, причем на оси абсцисс откладываются логарифмы количества освещения в метро-секундо-свечах (т. е. в люкс-секундах), а по оси ординат — оптические плотности.

На рис. 61 показан обычный вид характеристической кривой пленки.

Отметим некоторые характерные точки этой кривой. Величина оптической плотности  $oa$  не зависит от экспозиции и называется плотностью вуали; точка  $b$  кривой, начиная от которой плотности увеличиваются с ростом экспозиции, определяет порог потемнения.

Под последним понимают количество  $H_s$  освещения (экспозицию), вызывающего минимальное обнаруживаемое потемнение фотографического слоя при данных условиях его обработки.

Участок кривой  $bc$ , в области которого рост оптических плотностей отстает от роста вызвавших их экспозиций, характеризует область недодержек характеристической кривой. Областью пропорциональной передачи характеристической кривой называется участок  $cd$ , в пределах которого между оптическими плотностями  $D$  и логарифмами количества освещения  $H$  существует прямая пропорциональность, причем

$$D = \gamma \lg H + h, \quad (57)$$

где  $\gamma$  — представляет  $\lg$  угла  $\alpha$  наклона прямолинейной части характеристической кривой и называется коэффициентом контрастности (гамма).

Рис. 61. Характеристическая кривая эмульсии пленки

Согласно принятому в СССР общесоюзному стандарту на основные понятия фотографической сенситометрии (ОСТ-6175), коэффициент контрастности есть отношение разности двух оптических плотностей, взятых на прямолинейном участке характеристической кривой, к разности соответствующих им логарифмов количеств освещений (экспозиций).

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1}. \quad (58)$$

На участке кривой  $de$  имеет место отставание роста оптических плотностей от роста вызывающих их экспозиций — это область передержек.

Под фотографической шириной  $L$  светочувствительного слоя понимают разность логарифмов количеств освещения (экспозиций), соответствующих концу и началу прямолинейного участка характеристической кривой.

Если продолжить прямолинейную часть характеристической кривой до пересечения с осью абсцисс, то полученная точка  $i$  носит название точки инерции (по Хертеру и Дриффильду).

Согласно стандарту ОСТ-6175 фотографической инерцией называется максимальное количество  $H_i$  освещения (максимальная экспозиция), дающее нулевую оптическую плотность при линейной зависимости между оптической плотностью и логарифмом количества освещения. Точка  $f$  характеристической кривой, которая отвечает оптической плотности, превышающей на 0,1 плотность вуали, называется эффективным порогом (по Гольдбергу). Эффективный порог и экспозиция, соответствующая ему  $H_f$ , интересны для нас, потому что, как показал Гольдберг, в построении изображения на негативе в тенях принимают участие лишь те точки изображения, оптическая плотность которых превышает оптическую плотность вуали на 0,1.

Наконец отметим еще одну точку  $g$  характеристической кривой, так называемую точку минимально полезного градиента плотности. Эта точка определяет то место характеристической кривой, в котором контрастность равна 0,2; согласно Джонсу это та минимальная контрастность, которая еще может быть использована для получения изображения. Соответствующее точке минимально полезного градиента кривой экспозиции количество освещения обозначается обычно через  $H_g$ .

Важнейшей характеристической эмульсии киноплёнки является ее светочувствительность. Согласно ОСТ-6175 последняя есть количество металлического серебра (или другого вещества), выделяющегося после соответствующей обработки на единице площади при действии на нее единицы количества освещения (единицы экспозиции).

Светочувствительность фотографического слоя определяется по тому же стандарту отношением количеств освещения (экспозиций), вызывающих одинаковый фотографический эффект на некотором слое, светочувствительность которого принята за единицу, и на испытуемом слое

$$s = \frac{H_0}{H}, \quad (59)$$

где  $H_0$  принимается за постоянную.

Современные системы сенситометрии — науки, занимающейся определением светочувствительности фотографических слоев, исходят из различных свойств характеристической кривой.

Так, светочувствительность фотографического слоя по Хертеру и Дриффильду определяется как частное от деления числа 10 на экспозицию, отвечающую точке инерции

$$s_i = \frac{10}{H_i}. \quad (60)$$

Светочувствительность материала по Джонсу выражается как

$$s_g = \frac{10}{H_g}, \quad (61)$$

где  $H_g$  — экспозиция, отвечающая минимально полезному градиенту плотности.

Величина светочувствительности по Гольдбергу определяется как обратное значение экспозиции, соответствующей эффективному порогу характеристической кривой данной эмульсии

$$s_l = \frac{1}{H_l}. \quad (62)$$

Светочувствительность в системе сенситометрии Шайнера выражается численно (в градусах) определенным номером выреза в диске сенситометра. Диск имеет 23 разных по величине выреза и вращается перед источником света, освещаясь так, что проходящий через вырезы свет падает на испытуемый фотографический слой. Номер выреза сенситометра, обусловившего экспозицию, соответствующую порогу потемнения характеристической кривой, определяет (в градусах) светочувствительность по Шайнеру.



В СССР для измерения светочувствительности применяют преимущественно сенситометр Хертера и Дриффильда, основной частью которого является секторный диск диаметром в 30 см, имеющий 9 (18) вырезов с величиной углов от 252 до 0,703°. Углы соседних вырезов относятся как  $1:2(1:\sqrt{2})$  и обеспечивают максимальную разницу в экспозициях в 362 раза.

В Америке, где чувствительность часто определяют согласно Джонсу, применяют сенситометр с диском, подобным диску Хертера и Дриффильда, несколько измененному Джонсом, или же сенситометр Истмена. В последнем вместо диска в качестве модулятора экспозиции использован цилиндр, имеющий 21 узкий длинный вырез; ширина каждого возрастает в  $1:\sqrt{2}$  раз. Шкала экспозиций, даваемых этим сенситометром,  $1:1024$ .

В Германии для измерения светочувствительности используется так называемая дин-система, определяющая светочувствительность по эффективному порogu, предложенному Гольдбергом.

В качестве модулятора экспозиции в дин-системе использован ступенчатый клин, оптические плотности которого возрастают на 0,1, образуя 30 отдельных ступенек. Таким образом максимальная плотность клина соответствует 8, т. е. прозрачность ступеней клина (следовательно, и экспозиции) максимально разнится в 1000 раз.

На одну сторону клина накладывается эмульсионной стороной испытуемый фотографический материал, на другую же сторону клина падает свет от специальной лампы. С помощью специального затвора в виде металлической заслонки, падающей мимо клина, выдержка устанавливается равной 0,05 сек.

Освещенность обращенной к лампе стороны клина устанавливается при освещении собственно лампой в 40 лк\*, а при использовании фильтра дневного света—около 5,5 лк\*.

Величина экспозиции измеряется в градусах с помощью специального компаратора номером того поля, которое по плотности превосходит плотность вуали на 0,1. Обозначение светочувствительности в рассмотренной системе выражается в виде  $s = \frac{a}{10} \text{ DiN}$ ; это означает, что плотность ступени клина, под которой образовалась плотность поля фотографического слоя на 0,1 больше вуали, равна 0,1 а.

В качестве нормального источника света для сенситометрических испытаний негативных эмульсий в настоящее время во всем мире принята согласно постановлению VIII Международного фотографического конгресса (1931 г.) вольфрамовая лампа накаливания с цветовой температурой 2860° абсолютной шкалы. Эта лампа применяется в комбинации со специальным светофильтром Дэвиса и Гибсона, который приводит спектр лампы накаливания к цвету, излучаемому абсолютно черным телом с абсолютной температурой в 5000° (дневной фильтр).

Сравнение светочувствительностей, определенных по различным методам сенситометрии, может быть проведено лишь весьма приблизительно, так как в основе разных способов сенситометрии лежат различные друг от друга признаки.

\* Люксы Гефнера.

Все же мы приведем сравнительную таблицу светочувствительностей, предложенную фирмой Вестон (установившей также свою шкалу чувствительности\*) и основанную на многочисленных опытных данных работы с современными эмульсиями (табл. 30).

Таблица 30

| Светочувствительность (в °) по |     |                      |         |
|--------------------------------|-----|----------------------|---------|
| Шайнеру                        | Дин | Хертеру и Дриффильду | Вестону |
| 14                             | 7   | 159                  | 3       |
| 15                             | 8   | 200                  | 4       |
| 16                             | 9   | 252                  | 5       |
| 17                             | 10  | 318                  | 6       |
| 18                             | 11  | 400                  | 8       |
| 19                             | 12  | 504                  | 10      |
| 20                             | 13  | 635                  | 12      |
| 21                             | 14  | 800                  | 16      |
| 22                             | 15  | 1000                 | 20      |
| 23                             | 16  | 1270                 | 24      |
| 24                             | 17  | 1600                 | 32      |
| 25                             | 18  | 2020                 | 40      |
| 26                             | 19  | 2540                 | 50      |
| 27                             | 20  | 3200                 | 64      |

В табл. 31 приведены величины светочувствительности (по X и Д) применяемых на студиях СССР негативных пленок, а также наиболее ценных зарубежных кинопленок.

Таблица 31

| Фирма                  | Тип пленки                        | Светочувствительность по X и Д (в °) | Контраст при 16' проявления |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Агфа                   | Изопан                            | 2100                                 | 0,84                        |
| Кодак                  | Ультра-Рапид                      | 4000                                 | 1,0                         |
| "                      | Супер X                           | 1150                                 | 0,76                        |
| "                      | Супер XX                          | 3500                                 | 0,6                         |
| "                      | Бэкграунд X для рирпроекции       | 420                                  | 1,2                         |
| "                      | Бэкграунд негатив для рирпроекции | 850                                  | 1,0                         |
| Дюпон                  | Супериор                          | 1300                                 | 0,75                        |
| Главкино-пленка (СССР) | СЧС-4                             | 1100                                 | 0,9                         |
|                        | СЧС-1                             | 900                                  | 0,8                         |

Пусть некоторая монохроматическая освещенность  $\Delta E_{\lambda}$ , соответствующая очень узкому участку спектра от  $\lambda_1$  до  $\lambda_1 + \Delta\lambda_1$ , при действии на данную фотографическую эмульсию в течение времени  $t$  вызывает на проявленном негативе оптическую плотность  $D$ . Этой же плотности

\* 1° шкалы светочувствительности Вестона численно в 50 раз меньше светочувствительности, определенной по Хертеру и Дриффильду.

можно добиться при освещении пленки в течение того же времени,  $t$  излучением другого участка спектра от  $\lambda_2$  до  $\lambda_2 + \Delta\lambda_2$ , но при другой в общем случае величине спектральной освещенности  $\Delta E_2$ .

Это объясняется тем, что эмульсия кинопленки имеет различную цветочувствительность и чем меньшую чувствительность обнаруживает она к данному участку излучаемого спектра, тем большая величина освещенности требуется для получения необходимого почернения (при прочих равных условиях).

За меру спектральной чувствительности фотоматериала можно взять величину, обратно пропорциональную той спектральной освещенности  $\Delta E_\lambda$ , которая при определенной выдержке дает на негативе заданную величину оптической плотности.

Следовательно,  $S_\lambda = \frac{c}{\Delta E_\lambda}$ , где  $c$  — постоянная величина, определяющая единицу измерения для спектральной чувствительности  $S_\lambda$ , носит название абсолютной спектральной чувствительности эмульсии пленки.

На практике пользуются не абсолютной спектральной чувствительностью фотоэмульсии, а относительной спектральной чувствительностью. За единицу принимают наибольшую абсолютную спектральную чувствительность данного фотографического слоя  $S_{\lambda \max}$ . Тогда относительная спектральная чувствительность для излучения любой длины волны  $\lambda_n$

выразится в виде  $v_\lambda = \frac{S_{\lambda n}}{S_{\lambda \max}}$ , где  $S_{\lambda n}$  — абсолютная спектральная чувствительность при освещении монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda_n$ .

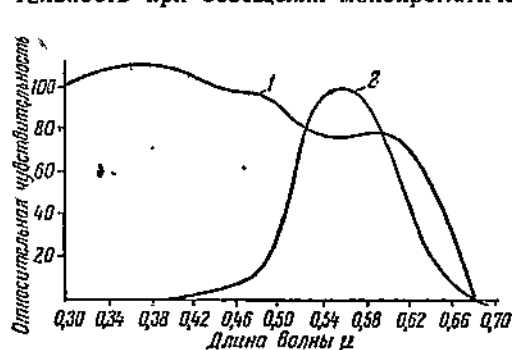


Рис. 62. Средняя характеристика спектральной чувствительности современных панхроматических кинопленок и кривая видности человеческого глаза

Современные негативные эмульсии, применяемые для киносъемки, обладают цветочувствительностью ко всему диапазону видимых излучений, причем кривые цветочувствительности негативных пленок панхроматического типа близко совпадают между собой.

На рис. 62 приведена кривая 1 — некоторая средняя характеристика спектральной чувствительности панхроматических эмульсий кинопленок. На том же рисунке нанесена кривая 2 видности человеческого глаза.

Пример 22. Легко видеть, что освещенность к краям кадра у 16-мм пленки западает в меньшей степени, чем у 35-мм пленки. У 16-мм пленки кадр имеет диагональ  $2l = 12$  мм; поэтому для фокусного расстояния объектива 25 мм получим освещенность на краю кадра

$E = E_0 \cdot \frac{25^2}{(25^2 + 6^2)^2} = 0,89 E_0$  против  $E = 0,54 E_0$  (табл. 32) для того же объектива при съемке на 35-мм пленку.

Пример 23. На основании соотношения (58) может быть найдено необходимое увеличение освещенности пленки для получения требуемого роста плотности негатива при работе на прямолинейном участке характеристики. Если плотность негатива составляла, например,  $D_1 = 0,5$  при  $\gamma = 0,7$  и освещенности  $E_1$ , то плотность  $D_2 = 1,0$  может быть получена при освещенности  $E_2$ , определяемой из соотношения  $D_2 - D_1 = \gamma (\lg H_2 - \lg H_1)$ , или  $1 - 0,5 = 0,7 \lg \frac{H_2}{H_1}$ ; следовательно,  $E_2 \cong 5 E_1$ .

## § 10. Активность излучений источников света

При изучении фотохимического эффекта, получаемого в светочувствительном слое кинопленки, знание световых характеристик источников света недостаточно для суждения о том эффекте, который вызывает излучение в светочувствительной эмульсии.

Является необходимым определение величины фотохимической ценности излучения различных источников света по отношению к эмульсии кинопленок, применяемых в условиях съемки. Эта характеристика — активность света — определяется как мера различия в действии излучения данного источника света на глаз и на испытываемую фотографическую эмульсию.

Мощность лучистой энергии' (лучистый поток), как мы знаем, равна

$$P = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda,$$

а световой поток  $F$  определяется выражением:

$$F = \int_0^{\infty} K_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda,$$

где  $K_{\lambda}$  — видность излучения длины волны  $\lambda$ ;  $E_{\lambda}$  — спектральная интенсивность излучения.

Применяемые при киносъемке эмульсии, как мы видели (рис. 62), имеют значительно отличающиеся от кривой видности характеристики спектральной чувствительности.

Обозначим относительную спектральную чувствительность эмульсии к излучению длины волны  $\lambda$  через  $v_{\lambda}$ , тогда способность данного излучения действовать на фотографическую эмульсию будет пропорциональна спектральной светочувствительности последней и спектральной интенсивности излучения:  $d\varphi = e_{\lambda} v_{\lambda} d\lambda$ . Величина  $d\varphi$  носит название спектральной фотичности. Обычно на фотографическую эмульсию действуют лучи различной длины волны. Ван-Кревалд в 1938 г. показал, что суммарное действие многих излучений с различной длиной волны определяется арифметической суммой их фотичностей (закон спектральной аддитивности). Следовательно, полное фотохимическое действие излучения будет пропорционально выражению:

$$\varphi = \int_0^{\infty} v_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda. \quad (63)$$

Величину  $\varphi$  мы называем фотографическим потоком.  
 Стношение

$$A_{абс} = \frac{\int_0^{\infty} E_{\lambda} v_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{\lambda} K_{\lambda} d\lambda} \quad (64)$$

характеризует абсолютную активничность излучения для данного сорта пленки. Так как размерности светового потока и фотографического потока одинаковы (размерности мощности), то абсолютная активничность имеет нулевую размерность, т. е. выражается отвлеченной величиной.

Легко видеть, что абсолютная активничность не зависит от величины светового или фотографического потока или, что то же, от значения спектральной интенсивности  $E_{\lambda}$ . В самом деле,  $E_{\lambda}$  является некоторой функцией длины волны, зависящей от типа источника света. Если спектральное распределение излучателя определяется функцией  $e(\lambda)$ , то абсолютная величина спектральной интенсивности выразится в виде  $E_{\lambda} = C_1 e(\lambda)$ , где  $C_1$  — некоторая постоянная для излучателя величина, при заданных условиях его работы характеризующая мощность радиации.

В таком случае выражение (64) для абсолютной активничности перейдет в следующее, не зависящее от величины  $C_1$ :

$$A = \frac{\varphi}{F} = \frac{\int_0^{\infty} e(\lambda) v_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} e(\lambda) K_{\lambda} d\lambda} \quad (65a)$$

Для оценки активничности источников света является целесообразным иметь не абсолютные величины активничности, а относительные, приняв за единицу активничность излучения какого-либо эталонного источника света.

Если спектральная интенсивность излучения эталонного источника света равна  $E_{\lambda}^{эм}$ , то абсолютная активничность его излучения для того же сорта пленки будет равна

$$A^{эм} = \frac{\int_0^{\infty} E_{\lambda}^{эм} v_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{\lambda}^{эм} K_{\lambda} d\lambda}$$

Следовательно, относительная активничность данного источника света для испытуемого сорта пленки составит

$$a = \frac{A}{A^{эм}} \quad (65b)$$

Выведенные выше соотношения для абсолютной и относительной активничности предусматривают, что световой и фотографический потоки воспринимаются глазом и пленкой без наличия какой-либо промежуточной среды. В действительных условиях, перед тем как попасть на кинопленку, световой и фотографический потоки предварительно могут проходить через съемочный объектив камеры. Так как съемочный объектив обладает определенным коэффициентом пропускания (меньшим единицы) и при этом в общем случае зависящим от длины волны проходящих лучей, то

практически выражения (65a) и (65b) для абсолютной и относительной активничности должны быть представлены в виде

$$A = \frac{\int_0^{\infty} \tau_{\lambda} E_{\lambda} v_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \tau_{\lambda} E_{\lambda} K_{\lambda} d\lambda} \quad (66)$$

$$a = \frac{\int_0^{\infty} \tau_{\lambda} E_{\lambda} v_{\lambda} d\lambda \cdot \int_0^{\infty} \tau_{\lambda} \cdot E_{\lambda}^{эм} \cdot K_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \tau_{\lambda} E_{\lambda} K_{\lambda} d\lambda \cdot \int_0^{\infty} \tau_{\lambda} \cdot E_{\lambda}^{эм} v_{\lambda} d\lambda}, \quad (67)$$

где  $\tau_{\lambda}$  — коэффициент пропускания объектива для лучей с длиной  $\lambda$ .

Если коэффициент пропускания объектива  $\tau_{\lambda}$  постоянен для всех лучей, излучаемых источником света (или изменяется очень незначительно), выражения (66) и (67) переходят в выражения (64) и (65).

Определения активничности, приведенные выше, применяются в большинстве стран мира, хотя и не являются стандартизированными. В Германии с конца 1936 г. действует стандарт DIN-4519 на активничность источников света и методы ее измерения.

Согласно этому стандарту для вычисления активничности источника света при данном сорте эмульсии необходимо определить величины экспозиций (в люкс-секундах), требуемые при освещении фотографического слоя нормальным и испытуемым источниками света, с тем, чтобы при заданных условиях освещения и обработки оптическая плотность фотографического слоя была одинакова.

Активничность определяется по DIN-4519 в виде отношения:

$$a_{Em} = \frac{\text{экспозиция при нормальном источнике света (лк·сек.)}}{\text{экспозиция при испытуемом источнике света (лк·сек.)}} \quad (68)$$

При этом на месте букв  $Em$  пишется название эмульсии и фирма, ее изготовившая.

Легко видеть, что активничность  $a_{Em}$ , определенная по формуле (68), численно равна величине относительной активничности  $a$ , определенной выше. В самом деле, из формулы (65) получаем  $a = \frac{\varphi \cdot F_{эм}}{F \cdot \varphi_{эм}}$ .

Если оптические плотности при освещении испытуемым и нормальным источниками света, экспонирующими пленку в течение одинакового времени  $t$ , равны, то  $\varphi_{эм} = \varphi$  и

$$a = \frac{F_{эм}}{F} = \frac{E_{эм}}{E}, \quad (69)$$

где  $E_{эм}$  и  $E$  — освещенности, создаваемые потоками  $F_{эм}$  и  $F$ .

Полученное выражение совпадает со значением для  $a$  из формулы (68), так как время экспозиции  $t$  для обоих случаев экспозиции одно и то же.

Для производства актинометрических измерений рекомендуется применять „абсолютно черный“ излучатель с цветовой температурой в  $5000^{\circ}$  абс., что соответствует белому солнечному свету. Для целей актинометрических испытаний указанный эталонный источник света обычно осуществляется с помощью пустотной лампы накаливания с цветовой температурой излучения  $2860^{\circ}$  К при употреблении соответствующих стандартных фильтров же так, как то имеет место в сенситометрических испытаниях.

Сказанное, конечно, не исключает возможности использования в качестве эталона актиничности какого-либо другого источника света. Чтобы не было путаницы в этом вопросе, при указании величины актиничности источника света приводятся данные о принятом эталоне.

Значения величины относительной актиничности для различных источников света даны в табл. 32, заимствованной из американской практики. За 100% принята актиничность солнечного света определенного состава; практически этот свет осуществляется эталоном с фильтром, описанным выше.

Таблица 32

| Источник света                                     | Свето-отдача<br>(в лм/вт) | Актиничность в процентах для<br>разных эмульсий (a) |                   |                    |
|----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
|                                                    |                           | нормальная                                          | ортохроматическая | панхроматическая * |
| Солнце . . . . .                                   | 150                       | 100                                                 | 100               | 100                |
| Небо . . . . .                                     | —                         | 181                                                 | 155               | 130                |
| Кварцевая ртутная лампа . . . . .                  | 40                        | 600                                                 | 500               | 367                |
| Ртутная лампа (кронгласс) . . . . .                | 37                        | 324                                                 | 275               | 249                |
| Пары ртути . . . . .                               | 23                        | 316                                                 | 354               | 273                |
| Угольная дуга обыкновенная . . . . .               | 12                        | 126                                                 | 112               | 104                |
| Угольная дуга с пламенем<br>белого-цвета . . . . . | 29                        | 257                                                 | 234               | 215                |
| Лампа накаливания угольная . . . . .               | 2,44                      | 23                                                  | 32                | 42                 |
| То же . . . . .                                    | 3,16                      | 25                                                  | 35                | 45                 |
| Лампа вольфрамовая пустотная . . . . .             | 8,0                       | 33                                                  | 41                | 50                 |
| То же . . . . .                                    | 9,9                       | 37                                                  | 45                | 53                 |
| Лампа вольфрамовая газополная . . . . .            | 16,6                      | 56                                                  | 62                | 70                 |
| То же . . . . .                                    | 21,6                      | 64                                                  | 68                | 76                 |
| То же с синей колбой . . . . .                     | 8,9                       | 95                                                  | 87                | 95                 |
| „ „ „ „ . . . . .                                  | 11,9                      | 108                                                 | 99                | 105                |

Определение актиничности абсолютной и относительной может быть выполнено путем расчета (исходя из формул 64—65) при наличии кривых распределения энергии в спектре излучения испытуемого и эталонного источников света, а также кривых спектральной чувствительности пленки и видности глаза. Так как полный расчет является в достаточ-

\* Данные относятся к „средней“ панхроматической пленке. Для современных типов панхроматических эмульсий величины актиничности приведены в дальнейших таблицах.

ной степени сложным и продолжительным, то его можно упростить путем разделения кривой распределения энергии в спектре на 4—5 участков, в пределах которых спектральная интенсивность принимается одинаковой.

На практике активничность обычно определяется (Люкс, Эдер, Фабри и др.) с помощью сенситометров или спектрографов. Получаемая таким образом величина активничности практического значения иметь не может, так как при киносъемках экспонирование пленки протекает в совершенно иных условиях.

В Научно-исследовательском кинофототехинституте инж. Н. В. Горбачевым был разработан более точный метод определения активничности источников света, в основу которого положены соображения, подобные высказанным выше при определении величины  $a_{Em}$ .

Пусть почернения пленок, полученные при съемке белых поверхностей, освещенных испытуемым и эталонным источниками света, равны, тогда в случае одинаковых условий съемки и лабораторной обработки пленок  $\varphi = \varphi_{эм}$ .

Величина освещенности пленки  $E$  может быть выражена через яркость  $B$  снимаемого объекта:

$$E = CB; \quad E_{эм} = CB_{эм}$$

где коэффициент  $C$  одинаков для обоих источников света.

Это можно допустить, так как объективы удовлетворительного качества и в видимой части спектра практически бесцветны.

Тогда относительная активничность  $a$ , полагая в формуле (65)  $\varphi = \varphi_{эм}$ ,

$$a = \frac{E_{эм}}{E} = \frac{B_{эм}}{B}.$$

Таким образом относительная активничность источника света определяется как частное от деления яркости объекта, освещаемого эталонным источником, на яркость объекта, освещенного испытуемым источником света, при условии равной плотности почернения изображения.

Для измерения по указанному методу активничности (а также цвето-передачи) пользуются цветной таблицей (рис. 63), разработанной в Научно-исследовательском кинофототехинституте. Цветная таблица НИКФИ содержит 7 цветных полей и 7 серых шкал, из которых каждая имеет по 25 серых полей. Общий размер таблицы  $176 \times 264$  мм, каждое цветное поле имеет размер  $15 \times 22$  мм, серое —  $7 \times 13$  мм.

Цветные поля имеют следующие характеристики (табл. 33).

Таблица 33

| Название цвета         | Длина волны | Коэффициент отражения (в %) |
|------------------------|-------------|-----------------------------|
| Красный . . . . .      | 617         | 13,0                        |
| Оранжевый . . . . .    | 599         | 29,0                        |
| Желтый . . . . .       | 580         | 64,5                        |
| Зеленый . . . . .      | 561         | 37,0                        |
| Голубой . . . . .      | 460         | 10,0                        |
| Синий . . . . .        | 457         | 5,5                         |
| Пурпурный доп. . . . . | 515         | 6,8                         |



Серые поля имеют характеристики, указанные в табл. 34.

Таблица 34

| № полей                                  | 1    | 2  | 3  | 4  | 5    | 6  | 7  | 8  | 9    | 10 | 11 | 12   |
|------------------------------------------|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|------|
| Коэффициент отражения<br>(в %) . . . . . | 82,5 | 74 | 64 | 56 | 49,5 | 43 | 37 | 33 | 28,5 | 25 | 22 | 19,5 |

Продолжение

| № полей                                  | 13   | 14   | 15   | 16 | 17  | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23  | 24 | 25  |
|------------------------------------------|------|------|------|----|-----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|
| Коэффициент отражения<br>(в %) . . . . . | 16,5 | 14,5 | 12,5 | 11 | 9,5 | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3,5 | 3  | 2,5 |

Для измерения активности цветная таблица снабжается экраном нейтрального цвета, освещаемым стандартным источником света, акти-

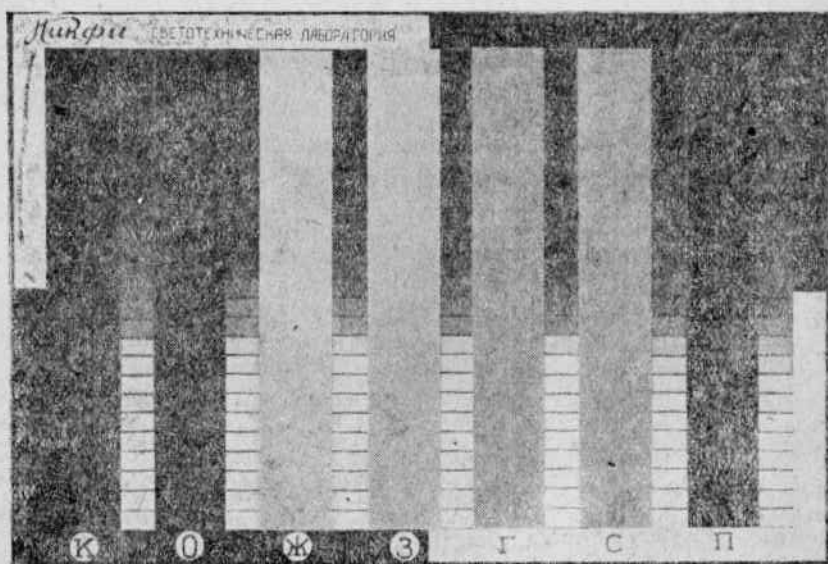


Рис. 63. Цветная таблица НИКФИ

тельность которого известна. Таблица же освещается испытуемым источником света.

Сняв цветную таблицу и подбирая на полученном снимке равные оптические плотности изображения таблицы и экрана и измеряя освеще-

ценности экрана и цветной таблицы, можно подсчитать активничность источника света при данном фотографическом материале.

Если  $\rho_a$  — коэффициент отражения экрана,  $\rho_c$  — коэффициент отражения серого поля таблицы, имеющего на негативе оптическую плотность, равную плотности фотографического изображения экрана на пленке,  $E_{ak}$  и  $E_m$  освещенности экрана и поверхности цветной таблицы, создаваемые соответственно стандартным и испытуемым источником света, то абсолютная активничность данного источника света будет равна

$$A = \frac{E_{ak}\rho_a}{E_m\rho_c} \cdot A_{см},$$

где  $A_{см}$  — активничность стандартного источника света. Относительная активничность определится в виде

$$a = \frac{A}{A_{см}} = \frac{E_{ak}\rho_a}{E_m \cdot \rho_c}. \quad (70)$$

Остановимся еще на методе определения активничности, применяемом в германской практике, стандартизованной в DIN-4519.

Для определения активничности по данному методу применяют сенситометр DIN, причем сначала через ступенчатый клин освещают испытуемую пленку нормальным источником света, а затем испытуемым и измеряют освещенности передней поверхности клина ( $E_n$  и  $E_x$ ). Далее определяют плотности ступеней клина, под которыми на пленке пропечатались (после проявления) поля с оптической плотностью на 0,1 большей вуали при освещении нормальным источником света ( $D_{kn}$ ) и испытуемым источником ( $D_{kx}$ ).

Так как коэффициент пропускания клина определится соответственно через  $\frac{1}{10^{D_{kn}}}$  и  $\frac{1}{10^{D_{kx}}}$ , то освещенности пленки от нормального и испытуемого источников света составят соответственно  $\frac{E_n}{10^{D_{kn}}}$  и  $\frac{E_x}{10^{D_{kx}}} \text{ лк.}$

Следовательно, принимая во внимание, что в обоих случаях освещения выдержка остается неизменной, равной 0,05 сек., получим величину количества освещения (экспозиции) соответственно

$$H_n = \frac{E_n \cdot 0,05}{10^{D_{kn}}}; \quad H_x = \frac{E_x \cdot 0,05}{10^{D_{kx}}}.$$

Активничность излучения испытуемого источника света определится в виде

$$a_{Em} = \frac{E_n}{E_x} \cdot 10^{D_{kn} - D_{kx}}, \quad (71)$$

причем в целях большей точности обычно рекомендуется проводить четыре измерения и брать среднюю величину.

Пример 24. Пусть натриевая лампа, излучающая спектральную линию  $\lambda = 0,59 \mu$  при мощности излучения  $P = 10 \text{ вт}$ , экспонирует кино-

пленку панхроматического типа. Исходя из кривой видности глаза и кривой спектральной чувствительности эмульсии, найдем  $K_{\lambda}=0,757$  и  $\psi_{\lambda}=0,8$ ; следовательно, абсолютная активничность этого источника равна

$$A = \frac{10 \cdot 0,8}{10 \cdot 0,757} = 1,06.$$

Пример 25. Если освещенности экрана и цветной таблицы НИКФИ при эталонном источнике света  $E_{\text{эк}}=100$  лк, а при освещении испытуемым источником  $E_{\text{т}}=75$  лк, а  $p_{\text{в}}=0,8$  и  $p_{\text{с}}=0,64$ , то относительная активничность при  $A_{\text{эт}}=1$  источника определится так:

$$a = \frac{100 \cdot 0,8}{75 \cdot 0,64} = 1,67.$$

Пример 26. При измерении активничности по методу DIN освещенность клина при освещении нормальным источником света составляет  $E_{\text{н}}=5,5$  лк; такая же освещенность достигнута при освещении испытуемым источником света. Если плотность ступени клина, под которым плотность поля испытуемой пленки превышает плотность вуали на 0,1, отвечает  $D_{\text{лк}}=1,6$  для нормального источника света и  $D_{\text{кк}}=1,4$  для испытуемой лампы накаливания, то

$$a = \frac{5,5 \cdot 0,05 \cdot 10^{1,4}}{5,5 \cdot 0,05 \cdot 10^{1,6}} = 0,63.$$

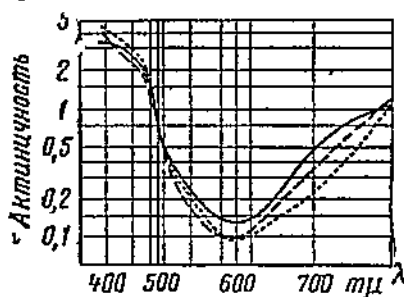
## § 11. Точность цветопередачи при киносъемках

Правильная передача основных цветов и их оттенков на кинопленке в той же градации, как они воспринимались глазом, в условиях киносъемки имеет большое значение.

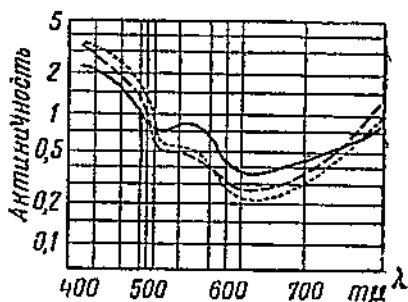
Следовательно, наряду с относительной активничностью данного источника света при съемке бесцветных предметов представляет значительный интерес и значение активничности при съемке различных красок. На

Рис. 64а, б, с—точность цветопередачи на различных типах пленки

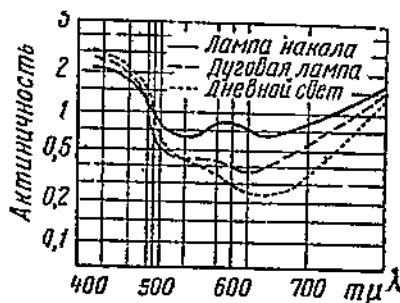
рис. 64 приведены кривые зависимости относительной активничности от цвета для различных красок. На всех трех рисунках воспроизведены кривые для ламп накаливания, дуговых ламп с простыми углами и днев-



а



б



с

ного света. На кривых для обыкновенных несенсибилизированных эмульсий (рис. 64,а) сразу бросается в глаза большая разница между соотношениями активности синих и фиолетовых тонов, с одной стороны, и желтыми и оранжевыми — с другой. Кривая активности очень

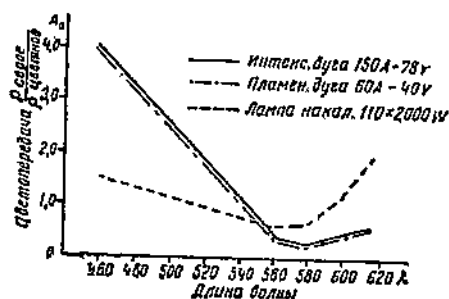


Рис. 65. Точность цветопередачи различных источников света

сильно отклоняется от горизонтальной линии, отвечающей активности, равной единице, которая получилась бы при совершенно точной передаче цветов. Наименьшая величина получается для желтого цвета, тогда как для красного получается более высокое соотношение активности.

Иначе, однако, обстоит дело при ортохроматических эмульсиях (рис. 64,б). Кривые активности здесь гораздо ближе подходят к горизонтальной линии для совершенно правильной передачи цветов, что особенно ясно выявляется при сравнении желто-зеленого и желтого тонов. Более благоприятные условия лампы накаливания по сравнению с дуговой лампой с простыми углями и дневным светом проявляются здесь очень значительно.

Еще сильнее это выявляется у панхроматических эмульсий (рис. 64,с), у которых при освещении дневным, а также и дуговым светом наблюдаются значительные отклонения от вполне точной передачи цветов. При

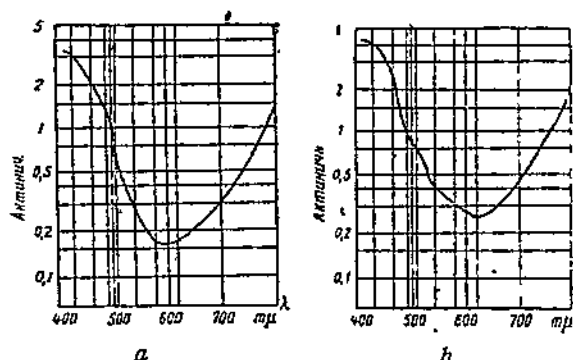


Рис. 66а, б — точность цветопередачи при освещении ртутными лампами низкого давления

освещении лампой накаливания это происходит в значительно меньшей степени, и правильность передачи цвета, которая получается с лампой накаливания, при дуговом свете могла бы быть получена при применении желтого фильтра.

На рис. 65 приведены зависимости относительной цветопередачи от длины волны, излучаемой источником света для высокоинтенсивной дуговой лампы 150 а 78 в, для дуговой лампы с пламенными углями 60 а 40 в и для лампы накаливания 110×2000 вт, 115×2000 вт и 120×3000 вт.

Все кривые сняты для панхроматической пленки и дают возможность заключить, что для этого рода пленки наиболее приемлемым с точки зрения точности цветопередачи является лампа накаливания.

На рис. 66, а и 66, в приведены характеристики цветопередачи при освещении обыкновенной и панхроматической киноплёнок ртутной лампой низкого давления.

Представляется необходимым получение простого числа для приблизительного определения точности передачи цветов. Для этой цели может служить соотношение наибольших и наименьших величин активности цветных полей. Минимальные цифры обычно получаются при желтом или оранжевом, максимальные же—в большинстве при фиолетовом поле. Отношение этих величин покажет, во сколько раз более сильное освещение требуют желтые и оранжевые краски, чтобы при фотографическом воспроизведении они казались столь же светлыми, как одинаково светлые фиолетовые тона.

Если активность при съемке фиолетовых (или синих) тонов  $A_{\max}$ , а активность для желтого тона  $A_{\min}$ , то коэффициент точности цветопередачи обычно выражается в виде соотношения

$$K = \frac{A_{\min}}{A_{\max}} = \frac{1}{\frac{A_{\max}}{A_{\min}}} . \quad (72)$$

Вместо дроби эту величину можно также указывать в процентах, и тогда при 100%<sub>0</sub> имеем полную правильность передачи цветов. Числа,

Т а б л и ц а 35

| Источник света                    | Точность цветопередачи $K$ |                         |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                                   | обыкновенная пленка        | панхроматическая пленка |
| Лампа накаливания пустотная . . . | 1:17                       | 1:2,8                   |
| „ газополная 20 лм/вт . . .       | 1:16                       | 1:3                     |
| „ 30 . . .                        | 1:16                       | 1:3,5                   |
| „ дуговая с чистыми углями . . .  | 1:23                       | 1:6                     |
| „ „ с белыми углями . . .         | 1:18                       | 1:7                     |
| „ „ с желтыми углями . . .        | 1:18                       | 1:4                     |
| „ „ закрытого горения . . .       | 1:29                       | 1:23                    |
| „ ртутная . . .                   | 1:20                       | 1:16                    |
| Дневной свет . . .                | 1:16                       | 1:7                     |
| Магний . . .                      | 1:28                       | 1:5                     |

полученные таким образом для определения правильности передачи цветов, приведены в табл. 35 (полученной Блохом) для обыкновенной и панхроматической эмульсий при разных источниках света.

Точность цветопередачи может быть рассчитана, исходя из кривой спектральной чувствительности пленки и кривой распределения энергии в спектре испытуемой лампы, аналитически. В этом случае подсчитывают актиничность источника света для фиолетовой и желтой частей спектра при данной кривой спектральной чувствительности пленки, после чего по формуле (72) может быть определена точность цветопередачи. Такой расчет обычно никогда не соответствует действительному положению дела, так как применяемые для окраски поверхностей краски не являются спектрально чистыми. Обычно цветопередачу измеряют путем фотографирования спектра. Со строго научной точки зрения показания спектрофотограмм являются, конечно, наиболее точными, так как в спектре мы имеем краски наиболее высокой чистоты. Однако необходимо снова отметить, что никогда на практике мы не употребляем спектрально чистых красок — все они содержат в большей или меньшей мере примеси белого цвета и состоят из смеси красок разных цветов. В силу этого они и передаются на фотографии совершенно иначе, чем чистые спектральные цвета. Это хорошо видно при фотографировании желтых и красных тонов. В то время как при фотографировании спектра на обыкновенных эмульсиях эти цвета на них совершенно не действуют, при фотографировании в натуре они в большинстве случаев являются более или менее актиничными.

Наибольшее соответствие требованиям и условиям практики достигается тогда, когда при помощи киноаппарата фотографируют цветную таблицу, придерживаясь тех же условий, как и при обычной киносъемке. Выбранные краски должны быть достаточно чистыми и возможно ближе передавать важнейшие встречающиеся в природе цвета.

Цветные таблицы для определения точности цветопередачи мало отличаются друг от друга.

В СССР при измерениях точности цветопередачи при различных источниках света обычно пользуются цветной таблицей НИКФИ (рис 63).

Для определения точности цветопередачи с помощью таблицы НИКФИ ее устанавливают на специальном станке и освещают испытуемым источником света. Затем освещенную таблицу снимают с помощью обычной киносъемочной камеры на кинопленку определенного сорта, выбирая последний в зависимости от поставленных условий.

После проявления изображения на пленке находят серое поле, оптическая плотность которого равна оптической плотности какого-либо цветного поля. Если при этом коэффициент отражения серого и цветного

полей равны соответственно  $\rho_c$  и  $\rho_{\text{ц}}$ , то  $K = \frac{\rho_c}{\rho_{\text{ц}}}$  дает относительную величину цветопередачи. Если  $K > 1$ , то данный цвет передается на пленке сильнее, чем он воспринимается глазом; при  $K < 1$  цвет передается слабее. Наконец, при  $K = 1$  цвет передается правильно. При работе с таблицей НИКФИ относительная величина цветопередачи находится для желтого и синего цветных полей, причем для желтого поля получают обычно минимальное значение  $K_{\text{min}}$ , для синего поля относительная величина цветопередачи максимальна  $K_{\text{max}}$ .

В качестве характеристики цветопередачи данного сорта пленки при данном источнике света берут отношение

$$K = \frac{K_{\min}}{K_{\max}} = \frac{1}{\frac{K_{\max}}{K_{\min}}},$$

которое и является коэффициентом точности цветопередачи.

## § 12. Активности и цветопередача источников света

Рассмотрим активность и цветопередачу источников света, обычно применяемых в практике киносъемки, — ламп накаливания и дуговых ламп. Для других источников света активность и цветопередача могут быть определены расчетным путем или же взяты из табл. 35.

### А. Активность ламп накаливания

Активность вольфрамовой лампы накаливания зависит от: 1) мощности лампы, 2) отклонения питающего напряжения от нормального, 3) световой отдачи лампы и 4) срока ее службы.

#### 1) Влияние мощности лампы

В табл. 36 приведены абсолютные значения активности применяемых в кинопроизводстве ламп, измеренные с помощью цветной таблицы НИКФИ.

| Таблица № 36               |                               |                                      |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Мощность<br>(в <i>вт</i> ) | Активность<br>(относительная) | Световая отдача<br>(в <i>лм/вт</i> ) |
| 1 000                      | 1,25                          | 22,2                                 |
| 2 000                      | 1,30                          | 23,7                                 |
| 3 000                      | 1,32                          | 24,1                                 |
| 5 000                      | 1,35                          | 25,5                                 |
| 10 000                     | 1,45                          | 28,0                                 |

Испытания проводились для панхроматической эмульсии при номинальном для ламп напряжении 110 в. В той же таблице приведены данные о световой отдаче ламп в зависимости от их мощности.

Как видим, активность увеличивается с увеличением мощности лампы относительно незначительно.

#### 2) Влияние изменения напряжения

При изменении приложенного к лампе напряжения активность ее излучений изменяется. Увеличение напряжения против номинального вызывает увеличение активности; наоборот, уменьшение напряжения связано с уменьшением активности излучения. Сказанное вполне понятно, если учесть, что при изменении напряжения лампы изменяется также и спектральная характеристика светового потока.

Если обозначить через  $A_n$  активность вольфрамовой лампы при нормальном для нее напряжении  $v_n$ , то при другом напряжении  $v_x$  активность излучений лампы изменится и составит  $A_x$ , причем

$$\frac{A_n}{A_x} = \left( \frac{v_n}{v_x} \right)^k \quad (73)$$

Это соотношение справедливо для отклонений величины напряжения от нормального в пределах  $\pm 10 - \pm 15\%$ , имеющих преимущественное

значение для практики. Значение  $k$  зависит от рода применяемой эмульсии: для панхроматических пленок  $k$  может быть принято равным 0,5, в случае использования несенсибилизированной пленки влияние отклонения напряжения увеличивается, и  $k$  равняется примерно 0,6.

Следовательно, формула (73) представится в виде

$$\frac{A_n}{A_x} = \left( \frac{v_n}{v_x} \right)^{0,5} \quad \text{для панхроматической пленки и}$$

$$\frac{A_n}{A_x} = \left( \frac{v_n}{v_x} \right)^{0,6} \quad \text{для несенсибилизированной пленки.}$$

При практическом использовании в киностудии ламп накаливания изменение напряжения влияет не только на их активность, но, как мы знаем, и на излучаемый ими световой поток. В результате происходят изменения фотохимического действия излучений.

Световой поток газополной лампы зависит от изменения напряжения в степени 3,5, т. е.:

$$\frac{F_n}{F_x} = \left( \frac{v_n}{v_x} \right)^{3,5},$$

следовательно, изменение фотографического потока лампы для наиболее частого случая применения панхроматических сортов пленки составит

$$\frac{\varphi_n}{\varphi_x} = \frac{F_n}{F_x} \cdot \frac{A_n}{A_x} = \left( \frac{v_n}{v_x} \right)^4. \quad (74)$$

Таким образом изменение фотохимического действия излучений, вызванного колебаниями напряжения для ламп накаливания, при съемке на панхроматической пленке будет зависеть от четвертой степени изменения напряжения.

В табл. 37 приведены вычисленные на основании формулы (74) изменения фотографического потока в процентах от нормального при

Таблица 37

| Напряжение<br>в % от нор-<br>мального<br>(100%) | Фотографи-<br>ческий по-<br>ток в % от<br>нормального<br>(100%) | Напряжение<br>E в % от<br>нормального<br>(100%) | Фотографи-<br>ческий по-<br>ток в % от<br>нормального<br>(100%) | Напряжение<br>E в % от<br>нормального<br>(100%) | Фотографи-<br>ческий по-<br>ток в % от<br>нормального<br>(100%) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 70                                              | 24                                                              | 92                                              | 72                                                              | 114                                             | 169                                                             |
| 72                                              | 27                                                              | 94                                              | 78                                                              | 116                                             | 181                                                             |
| 74                                              | 30                                                              | 96                                              | 85                                                              | 118                                             | 194                                                             |
| 76                                              | 35                                                              | 98                                              | 92                                                              | 120                                             | 207                                                             |
| 78                                              | 37                                                              | 100                                             | 100                                                             | 122                                             | 222                                                             |
| 80                                              | 41                                                              | 102                                             | 108                                                             | 124                                             | 236                                                             |
| 82                                              | 45                                                              | 104                                             | 117                                                             | 126                                             | 252                                                             |
| 84                                              | 50                                                              | 106                                             | 126                                                             | 128                                             | 268                                                             |
| 86                                              | 55                                                              | 108                                             | 136                                                             | 130                                             | 285                                                             |
| 88                                              | 60                                                              | 110                                             | 146                                                             | —                                               | —                                                               |
| 90                                              | 66                                                              | 112                                             | 157                                                             | —                                               | —                                                               |

изменениях напряжения (также в процентах от нормального). Как следует из приведенных данных, увеличение напряжения, например, на 10%



вызывает увеличение фотографического потока на  $36\%$ , а падение напряжения до  $84\%$  нормального уменьшает фотографический поток вдвое.

### 3) Влияние световой отдачи

Влияние световойдачи на активность излучения газополных вольфрамовых ламп можно выяснить из рассмотрения данных табл. 37. Как видим, увеличение световойдачи ведет к росту активности, что представляется вполне понятным, поскольку рост световойдачи связан с повышением температуры вольфрама.

Так как при изменениях подведенного к лампе напряжения световодача ее изменяется, то может быть установлена зависимость активности от световойдачи вольфрамовой лампы. Как мы установили, изменение световодчи происходит при изменениях напряжения по закону

$$\frac{g_n}{g_x} = \left( \frac{v_n}{v_x} \right)^2$$

Следовательно, учитывая выражение (73), получим для панхроматической пленки

$$\frac{A_n}{A_x} = \left( \frac{g_n}{g_x} \right)^{0,25} \quad (75)$$

Таким образом для одной и той же лампы изменения световодчи при колебаниях напряжения будут вызывать сравнительно меньшие изменения активности.

### 4) Влияние срока службы

По мере горения лампы активность излучения ее уменьшается. Это происходит главным образом вследствие осаждения на колбе лампы слоя вольфрама, поглощающего преимущественно лучи коротких длин волн и окрашивающего свет лампы в желтый цвет. Кроме этого в процессе горения лампы изменяется (уменьшается) температура нити, что также влечет за собой изменение активности. При этом потеря активности сказывается меньше при съемках на панхроматической пленке, чем в случаях применения несенсибилизированных эмульсий. На рис. 67

приведена примерная зависимость фотографического потока (отложенного по оси ординат в  $\%$ ) лампы накаливания от срока ее службы (отложенного по оси абсцисс в  $\%$ ) для случая съемки на панхроматической пленке.

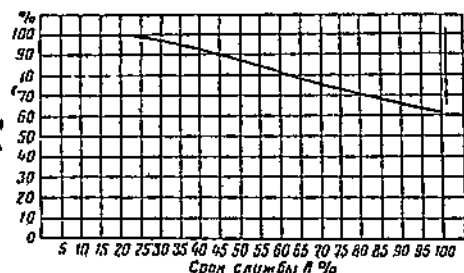


Рис. 67. Зависимость уменьшения фотографического потока лампы накаливания от продолжительности горения

### В. Цветопередача ламп накаливания

Цветопередача ламп накаливания была рассмотрена достаточно подробно. Для мощных ламп накаливания, применяемых на кинопроизводстве, значения коэффициента

точности цветопередачи при съемке на панхроматических материалах могут быть взяты из табл. 38, полученной путем съемки цветной таблицы НИКФИ.

Как видно из приведенных данных, коэффициент точности цветопередачи мало изменяется у ламп разной мощности. Кроме того, из данных таблицы можно установить, что величина световой отдачи ламп накаливания влияет незначительно на изменение коэффициента точности цветопередачи.

Отметим еще, что как активничность, так и цветопередача ламп накаливания не зависят от рода питающего их тока.

### С. Активничность дуговых ламп

Как отмечалось выше, для всех сортов применяемых киноленок активничность излучений дуговых ламп выше, чем активничность ламп накаливания.

В табл. 39 приведены значения относительной активничности различных дуговых ламп, снабженных углями советского производства, при съемке

Таблица 38

| Мощность лампы (в вт) | Коэффициент точности цветопередачи (в °К) |
|-----------------------|-------------------------------------------|
| 1 000                 | 1:2,5                                     |
| 2 000                 | 1:2,25                                    |
| 3 000                 | 1:2,25                                    |
| 5 000                 | 1:2                                       |
| 10 000                | 1:2                                       |

Таблица 39

| Источник света                                                             | Режим горения   |                  | Марка углей и их диаметр (в мм)                   | Относительная активничность | Световая отдача (в лм/вт) |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|                                                                            | сила тока (в а) | напряжение (в в) |                                                   |                             |                           |
| Дуговая лампа интенсивного горения с автоматической регулировкой . . . . . | 150             | 78               | Высокой интенсивности<br>$d_+ = 16$<br>$d_- = 11$ | 2,0                         | 42,7                      |
| Дуговая лампа с пламенными углями и ручной регулировкой (постоянный ток) . | 150             | 65               | "KC"<br>$d_+ = 22$<br>$d_- = 16$                  | 2,0                         | 32,8                      |
| Дуговая лампа с пламенными углями и ручной регулировкой (переменный ток) . | 150             | 35               | "KC"<br>$d = 22$                                  | 1,9                         | 18,5                      |
| Дуговая лампа с пламенными углями и ручной регулировкой (постоянный ток) . | 80              | 50               | "KC"<br>$d_+ = 14$<br>$d_- = 11$                  | 1,9                         | 25                        |
| Дуговая лампа с пламенными углями и ручной регулировкой (переменный ток) . | 80              | 35               | "KC"<br>$d = 14$                                  | 1,9                         | 18                        |

\* Без учета потерь в реостате.

на панхроматической пленке. Измерения актиничности были произведены с помощью цветной таблицы НИКФИ.

Заграничные угли имеют актиничность излучений, мало отличающуюся от советских углей. В табл. 40 представлены значения актиничности углей различных иностранных фирм при съемке на ортохроматической эмульсии.

Таблица 40

| Марка<br>и диаметр углей<br>(в мм) | Режим горения $I = 200a, v = 80a$   |                                     |                                               |                                              | Режим горения<br>$I = 150a, v = 65a$ |                                   |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
|                                    | Вейнерт<br>$d_+ = 25$<br>$d_- = 18$ | Конради<br>$d_+ = 25$<br>$d_- = 18$ | Лорэн<br>"Орлюкс"<br>$d_+ = 25$<br>$d_- = 18$ | Кудиново<br>"КС"<br>$d_+ = 22$<br>$d_- = 16$ | "КС"<br>$d_+ = 22$<br>$d_- = 16$     | Лорэн<br>$d_+ = 22$<br>$d_- = 16$ |
| Абсолютная актиничность . . . . .  | 9,0                                 | 9,3                                 | 8,0                                           | 8,8                                          | 7,4                                  | 6,5                               |

Как следует из приведенных данных и из многочисленных испытаний, проведенных в светотехнической лаборатории НИКФИ, актиничность дуговых ламп открытого горения с углями различных типов (пламенные, интенсивные) мало отличается друг от друга и почти не зависит от рода применяемого тока.

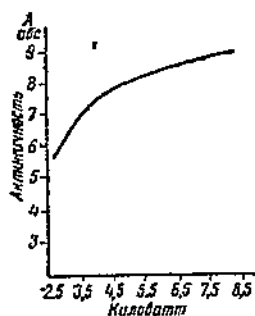


Рис. 68. Зависимость актиничности дуговой лампы от потребляемой мощности

Для дуговой лампы, угли которой рассчитаны на определенную силу тока, изменение потребляемой мощности приводит к пропорциональному изменению актиничности. Это можно видеть, например, из рис. 68, где графически представлена зависимость актиничности дуговой лампы с пламенными углями "КС" ( $d_+ = 14$  мм и  $d_- = 11$  мм) от мощности дуги.

Следует заметить, что горение дуговой лампы в течение первых 10—15 минут происходит при незначительных (2—7%) колебаниях актиничности. После 15 минут непрерывного горения режим его становится неустойчивым, причем актиничность может упасть на 50 и более процентов.

#### Д. Цветопередача дуговых ламп

Как показывают проведенные с помощью цветной таблицы НИКФИ исследования различных дуговых ламп с советскими углями (пламенными типа "КС" и интенсивными "ПИГ"), коэффициент точности цветопередачи для данного сорта пленки является приблизительно постоянной величиной независимо от мощности, потребляемой дугой. Нет никакого сомнения, что в действительности цветопередача дуговой лампы интенсивного горения должна быть отличной от цветопередачи пламенной дуги, так как цветовая температура этих источников света различна. Получение идентичных значений актиничности объясняется несовершенством цветной таблицы НИКФИ, синее и голубое поля которой отражают лишь длины волн, большие 457—480 мμ.

В табл. 41 приведены измеренные в НИКФИ коэффициенты точности цветопередачи при съемках на ортохроматической и панхроматической пленках с дуговыми лампами.

Таблица 41

| Источники света                               | Коэффициент точности цветопередачи при съемках* |                |                             |                |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
|                                               | на панхроматической пленке                      |                | на ортохроматической пленке |                |
|                                               | заграничн. угли                                 | советские угли | заграничн. угли             | советские угли |
| Дуговая лампа интенсивного горения (60—150 а) | 1:15,6                                          | 1:16           | 1:30                        | 1:31           |
| Дуговая лампа с пламенными углями (80—150 а)  | 1:15                                            | 1:15           | 1:31                        | 1:32           |

Пример 27. Если напряжение лампы накаливания понизится с 120 до 108 в (90% номинального), то актиничность ее излучений при съемке на панхроматической пленке определится из соотношения  $\frac{A_x}{A_n} = \left(\frac{108}{120}\right)^{0.5} = 0,95$ , т. е. изменится на 5%.

Фотографический поток, как следует из табл. 40, упадет до 66% номинального.

\* В таблице приведены средние данные, полученные в результате большого числа опытов.

## § 13. Колебания излучений источников света

Питание постоянным током гарантирует постоянство светового потока у любых источников света. Следовательно, для обеспечения постоянства по времени освещенности при киносъемке необходимо включать источники освещения к сети постоянного тока. На практике, однако, часто осветительные приборы киностудии включаются в сеть переменного и пульсирующего выпрямленного тока. В этом случае возможны колебания освещенности объекта съемки по времени.

## А. Колебания светового потока ламп накаливания

Колебания светового потока ламп накаливания вызываются изменениями температуры накала нити лампы при питании ее переменным током.

Пусть кривая  $I$  (рис. 69) изображает синусоиду переменного тока, имеющего частоту  $f$  и питающего вольфрамовую нить лампы накаливания.

Под влиянием проходящего через нить тока в каждый элементарный промежуток времени в нити будет выделяться некоторое количество тепла, изменяющееся пропорционально квадрату величины тока.

Если бы тело накала не обладало тепловой инерцией, то нить в моменты прохождения тока через нулевые значения успевала бы охлаждаться до нулевой температуры и кривая температурных изменений нити имела бы форму кривой 2, показанную на рис. 69, и напоминала бы кривую 3 изменений потребляемой мощности.

Нить лампы накаливания в зависимости от ее массы обладает известной тепловой инерцией, благодаря чему температура тела накала в моменты нулевых значений тока не падает до нуля, а достигает некоторого минимального значения. Кроме того, кривая температурных колебаний лампы накаливания, питаемой переменным током, сдвигается по отношению к кривой мощности на некоторый угол и занимает положение кривой 4.

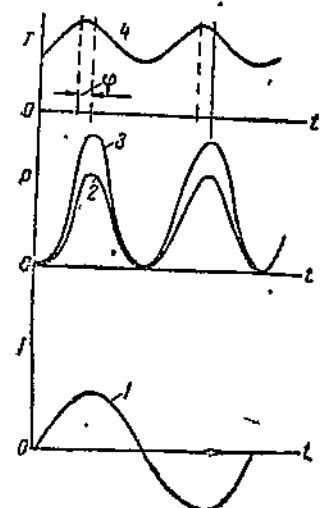


Рис. 69. Кривые, характеризующие колебания светового потока лампы накаливания

Как видим, кривая температурных изменений нити имеет двойную частоту по отношению к частоте питающего тока. Если обозначить

через  $T$  мгновенное значение температуры нити, то для нее может быть написано выражение:

$$T = T_m + \theta \sin(2\omega t - \varphi), \quad (76)$$

где  $T_m$  — средняя температура нити,  $\theta$  — амплитуда переменной составляющей температуры,  $\omega = 2\pi f$  — круговая частота тока,  $\varphi$  — угол сдвига фаз.

Величина  $\theta$  для практических расчетов с газополными лампами накаливания может быть определена по формуле:

$$\theta = \frac{\beta a}{\pi f c \rho d}, \quad (77)$$

где  $\beta$  — излученная с квадратного сантиметра поверхности вольфрамовой нити энергия в единицу времени в ваттах (см. данные табл. 10),  $a = 0,24$  — термический эквивалент,  $f$  — частота тока,  $c$  — теплоемкость,  $\rho$  — удельный вес вольфрама и  $d$  — диаметр нити.

Из формулы (77) следует, что амплитуда колебаний температуры нити ламп, питаемой переменным током, будет тем больше, чем 1) меньше диаметр нити, 2) ниже частота, 3) больше излученная с каждого квадратного сантиметра поверхности нити энергия.

Последнее условие связано с температурой накала нити; однако, как следует из табл. 10, величина  $\beta$  растет значительно быстрее, чем температура. Поэтому с увеличением средней температуры накала нити  $T_m$  относительное значение пульсации температуры  $\frac{\theta}{T_m}$  будет возрастать.

Учитывая, что энергия, излучаемая квадратным сантиметром поверхности вольфрама, приблизительно пропорциональна температуре накала в пятой степени и, подставив в формулу (77) численные значения входящих констант, получим:

$$\theta = \frac{5 \cdot 10^{-17} T_m^5}{f \cdot d}.$$

Относительная величина пульсации температуры составит:

$$\frac{\theta}{T_m} = \frac{5 \cdot 10^{-17} T_m^4}{f \cdot d} \quad (78)$$

и, следовательно, зависит от четвертой степени температуры накала. Поэтому очевидно, что для достижения незначительных пульсаций температуры нужно работать при слабых накалах нити.

В соответствии с колебаниями температуры нити у ламп накаливания наблюдаются колебания световых излучений. Если принять по Луммеру, что световой поток  $F$  пропорционален степени  $y$  абсолютной температуры  $T$ , для изменений температуры  $T = T_m + \theta \sin(2\omega t - \varphi)$ , найдем  $F = nT^y = n[T_m + \theta \sin(2\omega t - \varphi)]^y$ .

Обозначив  $\frac{\theta}{T_m}$  через  $m$  и пренебрегая высшими степенями  $m$ , получим:

$$F = nT_m^y [1 + ym \sin(2\omega t - \varphi)] = F_m \left( 1 + \frac{\Delta F_m}{F_m} \sin(2\omega t - \varphi) \right).$$

Следовательно, световой поток изменяется с той же частотой, что и температура, но с амплитудой в  $y$  раз большей, т. е.

$$\varepsilon = \frac{\Delta F_m}{F_m} = y \cdot m = y \frac{\theta}{T_m}. \quad (79)$$

Величина  $\gamma$  в зависимости от температуры имеет разное значение, колеблясь от 15 при температурах порядка  $1000^{\circ}$  до  $10-9$  для температур около  $3000^{\circ}$  абс.

Следовательно, колебания светового потока имеют примерно в 10 раз большие амплитуды, чем амплитуды колебаний температуры.

Таблица 42

| Фирма | Тип                              | Мощность<br>(в <i>вт</i> ) | Напряжение<br>(в <i>в</i> ) | Коэффициент<br>мигания<br>$\epsilon$ (в $\%$ ) |
|-------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|
| МЭЛЗ  | Нормальная . . .                 | 1 000                      | 120<br>100                  | 2,1<br>1,7                                     |
| ОСРАМ | „Нитрофот“ . . .                 | 1 500                      | 120<br>95                   | 2,2<br>1,8                                     |
| „     | Киньсьемочная<br>проекторная . . | 3 000                      | 120<br>100                  | 1,5<br>1,2                                     |
| „     | То же . . . . .                  | 5 000                      | 120<br>100                  | 1,0<br>0,8                                     |

Из табл. 42 следует, что колебания светового потока у мощных ламп накаливания измеряются величинами порядка  $1-20\%$ . У более мощных ламп имеет место большее понижение пульсаций светового потока несмотря на обычные для них повышенные температуры накала нити.

При питании лампы накаливания постоянным током, обладающим некоторой волнистостью  $k^*$ , нить также претерпевает температурные изменения во времени. Идеально постоянный ток, как известно, может быть получен лишь от аккумуляторов. Все другие машины — вращающиеся (умформеры, моторгенераторы) или неподвижные (ртутные, механические и т. п. выпрямители) дают постоянный ток с переменными составляющими. Пульсации источников постоянного тока происходят по ряду причин, связанных либо с конструкцией машин, вырабатывающих постоянный ток (динамомашин, вращающиеся умформеры), либо с условиями преобразования постоянного тока из переменного (неподвижные преобразователи тока).

В динамомашинах постоянного тока переменные составляющие напряжения являются результатом явления коммутации тока коллектором, наличия зубцов на якоре динамомашины (изменяющих распределение магнитного поля при вращении) и недостаточной центрировки якоря (что приводит к переменному значению воздушного зазора машины).

Как показывают опыт и расчеты, в обычных типах динамомашин относительная величина амплитуды пульсаций составляющих постоянного напряжения (по отношению к величине последнего) составляет для комму-

\* Под волнистостью понимают отношение амплитуды переменной составляющей напряжения постоянного тока к постоянной составляющей его.

тационной пульсации около  $5\%$ , для зубцовой пульсации  $3\%$  и около  $1\%$  для пульсации, вызванной эксцентриситетом якоря. Соответственно средние частоты этих пульсаций составляют около 2000 гц для коммутационной пульсации, 1000 гц для зубцовой пульсации и 20 гц для переменной составляющей напряжения вследствие эксцентриситета якоря.

У наиболее часто применяемых на киностудиях неподвижных преобразователях — шестифазных ртутных выпрямителей постоянного тока — в связи с природой выпрямления переменного тока появляются гармоники: 6, 12, 18, 24-я и т. д. Можно считать, что у этого рода выпрямителей при частоте переменного тока 50 периодов в секунду появляются гармоники 300 гц с амплитудой  $12\%$  от напряжения постоянного тока, 600 гц — с амплитудой  $4\%$ , 900 гц — с амплитудой в  $1,5\%$ , 1200 гц — с амплитудой, составляющей около  $1\%$  напряжения постоянного тока.

Так как пульсации напряжения источников постоянного тока относительно невелики, а частота пульсаций значительна, то лампы накаливания, питаемые постоянным током, имеют незначительные изменения температуры, а следовательно, и светового потока, по времени.

#### В. Колебания светового потока дуговых ламп

В случае питания дуговой лампы переменным током, изменяющимся по закону синуса с частотой  $f$ , температура углей не остается постоянной по времени, изменяясь соответственно колебаниям величины тока. Как и у лампы накаливания, мгновенное значение температуры угля  $T$  изменяется с двойной по отношению к частоте тока частотой и выражается в виде:  $T = T_m + \theta \sin(2\omega t - \psi)$ .

Приблизительно амплитудное значение переменной составляющей температуры может быть найдено из выражения:

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\omega}{q_1 L}\right)^2}},$$

где  $q$  — количество тепла, отводимое в секунду от светящейся части угля;  $L$  — постоянная, характеризующая уголь.

Принимая среднюю температуру углей в  $2500^\circ$  ( $y \approx 10$ ), получим (если пренебречь высшими составляющими), что относительные колебания яркости дуги переменного тока будут примерно в 10 раз больше, чем изменения температуры, а частота кривой изменений яркости отвечает двойной частоте питающего дугу тока. Опытные данные измерений светового потока дуговых ламп переменного тока показывают, что величина коэффициента мигания зависит от качества углей, длины дуги и ее мощности. В среднем можно принять величину  $\varepsilon = 0,5$ , следовательно, световой поток дуги переменного тока изменяется по закону:

$$F = F_m [1 + 0,5 \sin(2\omega t - \psi)]. \quad (80)$$

В случае питания дуговой лампы постоянным током от машины или преобразователя всегда имеет место наличие переменных составляющих тока и напряжения разной частоты.

Так как значения амплитуд этих гармоник составляют лишь несколько процентов от постоянной составляющей напряжения, то колебания тем-



пературы питаемых выпрямленным током дуговых ламп и их светового потока относительно невелики. Опыт показывает, что этими колебаниями в практике киносъемки можно вполне пренебречь.

### С. Колебания светового потока ртутных ламп

Ртутная лампа переменного тока низкого давления работает обычно по двухполупериодной схеме, благодаря чему колебания светового потока отвечают двойной частоте тока, питающего лампу.

В практических условиях наличие дросселя в цепи лампы значительно улучшает процесс горения ртутной лампы, обеспечивая меньшие колебания светового потока лампы. Это происходит вследствие значительной деформации кривых токов обоих анодов под влиянием свойств ртутной дуги и сдвига фаз, вызванного наличием дросселя.

Произведенные в ВЭИ опыты, при которых колебания излучений ртутной дуги фиксировались на движущуюся киноплёнку, позволяют заключить, что коэффициент мигания  $\Sigma = 70\%$ .

Горение ртутно-аргоновых ламп на переменном токе сопровождается также колебаниями светового потока во времени. При прохождении тока через максимальные значения световой поток достигает максимальной величины; моменты нулевого значения тока отвечают потуханию лампы и, следовательно, характеризуются нулевой величиной светового потока. Ртутные лампы сверхвысокого давления ведут себя так же, как и лампы „Игар“, т. е. колебания светового потока их имеют двойную частоту питающего переменного тока, и световой поток падает до нуля в момент прохождения тока через нуль.

Флуоресцирующие трубки, как и всякие газосветные лампы, должны при питании их переменным током обнаруживать колебания светового потока от максимума до нуля с двойной частотой по отношению к частоте тока. Однако флуоресцирующие составы, покрывающие колбу лампы (исключая состав, придающий синий цвет излучению), имеют свойство последующей фосфоресценции, и коэффициент мигания для этих ламп не превосходит  $10-15\%$ .

Пример 29. При температуре накала вольфрамовой нити  $T_m = 3000^\circ$ , диаметре нити  $d = 0,5$  мм и частоте  $f = 50$  пер/сек. относительное колебание температуры составит:

$$\frac{\theta}{T_m} = \frac{5 \cdot 10^{-17} \cdot 3000^4}{0,05 \cdot 50} = 1,6 \cdot 10^{-3},$$

а относительная величина пульсации светового потока при  $y = 10$  равна  $1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1,6 \cdot 10^{-2}$ .

### § 14. Влияние изменений светового потока ламп во времени на процесс киносъемки

При употреблении для питания осветительных приборов переменного тока в ряде случаев съемки имеет место факт получения негативов различной плотности. При этом, например, первый кадр оказывается хорошо освещенным, второй и третий — хуже, четвертый — совсем плохо и т. д. Положение ухудшается при съемке быстродвижущихся предметов, которые оказываются не только различно освещенными на отдельных кадрах, но и запечатлеваются часто двойными или строенными.

Примем для простоты расчетов среднюю освещенность пленки, создаваемую световым потоком данного источника света, в 1 лк. Тогда, обозначив через  $\varepsilon$  — коэффициент мигания, через  $f$  — частоту питающего источник света переменного тока, получим освещенность кинопленки в функции времени:

$$E = f(\tau) = 1 + \varepsilon \sin 2\omega t.$$

Пусть  $T$  — время в секундах, протекшее от начала процесса киносъемки,  $\tau$  — время экспозиции при съемке отдельного кадра. Тогда экспозиция, отвечающая каждому кадру, определится из выражения:

$$H = \int_T^{T+\tau} E dt = \int_T^{T+\tau} (1 + \varepsilon \sin 2\omega t) dt.$$

Интегрируя, найдем:

$$H = \tau + \frac{\varepsilon}{2\omega} [\cos 2\omega T - \cos 2\omega(T + \tau)]. \quad (81)$$

Подставляя в формулу (81) значения времени экспозиции  $\tau$  для разных углов открытия обтюратора съемочного аппарата и вместо  $T$  — значения  $T = 0, T = \frac{1}{n}, T = \frac{2}{n}, T = \frac{3}{n} \dots$ , где  $n$  — число снимаемых кадров в секунду, можно определить экспозицию 1, 2, 3 ... кадра при съемке.

Пусть рис. 70 представляет изменение светового потока по времени освещающего объект съемки источника света. Выдержка при съемке равна  $ab = cd = ef = gh = ik$ , интервал между съемкой двух смежных кадров (период съемки) равен  $T$ . Легко видеть, что при небольших значениях выдержки экспозиции отдельных кадров будут сильнее отличаться друг от друга, чем при продолжительной выдержке (рис. 70;  $a_1b_1 = c_1d_1 = e_1f_1 = g_1h_1$ ). Допустимое значение колебания экспозиции при съемке отдельных кадров может быть найдено в первом приближении, исходя из допустимого изменения плотности негатива. Как известно, при измерении плотностей на денситометре ошибка может составлять около 0,05. Принимая эту величину за допустимое колебание плотности негатива отдельных кадров и предполагая работу на прямолинейном участке характеристической кривой эмульсии, при обычной  $\gamma = 0,65$ , получим

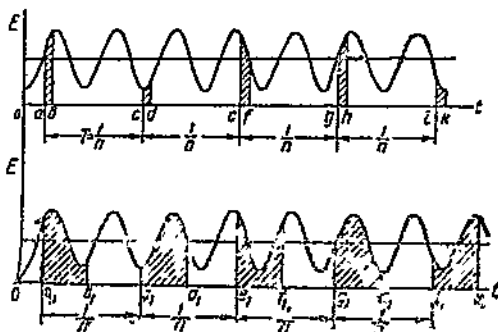


Рис. 70. Кривые, характеризующие экспозиции при освещении пленки переменным по времени световым потоком

$$0,05 = 0,65 \cdot \lg \frac{H_2}{H_1},$$

| № установли<br>объектора         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Угол открытий<br>объект. (в°)    | 20    | 41    | 62    | 83    | 104  | 125  | 150  |
| Выдержка при<br>24 кадрах в сек. | 1/432 | 1/210 | 1/140 | 1/105 | 1/82 | 1/69 | 1/57 |

Время от начала  
съемки

Экспозиции в люкс-секундах, получаемая кадром в предположении, что средняя освещенность равна 1 лк

| в кадрах | в секун-<br>дах |
|----------|-----------------|
| 1        | —               |
| 2        | 1/24            |
| 3        | 1/12            |
| 4        | 1/8             |
| 5        | 1/6             |
| 6        | 1/4,8           |
| 7        | 1/4             |
| 8        | 1/3,4           |

|              |             |              |               |             |              |             |
|--------------|-------------|--------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
| 1/432+ε/715  | 1/210+ε/628 | 1/140+ε/515  | 1/105+ε/12500 | 1/82+ε/770  | 1/69+ε/12500 | 1/57+0      |
| 1/432+ε/1550 | 1/210-ε/730 | 1/140-ε/420  | 1/105-ε/2250  | 1/82+ε/1250 | 1/69-ε/880   | 1/57-ε/465  |
| 1/432+ε/485  | 1/210+ε/560 | 1/140-ε/2700 | 1/105-ε/2700  | 1/82+ε/500  | 1/69+ε/505   | 1/57-ε/1630 |
| 1/432+ε/700  | 1/210+ε/320 | 1/140+ε/515  | 1/105+ε/12600 | 1/82+ε/770  | 1/69+ε/320   | 1/57+0      |
| 1/432-ε/1550 | 1/210+ε/730 | 1/140+ε/420  | 1/105+ε/2250  | 1/82-ε/1250 | 1/69+ε/880   | 1/57+ε/1630 |
| 1/432-ε/485  | 1/210-ε/560 | 1/140+ε/2700 | 1/105+ε/2700  | 1/82+ε/500  | 1/69-ε/505   | 1/57+ε/1630 |
| 1/432-ε/700  | 1/210-ε/320 | 1/140-ε/515  | 1/105-ε/12600 | 1/82-ε/770  | 1/69-ε/320   | 1/57+0      |
| 1/432+ε/1550 | 1/210-ε/730 | 1/140-ε/420  | 1/105-ε/2250  | 1/82+ε/1250 | 1/69-ε/880   | 1/57-ε/465  |

где  $H_2$  и  $H_1$  экспозиции, отвечающие плотностям одинаковых деталей обоих кадров.

Полученное выражение (стр. 117) дает для отношения  $\frac{H_1}{H_2}$  величину 1,2, следовательно, допустимое колебание экспозиции не должно превосходить 20%.<sup>0</sup>

В табл. 43 и 44 приведены для примера экспозиции отдельных кадров при различных углах открытия обтюратора для съемочной камеры Дебри. При этом табл. 43 отвечает звуковой съемке с частотой в 24 кадра в секунду, а в табл. 44 приведены экспозиции отдельных кадров при съемке ринд с частотой в 240 кадров в секунду с камерой Дебри.

Таблица 44

| № установки обтюратора         |        | 1                                                                                                          | 2                        | 3                       |
|--------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Угол открытия обтюратора (в °) |        | 43                                                                                                         | 86                       | 135                     |
| Выдержка при 240 кадрах в сек. |        | 1/2000                                                                                                     | 1/1050                   | 1/640                   |
| Время от начала съемки         |        | Экспозиция в люкс-секундах, получаемая кадром в предположении, что средняя освещенность равна одному люксу |                          |                         |
| в кадр.                        | в сек. |                                                                                                            |                          |                         |
| 1                              | —      | 1/2000 — $\epsilon/12500$                                                                                  | 1/1000 + $\epsilon/3780$ | 1/640 + $\epsilon/2500$ |
| 2                              | 1/240  | 1/2000 + $\epsilon/3600$                                                                                   | 1/1000 + $\epsilon/1200$ | 1/640 + $\epsilon/820$  |
| 3                              | 1/120  | 1/2000 — $\epsilon/2250$                                                                                   | 1/1000 — $\epsilon/1100$ | 1/640 + $\epsilon/720$  |
| 4                              | 1/80   | 1/2000 + $\epsilon/2140$                                                                                   | 1/1000 + $\epsilon/1130$ | 1/640 + $\epsilon/800$  |
| 5                              | 1/60   | 1/2000 — $\epsilon/2700$                                                                                   | 1/1000 — $\epsilon/1550$ | 1/640 — $\epsilon/1230$ |
| 6                              | 1/48   | 1/2000 + $\epsilon/660$                                                                                    | 1/1000 + $\epsilon/4000$ | 1/640 + $\epsilon/9000$ |
| 7                              | 1/40   | 1/2000 + $\epsilon/12500$                                                                                  | 1/1000 + $\epsilon/3780$ | 1/640 + $\epsilon/2500$ |
| 8                              | 1/34   | 1/2000 — $\epsilon/3600$                                                                                   | 1/1000 — $\epsilon/1200$ | 1/640 — $\epsilon/820$  |

Как следует из рассмотрения данных приводимых таблиц, чем меньше выдержка при съемке, тем сравнительно большее значение приобретает переменная составляющая экспозиции, зависящая от величины  $\epsilon$ . Так, при угле открытия обтюратора в 150° и частоте киносъемки в 24 кадра в секунду наибольшая экспозиция отвечает величине  $1/57 + \epsilon/465$ .

Если допустить, что источник света имеет весьма значительные пульсации светового потока и принять, например,  $\epsilon = 0,5$ , то значение  $\epsilon/465$  составит всего 60% от  $1/57$  и, следовательно, не сможет оказать большого влияния на величину экспозиции разных кадров. Зато при неболь-

ших углах открытия обтюратора порядка 20, 41 и 62° постоянная и переменная части экспозиции становятся соизмеримыми. При этом вследствие различной освещенности отдельных кадров последние имеют различные друг от друга плотности, что в связи с небольшой частотой изменений величины экспозиции при проектировании легко обнаруживается.

Особенно заметными оказываются, естественно, пульсации светового потока источника света при рапидсъемках, когда величина экспозиции весьма мала (см. табл. 44).

Совершенно невозможно также обеспечить постоянство величины экспозиции при съемке наплывом и из затемнений, когда щель обтюратора изменяет свою величину при неизменной частоте съемки.

Перейдем теперь к вопросу о влиянии типа источника света, питаемого переменным током, на процесс киносъемки.

Что касается ламп накаливания, то питание их переменным током не может представиться сколько-нибудь опасным с точки зрения колебаний светового потока по времени в соответствии с изменениями величины тока, так как их мощность значительна, а следовательно, максимальное значение относительного колебания светового потока составляет  $1-2\%$ .

Съемки при освещении ртутными лампами, питаемыми переменным током, также могут быть отнесены к безопасным в отношении влияния колебаний светового потока, так как максимальное значение относительного колебания последнего, как мы знаем, составляет около  $\varepsilon = 7\%$ . Кроме того следует учесть, что в тех немногих случаях, когда киносъемка производится с помощью ртутных ламп, в освещении помимо последних участвует значительное число других источников света, так что имеющие место колебания светового потока по времени оказываются еще более незначительными.

При освещении газосветными лампами, исключая лампы с люминофорами, пульсации светового потока исключительно велики, а величина  $\varepsilon$  близка к единице. Понятно, что такое большое значение максимального относительного колебания светового потока даже при больших углах открытия обтюратора может оказаться опасным, поэтому использование газосветных ламп в практических условиях съемки является нецелесообразным.

Чтобы уменьшить величину пульсаций светового потока у газосветных ламп, последние включают группами по три лампы в трехфазную сеть, так что в каждую фазу включена одна лампа. В этом случае световой поток первой из трех одинаковых газосветных ламп изменяется по закону  $F' = F_0 + F_1 \sin 2\omega t$ ; второй  $F'' = F_0 + F_1 \sin (2\omega t - 120^\circ)$  и третьей  $F''' = F_0 + F_1 \sin (2\omega t - 240^\circ)$ .

Суммарный световой поток трех ламп, включенных в трехфазную сеть, как легко убедиться, равен постоянной величине  $3F_0$ .

При рассмотрении вопроса о колебаниях светового потока дуговых ламп переменного тока нужно различать два случая: когда дуговая лампа помещена в арматуре общего освещения или заключена в осветительный прибор направленного действия.

Арматура общего освещения обычно не изменяет характера пульсаций светового потока, влияя лишь на распределение последнего. Поэтому пи-

тание дуговых ламп этих осветительных аппаратов вызовет появление пульсации светового потока с двойной по отношению к частоте тока частотой и с величиной максимальной относительной пульсации, равной примерно  $\epsilon = 0,5$ . К этому случаю применимы все приведенные выше выкладки.

В случае использования дуговой лампы в качестве источника света в приборах направленного действия (пржектора) характер пульсаций светового потока изменяется сравнительно с характером пульсации дуговой лампы без арматуры. Дело в том, что в осветительных приборах направленного действия уголи дуговой лампы располагаются таким образом, чтобы к зеркальной отражающей поверхности арматуры был обращен кратер положительного угля.

При питании дуговой лампы прибора направленного действия переменным током уголь, обращенный своим кратером к отражающей поверхности, оказывается положительным лишь один раз за период тока. В течение одного полупериода тока этот уголь оказывается отрицательным, а прежний отрицательный уголь становится анодом.

Однако использование кратера последнего вследствие неправильного положения его по отношению к отражающей поверхности будет незначительным. Поэтому характер изменений светового потока прибора направленного действия с дуговой лампой переменного тока имеет вид, изображенный на рис. 71. Как видим, пульсации светового потока (кривая  $I$ ) не имеют синусоидальной формы и могут быть представлены в виде суммы ряда синусоидальных кривых различной частоты. При этом основной гармоникой, имеющей для рассматриваемых нами целей главное значение, является синусоида с частотой, равной частоте сети.



Рис. 71. Характер пульсаций силы света дуговых приборов направленного освещения, питаемых переменным током

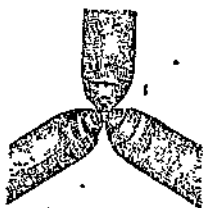


Рис. 72. Дуговая лампа трехфазного тока

Из сказанного мы можем заключить, что применение источников света (исключая лампы накаливания), питаемых переменным током, в условиях кино съемки может быть допущено лишь при больших углах открытия обтюратора.

При средних величинах обтюраторной щели имеют место относительно небольшие колебания экспозиции отдельных кадров.

При малых (менее  $80^\circ$ ) углах открытия обтюратора, наплывах, затемнениях, а также ускоренной или рапидкиносъемке освещение снимаемых объектов только осветительными приборами с источниками света, питаемыми переменным током, не может быть допущено.

Если в практических условиях такого рода освещение дает иногда положительный эффект, то лишь потому, что наряду с осветительными приборами переменного тока имеется значительное число источников освещения, питаемых постоянным током или дающих практически неизменные по времени световые потоки (мощные лампы накаливания).

Поэтому относительные пульсации освещенности объектов становятся менее значительными, чему способствует также включение осветительных приборов переменного тока в различные фазы трехфазной сети или же применение дуговых ламп трехфазного тока (рис. 72).

## § 15. Шум источников света

### А. Шум дуговых ламп

Дуговая лампа, питаемая переменным током, производит при горении характерный шум низкой частоты. Этот шум: 1) пропорционален силе тока, 2) зависит от числа периодов, 3) пропорционален длине дуги и становится при искусственно удлиненной дуге очень сильным, 4) при закрытии дуги стеклянными колпаками уменьшается.

Громкость и чистота шума зависит от наличия высших гармоник в кривой электродвижущей силы питающего дугу переменного тока. При чисто синусоидальном токе шум дуги сравнительно тихий и чистый. Шум особенно велик при острой форме кривых электродвижущей силы переменного тока, меньше — при плоских кривых и наиболее слаб при синусоидальных.

Причина шума дуги переменного тока заключается в изменении объема воздуха, окружающего дугу, вследствие периодических колебаний величины переменного тока по времени. Последние вызывают периодическое нагревание и охлаждение окружающего дугу воздуха, что и приводит его в движение. Если построить зависимость мгновенно выделяемого количества тепла в дуге по времени  $q$ , то получим кривую 1, изображенную на рис. 73а.

Как видно из сравнений этой кривой с кривой 2, представляющей зависимость тока по времени<sup>\*</sup>, выделенное тепло в дуге изменяется с

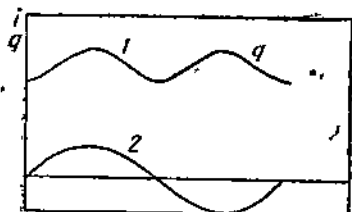


Рис. 73а. Изменение количества выделенного тепла в дуговой лампе переменного тока



Рис. 73б. Кривая шума дуговой лампы, питаемой постоянным током

двойной сравнительно с током частотой, что дает основной тон шума дуги в 100 пер/сек. при 50-периодной частоте переменного тока.

\* Заметим, что на рис. 73 сдвиг фаз между кривыми 1 и 2 условно принят равным нулю.

Опытные кривые шума дуги позволяют заключить, что кроме основного фона с частотой в 100 пер/сек. имеется значительное число добавочных гармоник более высокого порядка. Эти гармоники являются следствием того, что через дугу кроме основного питающего переменного тока протекают высшие гармонические и переменные токи высокой частоты, возникающие благодаря распылению углей при горении.

Кроме того на форму кривой шума лампы влияет шипение углей, правда, дающее для переменного тока сравнительно небольшой фон. Последнее является следствием неправильной установки углей, ненормальной плотности тока в углях, плохого качества последних, неправильного расстояния между углями, неверно выбранного добавочного сопротивления и при правильном выборе указанных выше факторов может быть сведено к нулю.

Как показывает опыт, характер шума дуги переменного тока не зависит от силы тока дуги: громкость ее шума растет с величиной тока. Громкость шума дуги переменного тока с величиной 20—40 а относительно невелика, но все же препятствует возможности съемки звуковых фильмов. При токе более 60 а шум дуговых ламп столь сильно увеличивается, что съемка звуковых фильмов становится абсолютно невозможной.

Дуга постоянного тока при условии отсутствия каких-либо колебаний величины тока по времени горит абсолютно без всякого шума.

Однако применение аккумуляторных батарей в качестве источника тока в киноателье обычно исключено вследствие дороговизны этого способа электроснабжения. Гораздо большим распространением пользуются на киностудиях электрические машины, преобразующие переменный ток в постоянный.

Эти источники постоянного тока, как уже было указано, имеют в кривой тока и напряжения ряд переменных составляющих, обычно имеющих период колебаний от 300 до 2000 пер/сек. Посмотрим, какое влияние на шум дуговой лампы окажет наличие в кривой напряжения машины хотя бы одной переменной составляющей.

Пусть дуговая лампа питается от постоянного тока током, имеющим постоянную составляющую  $I_m$  и переменную составляющую  $i_m$ , изменяющуюся по закону синуса с частотой  $f$  (рис. 73б). В таком случае общий ток, протекающий через дугу, можно представить в виде:

$$I_g = I_m + i_m \sin \omega t,$$

где  $i_m$  — амплитудное значение переменной составляющей тока,  $\omega = 2\pi f$  — круговая частота пульсации.

Шум дуговой лампы, питаемой указанным пульсирующим постоянным током, будет так же, как и у дуги переменного тока, пропорционален количеству выделяемого в дуге тепла, т. е.

$$S \equiv (I_m + i_m \sin \omega t)^2 \equiv I_m^2 + 2I_m i_m \sin \omega t + i_m^2 \sin^2 \omega t.$$

Поскольку в обычных машинах постоянного тока  $i_m$  составляет лишь несколько процентов от тока  $I_m$ , третьим членом уравнения можно пренебречь, тогда:

$$S \equiv I_m^2 + 2I_m i_m \sin \omega t. \quad (82)$$



Второе слагаемое формулы (82), переменное по величине, будет являться причиной шума дуги, причем частота шума соответствует частоте пульсации постоянного тока. Шум дуги постоянного тока зависит от мощности дуги, т. е. величины постоянной составляющей тока и от амплитуды переменной составляющей напряжения, питающего дугу. В обычных условиях звуковой киносъемки дуговые лампы находятся на расстоянии не менее 3 м от микрофона. При таких расстояниях, как показал опыт, безопасное (в смысле прослушивания шума) амплитудное значение тока пульсации для мощных дуг может быть определено в среднем 100 *ma*. Исходя из этой величины и приняв напряжение питающего дугу тока 120 *v*, можно подсчитать допустимые максимальные значения переменных составляющих напряжения при разной мощности дуговых ламп (табл. 45).

Т а б л и ц а 45

| Ток дуговой лампы (в <i>a</i> ) | Амплитуда переменной составляющей напряжения (в <i>v</i> ) |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 40                              | 0,3                                                        |
| 60                              | 0,2                                                        |
| 80                              | 0,15                                                       |
| 160                             | 0,075                                                      |
| 300                             | 0,04                                                       |

Шум дуговой лампы постоянного тока может намного превысить шум лампы переменного тока несмотря на то, что величина пульсации напряжения у постоянного тока относительно невелика. Причина этого заключается в том, что переменные составляющие напряжения постоянного тока имеют обычно высокую частоту (300—2000 *гц*), которая определяет частоту шума. Так как человеческое ухо особенно чувствительно к звукам с такой частотой, то шум дуговых ламп постоянного тока может оказаться достаточно сильным.

#### В. Шум ламп накаливания

В отличие от дуговых ламп благодаря тепловой инерции нити ламп накаливания температура последней при изменениях величины тока в течение периода изменяется незначительно при работе с обычными частотами переменного тока; тем меньше эти колебания при питании ламп постоянным током, так как переменные составляющие последнего имеют относительно высокую частоту.

Поэтому причина шума ламп накаливания не совпадает полностью с таковой для дуговых ламп; она вызывается кроме температурных колебаний нити также теми электродинамическими взаимодействиями, которые возникают между отдельными частями нити накаливания под влиянием проходящих через них переменных токов, имеющих значительную величину для мощных ламп, применяемых в киноателье.

Действительно, нить накаливания в газополных мощных лампах представляет ряд соединенных последовательно друг с другом спиралей, причем каждая из последних вследствие проходящего тока окружена магнит-

т е т л е м у н  
ным полем. Поэтому прежде всего возникает сила взаимодействия между отдельными спиралями. Далее соседние витки каждой спирали из-за необходимости укорочения пути магнитному потоку стремятся сблизиться друг с другом. Наконец, внутри каждого витка спирали существует сила взаимодействия между обеими половинами его, стремящаяся данный виток разорвать. Перечисленные силы взаимодействия в случае идеально постоянной силы тока, питающего лампу, выразятся в некоторой статической деформации нити, растущей пропорционально квадрату тока. При питании же нити лампы переменным током эти силы взаимодействия, очевидно, будут изменяться во времени по величине, не меняя, впрочем, знака. Легко видеть, что силы взаимодействия в нити будут изменяться по времени с двойной частотой сети, в результате чего нить придет в колебательное движение, которое через газ колбы и в особенности через массу самой нити передается в окружающее пространство в виде шума определенной высоты.

Если при этом собственная частота колебаний нити (или ее отдельных участков) близка к частоте силы взаимодействия, то шум, производимый лампой, значительно усилится благодаря явлению резонанса. Как показали опыты, наличие арматуры лампы при неблагоприятных ее размерах может значительно усилить шум, лишая возможности применить лампу накаливания для киносъемки при работе с переменным током.

При работе с постоянным током у ламп накаливания (как можно сообразить, исходя из сказанного в отношении дуговых ламп) нить подвергается колебаниям с частотой пульсации тока, а следовательно, и шум, производимый лампой, имеет ту же частоту.

## § 16. Способы устранения шума ламп

### А. Дуговые лампы

Уничтожение шума дуговых ламп может идти двумя путями. Первый путь — это уничтожение причин шума, т. е., как мы знаем, колебаний по времени величины тока, питающего дугу; этот способ является наиболее действенным и наиболее распространенным на практике.

Второй путь — непосредственное уничтожение самого шума. Этот способ обычно сводится к заключению источника света в звуконепропускаемый футляр, как это имело место при первых звуковых киносъемках, или же к установке толстых (10—15 мм) стекол в передней части осветительного прибора. Очевидно, что такая защита от шума приводит к тому, что при съемке дуговая лампа лишается преимуществ в отношении удобства обслуживания и установки.

Кроме того на практике герметическое закрытие дуги вследствие необходимости регулирования углей и подачи воздуха при горении является невозможным. Поэтому шум дуги не оказывается полностью заглушенным. Таким образом этот способ не является достаточно действенным, и мы остановимся на способе уничтожения шума дуги путем устранения колебаний величины тока дуги по времени.

Устранение шума дуговых ламп переменного однофазного тока теоретически невозможно, так как уничтожение изменений величины переменного тока невыполнимо при условии оставления тока переменным.

Для получения бесшумного горения дуговой лампы переменного тока, казалось бы, может быть использована трехфазная дуга, которая, как известно, обладает постоянством видимых излучений по времени.

Однако на практике дуговая лампа трехфазного тока при горении дает шум несколько меньший, чем дуга переменного однофазного тока, но все же достаточно громкий, чтобы препятствовать употреблению трехфазной дуги при киносъемке.

Наиболее простым способом устранения шума дуговых ламп постоянного тока является применение источников тока с идеально постоянным по времени напряжением. Такими источниками тока являются, как известно, аккумуляторы. Однако аккумуляторы очень дороги и поэтому для целей питания источников света при киносъемке не применяются.

Обычно источником постоянного тока для киностудии служат преобразователи переменного тока в постоянный, причем каждый из этих источников постоянного тока имеет большие или меньшие пульсации напряжения. Уничтожение пульсаций напряжения источников постоянного тока и является, очевидно, средством, устраняющим шум дуги.

Амплитуда пульсаций напряжения источников постоянного тока измеряется обычно в процентах от номинальных значений, а амплитуды переменных составляющих питающего дугу напряжения постоянного тока в зависимости от силы последнего для обеспечения бесшумности горения дуговых ламп должны, как мы видели, быть порядка десятых и даже сотых долей процента.

Поэтому для уничтожения шума дуги необходимо применить такие средства, которые во много раз уменьшили бы амплитуду пульсаций источников тока; иначе говоря, требуется, чтобы коэффициент сглаживания волнистости по возможности был достаточно большим.

Обычно коэффициент сглаживания волнистости порядка 10—15 дает значительное ослабление шума дуговых ламп, а часто — даже полное его уничтожение.

Увеличение значения коэффициента сглаживания волнистости до 20—25 обеспечивает полное уничтожение шума у дуговых ламп для большинства источников постоянного тока. В случае очень большого засорения гармониками напряжения для получения бесшумной дуги приходится уменьшать амплитудное значение этих гармоник в 30 и более раз.

Уменьшение волнистости напряжения постоянного тока достигается в условиях киностудий или индивидуально для каждой дуги с помощью дросселей или же централизованно для источника тока в целом. В последнем случае наибольшее применение на подстанциях киностудий получил аperiодический фильтр или же противодействующие трансформаторы.

Дроссель представляет собой железный сердечник с обмоткой, включаемой последовательно с дуговой лампой и ее реостатом (рис. 74а). Благодаря большому коэффициенту самондукции такой дроссель представляет значительное индуктивное сопротивление переменным токам, протекающим через дугу вследствие наличия пульсаций питающего напряжения, в то время как для постоянного тока дуги сопротивление дросселя определяется лишь омическим сопротивлением его обмотки.

Коэффициент сглаживания волнистости ( $K$ ) дросселя может быть определен приближенно из соотношения

$$K = \frac{\omega L}{R_a}, \quad (83)$$

где  $\omega$  — угловая частота сглаживаемой пульсации напряжения ( $\omega = 2\pi f$ ),  $L$  — коэффициент самоиндукции дросселя, а  $R_a$  — омическое сопротивление

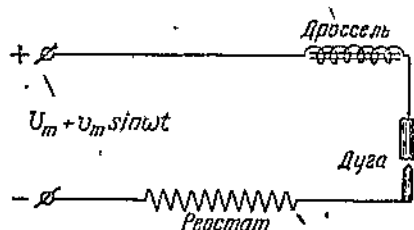


Рис. 74а. Включение дросселя в цепь дуговой лампы постоянного тока

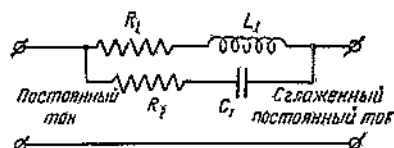


Рис. 74б. Аперiodический фильтр для сглаживания пульсации напряжения

цепи дуговой лампы, включая сопротивление реостата, дугового промежутка и обмотки дросселя.

При этом следует отметить, что за  $f$  принимают обычно наименьшую частоту переменной составляющей напряжения, так как для составляющих с большей частотой коэффициент сглаживания волнистости, как видно из формулы (83), становится большим.

Чем выше частота составляющей, тем амплитуда последней обычно становится меньше, и работа дросселя происходит в более благоприятных условиях и не вызывает сомнений, если достигнут достаточный коэффициент сглаживания при более низкой частоте пульсации.

Так как величина  $K$ , очевидно, зависит от силы тока дуги (чем мощнее дуга, тем  $R_a$  меньше), то сглаживающее действие дросселя изменяется в зависимости от нагрузки дуги: чем она меньше, тем коэффициент сглаживания волнистости становится меньше. В соответствии с этим в киностудиях применяют для дуговых ламп разной мощности дроссели с различной величиной коэффициента самоиндукции. Недостатком дросселей является некоторая громоздкость работы с ними, так как они включаются в цепь каждой лампы. Кроме того дроссели при плохом их выполнении производят иногда сами шум в павильоне.

Более удобными являются устройства для сглаживания пульсаций напряжения источников постоянного тока, устанавливаемые на подстанциях киностудий.

В качестве такого устройства наибольшее распространение получил периодический фильтр, включаемый по схеме рис. 74 б.

Сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , самоиндукция  $L_1$  и емкость  $C_1$  фильтра выбраны таким образом, что контур фильтра оказывает большое сопротивление переменным составляющим постоянного тока.

Коэффициент сглаживания волнистости такого фильтра определяется отношением:

$$K = \frac{Z + Z_n}{Z_n}, \quad (84)$$

где  $Z$  — полное сопротивление фильтра для токов данной частоты, а  $Z_n$  — полное сопротивление нагрузки.

Так как коэффициент сглаживания волнистости для данного фильтра зависит от нагрузки, то фильтр рассчитывают так, чтобы при максимальном  $Z_n$ , т. е. минимальной возможной нагрузке, коэффициент сглаживания волнистости был достаточным для устранения шума включенных дуг.

Все рассмотренные выше способы устранения шума дуговых ламп как постоянного, так и переменного тока могут вполне обеспечить бесшумное горение этих источников света лишь при наличии доброкачественных углей и управляющего ими механизма, если таковой имеется.

Материал, из которого сделаны электроды, должен быть однороден; неоднородность углей вызывает при горении отскакивание кусков угля, треск и шипение. Угли должны быть особенно хорошо спрессованы, внутри угля не должно быть воздушных каналов. Наличие воздушных каналов в углях приводит к весьма неустойчивому горению дуги, так как воздух, расширяясь внутри угля, производит треск и шум. Необходимо производить сушку углей, потому что сырые угли часто являются причиной шума даже при достаточно сглаженном постоянном токе.

Наконец, особое внимание должно быть обращено на правильную нагрузку углей в соответствии с их диаметром и на качество контактов удерживателей.

Регуляторы углей дуговых ламп, особенно механизмы дуг интенсивного горения, часто являются причиной шума этих источников света при киносъемке. Соответствующая конструкция регуляторов обычных дуговых ламп позволяет довести их шум до 10—15 дб при расстоянии до микрофона в 3—4 м. Дуговые лампы интенсивного горения вследствие наличия вращающегося положительного угля, приводимого в действие мотором и механической передачей, дают больший шум, чем обычные дуговые лампы. Все же рациональной конструкцией этих ламп шум, производимый ими, можно снизить до 10—15 дб при расстоянии от микрофона в 4—5 м, что в обычных случаях киносъемки оказывается достаточным.

#### В. Шум газополных ламп

Уничтожение шума газополных ламп в случае переменного тока сводится к соответственному укреплению нити; последнее, естественно, должно быть выполнено на фабрике ламп накаливания. Применение звукоизолирующих прослоек между патроном лампы и осветительной аппаратурой, в которой помещена лампа, значительно снижает, а иногда и уничтожает практически шум ламп накаливания на переменном токе. Что же касается уничтожения шума ламп накаливания при питании их постоянным током, то наилучшим решением может явиться применение достаточно совершенного источника постоянного тока, не имеющего больших пульсаций напряжения, в частности, динамомашин постоянного тока. При значитель-

ных же пульсациях напряжения, имеющих место, например, при употреблении ртутных выпрямителей, применение дросселей с коэффициентом сглаживания, равным 3—5, вполне обеспечивает уничтожение шума ламп накаливания.

Пример 29. Пусть источник постоянного тока имеет переменную составляющую с амплитудой 6 в, и требуется обеспечить бесшумное горение 80-амперной дуги. Так как для такой дуги амплитуда безопасного напряжения пульсации не должна быть более 0,15 в, то коэффициент сглаживания волнистости дросселя должен быть  $K=6:0,15=40$ .

Пример 30. Дуговая лампа при 160 а, включенная в сеть 120 в, имеет сопротивление  $R_a=\frac{120}{160}=0,75 \Omega$ , поэтому если требуется достичь коэффициента сглаживания дросселя для обесшумливания дуги, равного  $K=20$ , то самоиндукция дросселя для пульсации напряжения с частотой, например, в 300 гц составит

$$\frac{20 \cdot 0,75}{2\pi \cdot 300} = 0,008 \text{ гн.}$$

Для лучшего использования и перераспределения в нужном направлении светового потока источника света последний помещается в специальной арматуре, снабженной отражающими, рассеивающими или преломляющими поверхностями.

Устройство, состоящее из источника света, арматуры, перераспределяющей световой поток, вспомогательных принадлежностей для включения и защиты от повреждения источника света, называется осветительным прибором.

Согласно существующей светотехнической классификации осветительные приборы, служащие для освещения предметов, находящихся на малых расстояниях, называются светильниками. Осветительные приборы, предназначенные для освещения удаленных предметов, называются прожекторами.

## — § 17. Светильники

Всякий светильник характеризуется: а) кривой распределения сил света, б) защитным углом и в) коэффициентом полезного действия.

В наиболее часто применяемых типах симметричных светильников\* фотометрическое тело светильника является телом вращения. Продольная кривая распределения сил света в этом случае полностью характеризует световой поток светильника, так как поперечная кривая распределения сил света близка к окружности.

Обычно кривые распределения сил света светильника строятся для условной лампы с потоком в 1000 лм, поэтому для определения силы света светильника с лампой, имеющей иной световой поток, надо значение силы света, взятое по кривой, умножить на отношение светового потока данной лампы к 1000. Продольная кривая распределения силы света (рис. 75) позволяет определить две важнейшие характеристики светильника: коэффициент усиления и угол рассеяния (или действия).

Коэффициентом усиления называют отношение максимальной силы света светильника (найденной из кривой распределения сил света его) к средней

$$\text{сферической силе света источника (лампы)} \quad m = \frac{I_m}{I_0}, \quad (85)$$

При указании величины коэффициента усиления отмечают угол, под который направлена максимальная сила света светильника.

Защитный угол светильника (рис. 75) характеризует защиту глаз наблюдателей от прямых лучей источника света, находящегося в арматуре.

\* Несимметричные светильники, не имеющие большого значения для кинематографии, здесь не рассматриваются.

По правую сторону пограничной линии, соединяющей край тела накала источника света и противоположный край арматуры светильника, наблюдатель не видит светящегося тела лампы. Если обозначить через

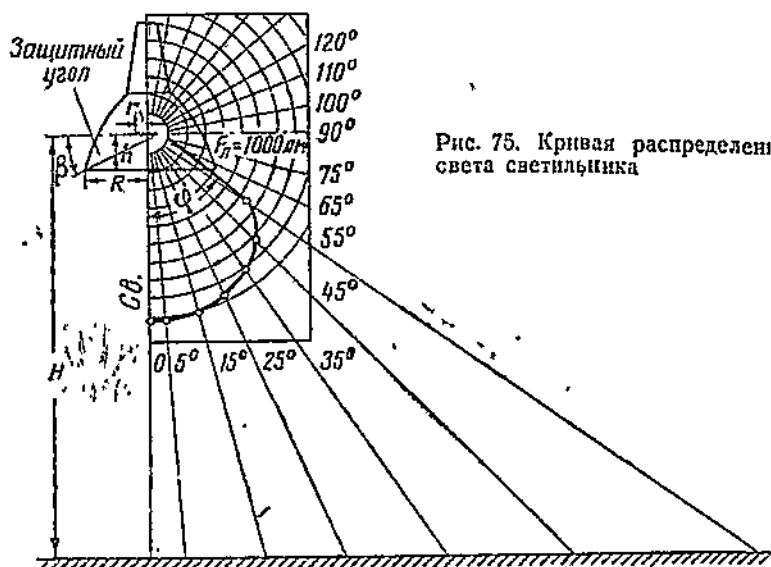


Рис. 75. Кривая распределения силы света светильника

$h$  — расстояние от уровня нижнего края арматуры до центра светящегося тела, через  $R$  — радиус арматуры и  $r$  — радиус светящегося тела, то

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{r+R}. \quad (86)$$

В зависимости от значений входящих в формулу (86) величин защитный угол, предохраняющий глаз наблюдателя от блескости источника света, может меняться; на практике угол  $\beta$  выбирают не меньше  $30^\circ$ .

Коэффициентом полезного действия светильника называют отношение светового потока светильника к полному световому потоку источника света:

$$\eta = \frac{F_{\text{св.}}}{F_{\text{ист}}}. \quad (87)$$

Величина  $\eta$  характеризует экономичность светильника и доходит у рационально изготовленных приборов до значений  $0,80-0,85$ .

Наибольшим распространением на практике пользуются светильники, перераспределяющие световой поток с помощью диффузного отражения света. Такие светильники в простейшем случае снабжены колпаком, окрашенным или эмалированным изнутри; эта поверхность обеспечивает в основном диффузное отражение света, хотя и имеет место некоторое дополнительное зеркальное отражение.

Световой поток, выходящий из колпака светильника, складывается из части светового потока источника света, выходящего через отверстие колпака наружу ( $F_1$ ), и части светового потока источника, отра-



женного поверхностью колпака ( $F_2$ ):  $F_{cs} = F_1 + F_2$ . Здесь  $F_1 = a \cdot F_{ист}$ , где  $a$  указывает долю светового потока лампы, вышедшего непосредственно (без отражения от стенок колпака) наружу. Величина  $F_2 = b \cdot c \cdot F_{ист}$ , где  $b$  — доля потока источника света, падающего на отражатель,  $c$  — коэффициент, характеризующий отражающую способность поверхности колпака.

Коэффициент полезного действия светильника с диффузным отражением света равен

$$\eta = \frac{F_{cs}}{F_{ист}} = a + b \cdot c. \quad (88)$$

Величина  $c$  меньше коэффициента отражения поверхности колпака вследствие наличия многократных отражений внутри колпака.

Кривая распределения силы света светильника может быть построена путем определения силы света в разных направлениях. Последняя равна сумме силы света источника света в пределах, ограниченных защитным углом светильника, и силы света, создаваемой отражателем. Первое из этих слагаемых может быть получено из кривой распределения сил света голы лампы, второе при равномерной яркости поверхности колпака определяется законом Ламберта

$$I_\alpha = \left( \frac{bcF_{ист}}{\pi} \cos \alpha \right).$$

Как показывает опыт, коэффициент усиления эмалированных светильников составляет 2—2,8 под углом  $\varphi = 0^\circ$ , а коэффициент полезного действия составляет  $\eta = 0,55—0,60$  при защитном угле  $\beta = 25—30^\circ$  и  $\eta = 0,70—0,75$  при  $\beta = 10—15^\circ$ .

Коэффициент полезного действия светильника может быть увеличен за счет больших значений  $c$ . Для этого внутреннюю поверхность колпака делают зеркальной и такой формы, чтобы световой поток источника света после первого отражения выходил из колпака. В этом случае  $c = \rho$  и коэффициент полезного действия зеркального светильника равен

$$\eta = a + b\rho.$$

Так как  $\rho$  у зеркальных поверхностей значительно, то коэффициент полезного действия зеркальных светильников может достигать значений  $\eta = 80—85\%$ .

Изменяя форму зеркальной поверхности, можно создать различное распределение светового потока и осуществить почти идеальную равномерность освещения.

При практическом выполнении зеркального светильника неточность изготовления отражающей поверхности, смещение источника света из светового центра и другие причины приводят к значительной неравномерности освещения объекта. Для устранения этого недостатка применяются рассеивающие (матовые или узорчатые) стекла или волнистые зеркальные поверхности, при которых неравномерно освещенные круги на освещаемой поверхности накладываются друг на друга, чем и достигается равномерное освещение. Тот же эффект может быть получен с помощью зеркальных поверхностей, полученных путем использования многочисленных плоских зеркалец, размеры и положение которых строго определены.

В ряде случаев применяют светильники (чаще всего из молочного стекла) в виде диффузно пропускающих свет шаров, в центре которых находится источник света (рис. 76). Светильники эти дают кривую распределения сил света в виде окружности и имеют высокий коэффициент полезного действия, достигающий для хорошего молочного стекла до  $\eta = 0,80—0,85$ .

Часто такие молочные светильники делаются незамкнутыми с необходимым защитным углом. Эти светильники имеют очень высокие к.п.д., составляющие для арматур из молочного стекла величину порядка  $0,8—0,9$ .

Применяя замкнутые светильники, состоящие из двух частей, отличающиеся по световым качествам, можно в зависимости от коэффициента пропускания и отражения верхней и нижней частей арматуры получить различные кривые распределения сил света. Если коэффициент пропускания верхней части светильника меньше коэффициента пропускания нижней части, световой поток в большей своей части отражается вниз, в противоположном случае большая часть светового потока направлена вверх. Одна из частей светильника может быть и непрозрачной; в этом случае коэффициент полезного действия такого светильника (плафона) невелик и составляет около  $\eta = 0,40—0,50$ .

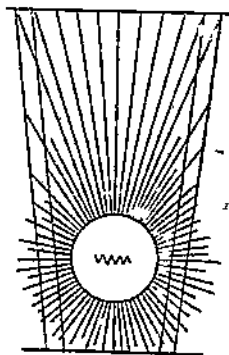


Рис. 76. Светильник рассеянного света

Современная осветительная техника применяет светильники разнообразных типов соответственно задачам, предъявляемым освещению в различных случаях практики. Наиболее распространенными являются светильники с симметричным распределением светового потока, которые делятся на светильники прямого, рассеянного и отраженного света.

В светильниках прямого света, имеющих эмалированные, окрашенные или зеркальные отражатели, 90 или более процентов светового потока направлено в нижнюю полусферу.

Вторая группа светильников — светильники рассеянного света — обычно имеют молочные или матированные стеклянные арматуры, колпаки из бумаги, ткани и других материалов.

Третья группа светильников — светильники отраженного света — излучают более 90% светового потока в верхнюю полусферу.

Применение тех или иных светильников связано с требованиями освещения; светильники прямого света используются для освещения горизонтальных поверхностей; светильники рассеянного света применяются в помещениях со светлыми потолками и стенами и обеспечивают равномерное без теней освещение; наконец, светильники отраженного света имеют применение для декоративного освещения.

Пример 31. Нормальная вольфрамовая лампа накаливания в 750 *вт* имеет световой поток 13 690 *лм*. Если световой поток светильника с указанной лампой составляет 10 000 *лм*, то коэффициент полезного действия светильника равен

$$\eta = \frac{10\,000}{13\,690} = 0,73.$$

## § 18. Проекторы

Проектор представляет собой осветительный прибор дальнего действия с относительно небольшим углом рассеяния, но с большой силой света. Соответствующее распределение светового потока прожектора достигается специальными оптическими системами. Различают три типа оптических систем прожектора: а) катоптрическую (или отражательную), в которой перераспределение светового потока происходит путем отражения от особой поверхности; б) диоптрическую (или преломляющую), в которой перераспределение светового потока происходит вследствие преломления света в линзах или других устройствах, и в) катодиоптрическую (или смешанную), в которой перераспределение светового потока производится путем отражения и преломления.

Рассмотрим оптические системы прожекторов, получивших преимущественное применение в кинематографии.

Распространенным типом прожектора с катоптрической оптикой является параболический прожектор. В качестве отражающей поверхности в этом прожекторе служит параболическая зеркальная поверхность (параболоид вращения), свойством которой является то, что лучи от точечного источника света, установленного в фокусе, после отражения от (внешней или внутренней) поверхности, идут параллельным пучком (рис. 77).

Если диаметр отражателя обозначить через  $D$ , глубину отражателя через  $H$ , то фокусное расстояние его определится из уравнения параболы  $y^2 = 2px$ , путем подстановки величины  $\frac{D}{2}$  и  $H$  вместо  $y$  и  $x$ , именно

$$p = \frac{y^2}{2x} = \frac{D^2}{8H} \text{ и } f = \frac{p}{2} = \frac{D^2}{16H}.$$

Диаметр параболического зеркала и фокусное расстояние его обуславливают телесный угол охвата оптикой прожектора, т. е. угол, под которым из фокуса видна вся передняя поверхность отражателя..

Величина этого угла  $\omega$  может быть определена через значение плоского угла  $2\beta$  (рис. 77) из известного (см. стр. 11) соотношения  $\omega = 2\pi(1 - \beta)$ .

Для точечного источника света параллельный пучок лучей имеет форму цилиндра, причем диаметр основания его равен диаметру отражателя.

Источники света, применяемые в прожекторах, имеют светящееся тело определенных размеров, которое может быть принято дисковой (лампа накаливания) или шаровой (дуга высокой интенсивности) формы. В этом случае, если центр источника света находится в фокусе прожектора, крайние точки габарита светящегося тела будут отражены под некоторым углом к оптической оси прожектора.

В случае шарового источника света с диаметром  $d$  (рис. 78а), так же как и при дисковом источнике света с диаметром  $\alpha$  (рис. 78 б), световые лучи, падающие на центральную и периферийную части отражателя, будут отражаться под равными углами  $2\varphi_1$  и  $2\varphi_2$ , причем  $\varphi_1 < \varphi_2$ .

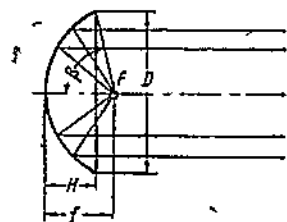


Рис. 77. Проектор с параболическим зеркалом

При дисковом источнике света, находящемся в фокусе параболического прожектора, световые лучи, падающие на крайние точки отражателя  $M$  и  $N$ , после отражения от него пойдут под углом  $2\varphi$  и пересекутся в точке  $P$  оптической оси прожектора на расстоянии  $L_0$  от зеркала. Если

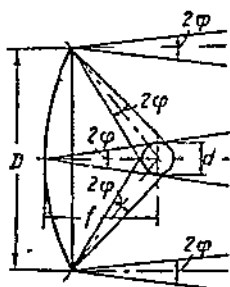


Рис. 78а. Рассеяние лучей от параболического отражателя для шарового источника света

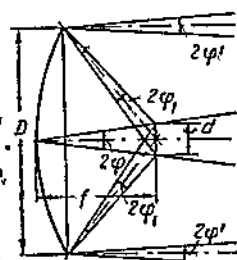


Рис. 78б. Рассеяние лучей от параболического отражателя для дискового источника света

поместить экран между зеркалом и точкой  $P$ , например в точке  $P_1$ , то можно обнаружить ярко освещенное кольцо с наружным диаметром  $A_1B_1$ , внутри которого находится темное пятно с диаметром  $a_1b_1$ . По мере передвижения экрана вправо внутреннее пятно будет уменьшаться и в точке  $P$  исчезнет совсем (рис. 79а).

При источнике света в виде шара будет подобное же явление (рис. 79б.) Здесь, как и в предыдущем случае, будет иметь место увеличение силы света по мере удаления от зеркала и затем установление постоянного значения силы света луча.

Расстояние  $L_0$  называется дистанцией оформления светового луча прожектора. Начиная с этого расстояния освещенность, создаваемая прожектором, подчиняется закону квадратов расстояний.



Рис. 79а. Дистанция оформления луча прожектора с дисковым источником света

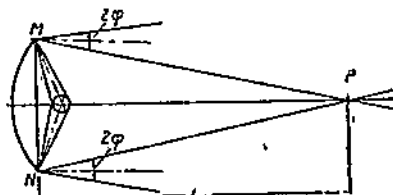


Рис. 79б. Дистанция оформления луча прожектора с шаровым источником света

Расстояние  $L_0$  зависит от диаметра и фокусного расстояния отражателя ( $D$  и  $f$ ) и диаметра источника света  $d$ . Для шарового источника света дистанция оформленного луча по Уолшу равна

$$L_0 = \frac{D}{d} \left( f + \frac{D^2}{16f} \right) + \frac{D^2}{16f}, \quad (89)$$

а для дискового источника света

$$L_o = \frac{D}{d} \left( \frac{f + \frac{D^2}{16f}}{f - \frac{D^2}{16f}} \right)^2 + \frac{D^2}{16f} \quad (90)$$

Сила света прожектора вдоль оптической оси может быть найдена, исходя из закона Манжена: осевая сила света прожектора пропорциональна квадрату диаметра зеркала, яркости источника и коэффициенту отражения зеркала. Осевая сила света прожектора выразится, следовательно, произведением яркости отражателя на проекцию его поверхности на плоскость, перпендикулярную оптической оси:

$$I_{\max} = B\rho \frac{\pi D^2}{4}, \quad (91)$$

где  $B$  — яркость источника света,  $\rho$  — коэффициент отражения отражателя. Коэффициент усиления прожектора будет равен

$$m = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ист}}} = \rho \left( \frac{D}{d} \right)^2, \quad (92)$$

так как  $I_{\text{ист}} = \frac{B\pi d^2}{4}$ .

Кривые распределения сил света прожекторов снимаются обычно в горизонтальной и перпендикулярной к ней плоскостях, проходящих через оптическую ось. Как показывает кривая распределения сил света прожектора (рис. 80, а), силы света в луче прожектора распределены крайне неравномерно, имеют максимум в осевом направлении и быстро падают для крайних лучей. При этом угол, в пределах которого излучается световой поток, незначителен. Так как построение такой кривой в полярных координатах затруднительно, то более целесообразно строить кривую

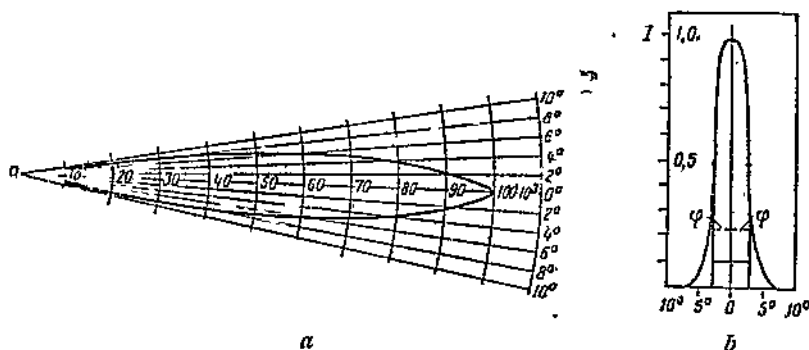


Рис. 80: а и б — кривые распределения силы света прожектора в полярных прямоугольных координатах

распределения сил света прожектора в прямоугольных координатах. При этом построении ось ординат принимается за направление оптической оси и на ней откладывается масштаб сил света; по оси абсцисс отклады-

зается угол, измеряемый от направления оптической оси. Кривая (рис. 80б) распределения сил света прожектора приобретает в зависимости от масштаба оси абсцисс более или менее растянутый характер при сохранении симметрии по отношению к средней линии (оптической оси прожектора).

Углом рассеяния прожектора называется телесный угол, в котором отраженный световой поток лампы прожектора образует световой луч. Этот телесный угол измеряется плоским углом  $2\varphi$  (см. рис. 78).

Величина угла рассеяния для шарового (и дискового) источника света может быть определена из соотношения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{2f}. \quad (93)$$

Крайние лучи прожектора, соответствующие максимальному углу рассеяния, не дают резких очертаний. Это происходит вследствие неточностей оптической системы, особенностей формы тела накала, прохождения части светового потока лампы непосредственно из светового отверстия прожектора. Поэтому принято условно ограничивать световой лучок прожектора пределами так называемого полезного угла рассеяния. Под последним в кинематографии понимают угол, в пределах которого сила света крайних лучей прожектора уменьшается до 0,5 осевой силы света прожектора. Этот угол легко может быть найден из кривой распределения сил света.

Коэффициентом полезного действия прожектора с отражающим зеркалом называют отношение светового потока прожектора к световому потоку источника света прожектора. Величина к.п.д. прожекторов с параболическим зеркалом составляет обычно 40—50%.

Прожекторы с параболическим отражателем имеют целый ряд недостатков, затрудняющих применение их при освещении кинодекораций. Главнейшие из этих недостатков следующие: 1) луч прожектора с параболическим отражателем оформляется лишь на довольно значительном расстоянии от зеркала, что приводит к необходимости располагать прожектор на достаточно большом расстоянии от освещаемого объекта; 2) прожекторы с параболическим зеркалом дают резкое изменение силы света для лучей, уже незначительно сдвинутых по отношению к оптической оси прожектора, что приводит к большой неравномерности светового пятна, в котором обнаруживаются концентрические кольца и блики; 3) угол рассеяния параболического прожектора невелик, что вызывает невозможность получения большой освещенной площади; 4) зеркало прожектора находится в тяжелом температурном режиме, что приводит к растрескиванию стеклянных или порче металлических зеркал.

Устранение многих из указанных недостатков может быть осуществлено путем применения вместо параболического сплошного зеркала секционного зеркального отражателя. Такие прожекторы были впервые изготовлены в Германии и получили название аугеллеров (в. свечиватель). Секционные прожекторы дают сравнительно с параболическими прожекторами большую равномерность освещаемого пятна и имеют большой угол рассеяния.

Световой луч оформляется на относительно близком (3—5 м) расстоянии от прожектора, что дает возможность применения прожекторов для

освещения близко расположенных предметов. Наконец, стоимость составного зеркального отражателя значительно ниже стоимости параболического зеркала прожектора. Секционный параболический отражатель состоит из большого числа плоских зеркал трапецевидной формы, расположенных обычно на поверхности параболоида вращения. В фокусе такого отражателя помещают источник света; тогда пучки световых лучей, упавших на каждое из отдельных зеркал, будут отражаться, составляя вместе световой луч прожектора. Ось каждого отраженного пучка света параллельна оптической оси отражателя, а соответствующие размеры отдельных зеркал обеспечивают одинаковую ширину пучка для всех секций и, следовательно, равномерность луча прожектора в целом. Угол рассеяния прожектора зависит от угла, под которым видна секция отражателя из фокуса последнего, и угловой ширины источника света.

Все секции располагаются на поверхности параболоида отдельными концентрическими зонами, причем размеры зеркал в пределах каждой данной зоны выбираются одинаковыми. Число зон и количество секций зависят от желаемого угла рассеяния и необходимой силы света прожектора. Малое число зон отражателя приводит к увеличению угла рассеяния и падению силы света; при увеличении числа зон угол рассеяния уменьшается, а осевая сила света прожектора растет. Обычно число зон выбирают не менее трех при угле охвата секционного отражателя от  $140^\circ$  до  $180^\circ$ .

Сила света, отраженного каждой секцией отражателя, будет равна  $I_c = \rho I_a$ , где  $\rho$  — коэффициент отражения зеркала, а  $I_a$  — сила света, излучаемая источником света в направлении данной секции.

Общая аксиальная сила света прожектора будет складываться из силы света, полученной от всех секций, и средней сферической силы света источника света

$$I_m = \Sigma \rho n I_a + I_o,$$

где  $n$  — число секций.

Принимая для упрощения  $I_a = I_o$ , получим

$$I_m = (\rho n + 1) I_o. \quad (94)$$

Коэффициент усиления, следовательно, составит

$$m = \frac{I_m}{I_o} = \rho n + 1; \quad (95)$$

задаваясь необходимым коэффициентом усиления, можно выбрать требуемое число зеркал отражателя.

Коэффициент полезного действия прожектора зависит от коэффициента отражения зеркал секций  $\rho$ , потерь светового потока в кожухе, потерь, вызванных наличием деталей, составляющих механизм источника света, а также потерь в защитном стекле, устанавливаемом в передней части прожектора. При использовании в качестве источника света лампы накаливания добавляются также потери светового потока вследствие затемнения, вызванного наличием стеклянной колбы. Потери светового потока у прожектора довольно значительны и составляют почти  $\frac{2}{3}$  общего светового потока, поэтому коэффициент полезного действия достигает максимумом 35—36%.

Прожекторы с диоптрической (преломляющей) оптической системой имели в кинематографии относительно небольшое распространение (лин-

зовые прожекторы) и только в последнее время стали особенно широко применяться.

Основной частью линзового прожектора является линза, в главном фокусе которой расположен источник света. На рис. 81а дана схема

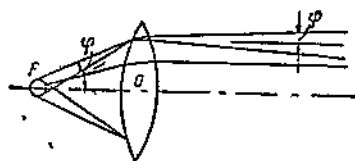


Рис. 81а. Схема линзового прожектора с дуговой лампой

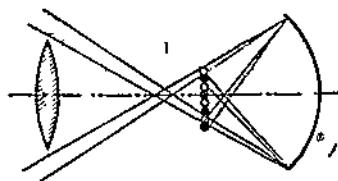


Рис. 81б. Схема линзового прожектора с лампой накаливания

линзового прожектора с дуговым источником света. Световой поток и угол рассеяния такого прожектора могут быть найдены из тех же соотношений, что и для параболического прожектора.

Осевая сила света линзового прожектора определяется аналогично силе света параболического прожектора

$$I_m' = \frac{\pi D^2}{4} \tau B, \quad (96)$$

где  $D$  — диаметр линзы,  $\tau$  — коэффициент пропускания ее,  $B$  — яркость источника света.

При работе с лампами накаливания применяют для лучшего использования светового потока схему, представленную на рис. 81б. Позади лампы помещают сферическое зеркало, дающее изображение нити в плоскости расположения последней, тем самым повышая габаритную яркость тела накала лампы почти вдвое. Такие прожекторы могут быть отнесены к группе катодиоптрических. Линзовые прожекторы дают резко очерченное яркое пятно, позволяющее эффектно осветить деталь снимаемого предмета. Профиль линзы прожектора выбирают исходя из минимальной аберрации оптической системы, минимума потерь в оптике и максимального угла охвата. Для получения безаберрационной линзы профиль ее должен быть ограничен прямой и кривой высшего порядка или кругом и кривой высшего порядка. В практических условиях кривые высшего порядка заменяются кругом. Такие линзы называются сферическими и оказываются пригодными лишь при небольших относительных отверстиях  $\frac{D}{f}$  (рис. 82а),

где  $D$  — диаметр, а  $f$  — фокусное расстояние линзы. Линзы с небольшим относительным отверстием имеют также малые углы охвата вследствие небольших диаметров или же вследствие больших значений фокусного расстояния. Для таких линз угол охвата  $2\alpha$  обычно не превосходит  $8-10^\circ$  (что соответствует телесному углу  $\omega = 0,025$ ) и, следовательно, полезный световой поток прожектора получается небольшой.

Все же такого рода линзовые прожекторы с диаметром линзы до 200 мм получили некоторое распространение для специальных эффектов освещения.

Увеличение относительного отверстия сферических линз приводит к быстрому возрастанию аберрации; так как толщина линзы в центральной



части сильно возрастает, то линзы с углом охвата большим  $10^\circ$  необходимо изготавливать с асферической поверхностью  $m$  (рис. 82б). Недостаток таких линз заключается в трудности их изготовления, которая при больших диаметрах линз практически непреодолима. При больших диаметрах (250, 350, 500 мм) линз Френель предложил изготавливать ступенчатые линзы. В этих линзах наружная поверхность разбита на ряд зон и смещена по отношению к источнику света. При этом угол отклонения луча остается неизменным, но толщина линзы, ее вес, длина хода лучей в стекле и потери светового потока могут быть уменьшены.

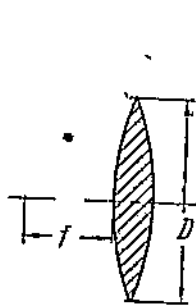


Рис. 82а. Сферическая линза прожектора

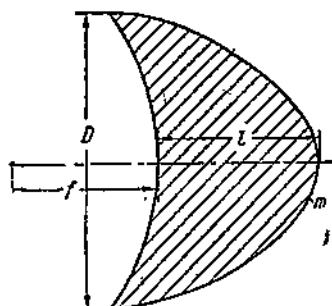


Рис. 82б. Асферическая линза прожектора

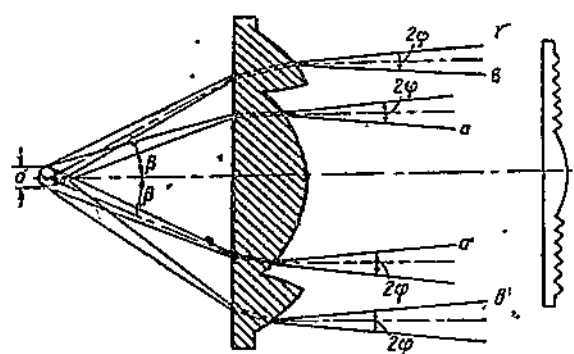


Рис 82с. Линза Френеля

ответственный телесный угол  $\omega=2,38$ ). В каждом из полученных призматических колец (рис. 82 с) лучи от точечного источника света, помещенного в фокусе, претерпевают полное внутреннее отражение и выходят наружу параллельным пучком. В действительных условиях источник света имеет конечные размеры, и это приводит к рассеянию лучей линзового прожектора.

Суммирование отдельных сил света зон линзы дает максимальную силу света линзы, которая составляет (для безабберационной линзы)

$$I_m = \Sigma \Delta I_n = K \cdot B \frac{\pi D^2}{4}, \quad (97)$$

где коэффициент  $K$  определяет общие потери света, вызванные наличием ступенчатой линзы. Этот коэффициент близок к единице для центральных зон и имеет наименьшую величину для крайних линз. В среднем для прессованных линз этот коэффициент равен 0,6—0,4.

Следует отметить, что у прожекторов с линзами Френеля, так же как у прожекторов с параболическим отражателем, имеет место дистанция оформления луча. На близком расстоянии такой прожектор не дает максимальной силы света, так как в близлежащие к прожектору точки попадают лучи, исходящие только от части поверхности линзы. Величина этой поверхности определяется крайними лучами  $a$  и  $a'$  (рис. 82с), которые пересекают оптическую ось. Если отойти от линзы на достаточно большое расстояние, то, начиная с точки, в которой пересекаются крайние лучи наружной зоны  $b$  и  $b'$ , вся поверхность линзы будет светиться. Следовательно, максимальная сила света прожектора создается на расстоянии  $L_0$ , которое и определяет дистанцию оформления луча. Линзы Френеля получили широкое применение для киносьемочных прожекторов, так как позволяют сохранить равномерность светового пятна, даваемого ими при изменении угла рассеяния благодаря сдвигу источника света из положения фокуса, в отличие от прожекторов с параболическим зеркалом. Положение источника света в фокусе прожектора (отражателя линзы) отвечает максимальной силе света и минимальному углу рассеяния луча прожектора. Смещение же источника света из положения фокуса резко увеличивает угол рассеяния при сильном падении силы света прожектора. На рис. 83 приведена зависимость изменения силы света при перемещении источника света из положения фокуса, причем кривая 1 отвечает случаю перемещения источника света к линзе, а кривая 2 — перемещению источника света от линзы.

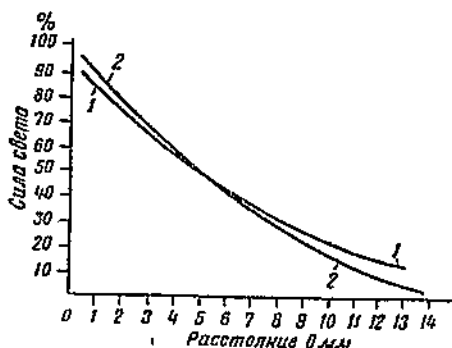


Рис. 83. Влияние фокусировки на осевую силу света прожектора с линзой Френеля

Для создания светового пучка с большим рассеянием в горизонтальной плоскости, что необходимо для освещения при съемке массовых сцен, применяют иногда параболические прожекторы, снабженные специ-

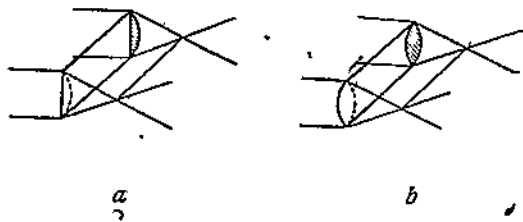


Рис. 84: а, б — рассеивающие линзы прожекторов

альными рассеивателями, состоящими из вертикальных цилиндрических линз (рис. 84, а и б).

Пример 32. Пусть параболический прожектор диаметром  $D = 500$  мм снабжен дуговой лампой с уголями „КС“, яркость которых

$B = 25\,000$  св, а диаметр светящейся площадки угля  $d = 10$  мм. Если коэффициент отражения зеркала прожектора  $\rho = 0,8$ , то  $I_{\max} = 25\,000 \times \times 0,8 \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 39 \cdot 10^6$  свечей, коэффициент усиления  $m = 0,8 \left( \frac{50}{1,0} \right)^2 = 2000$ .

Пример 33. Для параболического прожектора с  $D = 450$  мм,  $f = 200$  мм и  $d = 12$  мм найдем дистанцию оформления луча для случая шарового источника света.  $L_0 = \frac{45}{1,2} \left( 20 + \frac{45^2}{16 \cdot 20} \right) + \frac{45^2}{16 \cdot 20} = 1000$  см  $= 10$  м. При дисковом источнике света того же диаметра

$$L_0 = \frac{45}{1,2} \cdot \frac{\left( 20 + \frac{45^2}{16 \cdot 20} \right)^2}{\left( 20 - \frac{45^2}{16 \cdot 20} \right)} + \frac{45^2}{16 \cdot 20} \approx 2000 \text{ см} \approx 20 \text{ м}.$$

Пример 34. Для параболического прожектора с  $d = 12$  мм и  $f = 200$  мм, угол рассеяния определится из соотношения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{2f} = \frac{12}{400} = 0,03, \quad \text{откуда } 2\varphi \approx 3,5^\circ.$$

Пример 35. Если число секций аугфеллера  $n = 24$ ,  $\rho = 0,75$ , источник света имеет  $I_0 = 20\,000$  свечей, то  $I_m = (0,75 \cdot 24 + 1) 20\,000 = 380\,000$  свечей. Коэффициент усиления аугфеллера, следовательно, равен  $0,75 \cdot 24 + 1 = 19$ .

Пример 36. Линзовый прожектор с лампой накаливания, имеющей  $B = 3000$  св при диаметре  $D = 250$  мм и коэффициенте пропускания  $\tau = 0,6$  линзы, дает осевую силу света  $I_{\max} = 0,6 \cdot 3000 \cdot \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 880\,000$ с.

## § 19. Характеристики осветительных приборов для киносъемки

Осветительные приборы, применяемые для освещения при киносъемке, могут быть разделены на две основных группы:

1. Осветительные приборы общего освещения (бокового и верхнего света) с углами рассеяния в  $60^\circ$  и больше.

2. Осветительные приборы направленного освещения. К ним относятся прожекторы (с параболическим или секционнм отражателем) с различными дугами и лампами накаливания, имеющие углы рассеяния от  $10$  до  $45^\circ$ , и осветительные приборы эффектного освещения (так называемые „Спот-Лайт“, или линзовые прожекторы) с углами рассеяния от  $5$  до  $44^\circ$ .

Кроме того для создания ряда эффектов (восходящего солнца, фонаря и т. п.) при киносъемке используются специальные осветительные приборы различных типов.

Назначение осветительных приборов общего освещения заключается в создании при съемке общей минимальной освещенности снимаемого объекта и декораций, обеспечивающих нормальную экспозицию для применяемых условий съемки (сорта эмульсий, относительного отверстия объектива, данной съемочной камеры).

К осветительным приборам общего освещения относятся приборы верхнего, бокового и нижнего света.

Осветительные приборы верхнего света служат для освещения декораций сверху. Практика показывает, что равномерного без теней и световых пятен освещения декораций можно достичь с помощью достаточного числа осветительных приборов верхнего света. Если же съемка

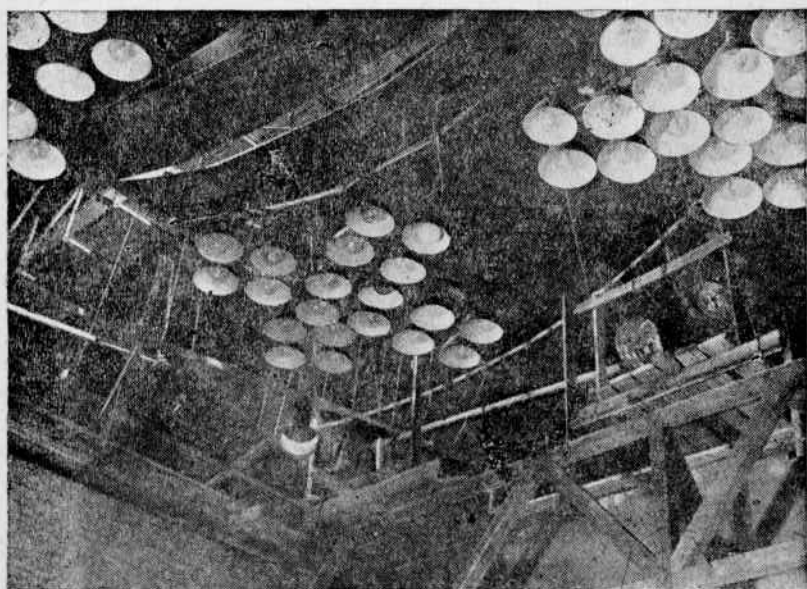


Рис. 85. Осветительные приборы верхнего света, установленные на крестовинах

происходит при широких, глубоких и вообще больших декорациях, то верхний свет является совершенно незаменимым.

Осветительные приборы верхнего света обычно относятся к типу глубоководных излучателей (эмалированных, крашенных или зеркальных) или же изготавливаются в виде площадок (крестовин) с разным числом ламп (рис. 85). Угол рассеяния приборов верхнего света выбирается довольно значительным для создания равномерного освещения достаточно больших площадей. Эти приборы обычно подвешиваются к потолку ателье на высоте от 6 до 12 м и передвигаются с помощью особых тележек, управляемых снизу. Так как доступ к лампам верхнего света затруднителен, то к их конструкции предъявляется целый ряд особых требований.

В частности, источник света осветительного прибора должен гореть продолжительное время и давать неизменную по времени освещенность.

Включение лампы должно быть автоматическим, монтаж осветительного прибора должен быть удобным и надежным.

Осветительные приборы бокового и нижнего света предназначены для освещения снимаемых сцен спереди и с боков и должны сгладить тени, которые могут получиться вследствие освещения приборами верхнего света.

Эти приборы обычно изготавливаются в виде площадок или софитов с различным числом источников света и имеют значительные углы рассеяния (до  $180^\circ$ ) при достаточно большом световом потоке. Форма кривой распределения сил света должна обеспечивать равномерность освещения.

Конструкция осветительных приборов бокового и нижнего света должна обеспечивать удобное передвижение и включение в электрическую сеть и достаточную высоту подъема светильника.

Осветительные приборы бокового, переднего, заднего или нижнего света устанавливаются в различных точках декорации в зависимости от необходимого эффекта освещения. Нужно отметить, что осветительные приборы общего освещения начинают постепенно выходить из употребления и заменяются осветительными приборами направленного освещения, особенно в случае освещения больших пекораций. Один мощный прожектор с линзой Френеля и дуговой лампой интенсивного горения заменяет

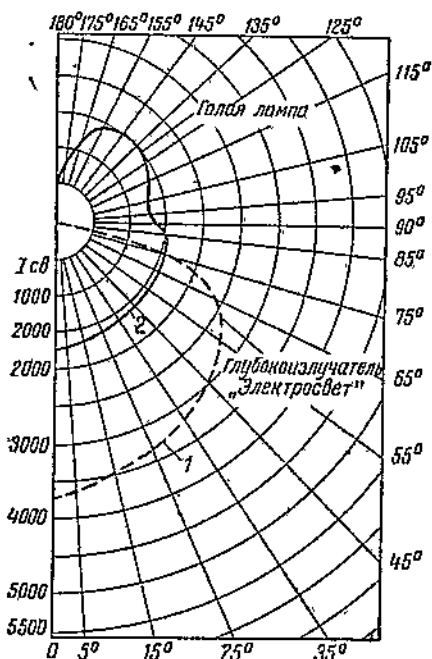


Рис. 86а. Кривая распределения сил света эмалированного глубоководного излучателя с лампой накаливания

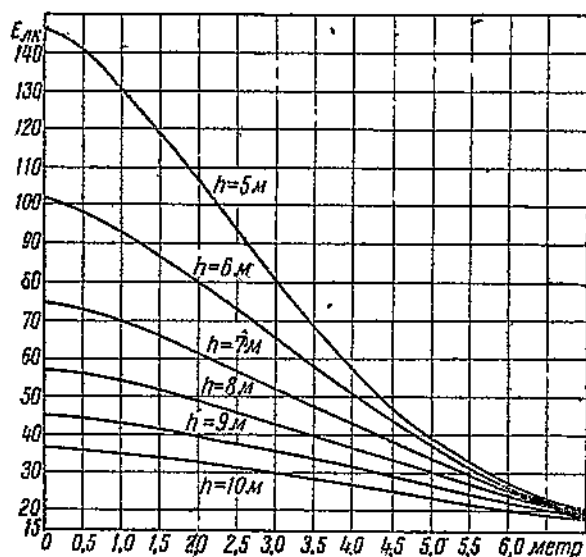


Рис. 86б. Освещенность на полу при освещении эмалированным глубоководным излучателем с лампой накаливания

в качестве источника общего освещения до десяти светильников верхнего и бокового света.

Опишем кратко некоторые светильники общего освещения, применяемые в современных киностудиях. В студиях СССР в настоящее время в

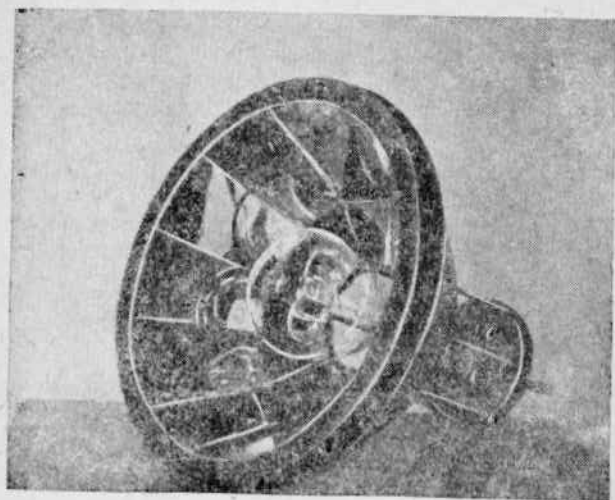


Рис. 87а. Зеркальный светильник Р-1.

качестве светильников верхнего света применяются разные типы глубокоизлучателей с лампами накаливания мощностью в 1000 *вт*. Эти светильники самых разнообразных типов часто изготавливаются на киностудиях.

Одним из используемых на наших киностудиях светильников верхнего света является эмалированный глубокоизлучатель завода „Электросвет“ (см. рис. 75) с лампой накаливания в 1000 *вт*. Светильник представляет собой железный эмалированный отражатель, покрытый изнутри белой фарфоровой эмалью. Лампа в светильнике устанавливается с помощью патрона „Голиаф“. На рис. 86а представлены кривые распределения сил света этого глубокоизлучателя — кривая 1 и голлой лампы — кривая 2. Как следует из этих кривых, угол рассеяния глубокоизлучателя составляет 150°, а коэффициент усиления равен 2,12. Коэффициент полезного действия этого светильника составляет около  $\eta = 58\%$ , а защитный угол равен 27°.

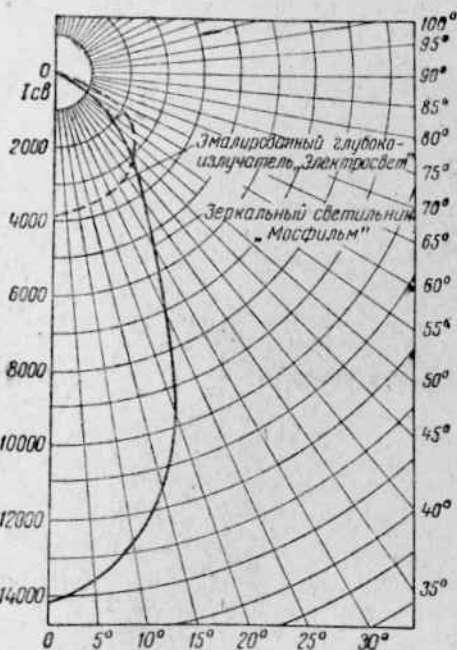


Рис. 87б. Кривая распределения сил света светильника Р-1

Рис. 86b показывает зависимость освещенности в разных точках светового пятна (считая от центра), образованного на полу при освещении

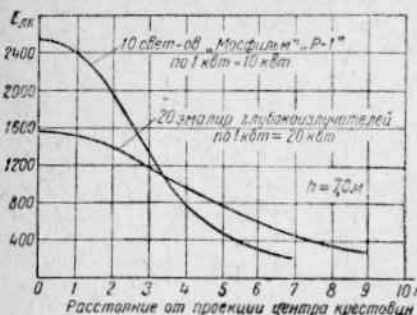


Рис. 88. Сравнительные кривые освещенности, создаваемой эмалюрованными глубоководителями и светильниками Р-1

Кривая распределения силы света зеркального светильника Р-1 представлена на рис. 87b, где для сравнения дана такая же кривая для глубоководителя „Электросвет“, описанного выше. Как легко видеть,

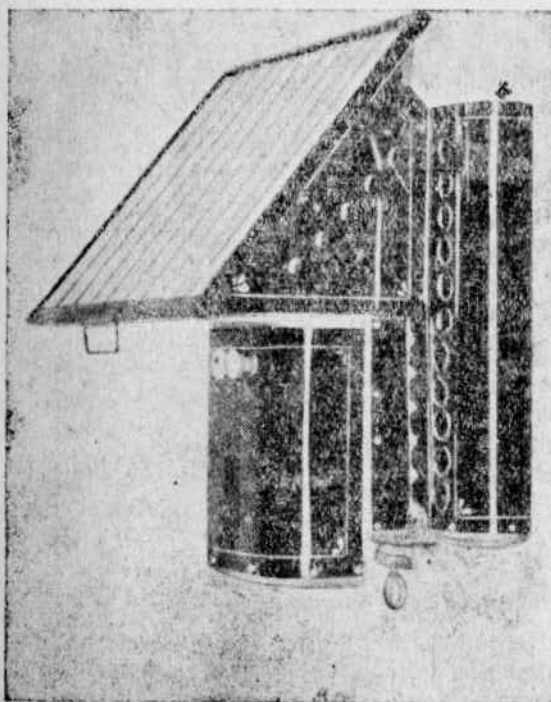


Рис. 89. Общий вид прибора верхнего света MR-27

на высоте  $\eta = 5, 6, 7, 8, 9$  и  $10 м$ .

Более совершенный тип Р-1 зеркального светильника верхнего света был разработан на студии „Мосфильм“ для лампы накаливания мощностью  $1000 вт$ . Он имеет фасетную отражающую поверхность, смонтированную из двух концентрических поясов, причем в каждом поясе 12 плоских зеркал, удерживающихся на внутреннем кожухе из листового железа с помощью тонких болтов с шайбами.

Светильник снабжен фокусирующей лампу приспособлением и обеспечивает хорошую вентиляцию колбы лампы (рис. 87а).

Светильник снабжен фокусирующей лампу приспособлением и обеспечивает хорошую вентиляцию колбы лампы (рис. 87а). Коэффициент усиления светильника Р-1 составляет около 10, а угол рассеяния равен  $125^\circ$ .

Коэффициент полезного действия светильника достигает до  $75\%$ , его защитный угол равен  $20^\circ$ . Для выявления преимуществ зеркального светильника приведен рис. 88, где показаны кривые 1 и 2 зависимости освещенности пола от расстояния от проекции центра крестовины, на которых укреплены 20 светильников глубоководителей „Электросвет“ и 10 зеркальных светильников Р-1. При этом обе крестовины подвешены на высоте  $h = 7 м$ . Как видим, в пределах площади пола в круге радиусом до  $3 м$  10 светильников Р-1 обеспечивают большую освещенность,

чем 20 светильников типа глубоководных излучателей „Электросвет“. В американской практике кино съемки применяются самые разнообразные типы светильников верхнего освещения с куполообразными и корытообразными

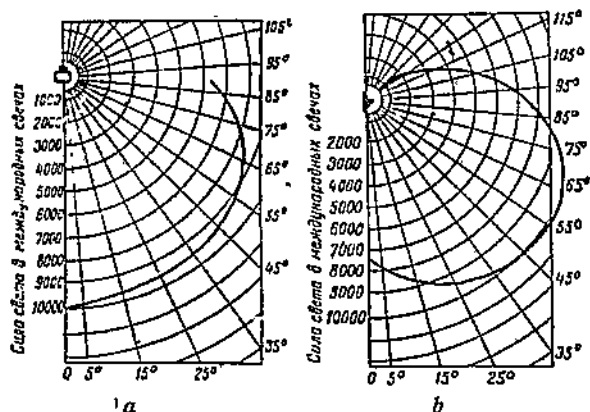


Рис. 90: а и б — кривые распределения сил света прибора MR-27

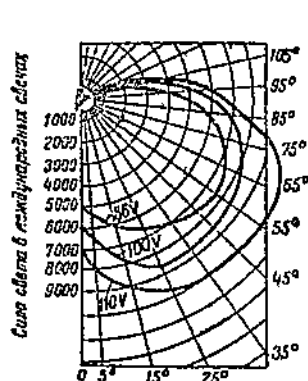


Рис. 91. Влияние напряжения на световой поток прибора MR-27.

рефлекторами различных конструкций, обладающих широкой кривой светораспределения и снабженных лампами накаливания мощностью от 500 до 2000 *вт*.

За последнее время в США (особенно в связи с развитием цветных кино съемок) для верхнего освещения получил распространение светильник MR-27 с дуговой лампой.

Осветительный прибор верхнего света типа MR-27 (рис. 89) имеет в качестве источника света две дуговые лампы, соединенных последовательно с вертикальным расположением углей. Прибор предназначен для включения в сеть постоянного тока с напряжением в 110 *в* и работает при токе в 35 *а*. Положительный и отрицательный угли лампы имеют одинаковый диаметр в 8 *мм* и длину 300 *мм*, они омеднены снаружи и сверху медного слоя оцинкованы. Фитиль углей имеет примеси редких земель, форма фитиля звездообразная со средним диаметром, равным половине наружного диаметра углей.

Плотность тока в углях около 0,8 *а/мм²*, яркость кратера достигает 40 *ксб* при нормальной нагрузке лампы.

В верхней части прибора имеется приспособление для подвески, реостат укреплен на кожухе прибора по одной секции с каждой стороны автоматического регулятора углей. Токонесущие части прибора защищены кожухами, включение лампы MR-27 осуществлено с помощью двойного выключателя на штативе прибора.

Кожух осветительного прибора MR-27 имеет вентиляционные отверстия и рамку для установки матового стекла, состоящего из девяти полос размером 380×50 *мм*. Внутренняя поверхность последнего матирована, внешняя же имеет рифление. Рамка обеспечивает установку стекла под углом 45° к оси углей и, следовательно, направление вниз светового потока,



Отражатель прибора — зеркальный, имеет форму призмы и сделан из хромированного листового дюралюминия. Коэффициент отражения его составляет 0,65.

Регулятор углей прибора MR-27 дифференциального типа. Пусковой ток осветительного прибора не превышает 80 а и быстро уменьшается до нормального, причем окончательный режим устанавливается через 4—5 секунд. Регулирование углей в процессе работы происходит в промежутки времени порядка 0,04 секунды, благодаря чему колебания светового потока ламп не обнаруживаются.

Световой поток дуговой лампы (обеих дуг) прибора MR-27 без отражателя и матового стекла составляет при нормальном режиме около 83 000 лм, а максимальная сила света — 22 000 свечей.

С отражателем и матовым стеклом световой поток MR-27 составляет около 32 000 лм, следовательно, к. п. д. прибора  $\eta = 0,39$ .

Кривая распределения силы света в вертикальной плоскости, перпендикулярной к стеклу, приведена на рис. 90а. На рис. 90б дана кривая  $I$  распределения силы света прибора MR=27 в плоскости, перпендикулярной к стеклу и к первой плоскости, т. е. под углом  $45^\circ$  к горизонту.

Рис 92. Прибор бокового света

Влияние напряжения резко сказывается на световом потоке описываемого осветительного прибора. На рис. 91 представлены кривые распределения сил света осветительного прибора MR-27 при напряжениях в 86, 100

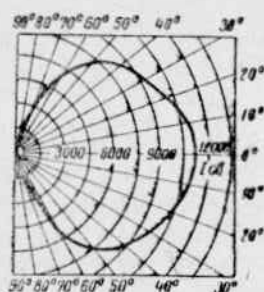


Рис. 93а. Кривая распределения сил света прибора, представленного на рис. 92

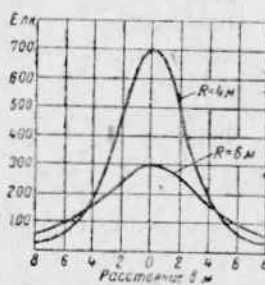


Рис. 93б. Распределение освещенности прибора бокового света (рис. 92)

и 110 в. Освещенность, создаваемая этим прибором на расстоянии 5 м в центре светового пятна, составляет около 400 лк при токе в 35 а. Угол рассеяния прибора равен  $120^\circ$ . В качестве светильников бокового освещения в нашей практике кино съемки находят себе применение самые разнообразные типы

осветительных приборов, часто изготавливаемых на самих студиях. Эти приборы снабжаются 3—12 лампами накаливания мощностью каждая от 500 до 1000 *вт* и обеспечивают силу света в осевом направлении до 40 тысяч свечей при угле рассеяния до  $160^\circ$ . На рис. 92 изображен один из светильников бокового освещения, применяемый на наших киностудиях. Этот светильник рассчитан для работы с шестью лампами мощностью в 500 *вт* и дает в осевом направлении силу света до 11 000 свечей при угле рассеяния



Рис. 94а. Зеркальная лампа К-12-0

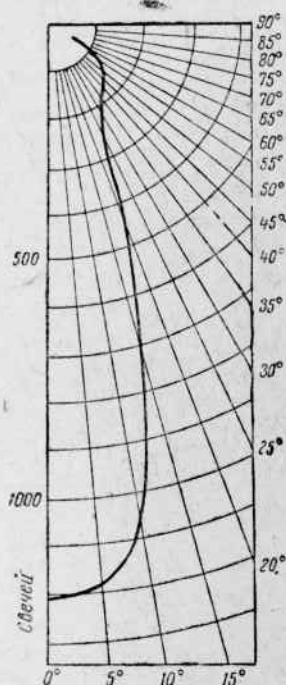


Рис. 94б. Кривая распределения сил света К-12-0

в  $140^\circ$ . На рис. 93а приведена кривая распределения сил света этого светильника, а кривые на рис. 93 б характеризуют распределение освещенности, создаваемой данным светильником на расстоянии в 4 и 6 м.

В 1940 г. в СССР по инициативе студии „Мосфильм“ разработана так называемая зеркальная лампа типа К-12-0, которая должна найти широкое применение для бокового освещения сцены (за границей для этих целей она применяется уже в течение нескольких лет). Эта лампа (рис. 94а) имеет нить накаливания мощностью в 300 и 500 *вт* и специальной формы колбу, изнутри покрытую зеркальным слоем, а снаружи матированную химическим путем. При мощности в 500 *вт* и напряжении 110—120 в полный световой поток лампы (в пределах угла рассеяния, отвечающего силе света в  $0,1 I_{\max}$ ) составляет 6 300 *лм*, сила света по оси — 10 300 свечей.

Угол рассеяния лампы составляет около  $50^\circ$ , в пределах которого распределен световой поток в 4 000 *лм*, коэффициент усиления равен 12,0. Световая отдача зеркальной лампы, т. е. отношение полного светового потока к потребляемой электрической мощности, составляет 12,6 *лм/вт*.

Лампа в 300 *вт* дает в пределах угла рассеяния в  $50^\circ$  2200 *лм*, имеет силу света по оси в 6000 свечей при коэффициенте усиления, равном 12. Полный световой поток этой лампы равен 3600 *лм*, что отвечает световой отдаче в 12 *лм/вт*. Срок горения зеркальной лампы составляет около 1000 часов, причем никакие ограничения в отношении положения ее нити при горении не ставятся. На рис. 94b дана кривая распределения сил света зеркальной лампы К-12-0, приведенная к условному световому потоку в 1000 *лм*.

Высокий коэффициент полезного действия (до 78%), хорошая равномерность светового пятна, малые габариты и незначительный вес, а также низкая стоимость зеркальных ламп дают все основания для широкого внедрения этих ламп в практику киносъемки. Зеркальную лампу К-12-0 можно применять для освещения в самых разнообразных случаях киносъемки, помещая ее под прикрытием колонн, выступов и других деталей декораций. Кроме того такие лампы могут быть смонтированы на штативах в количестве 3—6 штук

и служить как для общего, так и для бокового освещения. В американской практике такие агрегаты применяются достаточно успешно, причем расположение зеркальных ламп на расстоянии в 250 *мм* друг от друга обеспечивает достаточную равномерность освещения объектов съемки.

В американских киностудиях (особенно для цветных киносъемок) получили распространение приборы бокового освещения с дугowymi лампами—особенно типа MR-29.

Прибор бокового освещения MR-29 по своей конструкции подобен прибору MR-27, но матовое стекло его установлено параллельно углям (рис. 95). Конструкция обеспечивает подъем прибора в пределах от 1240 до 2630 *мм* и наклон под углом  $60^\circ$  к горизонту.

Отражатель зеркального типа выполнен из хромированного листового дюралюминия в форме усеченной пирамиды.

Световой поток прибора при режиме 35 *а* 110 *в* составляет; 28 000 *лм* с матовым стеклом и около 8 300 *лм* без стекла. Коэффициент полезного действия прибора  $\eta = 0,34$ .

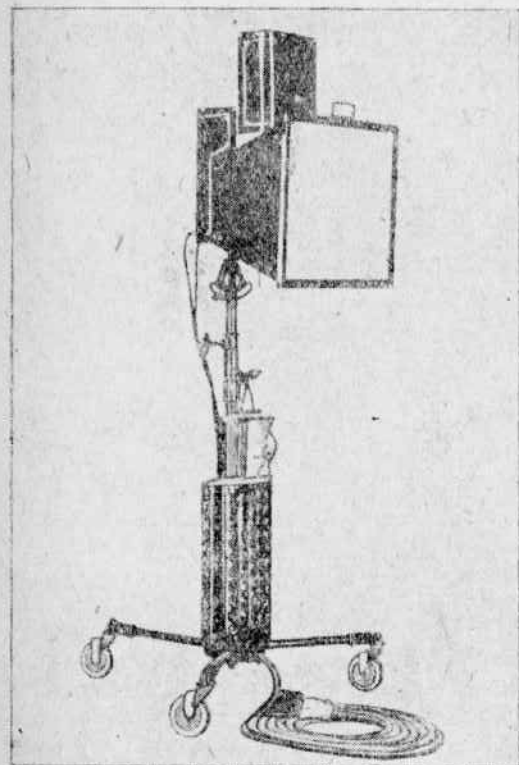


Рис. 95. Прибор бокового освещения MR-29

Распределение сил света осветительного прибора MR-29 в вертикальной плоскости, перпендикулярной стеклу, показано на рис. 96, а. Влияние режима горения прибора MR-29 сильно сказывается на световом потоке и распределении сил света; это видно из кривых рис. 9,6а,

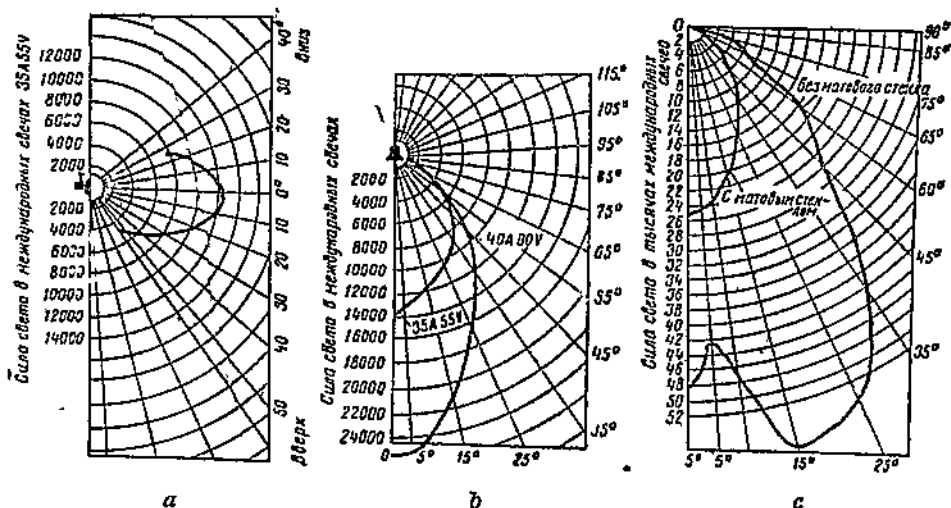


Рис 96: а, б, с — кривые распределения силы света прибора MR-29.

отвечающих распределению сил света MR-29 при токах 35 а и 40 а. Влияние матового стекла выявляется из рассмотрения рис. 96, с, где одна кривая отвечает распределению сил света прибора MR-29 без стекла, а другая — распределению сил света прибора со стеклом.

Приведенные данные показывают, что освещенность, создаваемая прибором MR-29 в центре светового пятна на расстоянии в 5 м, составляет около 1000 лк при токе 40 а, 550 лк при токе 35 а. Угол рассеяния меньше, чем у прибора MR-27, и составляет 100°.

Приборы направленного освещения применяются для выделения снимаемого объекта, а также для создания впечатления естественного света, обычно имеющего определенное направление. К этим осветительным приборам следует отнести прожекторы с секционными зеркалами и прожекторы с параболическими зеркалами. За последнее время для целей направленного освещения получили широкое распространение прожекторы с линзами Френеля.

Осветительные приборы направленного освещения обычно имеют значительную силу света при сравнительно небольшом угле рассеяния. Эти приборы делаются с различными диаметрами зеркал (или линз), начиная от 100 и кончая 1000 мм. Конструкция приборов этого типа должна обеспечить возможность установки их в различных местах декорации, на тележках и деревянных подмостках (партикаблях) и т. п. В случае применения в качестве источника света прожектора пламенной дуги, регулировка и включение углей производятся вручную. Интенсивные дуговые лампы,

применяемые обычно в прожекторах с линзой Френеля, снабжаются при-  
сущими этим дугам автоматическими механизмами для включения и регу-  
лировки углей.

Осветительные приборы эффектного освещения в общем незначи-  
тельно отличаются от рассмотренной группы прожекторов и представляют собой  
прожекторы с линзами простыми (диаметром до 200 мм) и френелев-  
скими (диаметром от 100 до 500 мм). Они предназначены для создания  
концентрированного пучка света с небольшим углом рассеяния; освещение  
с их помощью отдельных предметов или деталей резко очерчено узким  
пучком света, образующим блики и световые пятна.

В американской и частично в нашей практике киносъемки за последнее  
время не различают особо приборов эффектного освещения, применяя  
приборы направленного действия для самых разнообразных случаев съемки.

Так, мощные прожекторы с линзой Френеля и дугой интенсивного  
горения при малых углах рассеяния применяются как приборы направ-  
ленного освещения для переднего, бокового и заднего освещения, эффекта  
солнечного света и т. д., а при больших углах рассеяния — и для  
общего освещения крупных декораций.

Небольшие линзовые прожекторы применяются в зависимости от усло-  
вий и для эффектного освещения и для общего освещения объекта.  
Рассмотрим некоторые более часто применяемые осветительные приборы

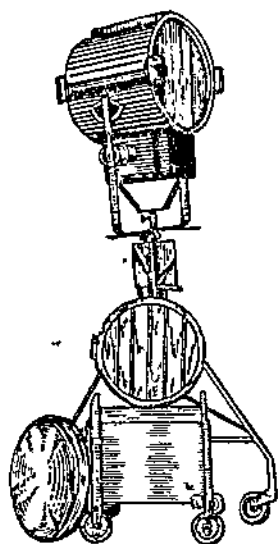


Рис. 97. Кинопрожектор  
КП-45

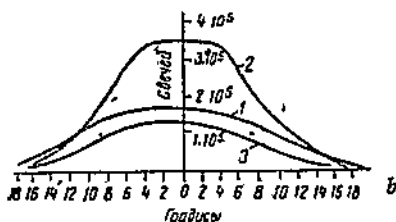
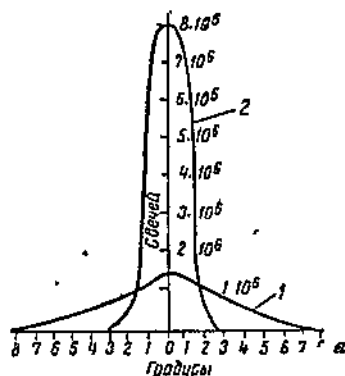


Рис. 98: а и б — кривые распреде-  
ления сил света прожектора КП-45

направленного освещения. Одним из наиболее распространенных в  
студиях СССР прожекторов с параболическим и секционным отражателем  
является прожектор КП-45, изготовленный Московским прожекторным  
заводом.

Пржектор КП-45, представляющий собой кинопржектор с отражательной оптикой диаметром 450 мм (рис. 97), универсален как в отношении типа отражателя, так и в отношении рода источника света. Он предназначен для секционного и для параболического отражателя и может работать с дуговым источником света или с лампой накаливания.

Секционный отражатель пржектора состоит из трех зон, содержащих 40 секций, причем в первой зоне находится 8 секций, а в двух других — по 16 секций. Угол охвата секционного отражателя составляет  $150^\circ$  при фокусном расстоянии в 150 мм.

Параболический отражатель металлический, хромированная поверхность которого имеет коэффициент отражения  $\rho=0,60$ . Угол охвата параболического отражателя  $2\alpha=128^\circ$ , фокусное расстояние — 200 мм.

Пржектор КП-45 применяется обычно:

1. С секционным отражателем: а) с лампой накаливания 110 в 3000 вт; б) с дуговой лампой постоянного тока 80 а 45 в и углями „КС“  $d_+=16$  мм,  $d_-=12$  мм; сила тока лампы может быть увеличена до 125 а при 48 в; в) с дуговой лампой переменного тока 80 а 35 в при диаметре углей „КС“  $d=14$  мм.

2. С параболическим отражателем: а) с лампой накаливания 110 в 3000 вт; б) с дуговой лампой постоянного тока 80 а 50 вт и углями „КС“  $d_+=16$  мм и  $d_-=12$  мм.

В табл. 46 приведены некоторые светотехнические характеристики пржектора КП-45 при работе с защитным стеклом.

Таблица 46

| Тип отражателя                          | Источник света                           | Максим. сила света (в тыс. свеч.) | Козф. усиления | Угол рассеяния ( $^\circ$ ) | К. п. д. пржектора (в %) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Параболический хромированный отражатель | Лампа накаливания 110 в 3000 вт          | 1 050                             | 600            | гориз. 13                   | 20                       |
|                                         | Дуговая лампа постоянного тока 80 а 50 в | 7 200                             | —              | гориз. 3<br>верт. 3,3       | 45                       |
| Нормальный секционный отражатель        | Лампа накаливания 110 в 3000 вт          | 165                               | 37             | гориз. 38<br>верт. 30       | 27                       |
|                                         | Дуговая лампа постоянного тока 80 а 50 в | 350                               | —              | гориз. 28<br>верт. 30       | 50                       |
|                                         | Дуговая лампа переменного тока 80 а 35 в | 140                               | —              | гориз. 28<br>верт. 30       | 25                       |

На рис. 98, а приведены кривые распределения сил света пржектора (в горизонтальной плоскости) с параболическим отражателем при лампе накаливания 110 в 3000 вт (кривая 1) и дуговой лампе 80 а 45 в постоянного тока (кривая 2).

Кривые 1, 2 и 3 рис. 98, б изображают распределение сил света в горизонтальной плоскости прожектора КП-45 для секционного отражателя с лампой накаливания (110 в 3000 вт) дуговой лампы постоянного тока (80 а 45 в) и дуговой лампой переменного тока (80 а 35 в).

В табл. 47 приведены освещенности и размеры пятна, даваемые прожектором КП-45 на различных расстояниях от освещаемой поверхности до прожектора, причем поверхность перпендикулярна оптической оси прожектора, а минимальная освещенность в пятне  $I_{\min} = 0,1 I_{\max}$ .

Таблица 47

| Расстояние от источника света прожектора до центра освещаемой поверхности (в м) | Освещенность поверхности (в лк)<br>$E_{\max}$ (у центра освещенного пятна) | Размеры светового пятна (в м) |              | Источник света прожектора и тип отражателя                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                 |                                                                            | по горизонтали                | по вертикали |                                                                                |
| 25                                                                              | 11 400                                                                     | 2,2                           | 2,2          | Дуговая лампа постоянного тока 80 а 50 в, отражатель параболический            |
| 30                                                                              | 10 000                                                                     | 2,6                           | 2,6          |                                                                                |
| 35                                                                              | 7 300                                                                      | 3,0                           | 3,0          |                                                                                |
| 8                                                                               | 19 600                                                                     | 1,44                          | 0,59         | Лампа накаливания, прожекторного типа 3000 вт 110 в, отражатель параболический |
| 10                                                                              | 12 600                                                                     | 1,92                          | 0,79         |                                                                                |
| 12                                                                              | 8 700                                                                      | 2,30                          | 0,94         |                                                                                |
| 14                                                                              | 6 400                                                                      | 2,70                          | 1,10         |                                                                                |
| 15                                                                              | 5 600                                                                      | 2,88                          | 1,20         |                                                                                |
| 16                                                                              | 4 900                                                                      | 3,03                          | 1,30         |                                                                                |
| 18                                                                              | 3 900                                                                      | 3,46                          | 1,40         |                                                                                |
| 20                                                                              | 3 200                                                                      | 3,86                          | 1,60         |                                                                                |
| 10                                                                              | 4 000                                                                      | 4,8                           | 4,8          | Дуговая лампа постоянного тока 80 а 50 в, отражат. секционный                  |
| 12                                                                              | 2 300                                                                      | 5,8                           | 5,8          |                                                                                |
| 14                                                                              | 2 000                                                                      | 6,7                           | 6,7          |                                                                                |
| 16                                                                              | 1 600                                                                      | 7,7                           | 7,7          |                                                                                |
| 18                                                                              | 1 200                                                                      | 8,6                           | 8,6          |                                                                                |
| 20                                                                              | 1 000                                                                      | 9,6                           | 9,6          |                                                                                |
| 5                                                                               | 6 500                                                                      | 3,4                           | 2,7          | Лампа накаливания прожекторного типа 110 в 3000 вт, отражатель секционный      |
| 6                                                                               | 4 500                                                                      | 4,1                           | 3,2          |                                                                                |
| 7                                                                               | 3 300                                                                      | 4,8                           | 3,8          |                                                                                |
| 8                                                                               | 2 600                                                                      | 5,4                           | 4,3          |                                                                                |
| 9                                                                               | 2 000                                                                      | 6,2                           | 4,9          |                                                                                |
| 10                                                                              | 1 600                                                                      | 6,8                           | 5,4          |                                                                                |

Другой тип прожектора — КП-60 аналогичен по конструкции рассмотренному, но имеет диаметр отражателя в 60 см и предназначен для работы с лампой накаливания до 5000 вт ( $I_{\max} = 500\ 000$  с  $2\varphi_{\max} = 35^\circ$ ) или с дуговой лампой на силу тока до 160 а при 55 в. ( $I_{\max} = 3500\ 000$  с,  $2\varphi_{\max} = 12^\circ$ ). Прожекторы близкой к типу КП конструкции, изготовленные различными фирмами, а также студиями, применяются за границей (преимущественно в Европе) и в СССР. Они имеют диаметр отражателя чаще всего в 300, 500, 700 и 1000 мм, причем в последнее время вместо секционного зеркала часто применяются 'ячейковые' отражатели, состоящие из зеркальных элементов особой формы.

В табл. 48 приведены некоторые световые характеристики новейших образцов прожекторов Вейнберт.

Таблица 48

| Тип прожектора                                                                                  | Расстояние от прожектора до освещаемого объекта                      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Диаметр светового пятна в зависимости от фокусировки на различных расстояниях от прожектора. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                 | 5 м                                                                  |                 | 10 м            |                 | 15 м            |                 | 20 м            |                 |                                                                                              |
|                                                                                                 | Освещенность (в лк) для минимального и максимального углов рассеяния |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                                                                                              |
|                                                                                                 | $\varphi_{min}$                                                      | $\varphi_{max}$ | $\varphi_{min}$ | $\varphi_{max}$ | $\varphi_{min}$ | $\varphi_{max}$ | $\varphi_{min}$ | $\varphi_{max}$ |                                                                                              |
| Прожектор $D = 330$ мм с лампой накаливания $220 \times 2000$ вт с секционным отражателем . . . | 5 200                                                                | 3 100           | 1 300           | 775             | 578             | 345             | 325             | 195             | (рис. 99,а)                                                                                  |
| То же со стеклянным ячейковым отражателем . .                                                   | 8 000                                                                | 4 800           | 2 000           | 1 200           | 889             | 534             | 500             | 300             | (рис. 99,б)                                                                                  |
| Прожектор $D = 500$ мм с лампой накаливания $220 \times 3000$ вт с секционным отражателем . . . | 15 200                                                               | 4 000           | 3 800           | 1 000           | 1 690           | 444             | 250             | 250             | (рис. 99,с)                                                                                  |
| То же со стеклянным ячейковым отражателем . .                                                   | 20 000                                                               | 5 000           | 5 000           | 1 400           | 2 225           | 622             | 1 250           | 350             | (рис. 99,д)                                                                                  |
| Прожектор $D = 700$ мм с лампой накаливания $220 \times 5000$ вт с секционным отражателем . . . | 24 000                                                               | 8 000           | 6 000           | 2 000           | 2 667           | 888             | 1 500           | 500             | (рис. 99,е)                                                                                  |
| То же со стеклянным отражателем . . . . .                                                       | 72 000                                                               | 28 000          | 18 000          | 7 000           | 8 000           | 3 110           | 4 500           | 1 750           | (рис. 99,ф)                                                                                  |

На рис. 100, а представлены кривые распределения сил света метрового ( $D=1000$  мм) прожектора, работающего с параболическим отражателем при силе тока 280 а и напряжении 65 в с углами „КС“  $\alpha_+ = 25$  мм и  $\alpha_- = 18$  мм. Рис. 100, б изображает кривые распределения света для того же прожектора, но с зеркальным секционным отражателем и лампой накаливания 10 вт 110 вт. Кривая 1 соответствует концентрированному распределению, кривая 2—рассеянному светораспределению вследствие нарушения фокусировки лампы. Осветительный прибор этого типа применяется для создания весьма сильного освещения: например, освещения дальних планов, получения резко очерченных световых контуров, световых полос, создания эффекта солнечного света через окна или дверные проемы, для ночных съемок, освещения глубоких декораций и пр.



Такого же типа осветительные приборы (с диаметром 900 мм) с дуговой лампой интенсивного горения (150 а) под названием Sun-Arc (солнечная дуга) применяются в американских студиях. Эти осветительные приборы снабжаются, как большинство американских (а в последние годы и европейских) приборов направленного освещения, линзами Френеля для создания равномерно освещенного пятна.

Приборы с линзами Френеля изготавливаются разнообразных типов как с дуговыми источниками света (интенсивные дуги), так и с лампами накаливания.

Одним из наиболее распространенных типов осветительных приборов направленного освещения для черно-белых и цветных съемок является прожектор с линзой Френеля типа MR-170 (рис. 101) американской фирмы Mole-Richardson. Прожектор изготавливается на специальном передвижном штативе, позволяющем менять высоту подъема прожектора (от пола до оптической оси его) от 2000 до 2845 мм. Этот прожектор снабжен линзой Френеля с диаметром 500 мм, с фокусным расстоянием около 370 мм при угле охвата в 70°. Линза прожектора MR-170 имеет 24 концентрических кольцевых призмы с различной высотой—от 3 до 5 мм, при этом внутренняя сторона линзы плоская с рядом неглубоких цилиндрических волн для создания небольшого горизонтального рассеяния. Линза монтируется к передней части кожуха прожектора с помощью алюминиевого кольца, которое поворачивается на шарнирах, что дает возможность открывать кожух прожектора с передней стороны.

Кожух может открываться и сбоку для зарядки углей, смазки механизма и наблюдения за источником света прожектора—дуговой лампой интенсивного горения. Управление прожектором—регулировка дуги, включение и выключение ее, фокусировка, наклоны и тормозное приспособление—находится на задней стороне кожуха.

Дуговая лампа интенсивного горения прожектора MR-170 предназначена для горения от сети постоянного тока с напряжением 115 в при силе тока 150 а с углями интенсивного горения: положительным—диаметром 16 мм и отрицательным—диаметром 11 мм. Так как для горения дуги на клеммах ее напряжение должно составлять около 70 в, то в нижней части штатива прожектора устанавливается (нерегулируемый) реостат, включенный последовательно с лампой. Угли лампы расположены под углом в 127°, причем, положительный уголь приводится во вращение со скоростью 14—16 оборотов в минуту от мотора постоянного тока с помощью зубчатой и червячной передач. Те же передачи обеспечивают непрерывное и плавное передвижение как положительного, так и отрицательного углей.

Схема включения реостата 1, регулирующего мотора 2 и углей лампы 3 приведена на рис. 102. Реостат 4 служит для регулировки скорости подачи углей в зависимости от напряжения сети.

Благодаря соответствующему расположению углей кривая распределения силы света в горизонтальной плоскости имеет вид, изображенный на рис. 103, причем максимальная сила света, составляющая около 73 000 свечей при напряжении сети 115 в и силе тока 150 а, направлена по оси положительного угля. Ненормальный режим работы, как отмечалось выше, сильно сказывается на характеристиках дуги интенсивного горения. На рис. 104 приведены зависимости напряжения на дуге (кривая 1),

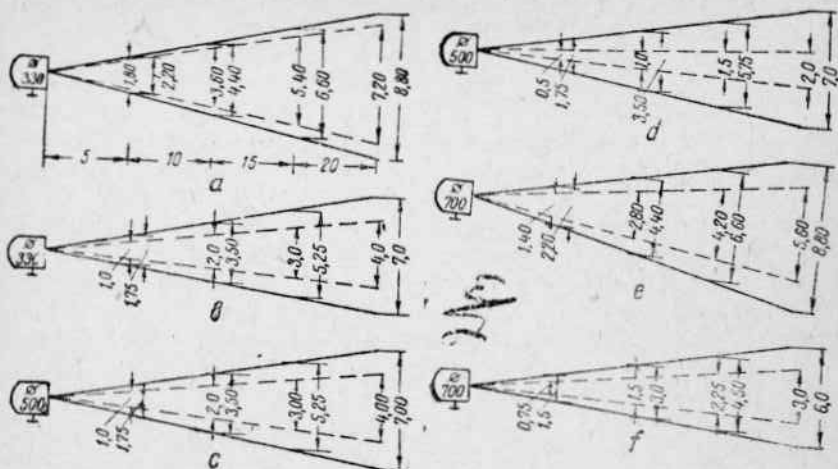


Рис. 99: а, б, с, д, е, ф—ход лучей новейших прожекторов Вейнгера

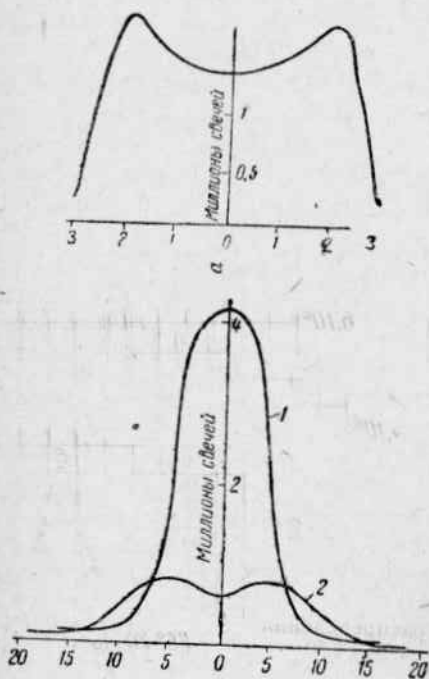


Рис 100: а, б—кривые распределения сил света метрового прожектора

Рис. 101. Прожектор MR-170

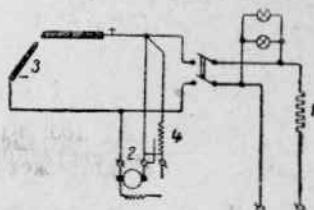
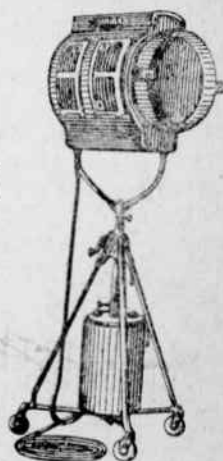


Рис. 102. Электрическая схема прожектора MR-170

силы тока (кривая 2), потребляемой мощности (кривая 3) и силы света (кривая 4) прожектора MR-170 от напряжения питающей сети.

Изменение положения кратера по отношению к линзе изменяет кривую светораспределения. На рис. 105 представлены кривые распределения

сил света в горизонтальной плоскости при различной фокусировке, причем кривые A, B, C, D, E отвечают расстоянию кратера от линзы в 340, 315, 300, 242, 170 мм.

В табл. 49 приведены некоторые светотехнические характеристики прожектора MR-170 при нормальном режиме горения (115 в 150 а) и углях интенсивного горения „ПИГ“:  $d_{+}=16$  мм,  $d_{-}=11$  мм.

Менее мощный прожектор с линзой Френеля диаметром 350 мм типа MR-90 имеет в качестве источника света дугу интенсивного горения 120 а 78 в. Он имеет

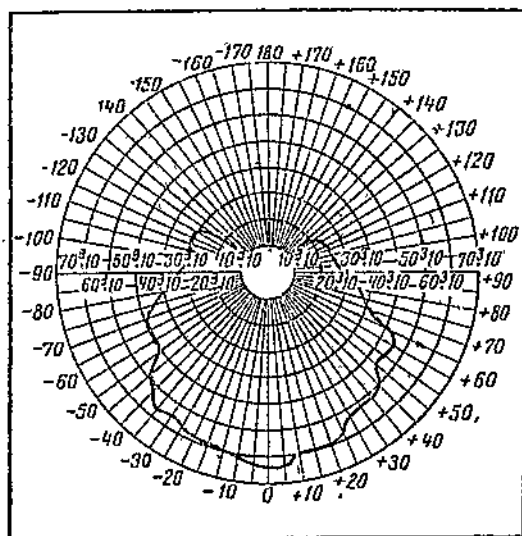


Рис. 103. Кривые распределения сил света дуги прожектора MR-170

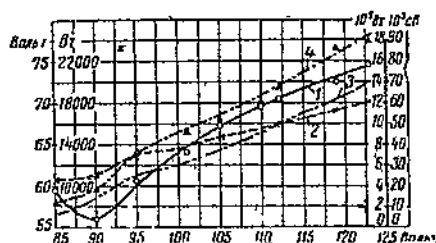
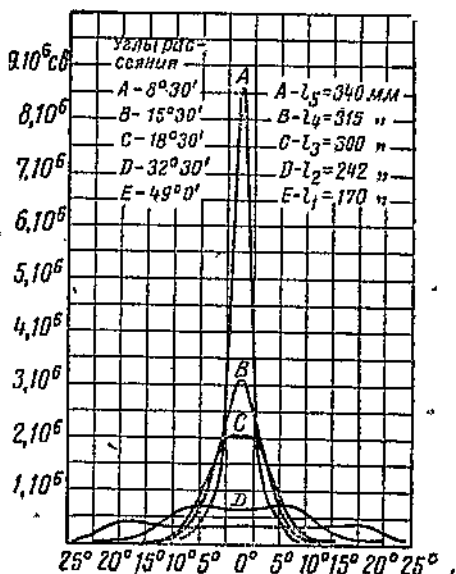


Рис. 104. Влияние напряжения прожектора на его характеристики

Рис. 105. Кривые распределения сил света прожектора MR-170



примерно в полтора раза меньшую силу света сравнительно с данными табл. 49 для одинаковых углов рассеяния.

На наших студиях, так же как и за границей, применяют прожекторы с линзами Френеля диаметром 350 и 250 мм и лампами накаливания

Таблица 49

| Расстоя-<br>ние от<br>линзы до<br>кратера<br>(в мм) | Угол ох-<br>вата<br>(2 α) | Сила<br>света<br>(тыс.<br>свечей) | Угол рас-<br>сеяния в<br>горизонт.<br>плоскости<br>(2 φ) | Полный<br>свето-<br>вой<br>поток<br>(в лм) | Плез-<br>ный све-<br>товой<br>поток<br>(в лм) | Световой<br>коэфф.<br>полезн.<br>действ.* | Коэфф.<br>уси-<br>ления |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
| 170                                                 | 112                       | 390                               | 49                                                       | 158 000                                    | 158 000                                       | 35,7                                      | 8,0                     |
| 242                                                 | 92                        | 746                               | 32,5                                                     | 114 000                                    | 108 000                                       | 25,1                                      | 18,6                    |
| 300                                                 | 80                        | 2 300                             | 18,5                                                     | 85 000                                     | 73 000                                        | 17,0                                      | 47,0                    |
| 315                                                 | 78                        | 3 100                             | 15,5                                                     | 79 000                                     | 63 000                                        | 14,7                                      | 62,3                    |
| 340                                                 | 74                        | 8 600                             | 8,5                                                      | 66 000                                     | 26 000                                        | 6,0                                       | 175,0                   |

мощностью в 5,3 и 2 кВт проекционного типа. Применяемые лампы накаливания работают в режиме сильного перекала, причем наиболее распространенные лампы для прожекторов снабжены двухштырьковым бесцокольным патроном (бипост), облегчающим включение лампы.

В табл. 50 приведены некоторые характеристики ламп накаливания современных приборов направленного освещения\*\*.

Таблица 50

| Тип киносъёмочного<br>прожектора              | Мощность $P$<br>(в вт) | Напряжение $U$<br>(в в) | Диаметр и<br>форма колб | Светов.<br>дача<br>(в лм/вт) | Средний<br>срок служ-<br>бы (в часах) | Макс.<br>цветов. тем-<br>пер. (в °К) |
|-----------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Кинопрожектор<br>„Sun-Spot“ $D = 900$ мм      | 10 000 (MR)            | 110—115—120             | III-96                  | 29,5                         | 100                                   | 3 300                                |
|                                               | 10 000 (CP)            | 110—115—120             | III-96                  | 32,7                         | 75                                    | 3 380                                |
| Кинопрожектор<br>„Sun-Spot“ $D \times 600$ мм | 5 000 (MR)             | 110—115—120             | III-64                  | 29,0                         | 100                                   | 3 280                                |
|                                               | 5 000 (CP)             | 110—115—120             | III-64                  | 32,7                         | 75                                    | 3 380                                |
| Кинопрожектор<br>В-М-Т-5 $D = 500$ мм         | 2 000 (MR)             | 110—115—120             | III-48                  | 27,5                         | 100                                   | 3 225                                |
|                                               | 2 000 (CP)             | 110—115—120             | III-48                  | 32,7                         | 75                                    | 3 370                                |
| Кинопрожектор<br>Baby-Keg-light $D = 250$ мм  | 500 (CP)               | 110—115—120             | T-20                    | —                            | —                                     | —                                    |

На рис. 106 представлены характеристики прожектора типа Т-5 (американской фирмы M-Alister) диаметром 600 мм с лампой накаливания 5 кВт. В приборе помимо линзы Френеля диаметром 250 мм применено отражающее зеркало, позволяющее увеличить габаритную яркость лампы. Как видно из кривых, эти прожекторы позволяют получать равномерно освещенное пятно в широких пределах изменения угла рассеяния. Прожекторы с линзой Френеля диаметром 250—350 мм и лампой накаливания мощностью в 2—3 кВт обеспечивают угол рассеяния до 10°

\* $F_{\text{лампы}} = 43000$  лм.

\*\*Индексы MR и CP обозначают типы ламп для черно-белой и цветной киносъёмки. Буквы Т и III обозначают форму колбы: III — шарообразная, Т — цилиндрическая, цифры — диаметр колбы в восьмых дюйма.

и дают максимальную силу света в осевом направлении от  $0,2 \cdot 10^6$  до  $0,9 \cdot 10^6$  свечей. В табл. 51 приведены данные о величине и освещенности светового пятна поверхности, освещаемой прожектором с линзой Френеля  $D=250$  мм изготовления студии „Мосфильм“ (оптическая ось прожек-

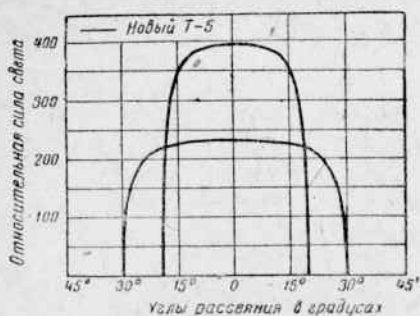


Рис. 106. Характеристики прожектора Т-5

тора перпендикулярна поверхности). Прожектор снабжен лампой накаливания проекционного типа 110 в 2000 вт, максимальная сила света 200 000 свечей, угол рассеяния  $2\varphi=15^\circ$ .

В связи с появлением высокочувствительных сортов пленки имеется тенденция к уменьшению мощности осветительных приборов. Некоторые современные американские студии применяют для съемок только три типа осветительных приборов: 1) прожекторы с линзами Френеля 250 мм и лампой 1000—2000 вт для верхнего и об-

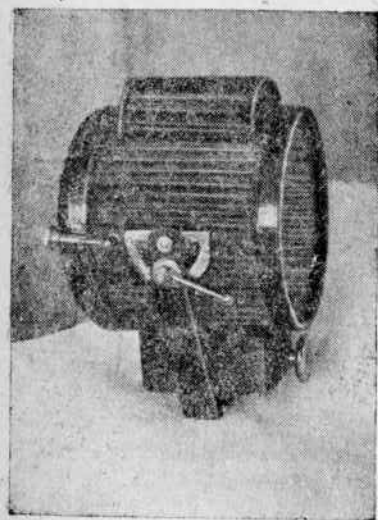


Рис. 107. Прожектор карликового типа студии „Мосфильм“

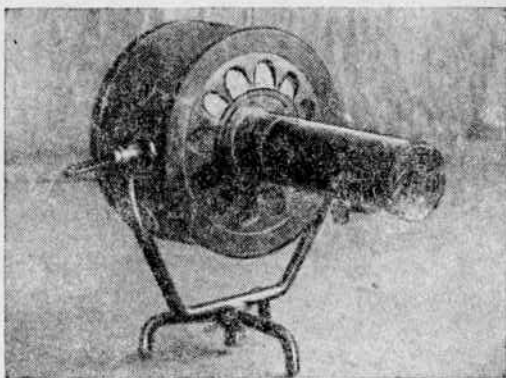


Рис. 108. Прожектор линзовый  $d=110$  мм „Мосфильм“

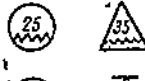
щего освещения; 2) прожекторы Беби-Кеглайт с линзой Френеля и лампой накаливания 750 вт для общего и эффектного освещения и 3) прожектор Динки-Инки карликового типа с лампой накаливания 100—150 вт. Прожектор Беби-Кеглайт снабжен линзой Френеля 150 мм

Таблица 51

| Расстояние от источника света прожектора до центра освещаемого пятна (в м) | Освещенность поверхности (в лк)  |                                       | Размеры светового пятна (в м) |              |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------|
|                                                                            | $E_{\text{ср}} = E_{\text{max}}$ | $E_{\text{min}} = 0,1 E_{\text{max}}$ | по горизонтали                | по вертикали |
| 2                                                                          | 49 600                           | 4960                                  | 0,53                          | 0,53         |
| 4                                                                          | 12 400                           | 1240                                  | 1,1                           | 1,1          |
| 6                                                                          | 5 500                            | 550                                   | 1,6                           | 1,6          |
| 8                                                                          | 3 100                            | 310                                   | 2,1                           | 2,1          |
| 10                                                                         | 2 000                            | 200                                   | 2,64                          | 2,64         |
| 12                                                                         | 1 380                            | 138                                   | 3,14                          | 3,14         |
| 15                                                                         | 880                              | 88                                    | 4,0                           | 4,0          |

и имеет специальную фокусирующую приставку (Фокоспот), позволяющую на расстоянии 4,5 м создавать с помощью диафрагмы круглые или прямоугольные пятна площадью от 1 до 3 м<sup>2</sup>, равномерно и ярко освещенные.

Таблица 52

| Наименование светильника                                                                                                                                      | Обозначение                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Светильник верхнего света . . . . .                                                                                                                           |    |
| Крестовина с несколькими светильниками верхнего света с указанием числа ламп . . . . .                                                                        |    |
| Светильник общего освещения с указанием числа ламп . . . . .                                                                                                  |    |
| Пржектор дуговой с параболическим $\alpha$ и факетными $\beta$ отражателями (с указанием диаметра зеркала в см) и с дугой интенсивного горения ( $\gamma$ ) . |   |
| Пржектор с лампой накаливания с параболическим $\alpha$ и факетным $\beta$ отражателями с указанием диаметра зеркала в см . . . . .                           |  |
| Пржектор с лампой накаливания или дуговой с линзой Френеля с указанием диаметра линзы в см                                                                    |  |
| Пржектор с марлевой сеткой $\alpha$ и матовым стеклом $\beta$ . . . . .                                                                                       |  |
| Специальный прибор . . . . .                                                                                                                                  |  |
| Пржектор линзовый с указанием диаметра (в см)                                                                                                                 |  |
| Пржектор на вышке . . . . .                                                                                                                                   |  |

Фокусировка лампы производится с помощью рычага в передней части прибора, причём угол рассеяния прожектора может быть изменен от 4 до 50°. Вес прибора составляет около 7 кг. Линзовый прожектор Динки-Инки имеет диаметр 140 мм при длине 175 мм и вес около 1,5 кг. Подобные карликовые прожекторы за последнее время получили некоторое распространение и на наших киностудиях. На рис. 107 представлен карликовый прожектор диаметром 130 мм, сконструированный студией „Мосфильм“. Рис. 108 изображает линзовый прожектор „Мосфильм“ с линзой 110 мм и лампой накаливания мощностью 500 вт.

В заключение данной главы приведем обозначения осветительных приборов, применяемых для киносъемки, принятые в некоторых из наших студий (табл. 52).

В 1943 г. в НИКФИ установлены следующие типы киноосветительных приборов для студий СССР: 1) линзовые прожекторы с линзой Френеля 80 мм и 150 мм (с лампой накаливания 0,1—0,75 квт) с  $I_{\max}$  соответственно в 12 000 и 100 000 с. Они предназначены для моделирующего освещения актеров на передних планах и из-за прикрытий на втором и заднем планах всех декораций, а также для освещения элементов декораций; 2) линзовые прожекторы с линзой Френеля диаметром 250 мм (лампа 2 квт,  $I_{\max}=350\,000$  с) и 350 мм (лампа 3—5 квт,  $I_{\max}=700\,000$  с), предназначенные для моделирующего освещения актеров и обстановки на втором плане малых, средних и больших декораций и в глубине декораций; 3) зеркальные лампы типа К-12-0 и нового типа, также с лампой 500 вт, но с углом рассеяния 75° ( $I_{\max}=6\,000$  с), предназначенные для выравнивающего освещения актеров на вторых и передних планах малых декораций, а также из-за прикрытий на вторых и задних планах декораций и освещения элементов декораций обстановки; 4) матированные зеркальные лампы — широкоизлучатели типа К-15-ОМ с лампой в 500 вт ( $2\varphi_{\max}=120^\circ$ ) и такие же лампы с  $2\varphi_{\max}=170^\circ$  для рассеянного освещения актеров на переднем плане, выравнивающего и моделирующего освещения действующих лиц на самых передних планах и из-за прикрытий внутри декораций на всех планах, а также для освещения пола декораций; 5) многоламповые светильники заливающего света с лампами по 1000 вт с углом рассеяния 90° (заливающий свет) и 140° (рассеянный свет) для освещения средних и больших фонов и передних поверхностей декораций.

В качестве мощных осветительных приборов для целей моделирующего освещения актеров на втором плане и в глубине больших декораций, эффекта интенсивного луча и ярких бликов освещения обстановки и задних стен на больших расстояниях рекомендуются линзовые прожекторы типа MR=170 и MR=90, а также прожекторы с параболическим зеркалом 900 мм и дуговой лампой интенсивного горения 150 а.

### § 20. Принципы освещения при киносъемке

При освещении помещения ставится задача создания наилучших условий видения для обслуживающего процесс производства персонала или живущих в помещении людей.

Обычно освещение делится на общее и на местное. Общее освещение имеет своей задачей осветить все помещение (рабочие поверхности, проходы между ними); местное освещение служит исключительно для освещения отдельных участков рабочей поверхности, позволяя значительно повысить освещенность рабочего места и создать желаемое направление лучей относительно рабочей поверхности, правильно распределить световые блики, устранить блескость и вообще обеспечить наилучшие условия видения на определенном участке.

Основные требования к хорошему освещению выражаются в обеспечении:

- а) необходимой величины освещенности рабочих поверхностей,
- б) достаточной равномерности освещения,
- в) постоянства освещенности по времени,
- г) требуемого спектрального состава света,
- д) правильного выявления формы освещаемых предметов,
- е) отсутствия в поле зрения светящихся предметов, обладающих большой блескостью, и
- ж) дешевизны осветительного устройства.

Необходимая величина освещенности связана с требуемой яркостью рабочих поверхностей, на которые смотрит при работе глаз. Так как учет коэффициента отражения поверхностей усложняет проектирование освещения, то существующие в СССР правила и нормы освещения (см. стандарт ОСТ-90014-39) дают величины освещенности рабочих поверхностей. Только для очень темных поверхностей ( $\rho < 0,06$ ) правила нормируют яркости.

Величина освещенности рабочих мест зависит от характера производственного процесса и рода освещаемых помещений. В производственных помещениях минимальная норма освещенности составляет от 30 до 200 лк, во вспомогательных помещениях — от 5 до 30 лк.

В жилых помещениях в зависимости от назначения минимальная норма освещенности для общего освещения колеблется от 10 до 50 лк, для местного освещения составляет 75 лк.

Неравномерность освещения рабочей поверхности не должна быть слишком большой, так как глаз вследствие постоянного изменения адаптации при рассматривании различно освещенных поверхностей быстро утомляется. Согласно правилам, принятым в СССР, отношение минималь-



ной освещенности рабочей поверхности протяженностью 0,75 м к максимальной не должно быть ниже 0,3.

При общем освещении на протяжении 5 м эта величина не должна быть ниже 0,2.

Требование постоянства освещения по времени связано с желанием создать постоянные условия видения рабочих поверхностей. Это требование обычно удовлетворяется применением источников света, дающих неизменный во времени световой поток, и стационарной установкой осветительной аппаратуры.

Спектральный состав света зависит от типа применяемых источников света. В большинстве случаев удовлетворительные результаты дают обычные лампы накаливания. Иногда к спектральному составу света предъявляются особые требования, связанные с особенностями освещаемых деталей (например, освещение цехов фотолабораторий, киноплочных фабрик, цехов подборки цветной пряжи и т. п.).

Выявление формы освещаемых предметов является обязательным требованием, предъявляемым к высококачественному освещению. Оно достигается соответствующим расположением необходимого числа осветительных приборов.

Блескость находящихся в поле зрения предметов может создаваться светящимися поверхностями светильников или чрезмерно яркими освещенными поверхностями. Для снижения блескости светильников увеличивают высоту их подвеса и защитный угол, применяют рассеивающие колпаки, а также повышают общую освещенность рабочих поверхностей. Устранение слепимости, вызванной блескостью предметов на рабочей поверхности, может быть достигнуто соответствующим направлением световых лучей светильников или применением у них рассеивающих колпаков.

Освещение декораций при киносъемке имеет целый ряд специфических особенностей и предъявляет определенные требования к проектировщику осветительной схемы — кинооператору. При этом следует помнить, что все вопросы освещения при киносъемке не следует рассматривать с точки зрения глаза, а исходить из свойств киноплёнки, которая применяется для съемки.

Подобно тому, как освещение рабочих поверхностей делится на общее и местное, освещение при киносъемке обычно разделяется на общее и направленное.

Общее освещение дает так называемое „плоское“ („нотан“) равномерное освещение всей декорации. Назначение этого рода освещения заключается в создании освещенности, обеспечивающей необходимую экспозицию, при которой все части декорации будут проработаны на негативе. Чем интенсивнее общее освещение, тем отчетливее различаются наиболее затененные места на негативе. При очень низком уровне общего освещения детали изображения начинают исчезать и на пленке запечатлеваются лишь наиболее светлые части декораций (например, съемка „под ночь“). Для создания общего освещения применяются в основном осветительные приборы верхнего, бокового и нижнего света, имеющие значительные углы рассеяния. Часто, особенно за последнее время, для этих целей используют приборы направленного освещения, работающие при относительно больших углах рассеяния. При съемке больших де-

кораций (например, залов, натуральных декораций в павильоне) обычная аппаратура общего освещения вследствие значительных расстояний, на которых находятся осветительные приборы, не является достаточной для обеспечения необходимой освещенности. В этом случае для общего освещения применяют приборы направленного освещения с большими углами рассеяния.

В некоторых случаях, когда требуются специальные эффекты, общее освещение совсем может отсутствовать. Однако такие условия кино съемки не характерны.

Направленное освещение предназначается для создания больших освещенностей и контрастов. Этот свет создает впечатление глубины и объема, позволяя „моделировать“ объект. Эффект, создаваемый направленным светом, можно сравнить с освещением от прямых солнечных лучей. С помощью направленного освещения можно обеспечить более высокий уровень освещенности лица или группы актеров, что необходимо для выявления данных объектов в кадре. Все искусство оператора заключается в умении регулировать направленный свет при кино съемке, поэтому в некоторых ателье общее освещение устанавливают иногда осветители, оператор же производит установку только осветительных приборов направленного действия.

Эффект глубины при съемке декорации создается обычно тем, что световые пучки направляют вниз от задней части декораций, вследствие чего создается относительная яркость головы и плеч актера, отделяющая его от фона\*. Обычно при кино съемке считают более целесообразным применение многих ламп малой мощности, а не нескольких ламп большой мощности. Большое число осветительных приборов позволяет „моделировать“ объект съемки, осуществить такое распределение светотени, которое придает объекту объемный характер и дает возможность выявить художественные качества декорации. Освещение немногими осветительными приборами придает снимку плоский, вялый характер без отделения от фона и выявления передачи светотени.

При съемке крупного плана принципы освещения остаются неизменными, но само освещение достигается меньшим количеством аппаратуры и для выделения эффектов уменьшается общее освещение.

Только в специальных случаях (технические, научные и некоторые хроникальные фильмы) требуется получить резкое изображение, передающее мельчайшие детали снимаемых объектов. Значительно чаще, однако, задача освещения заключается в подчеркивании некоторых особых черт объекта при преднамеренном оставлении ряда деталей незаметными. Оператор должен уметь, так распределить общее и направленное освещение, чтобы придать сюжетно важной детали кадра необходимое оформление (выражение лица актера, объем и характер предмета) в соответствии с задачами кинофильма. Характер освещения при съемке тесным образом связан с темпом действия, в котором разворачивается сюжет данного плана. Оператор должен осветить объект так, чтобы глаз зрителя мог уловить облик движущегося актера и характер выражения его лица при перемещениях внутри сцены. В этих случаях излишняя направленность освещения является вполне допустимой, так как зритель

\* Так называемое „контровое“ освещение.

не успевает обнаружить дефектов изображения, связанных с выявлением деталей снимка. При более медленном действии глаз зрителя успевает хорошо разглядеть актера и декорации; поэтому освещение их должно быть выполнено так, чтобы оставить в тени все дефекты, например, недостатки лица актера.

Характер освещения зависит от творческой манеры оператора. В соответствии с требуемым эффектом кадр может быть освещен контрастно, с резкими тенями и мягко-рассеянным светом через специальные диффузоры из шелка, тюля, матированного стекла и тому подобных материалов; величина освещенности также может изменяться в широких пределах (работа на верхнем и нижнем участках характеристической кривой пленки). В американской практике при киносъемке сейчас широко применяется особый характер освещения, называемый Key-light (ключ). Он заключается в том, что основным объектом освещения в снимаемом кадре является сюжетно важная часть кадра, в то время как остальная часть кадра остается в затемнении. При этом приборы общего освещения не применяются совсем. Их заменяет рассеянный свет приборов направленного освещения. Такой метод освещения оправдывается наличием высокочувствительных эмульсий, обеспечивающих фиксацию затемненных частей кадра.

К качественному освещению при киносъемке предъявляются следующие требования:

1) освещенность снимаемого объекта должна быть настолько высокой, чтобы обеспечить необходимую экспозицию пленки;

2) спектральный состав света, применяемого для киносъемки, должен быть согласован с характеристиками пленки (активности, цветопередача);

3) освещение должно иметь такой характер, чтобы выявить основную тенденцию снимаемого плана в соответствии с художественными задачами постановщиков фильма;

4) блескость светильников и поверхностей, находящихся в поле зрения актеров, должна быть по возможности уменьшена;

5) освещение должно быть постоянным по времени в процессе киносъемки;

6) освещение декораций желательно осуществлять при минимальной мощности осветительной аппаратуры и, следовательно, с возможно малым расходом электроэнергии.

Условия 1 и 2, связанные друг с другом, являются основными предпосылками, обеспечивающими в части технической получение кинематографических изображений на пленке; мы их рассмотрим более подробно далее.

Условие 3 — основной фактор, от которого зависит художественное качество изображения на кинопленке. У каждого кинооператора есть свой стиль работы, своя схема расположения осветительной аппаратуры, своя манера освещения мизансцены. Искусство кинооператора и заключается в умении так осветить объект съемки, чтобы создать необходимый художественный образ.

Условие 4 — устранение блескости светильников и поверхностей в поле зрения актеров — достигается теми же способами, что и при обычном освещении помещений. Кроме того применяют иногда сетки и рассеивающие стекла, ослабляющие блескость. Впрочем, в ряде случаев в

связи с художественными задачами фотографирования или по другим причинам рассматриваемое условие не выполняется, и это находит свое оправдание в том, что актеры обычно работают при подобном освещении относительно недолго.

Для уменьшения блескости ламп накаливания прожекторов применяют также устанавливаемые перед лампой кольца-оградители (рис. 109). Они представляют обычно систему из трех concentрических колец, увеличивают защитный угол прожектора и задерживают лучи самой лампы, не участвующие в создании освещения декорации и мешающие кинооператору.

Условие 5 — постоянство освещения по времени в процессе киносъемки — было рассмотрено подробно в главе IV, поэтому мы на нем останавливаться не будем.

Условие 6 — уменьшение электрической мощности, потребляемой при киносъемке, а следовательно, и расхода электроэнергии в процессе киносъемочного освещения — всегда должно быть удовлетворено.

Часто в связи с особыми задачами оператору приходится искать специальных решений осветительных схем, для которых могут потребоваться отличные от обычных норм количество и мощность осветительной аппаратуры. Основным средством экономии электроэнергии и снижения мощности осветительных приборов при киносъемках является улучшение световых характеристик киноосветительной аппаратуры.



Рис. 109. Прожектор с кольцом-оградителем

## § 21. Освещенность объекта съемки и киноплёнки

Найдем зависимость освещенности пленки в кадровом окне киносъемочной камеры от светотехнических характеристик объекта съемки и параметров применяемого съемочного объектива. Пусть декорация  $A$ , освещаемая некоторым источником света  $B$ , снимается на киноплёнку  $C$  киносъемочной камерой, снабженной объективом  $D$  (рис. 110).

Попadaющий в объектив отраженный малой площадкой  $S_1$  декорации световой поток  $F_1$  можно представить в виде

$$F_1 = I\omega,$$

где  $I$  — сила света, излучаемая площадкой  $S_1$  в направлении объектива, а  $\omega$  — телесный угол. Если площадка  $S_1$  расположена на оптической оси объектива и нормальна к последней, то, как видно из рисунка, телесный угол  $\omega$ , под которым виден объектив из площадки, равен:

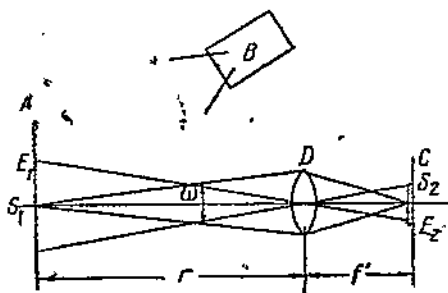
$$\omega = \frac{\pi d^2}{4r^2}, \quad (98)$$

где  $d$  — диаметр объектива и  $r$  — расстояние от декорации до объектива. Тогда

$$F_1 = \frac{I \pi d^2}{4 r^2}.$$

Освещенность киноплёнки в кадровой рамке съёмочного аппарата, которую мы обозначим через  $E_2$ , определится из соотношения

$$E_2 = \frac{F_1 \tau}{S_2},$$



где  $\tau$  — коэффициент пропускания объектива и  $S_2$  — изображение на плёнке снимаемой площадки  $S_1$  декорации.

Величина  $S_2$  достаточно точно может быть вычислена из выражения:

$$S_2 = S_1 \cdot \frac{f^2}{r^2},$$

Рис. 110. Схема для определения освещенности пленки

где  $f$  — главное фокусное расстояние объектива, так как при съёмке  $r \gg f$ , и, следовательно, расстояние от объектива до пленки

$$f' = \frac{f \cdot r}{r - f} \approx f. \quad (99)$$

Таким образом для освещенности пленки получим значение

$$E_2 = \frac{I \pi d^2}{4 r^2} \cdot \frac{\tau r^2}{S_1 f^2} = \frac{I}{S_1} \cdot \frac{\pi d^2}{4 f^2} \tau.$$

Отношение  $\frac{I}{S_1}$  в нашем случае равно яркости объекта съёмки  $B_1$

$$B_1 = \frac{I}{S_1},$$

а отношение  $\frac{d^2}{f^2} = O_v$  — относительное отверстие объектива, следовательно,

$$E_2 = \frac{B_1 \pi O_v^2 \tau}{4}. \quad (100)$$

Полученное выражение показывает, что освещенность киноплёнки зависит от яркости объекта съёмки, относительного отверстия объектива и коэффициента пропускания последнего.

Нужно отметить, что формула (100) характеризует освещенность в центре кадра.

Для участков кадра, лежащих не на оптической оси, на которые лучи попадают под углом  $\theta$ , как мы знаем, освещенность уменьшится пропорционально  $\cos^4 \theta$ , следовательно,

$$E_2 = 0,25 \pi B_1 O_v^2 \cos^4 \theta. \quad (101)$$

Как было показано выше, яркость поверхности в определенном направлении  $B_1$  связана с освещенностью ее  $E_1$  и коэффициентом яркости  $r$  соотношением  $B_1 = \frac{r E_1}{\pi}$ .

Подставляя значение  $B_1$  в формулу (101), найдем зависимость между освещенностью киноплёнки  $E_2$  и освещенностью декорации  $E_1$ .

$$E_2 = 0,25 O_v^2 r E_1 \cos^4 \Theta. \quad (102)$$

Для поверхности декораций, обладающих диффузным отражением, коэффициент яркости равен коэффициенту отражения, поэтому в практических условиях можно пользоваться выражением:

$$E_2 = 0,25 O_v^2 \rho E_1 \cos^4 \Theta, \quad (103)$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения декорации. Формула (103) относится, строго говоря, к случаю съёмки объекта, находящегося в бесконечности, так как только в этом случае справедливо соотношение (99). Очевидно,

что при приближении предмета к объективу отношение  $\frac{r}{f}$  уменьшается, следовательно, сопряженное фокусное расстояние  $f'$  увеличивается. При этом относительное отверстие объектива как бы уменьшается, а это вызывает необходимость в увеличении освещенности объекта при съёмке, если время экспозиции неизменно. В обычных случаях практической съёмки отношение  $\frac{r}{f}$  достаточно велико и изменение относительного отверстия объектива незначительно. Если же имеет место значительное изменение  $r$ , как например при мультъсъёмках, т. е. большая разница в масштабах съёмки\*, то величина светосилы объектива при расчетах должна быть соответственно изменена.

Принимая за единицу экспозицию при съёмке объекта, находящегося на бесконечно большом расстоянии от объектива, легко подсчитать необходимое увеличение экспозиции  $m$  для различных масштабов съёмки (табл. 53).

Таблица 53

| Масштаб съёмки  | Коэффициент, характеризующий увеличение экспозиции $m$ |
|-----------------|--------------------------------------------------------|
| 1/30            | 1,07                                                   |
| 1/20            | 1,10                                                   |
| 1/10            | 1,21                                                   |
| 1/8             | 1,27                                                   |
| 1/6             | 1,36                                                   |
| 1/4             | 1,56                                                   |
| 1/2             | 2,25                                                   |
| 3/4             | 3,06                                                   |
| 1/1             | 4,00                                                   |
| (натур. велич.) |                                                        |

Таблица 54

| Название объектива | Относительное отверстие | Коэффициент пропускания |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Тессар             | 1:4,5                   | 0,7                     |
| "                  | 1:2,7                   | 0,65                    |
| Пантахар           | 1:1,8                   | 0,63                    |
| Кук „Панхро“       | 1:2,5                   | 0,60                    |

\* Под масштабом съёмки понимают отношение высоты (или ширины) изображения предмета на плёнке к высоте (или ширине) его.

Учитывая рассмотренное влияние масштаба изображения, необходимо, очевидно, формулу (103) представить в виде

$$mE_a = 0,25 \cdot O_v^2 \tau \rho E_1 \cos^4 \theta, \quad (104)$$

что даст для отношения освещенностей пленки и объекта съемки зависимость

$$M = \frac{E_a}{E_1} = \frac{0,25 \cdot O_v^2 \tau \rho \cos^4 \theta}{m}. \quad (105)$$

Упростим полученную формулу путем введения численных значений некоторых величин. Коэффициент пропускания объектива  $\tau$  всегда меньше единицы за счет потерь света при отражении от поверхностей линз объектива, поглощения света толщиной стекла и потерь света вследствие загрязнения стекол объектива. Измерения показывают, что коэффициент пропускания объективов, применяемых обычно при киносъемке, не превышает  $\tau = 0,6$ , что можно видеть из табл. 54.

Следует отметить, что коэффициент пропускания объектива зависит от длины волны проходящего света, уменьшаясь для коротковолновых лучей. Для практических расчетов все же коэффициент пропускания высококачественных объективов можно считать постоянным. Максимальная величина  $\cos^4 \theta$ , как следует из данных табл. 30, изменяется в пределах от 0,52 до 0,96 для наиболее удаленных от центра точек кадра и фокусных расстояний объектива от 24 до 100 мм. Примем некоторое среднее значение  $\cos^4 \theta = 0,7$ , которое будет справедливым для наиболее часто применяемых на практике фокусных расстояний объективов.

Значение коэффициента  $m$  в практических условиях не превосходит величины  $m = 1,5$ , которое мы и примем.

Подставив значение  $\tau = 0,6$ ,  $\cos^4 \theta = 0,7$  и  $m = 1,5$  в формулу (105), получим

$$M = 1,07 O_v^2 \rho. \quad (106)$$

При киносъемке — особенно в ателье — применяют обычно оптику с относительным отверстием от  $O_v = 1:1,4$  до  $O_v = 1:4,5$ .

Для случая применения объективов с  $O_v = 1:1,4$  получим зависимость величины  $M$  от коэффициента отражения объекта съемки.

$$\left. \begin{aligned} M &= 0,035 \rho \\ \text{для объектива с } O_v &= 1:2 \\ M &= 0,018 \rho \\ \text{для объектива с } O_v &= 1:3,5 \\ M &= 0,006 \rho \\ \text{и для объектива с } O_v &= 1:4,5 \\ M &= 0,0035 \rho \end{aligned} \right\} \quad (107)$$

На рис. 111 приведены зависимости  $M = f(\rho)$  для объективов с относительными отверстиями 1:1,4; 1:2; 1:3,5; 1:4,5\*. Полученные кривые

\* Для других значений относительного отверстия объектива расчет также не вызывает затруднений.

позволяют непосредственно определить необходимое отношение освещенности пленки и объекта съемки с разным коэффициентом отражения поверхности его при использовании объективов с той или иной светосилой. Как видно из приведенных расчетов, освещенность кинопленки зависит от коэффициента отражения поверхности объекта съемки. Если речь идет о съемке поверхностей, то под коэффициентом отражения  $\rho$  следует понимать общий коэффициент отражения, который можно определить из соотношения

$$\rho = \frac{\int_0^\infty E_\lambda K_\lambda \rho_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty E_\lambda K_\lambda d\lambda}, \quad (108)$$

где  $E_\lambda$  — спектральная интенсивность излучения примененного источника света,  $K_\lambda$  — относительная видимость и  $\rho_\lambda$  — коэффициент отражения, отвечающий длине волны  $\lambda$ .

Определенный таким образом общий коэффициент отражения будет характеризовать яркость снимаемой поверхности с точки зрения глаза. При съемке цветных поверхностей важна не светотехническая их яркость, а фотографическая яркость, определяющая фотохимический эффект. Цветная поверхность, с точки зрения глаза достаточно яркая, может не зафиксироваться на пленке при съемке, если примененная эмульсия не чувствительна к отражаемым поверхностью лучам.

Таким образом для киносъемки цветных объектов важен фотографический коэффициент отражения, учитывающий спектральную характеристику источника света и спектральную чувствительность эмульсии.

Величина фотографического коэффициента отражения может быть определена из выражения

$$\rho_{\phi} = \frac{\int_0^\infty E_\lambda v_\lambda \rho_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty E_\lambda v_\lambda d\lambda}, \quad (109)$$

где  $v_\lambda$  — спектральная чувствительность кинопленки.

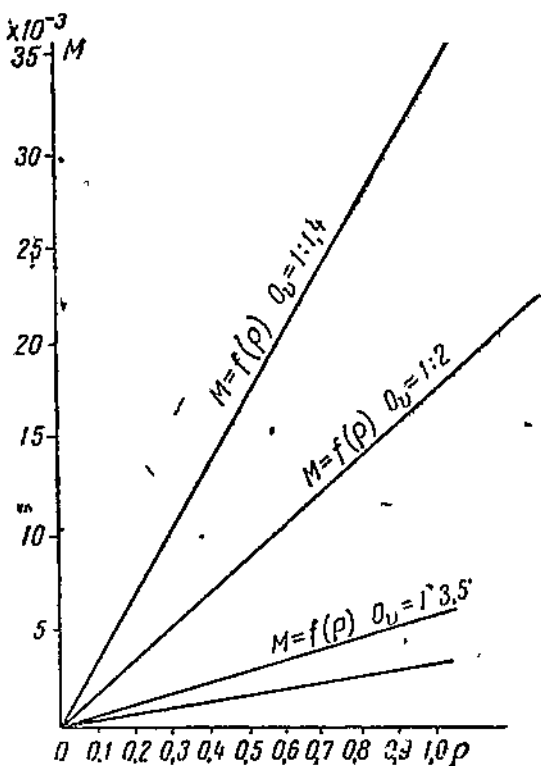


Рис. 111. Зависимость  $M=f(\rho)$

Рис. 111. Зависимость  $M=f(\rho)$



Зная распределение энергии в спектре излучения источника света  $E_\lambda = f(\lambda)$ , зависимости  $\rho_\lambda = f(\lambda)$  и  $\varphi_\lambda = f(\lambda)$ , можно определить величину фотографического коэффициента отражения  $\rho_\phi$ . Зависимости  $E_\lambda = f(\lambda)$  и  $\varphi_\lambda = f(\lambda)$  были даны нами выше для разных источников света и видов эмульсий, поэтому приведем лишь характеристику  $\rho_\lambda = f(\lambda)$  для некоторых применяемых в кинопромышленности клеевых красок\*, служащих для окраски поверхностей декораций: киновари, охры, крапозы, крона, брауншвейга, ультрамарина, бакана, мумии, охры натуральной и жженой, умбры натуральной (зелени А и зелени В) (рис. 112).

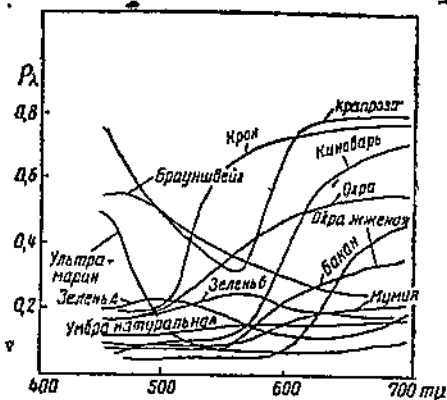


Рис. 112 Зависимость коэффициента отражения от длины волны для разных клеевых красок

Расчет фотографического коэффициента отражения достаточно сложен, поэтому в практике кинематографии получил наибольшее применение фотографический метод определения фотографического коэффициента отражения. Этот метод заключается в том, что поверхность, фотографический коэффициент отражения которой определяется, и ряд серых поверхностей с известными коэффициентами отражения освещаются определенным источником света и снимаются на киноплёнку. Затем устанавливается, какая из серых поверхностей дала такую же плотность негатива, что и данная цветная поверхность. В этом случае

фотографический коэффициент отражения цветной поверхности равен коэффициенту отражения данного серого поля.

Как показывает опыт, значения фотографического коэффициента отражения для различных сортов современных панхроматических эмульсий отличаются не более чем на  $\pm 10\%$ , что объясняется относительно небольшой разницей в кривых спектральной чувствительности этих пленок.

В табл. 55 приведены значения фотографических коэффициентов отражения некоторых наиболее часто применяемых окрасок, определенные фотографическим методом\*\* для случая освещения лампами накаливания, дуговыми лампами и смешанного освещения\*\*\* ( $50^\circ$  дугового света и  $50^\circ$  света от ламп накаливания) и использовании панхроматических эмульсий типа Супер Х Кодак или СЧС Главкиноплёнки.

Фотографический коэффициент отражения различных тканей, применяемых при киносъемке, имеет значение в пределах  $\rho_\phi = 3,5\%$  до  $\rho_\phi = 65\%$ .

Данные табл. 55 весьма важны, так как позволяют судить о степени проработки снимка окрашенной поверхности в негативе, о контрасте изображения в негативе двух окрашенных находящихся рядом поверхностей.

\* Характеристики сняты в лаборатории светотехники Киевской киностудии.

\*\* Измерения проведены в светотехнической лаборатории студии „Мосфильм“.

\*\*\* Как показали опыты, фотографические коэффициенты отражения для смешанного и солнечного света примерно равны.

| Рецептура красок<br>(в %)                 | Фотографический коэффициент отражения при источниках света |                                    |                                                                                                 |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | лампы накаливания                                          | пламенная дуга<br>(80 а) угли „КС“ | солнце соответств.<br>смешанному свету<br>(50% лампы накали-<br>вания + 50% дуго-<br>вые лампы) |
| Мумия 14<br>Умбра 14<br>Охра 14<br>Мел 58 | 0,20                                                       | 0,16                               | 0,20                                                                                            |
| Мумия 8<br>Умбра 8<br>Охра 17<br>Мел 67   | 0,28                                                       | 0,20                               | 0,28                                                                                            |
| Мумия 15<br>Умбра 8<br>Охра 15<br>Мел 62  | 0,28                                                       | 0,20                               | 0,20                                                                                            |
| Мумия 12<br>Умбра 6<br>Охра 12<br>Мел 70  | 0,34                                                       | 0,28                               | 0,28                                                                                            |
| Мумия 20<br>Умбра 20<br>Охра 20<br>Мел 40 | 0,20                                                       | 0,11                               | 0,16                                                                                            |
| Мумия 9<br>Умбра 9<br>Охра 9<br>Мел 73    | 0,28                                                       | 0,28                               | 0,28                                                                                            |
| Мумия 7<br>Умбра 7<br>Охра 6<br>Мел 80    | 0,34                                                       | 0,28                               | 0,34                                                                                            |
| Мумия 50<br>Охра 50                       | 0,20                                                       | 0,11                               | 0,20                                                                                            |
| Мумия 25<br>Охра 25<br>Мел 50             | 0,34                                                       | 0,28                               | 0,28                                                                                            |
| Умбра 17<br>Охра 17<br>Мел 66             | 0,20                                                       | 0,16                               | 0,20                                                                                            |
| Мумия 22<br>Умбра 11<br>Охра 22<br>Мел 45 | 0,20                                                       | 0,16                               | 0,20                                                                                            |

| Рецептура красок<br>(в %)   | Фотографический коэффициент отражения при источниках света |                                    |                                                                                       |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | лампы накаливания                                          | пламенная дуга<br>(80 а) угли „КС“ | солнце соответств.<br>смешанному свету<br>(50% лампы накаливания + 50% дуговые лампы) |
| Лазурь 100                  | 0,03                                                       | 0,03                               | 0,04                                                                                  |
| Лазурь 39<br>Мел 61         | 0,05                                                       | 0,05                               | 0,05                                                                                  |
| Лазурь 50<br>Мел 50         | 0,06                                                       | 0,11                               | 0,09                                                                                  |
| Лазурь 25<br>Мел 75         | 0,12                                                       | 0,16                               | 0,16                                                                                  |
| Умбра 100                   | 0,05                                                       | 0,05                               | 0,06                                                                                  |
| Умбра 75<br>Мел 25          | 0,09                                                       | 0,09                               | 0,09                                                                                  |
| Умбра 50<br>Мел 50          | 0,12                                                       | 0,012                              | 0,12                                                                                  |
| Умбра 25<br>Мел 75          | 0,21                                                       | 0,16                               | 0,21                                                                                  |
| Мумия 100                   | 0,16                                                       | 0,09                               | 0,12                                                                                  |
| Мумия 75<br>Мел 25          | 0,21                                                       | 0,12                               | 0,16                                                                                  |
| Мумия 50<br>Мел 50          | 0,29                                                       | 0,16                               | 0,21                                                                                  |
| Мумия 25<br>Мел 75          | 0,34                                                       | 0,29                               | 0,29                                                                                  |
| Киноварь 100                | 0,16                                                       | 0,06                               | 0,12                                                                                  |
| Киноварь 75<br>Мел 25       | 0,21                                                       | 0,12                               | 0,21                                                                                  |
| Киноварь 50<br>Мел 50       | 0,29                                                       | 0,21                               | 0,29                                                                                  |
| Киноварь 25<br>Мел 75       | 0,44                                                       | 0,34                               | 0,34                                                                                  |
| Крон оранжевый              | 0,44                                                       | 0,21                               | 0,29                                                                                  |
| Крон оранжевый 75<br>Мел 25 | 0,44                                                       | 0,29                               | 0,34                                                                                  |

| Рецептура красок<br>(в %)   | Фотографический коэффициент отражения при источниках света |                                   |                                                                                                     |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | лампы накаливания                                          | пламенная дуга<br>(80 а) угл. КС* | солнце соответств.<br>смешанному свету<br>(50%/о лампы накали-<br>вания + 50%/о дуго-<br>вые лампы) |
| Крон оранжевый 50<br>Мел 50 | 0,54                                                       | 0,34                              | 0,44                                                                                                |
| Крон оранжевый 25<br>Мел 75 | 0,54                                                       | 0,44                              | 0,44                                                                                                |
| Ультрамарин 100             | 0,06                                                       | 0,12                              | 0,09                                                                                                |
| Ультрамарин 75<br>Мел 25    | 0,09                                                       | 0,16                              | 0,09                                                                                                |
| Ультрамарин 50<br>Мел 50    | 0,16                                                       | 0,21                              | 0,16                                                                                                |
| Ультрамарин 25<br>Мел 75    | 0,29                                                       | 0,34                              | 0,29                                                                                                |
| Зелень 100                  | 0,12                                                       | 0,12                              | 0,12                                                                                                |
| Зелень 75<br>Мел 25         | 0,16                                                       | 0,16                              | 0,16                                                                                                |
| Зелень 50<br>Мел 50         | 0,21                                                       | 0,21                              | 0,21                                                                                                |
| Зелень 25<br>Мел 75         | 0,44                                                       | 0,34                              | 0,74                                                                                                |
| Крон желтый 100             | 0,54                                                       | 0,34                              | 0,44                                                                                                |
| Крон желтый 75<br>Мел 25    | 0,54                                                       | 0,34                              | 0,44                                                                                                |
| Крон желтый 50<br>Мел 50    | 0,54                                                       | 0,34                              | 0,44                                                                                                |
| Крон желтый 25<br>Мел 75    | 0,64                                                       | 0,44                              | 0,54                                                                                                |
| Охра 100                    | 0,34                                                       | 0,21                              | 0,29                                                                                                |
| Охра 75<br>Мел 25           | 0,34                                                       | 0,29                              | 0,29                                                                                                |
| Охра 50<br>Мел 50           | 0,44                                                       | 0,29                              | 0,34                                                                                                |
| Охра 25<br>Мел 75           | 0,44                                                       | 0,34                              | 0,44                                                                                                |

Приведем также данные о коэффициенте отражения некоторых объектов киносъемки (табл. 56).

Т а б л и ц а 56

| Поверхность                                             | Коэффициент отражения<br>(среднее значение) |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Свеже выпавший снег . . . . .                           | 0,75                                        |
| Лежалый снег . . . . .                                  | 0,40                                        |
| Чернозем (пахотная земля) . . . . .                     | 0,11                                        |
| Сырая земля . . . . .                                   | 0,05                                        |
| Сухая земля . . . . .                                   | 0,08                                        |
| Полевая трава . . . . .                                 | 0,15                                        |
| Поле, свежая трава . . . . .                            | 0,25                                        |
| Поле, высокая сухая трава . . . . .                     | 0,30                                        |
| Поле, влажная после дождя трава . . . . .               | 0,22                                        |
| Глина желтая . . . . .                                  | 0,16                                        |
| Почва, покрытая вереском . . . . .                      | 0,18                                        |
| Светлый песок сухой . . . . .                           | 0,30                                        |
| Сырой песок . . . . .                                   | 0,18                                        |
| Площадки с выжженной растительностью . . . . .          | 0,23                                        |
| Естественный грунт, щебень, известняк, сланец . . . . . | 0,25                                        |
| Мелкая поросль бука . . . . .                           | 0,21                                        |
| Бетонированная площадка . . . . .                       | 0,34                                        |
| Мелкая галька (пляж), известняк, песчанник . . . . .    | 0,32                                        |
| Крупная галька . . . . .                                | 0,28                                        |
| Ракушный песок . . . . .                                | 0,32                                        |
| Поверхность ледника . . . . .                           | 0,68                                        |
| Асфальтовый тротуар сухой . . . . .                     | 0,10                                        |
| " " мокрый . . . . .                                    | 0,07                                        |
| Каменный уголь . . . . .                                | 0,02                                        |
| Булыжная мостовая сухая . . . . .                       | 0,14                                        |
| Солома свежая . . . . .                                 | 0,29                                        |
| Сено . . . . .                                          | 0,22                                        |
| Вагоны товарные . . . . .                               | 0,07                                        |
| Вагоны изотермические . . . . .                         | 0,40                                        |
| Железо, покрытое нефтью . . . . .                       | 0,02                                        |
| Белая бумага . . . . .                                  | 0,75                                        |
| Желтая бумага . . . . .                                 | 0,45                                        |
| Синяя бумага светлая . . . . .                          | 0,3                                         |
| " " темная . . . . .                                    | 0,26                                        |
| Черная бумага . . . . .                                 | 0,05                                        |
| Белая штукатурка . . . . .                              | 0,90                                        |
| Белый шелк . . . . .                                    | 0,80                                        |
| Газета . . . . .                                        | 0,50                                        |
| Темная матовая латунь . . . . .                         | 0,25                                        |
| Шоколад . . . . .                                       | 0,05                                        |
| Черный бархат . . . . .                                 | 0,004                                       |
| Черное сукно . . . . .                                  | 0,02                                        |

Пример 37. Если снимается портрет высотой в 480 мм, то масштаб съемки при высоте кадра 16 мм, составит  $\frac{1}{30}$ , чему отвечает значение коэффициента  $m=1,07$ . При съемке американского плана (детали портрета), например, глаза высотой в 30 мм, масштаб съемки составит  $\frac{1}{9}$ , причем коэффициент  $m$  возрастет до  $m=2,25$ .

Пример 38. На основании рис. 111 можно заключить, что при применении объектива с  $0_v = 1:2$  и съемке белой поверхности ( $\rho = 0,8$ )

получим соотношение между освещенностями пленки и объекта  $M = 14,5 \times 10^{-3}$  для темной бесцветной поверхности с  $\rho = 0,04$ ,  $M = 0,7 \times 10^{-3}$ .

Пример 39. Исходя из данных табл. 55, можно констатировать, что при съемке с лампами накаливания поверхности, окрашенной смесью мумии с охрой и умбром ( $\rho_{\text{ф}} = 28,6\%$ ) и смесью ультрамарина с мелом ( $\rho_{\text{ф}} = 28,6\%$ ), они получатся на пленке одинаковыми по плотности, хотя визуально яркость их различна.

## § 22. Расчет и измерение экспозиции для киносъемки

Для данного фотографического коэффициента отражения декорации и светосилы объектива между освещенностями пленки и объекта съемки имеется определенное соотношение. Чтобы установить необходимую освещенность объекта съемки  $E_s$ , надо, следовательно, знать требуемую освещенность пленки в кадровом окне съемочной камеры. Освещенность пленки определяется необходимой экспозицией при съемке, обуславливающей желательный характер негатива.

Современные требования к высококачественному негативу изображения фильма сводятся к следующему:

1) должна быть обеспечена хорошая проработка деталей сюжетно важной части кадра;

2) минимальная плотность кадра не должна превышать наименьшей плотности, лежащей на прямолинейной части характеристической кривой ( $D_{\text{min}} \leq 0,4 - 0,5$ );

3) максимальная плотность негатива не должна превышать  $D_{\text{max}} = 2 - 2,2$ ;

4) ширина нормального негатива ( $D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$ ) должна составлять в среднем 1,25; максимально допустимая ширина негатива не может быть больше  $D = 2$ ;

5)  $\gamma$  проявления негатива должна находиться в пределах 0,6—0,75. К этим факторам, определяющим высококачественный негатив, добавляется еще заключение Гольдберга о том, что в построении изображения на негативе в тенях принимают участие лишь те точки, оптическая плотность которых превышает оптическую плотность вуали на 0,1.

Расчет необходимой экспозиции при киносъемке может быть произведен тремя способами: а) с помощью характеристической кривой пленки, б) по номинальной плотности негатива, в) по средней плотности нормального негатива.

### а) Расчет экспозиции с помощью характеристической кривой

Если дана характеристическая кривая пленки для производственных условий съемки (проявитель, время проявления), то необходимая для получения той или иной плотности негатива экспозиция может быть найдена непосредственно из характеристической кривой. Для каждой плотности негатива (рис. 113) в верхней части графика  $X$  и  $D$  непосредственно указаны необходимые экспозиции CMS (метро-свечи-секунды), т. е. в люкс-секундах, соответствующие  $\lg H$  на оси абсцисс.

Этот метод позволяет ясно представить весь диапазон экспозиций, необходимый при съемке на данном светочувствительном материале.

При выборе необходимой экспозиции следует исходить не только из величины требуемой плотности, но и из соотношения между интервалом яркостей\* объекта съемки и фотографической ширитой примененного светочувствительного материала. Как известно, для правильной передачи всех деталей в негативе интервал яркостей объекта съемки не должен превосходить фотографической шириты эмульсий, выраженной в виде отношения экспозиций, соответствующих началу и концу прямолинейной части характеристической кривой\*\*.

Поэтому экспозицию следует выбрать такой, чтобы минимально яркие детали снимаемого объекта отвечали началу прямолинейной части характеристической кривой пленки.

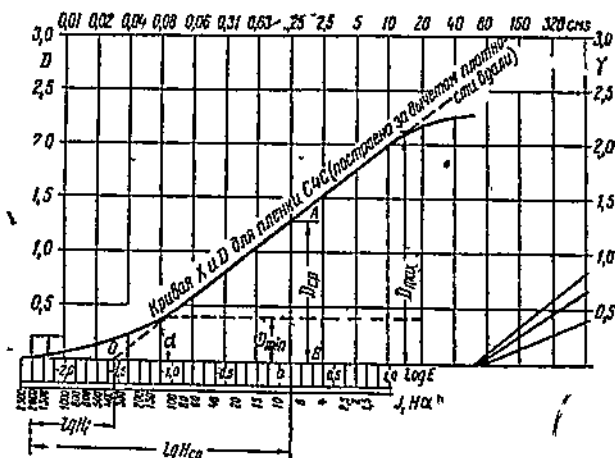


Рис. 113. Кривая  $H$  и  $D$  для пленки СЧС-4

Интервал яркостей некоторых объектов съемки (по данным Гольдберга) представлен данными табл. 57.

Американцы на основе большого практического опыта считают, что при съемках в ателье наиболее яркие объекты отражают до 90% света, наименее яркие — около 20%, следовательно, интервал яркостей составляет 45:1.

Так как фотографическая ширина современных высокочувствительных негативных материалов достигает 500, 1000 и минимально составляет 128, то легко видеть, что большинство снимаемых сюжетов при правильно выбранной экспозиции укладывается в области пропорциональной пере-

\* Интервал яркостей — отношение яркостей наиболее светлого и наиболее темного участков объекта съемки, практически — отношение коэффициентов отражения этих участков (для цветных объектов — фотографических коэффициентов отражений).

\*\* Практически фотографическая ширина может быть взята несколько меньшей за счет использования области передержки и недодержки с учетом величины минимально полезного градиента.

| Объект съемки                                                           | Интервал яркостей  |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Земная поверхность, видимая с самолета                                  | 3:1; 5:1           |
| Пейзаж без переднего плана                                              | 5:1; 10:1          |
| „ против света                                                          | 20:1; 30:1         |
| „ с большими контрастами                                                | 100:1              |
| Портрет (крупный)                                                       | 30:1; 100:1        |
| Общий план в ателье в зависимости от характера сюжета                   | 20:1; 100:1        |
| Виды с очень темным передним планом                                     | 100:1; 300:1       |
| Виды внутри здания, снимаемые против окон, при сильном свете вне здания | до 1000:1 и больше |

дачи характеристической кривой. При съемке же в ателье возможно в широких пределах варьировать экспозицию, так как фотографические широты пленки на много превышают интервал яркостей снимаемого объекта.

#### в) Расчет экспозиции по минимальной плотности негатива

Этот метод позволяет определить минимальное значение экспозиции, которое обеспечивает появление участвующей в образовании фотографического изображения минимальной плотности негатива.

Как уже было отмечено, минимальная плотность, участвующая в образовании фотографического изображения, должна превышать плотность вуали на 0,1. С другой стороны, из главы III нам известно, что точка характеристической кривой фотографической эмульсии, отвечающая плотности, превышающей на 0,1 плотность вуали („эффективный порог“), служит для определения светочувствительности кинопленки по Гольдбергу. Последняя равна обратной величине экспозиции, соответствующей эффективному порогу эмульсии, следовательно,

$$H_{\min} = H_f = \frac{1}{S_f}. \quad (110)$$

Таким образом, зная светочувствительность эмульсии по Гольдбергу, легко определить минимальное значение экспозиции, необходимое для киносъемки.

#### с) Расчет экспозиции по средней плотности нормального негатива

Этот метод позволяет, зная светочувствительность эмульсии по Х и Д и задаваясь сенситометрическими параметрами негатива  $D_{\text{ср}}$   $\gamma$ , рассчитать необходимую величину экспозиции. Из рис. 114, где приведена



характеристическая кривая  $X$  и  $D^*$ , для некоторой средней плотности  $D_{cp} = \frac{D_{max} - D_{min}}{2}$ , отвечающей точке  $A$  кривой, получим из треугольника  $OAB$ :  $OB = \frac{AB}{\operatorname{tg} \alpha}$ .

Так как  $OB = \lg H_{cp} - \lg H_i = \lg \frac{H_{cp}}{H_i}$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = \gamma$ ,

$$AB = D_{cp}, \text{ то } \lg \frac{H_{cp}}{H_i} = \frac{D_{cp}}{\gamma}, \text{ или } H_{cp} = H_i \cdot 10^{\frac{D_{cp}}{\gamma}} \quad (111)$$

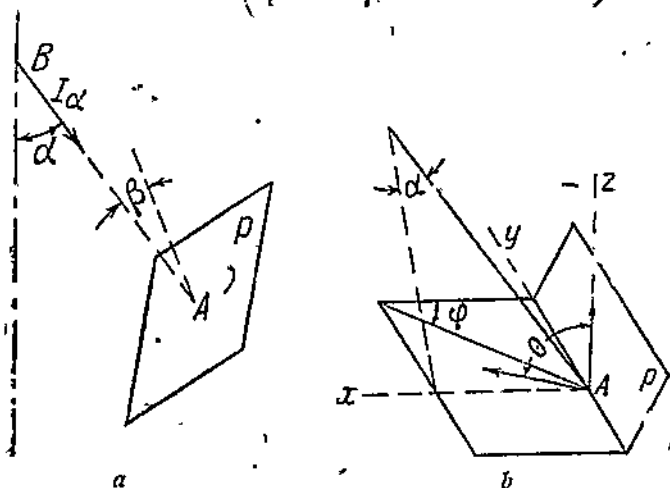


Рис. 114:  $a, b$  — схемы для расчёта освещенности точек плоскости

Величина светочувствительности по  $X$  и  $D$

$$S_i = \frac{10}{H_i}, \text{ следовательно,}$$

$$H_{cp} = \frac{10}{S_i} \cdot 10^{\frac{D_{cp}}{\gamma}} \text{ или, окончательно, } H_{cp} = \frac{10^{\frac{D_{cp}}{\gamma} + 1}}{S_i} \quad (112)$$

Подставляя в полученное уравнение значение  $D_{cp}$ ,  $\gamma$ , светочувствительность эмульсии  $S_i$ , легко рассчитать требуемую экспозицию при киносъемке.

Определив необходимую экспозицию (минимальную, среднюю или любую по характеристической кривой), легко найти освещенность пленки при данном времени экспозиции. Если время экспозиции равно  $t_{сек}$ , а применяемые при съемке источники света имеют тот же спектральный состав света, что и лампа с фильтром, использованная для получения характеристической кривой, то  $H = E_2 \cdot t$ , причем в соответствии со сказанным выше константа Шварцшильда  $p = 1$ .

В действительности при киносъемке применяются источники света, обуславливающие фотохимический эффект иной, чем сенситометрический

\* За вычетом плотности вуали и плотности подложки.

источник света, что определяется величиной относительной активности  $a$ , поэтому

$$H = a E_2 t. \quad (113)$$

Время экспозиции  $t$  в соответствии с углом открытия обтюратора  $\delta$  и частотой съемки  $n$  кадров в секунду может быть с достаточной точностью подсчитано из соотношения  $t = \frac{\delta^\circ}{360 \cdot n}$ . (114)

Следовательно, значение освещенности пленки будет равно

$$E_2 = \frac{H}{at} = \frac{360 \cdot H \cdot n}{a \delta}. \quad (115)$$

Так как освещенность объекта съемки  $E_1 = \frac{E_2}{M}$ ,

$$\text{то } E_1 = \frac{360 \cdot H \cdot n}{a \delta M}. \quad (116)$$

Полученная формула позволяет рассчитать на основании определенных параметров съемочного процесса и пленки необходимую освещенность объекта съемки.

Величина освещенности при чувствительности кинопленки около 1000° X и Д, наиболее часто применяемой в СССР, и при объективах с относительным отверстием 1:2,5; 1:3,5 составляет на наших студиях для общего освещения от 4000 до 8000 лк.

Освещенность от направленного освещения для создания эффектного освещения в 2—4 раза превышает указанную цифру, а иногда в специальных случаях киносъемки может достичь 8-кратного значения освещенности от общего освещения.

В зарубежных киностудиях в связи с применением за последнее время высокочувствительных киноплёнок освещенность при киносъемке ниже. В разных американских киностудиях она сильно меняется в зависимости от творческой манеры кинооператоров, тематики снимаемых фильмов и технического оснащения киностудии.

Согласно измерениям, проведенным В. Стулл в больших, хорошо оснащенных студиях США, освещенность основного объекта в среднем составляет около 1800 лк, в ателье с меньшим количеством осветительной аппаратуры — 800 лк. При съемке эффектов натурального (дневного) освещения эта освещенность достигает 1800 лк, а освещенность ночных сцен отвечает цифре в 550 лк.

При съемках заднего фона (рипроекция) освещенность изменяется в больших пределах — от 350 до 2300 лк.

Средняя величина освещенности основного объекта по всей американской кинопромышленности, например за 1940 г., составляет около 1100 лк при использовании объектива с относительным отверстием 1:2,6.

Некоторые операторы работают при минимальной освещенности. Так, известный американский оператор Т. Спаркуль снимает при постоянной

освещенности около 550 лк и относительном отверстии объектива 1:2,3\*.

В одной из самых новых студий Голливуда — „Двадцатый век“ при всех кино съемках освещенность основного объекта съемки стандартизирована и установлена равной 1650 лк при объективе с относительным отверстием 1:3,5. Каждый оператор обязан пользоваться экспозиметрами, точность которых проверяется ежедневно с помощью стандартного источника света. Как указывают американские авторы, в результате этой стандартизации печать позитивов с негативов производится на одном определенном свете копировального аппарата.

Измерение экспозиции при киносъемке в настоящее время производится обычно фотоэлектрическими экспозиметрами, на которые воздействует отраженный от снимаемого объекта свет. Попадающий на фотоэлемент экспозиметра отраженный световой поток является суммарным, отраженным различными участками объектива. Так как эти участки имеют в общем случае различные коэффициенты отражения, то определение экспозиции по указанной величине отраженного светового потока не представляется точным. Весьма важно измерять яркость небольших участков объекта, поэтому измерения производят в непосредственной близости от объекта на расстоянии, не превышающем ширины рассматриваемого участка. В этом случае на фотоэлемент экспозиметра падает в основном свет, непосредственно отраженный от измеряемого объекта. Необходимым условием измерений с экспозиметром является падение на него лучей света в пределах угла, не превышающего угла зрения применяемого съемочного объектива. В этом случае на светочувствительную поверхность фотоэлемента будут падать лучи, участвующие в образовании фотографического изображения.

В наиболее распространенных типах экспозиметров Вестон\*\* указанное ограничение угла охвата (в пределах  $2\alpha = 60^\circ$ ) достигается специальной ребристой решеткой или многолинзовым ограничителем. Экспозиметры снабжаются особыми калькуляторами, позволяющими определить величину относительной яркости объекта, время экспозиции (количество кадров) и величины диафрагмы при данной светочувствительности пленки.

В экспозиметрах Вестон калькулятор учитывает границы освещенности, при которых все участки объекта несмотря на различную яркость зафиксировались на негативе в пределах прямолинейного участка характеристической кривой пленки. Точки, отвечающие максимальной величине интервала яркостей, который может быть уложен в фотографическую широту негативной пленки, взятой равной 1:128, обозначены на шкале экспозиметра.

Измерение экспозиции в отраженном свете с помощью фотоэлектрического экспозиметра может быть выполнено путем:

- 1) измерения средней яркости объекта съемки;
- 2) измерения наиболее яркого участка объекта съемки;

\* Следует отметить, что этот объектив имеет специальное покрытие линз, увеличивающее его коэффициент пропускания.

\*\* Описание экспозиметра Вестон и других экспозиметров см. в книге А. Гальперина „Определение экспозиции с помощью экспозиметров“, 1939 г.

- 3) измерения наименее яркого участка объекта съемки;
- 4) измерения распределения яркости на сюжетно важной детали снимаемого объекта.

Измерение средней яркости объекта съемки, как отмечалось выше, обычно не может обеспечить правильного выбора экспозиции. Хорошие результаты в этом случае могут быть достигнуты лишь когда объект равномерно освещен и не имеет значительных контрастов.

Измерение яркости наиболее ярких участков объекта съемки позволяет установить экспозицию, обеспечивающую получение плотностей негатива (отвечающих этим участкам) в верхней части характеристической кривой пленки. Все другие менее яркие участки объекта будут запечатлены в негативе меньшими плотностями, причем пропорциональная передача яркостей решается соотношением фотографической широты эмульсии пленки и интервала яркостей объекта съемки.

Измерение наименее ярких участков объекта съемки даёт возможность установить величину минимальной экспозиции при съемке. Все остальные более яркие участки объекта съемки запечатляются на негативе большими плотностями, причем пропорциональная передача яркостей объекта определяется и здесь фотографической широтой пленки и интервалом яркостей объекта съемки.

Обычно при киносъемке оператор промеряет яркости как наиболее ярких, так и наименее ярких участков снимаемого объекта, следя за тем, чтобы эти яркости обеспечивали пропорциональную передачу плотностей в негативе.

Как бы близко ни помещали экспозиметр от снимаемого объекта, все же практически измеряют если не среднюю яркость объекта, то среднюю яркость относительно большого участка этого объекта. С другой стороны, может представлять интерес исследовать распределение яркостей на сюжетно важной части объекта с тем, чтобы предугадать передачу светотечи в негативном изображении. В этом случае необходимо применить такой экспозиметр, который позволяет измерить яркости очень небольших элементов снимаемого объекта. Изготовление подобного рода экспозиметров довольно затруднительно особенно в связи с необходимостью значительного усиления токов фотоэлемента, которые весьма невелики вследствие падающего на них незначительного светового потока. В практике подобные экспозиметры применяются лишь при съемках цветных фильмов, где требуется очень большая точность экспозиции\*.

За последнее время в американской практике киносъемки, особенно в связи с развитием схемы освещения Keylight, широкое применение получил способ определения экспозиции фотоэлектрическим экспозиметром путем измерения освещенности снимаемых объектов. Этот способ основывается на том, что при съемках в ателье интервал яркостей объекта съемки составляет 45:1, в то время как широта негативных эмульсий не опускается ниже 1:128. Поэтому широта пленки не только вмещает интервал яркостей объекта, но остается еще достаточный запас, позволяющий отступать от оптимальной экспозиции. Если, следовательно, установить освещенность декорации при съемке так, чтобы

\* См. главу VII, где описан подобный экспозиметр.

светлые места объекта на негативе приобрели достаточно большую плотность, то на нем запечатлеются и темные места объекта. Это оправдывается еще и тем, что части сцены, имеющие темную окраску, имеют наименьшее значение при передаче характера изображения. Экспозиметр при данном способе определения экспозиции располагается непосредственно возле главного объекта съемки, чаще всего у лица актера, и обращается фотоэлементом в сторону освещающего источника света. Такая методика является достаточно точной, так как фотографический коэффициент отражения грима лица колеблется в общем не сильно, и, следовательно, измеренная освещенность лица характеризует фотографическую яркость главного объекта съемки.

Метод измерения освещенности объекта для определения необходимой экспозиции имеет следующие достоинства:

1. Показания экспозиметра при измерении освещенности вследствие независимости от коэффициента отражения декорации будут большими, чем при измерении экспозиции в отраженном свете. Поэтому измерения с экспозиметром приобретают большую устойчивость и точность, тем более, что уровень освещенности при съемке вследствие высокой светочувствительности эмульсии в настоящее время значительно снижен.

2. Экспозиметр, действующий с помощью отраженного света, дает показание, отвечающее средней яркости, зависящей от соотношения светлых и темных частей объекта съемки. При измерении освещенности этот фактор исключается.

3. Так как спектральная характеристика фотоэлемента экспозиметра не совпадает со спектральной характеристикой пленки, то при съемке цветных объектов и измерениях экспозиции в отраженном свете последняя будет зависеть от цветовых характеристик снимаемых поверхностей. При измерениях экспозиции по освещенности объекта этот недостаток не имеет места.

4. При использовании экспозиметров отраженного света фотоэлемент не защищен от света, падающего от осветительных приборов, освещающих декорации сзади, что может явиться причиной вычисления недостаточной экспозиции. Определение экспозиции по освещенности объекта и в этом отношении имеет преимущества.

Пример 40. На основании кривой  $X$  и  $D$  (рис. 113) можно заключить, что плотности  $D=0,5$  отвечает экспозиция  $H=0,07 \text{ лк/сек.}$  плотности  $D=2$  —  $H=10 \text{ лк/сек.}$

Пример 41. Если чувствительность по Гольдбергу составляет  $S_f=20^\circ$ , то минимальная экспозиция должна составить  $H_{\min} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ лк/сек.}$

Пример 42. Пусть требуется получить на пленке с чувствительностью  $S_f=1000^\circ$  при  $\gamma=0,65$  среднюю плотность негатива  $D_{cp}=1,30$ ;

тогда средняя экспозиция должна быть равна  $H_{cp} = \frac{10^{\frac{1,3}{0,65}+1}}{1000} = \frac{10^3}{1000} = 1 \text{ лк/сек.}$

Пример 43. Пусть для получения определенной плотности пленки необходима по кривой X и Д экспозиция  $H' = 2,5$  лк/сек. и киносъемка производится с лампами накаливания ( $a = 1,25$ ) камерой Митчелл с углом открытия  $\beta = 170^\circ$ . Время экспозиции при частоте съемки  $n = 24$  кадра в секунду составит  $t = \frac{170}{360 \cdot 24} \cong 0,02$  сек; следовательно, освещенность пленки должна быть равна  $E_2 = \frac{2,5}{1,25 \cdot 0,02} = 100$  лк.

Пример 44. При съемке белой поверхности с коэффициентом отражения  $\rho = 0,8$  и применении объектива с относительным отверстием 1:2 необходимое соотношение между освещенностями пленки и объекта (см. рис. 111) составляет  $M = 14,5 \cdot 10^{-3}$ . Если необходимая для получения определенной плотности освещенность пленки должна быть равна 30 лк, то надо обеспечить освещенность объекта, равную  $E_2 = \frac{30}{14,5 \cdot 10^{-3}} \cong 2000$  лк.

### § 23. Методы расчета киносъемочного освещения

Расчет киносъемочного освещения может заключаться в определении числа осветительных приборов, обуславливающих необходимую освещенность декорации, или же в нахождении освещенности при данном количестве осветительных приборов, определенным образом расположенных.

Расчет освещения снимаемых предметов на основании световых характеристик осветительных приборов и размещение их при съемке, как и расчет освещения вообще, может основываться на двух методах:

- 1) расчет освещенности по силе света;
- 2) расчет освещенности по коэффициенту использования.

Расчет освещенности по силе света справедлив только для случая, когда осветительные приборы невелики и достаточно удалены от снимаемой поверхности, причём освещенность создается прямым светом светильников.

Для светильников с симметричным распределением светового потока этот расчет может быть легко проведен, исходя из закона квадратов расстояний и продольной кривой распределения сил света.

Если светильник находится в точке В, а сила света в направлении к точке А составляет  $I_a$  свечей, то освещенность в точке А, как было установлено в главе I, составит (рис. 114, а)  $E = \frac{I_a}{r^2} \cos \beta$ , где  $r$  — расстояние от осветительного прибора до точки А, и  $\beta$  — угол между нормалью к поверхности и лучом света.

В случае расчета освещенности в горизонтальной плоскости Р от прибора верхнего света (горизонтальная освещенность) это уравнение может быть выражено через высоту подвеса прибора  $h$ :

$$E_s = \frac{I_a}{r^2} \cos \beta = \frac{I_a}{h^2} \cos^3 \beta, \quad (117)$$

так как

$$\frac{h}{r} = \cos \beta.$$

В общем случае, когда плоскость  $P$  наклонна, освещенность в точке  $A$  (рис. 114б) может быть найдена из выражения, полученного путем геометрических расчетов:

$$E = \frac{I_a}{h^2} \cos^2 \alpha (\cos \alpha \cdot \cos \theta + \sin \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi), \quad (118)$$

где  $\alpha$  — угол между световым лучом, падающим в точку  $A$ , и осью симметрии светильника;  $\theta$  — угол между наклонной плоскостью, в которой определяется освещенность, и горизонтальной плоскостью;  $\varphi$  — угол, определяющий положение плоскости  $P$ ;  $90 - \varphi$  — угол между горизонтальной проекцией луча и следом  $A_y$  плоскости  $P$  на горизонтальной плоскости.

Из формулы (118) могут быть получены освещенности в точке  $A$  для разного положения плоскости  $P$ .

Так, для  $\theta = 0$ , когда плоскость  $P$  горизонтальна, получаем непосредственно формулу (117) при  $\theta = 90$ , т. е. для вертикальной освещенности, имеем выражение:

$$E_a = \frac{I_a \cos^2 \alpha \sin \alpha}{h^2} \cos \varphi \quad (119)$$

при  $\theta = 90^\circ$  и  $\varphi = 0$ , когда плоскость  $P$  вертикальна и перпендикулярна горизонтальной проекции луча,

$$E'_a = \frac{I_a \cos^2 \alpha \sin \alpha}{h^2}. \quad (120)$$

Если имеется, не один, а несколько светильников, общая освещенность точки  $A$  определится суммой освещенностей от каждого светильника

$$E_{об} = \Sigma E_n, \quad (121)$$

где  $n$  — число светильников.

Приведенные формулы справедливы, как отмечалось выше, лишь для осветительных приборов небольших размеров. Для приближенного расчета освещения от больших равномерно излучающих поверхностей освещенность на оси прибора и в плоскости, перпендикулярной оси, определяется уравнением

$$E = \frac{I}{r^2 + K^2}, \quad (122)$$

где  $R$  — радиус окружности, эквивалентной данной площади.

Все указанные формулы не учитывают загрязнения поверхностей светильников, падения напряжения, уменьшения светового потока ламп и

концу срока службы, поэтому в расчеты необходимо внести коэффициент запаса, который в условиях киностудий может быть принят равным  $K_z = 1,3-1,5$ .

Расчет освещенности, по коэффициенту использования применяется особенно часто в тех случаях, когда в создании освещения участвует помимо прямого также и отраженный свет. Коэффициентом использования ( $u$ ) осветительной установки называют отношение светового потока, падающего на освещаемую поверхность, к световому потоку, излучаемому всеми источниками света (без арматуры) осветительной установки.

Если  $n$  — число устанавливаемых осветительных приборов и  $F_a$  — световой поток одной лампы, то полезный световой поток, падающий на горизонтальную площадь, определится в виде

$$F_s = F_a \cdot n \cdot u.$$

Пусть освещаемая площадь равна  $S \text{ м}^2$ , тогда средняя горизонтальная освещенность в люксах составит

$$E_{ср.г} = \frac{F_a \cdot n \cdot u}{S}$$

или, учитывая коэффициент запаса,  $E_{ср.г} = \frac{F_a \cdot n \cdot u}{S \cdot K_z}$ . (123)

Метод коэффициента использования предполагает, что освещение выполнено равномерно расположенными однотипными светильниками с лампами разной мощности и с симметричным распределением светового потока относительно вертикальной оси прибора. Кроме того расчет предусматривает рабочую поверхность горизонтальной, в то время как практически она может находиться и в другой плоскости.

Наконец, величина коэффициента использования зависит от коэффициента полезного действия светильника, характера кривой распределения сил света, высоты подвеса лампы, размеров и окраски освещаемого помещения.

Все же этот метод благодаря своей простоте применяется для разнообразных случаев освещения.

При расчете киностудийного освещения метод коэффициента использования может быть применен, причем коэффициент использования имеет величину от 0,2 (при темной окраске декораций) до 0,3 (при более светлой окраске). Оба приведенных метода позволяют приближенно рассчитать общее освещение декорации.

Перейдем к расчету освещенности осветительными приборами направленного действия.

Расчет величины пятна прожектора и создаваемой им освещенности зависит от светового потока прожектора и расположения его относительно декораций.

Форма освещаемого прожектором поля зависит от взаимного расположения освещаемой поверхности и оптической оси прожектора. Если освещаемая поверхность нормальна к оси прожектора, то освещаемое поле имеет форму круга.

В случае освещения поверхности таким образом, что оптическая ось луча прожектора составляет с освещаемой плоскостью угол  $\gamma > \varphi$ , где



$2\varphi$  — угол рассеяния (рис. 115, а), поле освещения имеет форму эллипса. Освещенность этой площади будет неравномерна, причем наиболее будет освещена часть, более близкая к прожектору.

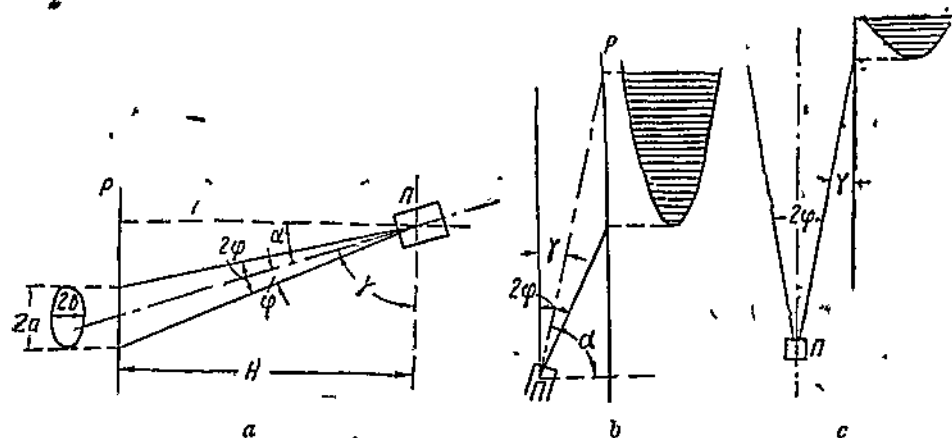


Рис. 115: а, б, в — форма светового пятна прожектора

Если угол  $\gamma = \varphi$  (рис. 115, б), то поле освещения имеет форму параболы; наконец, если  $\gamma < \varphi$ , т. е. оптическая ось луча почти параллельна освещаемой поверхности, поле освещения представляется в виде гиперболы (рис. 115, в).

В практических условиях кино съемки прожекторы располагаются обычно таким образом (рис. 115, а), что оптическая ось их лучей составляет с освещаемой поверхностью угол, всегда превышающий угол  $\varphi$ . Поэтому световое пятно, освещаемое прожектором, имеет форму эллипса, более или менее вытянутого в зависимости от угла наклона прожектора и расстояния последнего от декорации.

Обозначим через  $h$  расстояние от центра лампы прожектора до освещаемой поверхности и через  $\alpha$  угол наклона оси прожектора к горизонту ( $\alpha = 90 - \gamma$ ). Тогда большая и малая полуоси светового пятна эллипсоидальной формы определяются в предположении кругло-симметричной фотометрической поверхности (формула В. Менькова) в виде:

$$a = \frac{h \sin \varphi}{\cos^2 \alpha - \sin^2 \varphi}, \quad (124)$$

$$b = \frac{h \sin \varphi}{\sqrt{\cos^2 \alpha - \sin^2 \varphi}}. \quad (125)$$

Площадь пятна, освещаемого прожектором, равна

$$S = \pi ab = \frac{\pi h^2 \sin^2 \varphi}{(\cos^2 \alpha - \sin^2 \varphi) \sqrt{\cos^2 \alpha - \sin^2 \varphi}}, \quad (126)$$

Если световой поток лампы прожектора составляет  $F_d$  люмен, а коэффициент полезного действия прожектора —  $\eta$ , то средняя освещенность пятна при заданных  $\varphi$ ,  $\alpha$ ,  $h$  составит

$$E = \frac{F_d}{\eta S} \quad (126')$$

В практических условиях следует учесть, что: а) часть светового потока прожектора не достигает площади декорации, попадающей в кадр; б) пятно будет (особенно при больших углах  $\alpha$ ) неравномерно освещено. Поэтому в формулу (126') следует внести коэффициент, который может быть принят равным примерно  $K = 0,6$ .

Принимая также во внимание коэффициент запаса  $K_z$ , окончательно получим

$$E = \frac{F_d \cdot K_{лк}}{S \cdot K_z} \quad (127)$$

В случае, если освещаемая площадка перпендикулярна оптической оси прожектора, диаметр освещаемой площадки при кругло-симметричной форме фотометрической поверхности прожектора, как нетрудно видеть, определится из выражения

$$d = 2 h' \operatorname{tg} \varphi \quad (128)$$

Освещаемая площадь составит

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \pi h'^2 \operatorname{tg}^2 \varphi \quad (129)$$

Средняя освещенность светового пятна на расстоянии  $h$  от прожектора может быть определена из соотношения (127), максимальная же освещенность, отвечающая центру освещенного круга, будет равна

$$E = \frac{I}{K_z h^2} \quad (130)$$

где  $I$  — осевая сила света прожектора.

Приведенные выше формулы позволяют определить также число осветительных приборов направленного освещения, исходя из требуемой освещенности и величины светового потока прожекторов (или их мощности).

Мы рассматривали расчет освещенности в одной плоскости. Такой расчет вполне применим для некоторых специальных случаев кино съемочного освещения, например освещения мультипликационных станков. При обычной кино съемке приходится этот расчет приводить для нескольких плоскостей, так как освещаемые предметы объемны. При этом только в одной из плоскостей освещенность достигает максимальной величины, другие плоскости освещены слабее. В этом случае выполнить светотехнический расчет весьма затруднительно, тем более что необходимое соотношение освещенностей объекта в разных плоскостях целиком зависит от кинооператора и художественных задач освещения.

Кроме того расчет кино съемочного освещения требует учета целого ряда факторов, характеристик отражения объектов съемки, отделки помещений, наличия и характера мебели, одежды актеров, определение

которых часто не представляется возможным. Особо следует обратить внимание, что характер направленного освещения может быть самым разнообразным в зависимости от требуемых эффектов.

Таким образом приведенные выше элементы расчета киносъемочного освещения могут быть признаны более или менее приближенными и справедливыми для общего освещения. С помощью приведенных соотношений можно провести ориентировочные расчеты необходимого числа осветительных приборов, выбрать их мощность, а также определить освещенности, создаваемые осветительными приборами, расположенными согласно определенной световой схеме.

Что касается расположения осветительных приборов при киносъемке, то оно определяется чисто практическими данными. Осветительные схемы в зависимости от снимаемой сцены и смысловых задач кадра могут быть самыми разнообразными. В качестве примера приведем одно из возможных расположений осветительных приборов при съемке крупного плана (рис. 116a) и сцены средней величины (рис. 116b). Обычным является такое расположение осветительной аппаратуры, при котором объект съемки освещается сверху, спереди и сбоку. Кроме того широко применяется так называемая „контржурная“ подсветка, имеющая своей задачей отделение объекта съемки от фона, создание ореола и пр.

В связи с появлением новых высокочувствительных сортов пленки при установке света в мировой практике имеется тенденция уменьшения переднего освещения, так как сильное отражение от стен частично до-

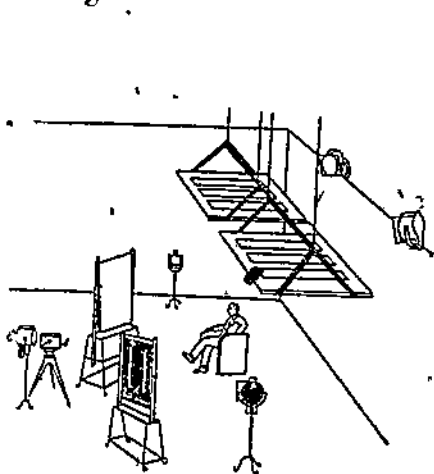


Рис. 116a. Вариант расположения осветительных приборов при съемке крупного плана

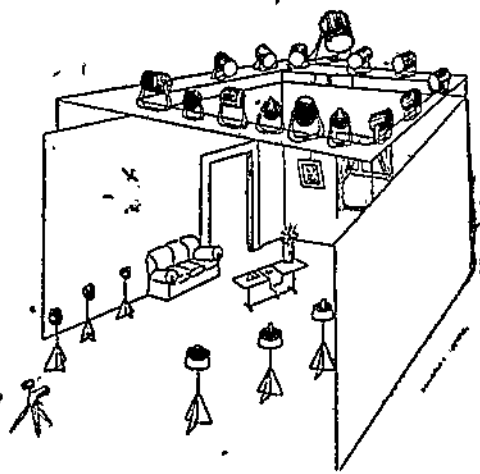


Рис. 116b. Вариант расположения осветительных приборов при съемке сцены средней величины

полняет это освещение. Для создания эффекта переднего освещения с обеих сторон камеры на специальных высоких мостках, устанавливаемых над камерой, помещают две мощных лампы.

Широко пользуются методом так называемого точечного освещения, сущность которого заключается в создании необходимой общей освещенности и эффектного освещения с помощью прожекторов относительно

небольшой мощности. Для этого используются описанные выше осветительные приборы типа Динки-Инки, которые вследствие их небольших размеров могут быть подвешены в любом месте: в коридоре, узком проходе, могут быть скрыты в вазе с цветами, за кипой книг и т. д. Благодаря присасывающим кольцам эти приборы могут быть очень быстро укреплены на декорации и так же быстро переставлены.

Декорации средней величины можно освещать исключительно с помощью ламп Динки-Инки. Большое применение получили эти осветительные приборы для получения бликов в глазах актера (подсветки глаз при съемке крупным планом) и придания различного характера освещения двум одновременно снимающимся актерам. Так например, при съемках мужчины в черном и женщины в белом костюме освещенность мужчины должна быть больше освещенности женщины, одетой в сильно отражающий белый костюм. Для этой цели при съемке обычно принято прибегать к целому ряду трюков с помощью диффузно отражающих поверхностей, щитов и пр. В настоящее время с помощью осветительных приборов Динки-Инки эти эффекты могут быть легко и быстро получены.

Благодаря своей легкости осветительный прибор Динки-Инки часто устанавливается на съемочной камере всего на несколько сантиметров выше объектива, не нарушая равновесия камеры. Укрепляя этот прибор на специальной гибкой оправе, можно легко перемещать лампу, распределяя свет в необходимом направлении. Движение осветительного прибора вместе с объективом позволяет одновременно с перемещением объектива камеры освещать и объект съемки. Число осветительных приборов для разных случаев съемки в настоящее время определяется на основании опыта. Так, в практике киносъемок с светосильной оптикой\* на панхроматических пленках со светочувствительностью порядка  $1000^\circ$  по X и D применяют следующее количество осветительной аппаратуры (табл. 58).

При съемках с движения количество осветительных приборов должно быть увеличено для создания освещения, обеспечивающего необходимый эффект на пути перемещения камеры.

Пример 45. Как следует из кривой рис. 133, зеркальный светильник верхнего света MR-1 под углом  $25^\circ$  к вертикали дает около 7000 свечей. Освещенность пола декорации на участке, освещаемом лучом светильника, отвечающем этому углу, составит при высоте подвеса прибора  $h=6$  м,

$$E_2 = \frac{7000}{6^2} \cdot \cos^3 25^\circ \cong 140 \text{ лк.}$$

Пример 46. Пусть снимаемая сцена площадью  $200 \text{ м}^2$  освещается 40 равномерно распределенными осветительными приборами, световой поток каждого из которых равен 10 000 лм. Тогда, принимая коэффициент использования  $u=0,3$  л, коэффициент запаса  $K_2=1,2$  получим среднюю горизонтальную освещенность

$$E_{cp} = \frac{10000 \cdot 40 \cdot 0,3}{250 \cdot 1,2} \cong 400 \text{ лк.}$$

\* С осветительным отверстием от 1:2 до 1:3

| Тип осветительной аппаратуры                | Необходимое число приборов для черно-белой киносъемки составляет |       |                             |       |                             |       |                                    |       |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|------------------------------------|-------|
|                                             | съемка крупным планом                                            |       | небольшая декорация (6×6 м) |       | средняя декорация (15×15 м) |       | большая декорация (больше 15×15 м) |       |
|                                             | миним.                                                           | макс. | миним.                      | макс. | миним.                      | макс. | миним.                             | макс. |
| Общее освещение                             |                                                                  |       |                             |       |                             |       |                                    |       |
| Приборы бокового света                      | 2                                                                | 2     | 4                           | 8     | 10                          | 20    | 20                                 | 40    |
| Приборы верхнего света*                     | 1                                                                | 1     | 4                           | 6     | 7                           | 14    | 20                                 | 42    |
| Направленное освещение                      |                                                                  |       |                             |       |                             |       |                                    |       |
| Ауфгеллеры с диаметром 600—900 мм . . . . . | —                                                                | —     | 1                           | 2     | 2                           | 8     | 4                                  | 16    |
| Ауфгеллеры с диаметром 300—500 мм . . . . . | 1                                                                | 2     | 4                           | 6     | 6                           | 12    | 10                                 | 20    |
| Линзовые прожекторы с диаметром 250—500 мм  | 1                                                                | 2     | 2                           | 6     | 4                           | 8     | 12                                 | 24    |
| Линзовые прожекторы с диаметром 110—200 мм  | 1                                                                | 1     | 2                           | 4     | 2                           | 4     | 2                                  | 8     |

Пример 47. Если прожектор с углом рассеяния  $2\varphi = 10^\circ$  освещает стену декорации на расстоянии  $h = 20$  м при угле наклона оси прожектора к горизонтали  $\alpha = 20^\circ$ , то большая полуось освещаемого эллипса

$$a = \frac{20 \cdot \sin 5^\circ}{\cos^2 20^\circ - \sin^2 5^\circ} \approx 2 \text{ м и малая полуось}$$

$$b = \frac{20 \cdot \sin 5^\circ}{\sqrt{\cos^2 20^\circ - \sin^2 25^\circ}} \approx 1,85 \text{ м, площадь пятна} = \\ = \pi \cdot 2 \cdot 1,85 = 11,5 \text{ м}^2.$$

Пример 48. Прожектор с углом рассеяния  $2\varphi = 20^\circ$ , находящийся от декорации на расстоянии  $h = 15$  м, освещает перпендикулярно к его оптической оси круг с площадью  $S = \pi 15^2 \operatorname{tg}^2 10^\circ \approx 3,14 \cdot 225 \cdot 0,031 = 22 \text{ м}^2$ . Освещенность полученного пятна при световом потоке прожектора в 500 000 лм и коэффициенте запаса  $K_s = 1,3$

$$E = \frac{500000}{1,3 \cdot 22} \approx 17500 \text{ лк.}$$

#### § 24. Нормирование мощности осветительной аппаратуры и расхода электроэнергии при съемках декораций

Нормирование мощности осветительной аппаратуры и расхода электроэнергии для различных видов киносъемки представляет определенный практический интерес. Было уже установлено, что требуемая для кино-

\* Сюда входят глубоководные и корытообразные рефлекторы с несколькими лампами.

съемки освещенность декораций может быть подсчитана. Если определить максимальную площадь декорации, которая должна быть освещена при съемке, то легко вычислить общий потребный световой поток. Наконец, по световому потоку, падающему на декорацию, можно рассчитать потребную электрическую мощность, а следовательно, и расход электроэнергии для проведения съемки.

Пусть (рис. 117) декорация  $A$ , состоящая из задней стены, двух боковых стен\* и пола, снимается с помощью камеры, установленной на штативе высотой  $H$ . В наиболее практическом случае съемки камера наклонена вниз, причем оптическая ось объектива составляет с горизон-

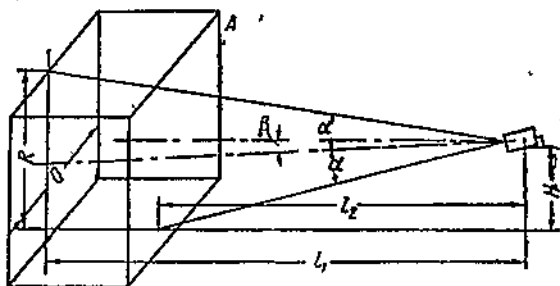


Рис. 117. Освещение декорации при съемке!

талью угол  $\beta^{**}$ . Если задняя стена декорации находится от съемочной камеры на расстоянии  $l_1$ , а съемка производится с объективом фокусного расстояния  $f$ , то максимальная высота задней стены (исключая случай специального ракурса) составит для  $\beta=0$

$$R = l_1 \frac{h}{2f} + H,$$

где  $h$  — высота кадра на киноплёнке.

Максимальная ширина задней стены определится из выражения  $Q = \frac{b}{f} l_1$ , где  $b$  — ширина кадра на киноплёнке. Максимальную площадь задней стены, которая может попасть в кадр, мы, следовательно, можем принять равной

$$S_a = \left( \frac{l_1 h}{2f} + H \right) \frac{b l_1}{f}.$$

Принимая боковые стены прямоугольными с высотой  $R$  и длиной  $l_1 - l_2$ , где  $l_2$  — расстояние от объектива до передней видимой кромки пола при максимальном угле наклона камеры  $\beta_{\max}^{***}$ , получим площадь обеих боковых стен

$$2S_b = \left( \frac{l_1 h}{f} + 2H \right) (l_1 - l_2);$$

\* В действительности в большинстве случаев съемки обе боковые стены не всегда относятся к снимаемому плану.

\*\* Это не исключает, конечно, возможности поворота камеры в сторону и вверх в зависимости от задач съемки.

\*\*\* В действительности площади стен, попадающие в кадр, меньше вычисленных; здесь учтены некоторые возможные случаи съемки стен, а также предусмотрен запас.

площадь пола, попадающую в кадр при съемке, примем также (с некоторым запасом) прямоугольной, равной

$$S_n = (l_1 - l_2) \frac{bl_1}{f}.$$

Общая максимальная площадь декорации, подлежащая освещению, составит, следовательно,

$$S = \left( \frac{l_1 h}{2f} + H \right) \frac{bl_1}{f} + \left( \frac{l_1 h}{f} + 2H \right) (l_1 - l_2) + (l_1 - l_2) \cdot \frac{bl_1}{b}$$

или, учитывая, что экспозиционное окно съемочных камер для 35-мм пленки имеет размеры  $h=16$  мм и  $b=22$  мм, а обычная высота штатива  $H=1,6$  м\*,

$$S = \left( \frac{8l_1}{f} + 1,6 \right) \frac{22l_1}{f} + \left( \frac{38l_1}{f} + 3,2 \right) (l_1 - l_2).$$

Расстояние  $l_1$  для данного размера декорации может быть принято пропорциональным фокусному расстоянию объектива

$$l_1 = af. \quad (131)$$

Величина  $l_2$  легко определится из рис. 117:

$$l_2 = \frac{H}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \approx \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta},$$

так как  $\alpha$  (половина угла зрения объектива) и  $\beta$  невелики.

Учитывая, что  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{2f} = \frac{8}{f}$  и принимая  $\operatorname{tg} \beta = n$ , найдем окончательное выражение для  $S$ :

$$S = (8a + 1,6) 22a + (38a + 3,2) \left( af - \frac{1,6}{n + \frac{8}{f}} \right). \quad (132)$$

В практических условиях угол  $\beta_{\max}$  не может быть слишком большим во избежание искажений вертикальных линий снимаемых объектов. Учитывая, что при проекции наклон оптической оси проектора не должен превосходить  $20^\circ$ , можно принять угол  $\beta_{\max} = 10^\circ$ , что дает для величины  $n$  значение  $n = 0,17$ .

Значение коэффициента  $a$  зависит от размеров картинной плоскости, т. е. от характера снимаемого плана. Для общего плана предельное значение  $a = 0,4$ ; для среднего —  $a = 0,1$ ; для крупного —  $a = 0,03$ , причем в формулу (131) фокусное расстояние подставляется в миллиметрах, а  $l_1$  получается в метрах.

Для определения светового потока, требуемого для освещения декорации, необходимо учитывать наибольшую площадь ее, поэтому при расчетах для съемок в ателье лучше ориентироваться на съемку общего плана, т. е. исходить из значения  $a = 0,4$ .

\* Исключая специальные случаи съемки.

Рассчитав для данного фокусного расстояния объектива площадь снимаемой декорации и зная необходимую освещенность для киносъемки, получим световой поток  $F = E \cdot S \cdot K_s$ .

Если световая отдача (средняя для примененных источников света) составляет  $g$  лм/вт, а коэффициент использования осветительных приборов в схеме освещения  $u$ , то требуемая мощность электрической энергии для общего освещения определится в виде

$$P = \frac{E \cdot S \cdot K_s}{g \cdot u \cdot 1000} \text{ квт.} \quad (133)$$

Эффективное освещение, как отмечалось выше, не может быть подвергнуто расчету. В практических условиях киносъемки к мощности, необходимой для общего освещения, добавляют около 30% мощности осветительных приборов эффективного освещения; следовательно, общая электрическая мощность осветительной аппаратуры составит величину

$$P_n \approx 1,3 P. \quad (134)$$

На основании потребляемой мощности и времени горения осветительных приборов при киносъемке может быть определен и расход электрической энергии.

В СССР была широко поставлена работа в области нормирования мощности осветительной аппаратуры и расчета электроэнергии при съемках декораций. В результате на Всесоюзном совещании светотехнических лабораторий киностудий (декабрь 1940 г.) были приняты следующие нормы\*.

Временные нормы установленной осветительной мощности осветительной аппаратуры при павильонных киносъемках

При установке осветительной аппаратуры для декорации в павильоне максимальная суммарная электрическая мощность всей аппаратуры определяется по формуле

$$P_{уст} = S \cdot p, \quad (135)$$

где  $P_{уст}$  — предельная суммарная установленная мощность в киловаттах;  $S$  — офактуренная поверхность декорации в квадратных метрах, включая поверхность пола, фонов, стен, потолка, дверей, окон и других проемов, а также поверхность снимаемых больших конструкций (горы, памятники, пандусы и т. п.) размером свыше 25 м<sup>2</sup> каждая;  $p$  — удельная установленная мощность в киловаттах на 1 м<sup>2</sup> офактуренной поверхности декорации.

Величина офактуренной поверхности декорации  $S$  определяется по их эскизам путем простого суммирования площадей пола, стен, потолка и т. д. В случае нужды к площади офактуренного пола добавляется и площадь неофактуренного пола, если она находится в пределах угла зрения съемочного аппарата и должна поэтому освещаться (например, между задним фоном и стеной декорации).

Величина удельной установленной мощности  $p$  определяется в зависимости от величины декорации по ее офактуренной поверхности и характера освещения (табл. 59, где указаны величины  $p$  в киловаттах).

\* Приведен точный текст постановления совещания.



Таблица 59

| Характер освещения                                                | Размер декораций по фактурной поверхности |                    |                       |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                                                                   | малые до 350 м²                           | средние 351—700 м² | большие 700 м² и выше |
| <b>А. При съемке со статической точки зрения</b>                  |                                           |                    |                       |
| Яркое освещение (солнечный день, сильное искусственное освещение) | 1,2                                       | 0,9                | 0,6                   |
| Среднее освещение (день, обычное искусственное освещение)         | 1,0                                       | 0,75               | 0,5                   |
| Слабое освещение (ночь, вечер, сумерки)                           | 0,8                                       | 0,6                | 0,4                   |
| <b>Б. При съемках с движения</b>                                  |                                           |                    |                       |
| Яркое освещение (солнечный день, сильное искусственное освещение) | 1,4                                       | 1,2                | 1,0                   |
| Среднее освещение (день, обычное искусственное освещение)         | 1,2                                       | 1,0                | 0,9                   |
| Слабое освещение (ночь, вечер, сумерки)                           | 1,0                                       | 0,9                | 0,8                   |

Указанные в таблице предельные мощности установленной осветительной аппаратуры относятся к обычным условиям съемки. Таковыми считаются: а) скорость съемки 22—24 кадра в секунду, б) угол раскрытия обтюратора в съемочном аппарате—максимальный для данной конструкции камеры, в) рабочее отверстие объектива от 1:2 до 1:2,5, г) чувствительность пленки по Х и Д от 500—850° (при основании 10 за вычетом вуали).

В тех случаях, когда применяется оптика меньшей или большей светосилы или пленка другой чувствительности, полученные по формуле (135) величины установленной мощности умножаются на следующие поправочные коэффициенты (табл. 60).

Таблица 60

| Чувствительность по Х и Д | Рабочее отверстие объектива |          |            |
|---------------------------|-----------------------------|----------|------------|
|                           | от 1:2 до 1:2,5             | выше 1:2 | ниже 1:2,5 |
| Ниже 500°                 | 1,25                        | 1,0      | 1,5        |
| От 850 до 1200°           | 0,75                        | 0,6      | 0,9        |
| Свыше 1200°               | 0,5                         | 0,4      | 0,6        |

Определение расхода электроэнергии на освещение при декорационных киносъемках производится по формуле

$$A = \frac{P \cdot K \cdot T \cdot S}{\eta} = 0,031 \cdot S_{\text{кватч/м}}, \quad (136)$$

где  $A$  — удельный расход электроэнергии на один полезный метр картины (декорационных съемок);  $p$  — удельная установленная мощность в киловаттах на 1 м<sup>2</sup> офактуренной поверхности декораций, принимаемая в среднем равной 0,8 *квт*;  $S$  — офактуренная поверхность декорации (в квадратных метрах), включая поверхность пола, стен, фонов, задников, дверей, окон и других проемов, а также поверхность снимаемых больших конструкций (горы, памятники, пандусы и т. п.) размером свыше 25 м<sup>2</sup> каждая;  $K$  — коэффициент использования мощности, принимаемый в среднем равным 0,65;  $T$  — время в часах горения аппаратуры на один полезный метр картины, принимаемое равным в среднем (2 часа : 32 полезных метра в смену) = 0,06 часа на 1 м;  $\eta$  — суммарный коэффициент полезного действия преобразователя электроэнергии на подстанции и в сети студии.

Определение производится по каждой картине, а в случае нужды — по каждой декорации в отдельности.

В качестве средней офактуренной поверхности декорации при исчислении на картину в целом берется сумма поверхностей декораций, входящих в картину, деленная на количество декораций.

При подсчете площади декораций учитываются все павильонные декорации и те из натуральных, которые должны сниматься ночью. Расход электроэнергии на подсветку при дневных съемках натуральных декораций подсчитывается в каждом случае индивидуально. Данные нормы на эти съемки не распространяются.

Пример 49. Пусть объективом с фокусным расстоянием  $f = 25$  мм снимается общий план ( $a = 0,4$ ). Тогда ориентировочная максимальная площадь декорации, нуждающаяся в освещении, составит  $S = (8 \cdot 0,4 +$

$$+ 1,6) 22 \cdot 0,4 + (38 \cdot 0,4 + 3,2) \cdot \left( 0,4 \cdot 25 - \frac{1,6}{0,174 + \frac{8}{25}} \right) \approx 167 \text{ м}^2.$$

Пример 50. Если площадь декорации  $S = 200$  м<sup>2</sup> должна иметь освещенность от приборов общего освещения  $E = 2000$  *лк*, то, принимая коэффициент использования  $u = 0,2$ , световую отдачу источников света  $g = 20$  *лм* на 1 *вт* и коэффициент запаса  $K_z = 1,3$ , получим по-

требную мощность осветительных приборов:  $P = \frac{2000 \cdot 200 \cdot 1,3}{20 \cdot 0,2 \cdot 1000} = 130$  *квт*, а общая мощность  $P_n = 130 \cdot 1,3 \approx 170$  *квт*.

Пример 51. Пусть офактуренная площадь декорации составляет 150 м<sup>2</sup>, а съемка производится объективом 1:3,5 на пленке с чувствительностью 400°. Как следует из табл. 60, для этого случая поправочный коэффициент равен 1,25; следовательно, при съемке со статической точки зрения необходима удельная мощность осветительной аппаратуры  $p = 1 \times 1,25 = 1,25$  *квт*, т. е. общая максимальная электрическая мощность аппаратуры должна составить  $150 \times 1,25 = 187,5$  *квт*.

Пример 52. Средний удельный расход электрической энергии на полезный метр части фильма, снятой в декорации площадью 400 м<sup>2</sup>, при использовании постоянного тока и при коэффициенте полезного действия преобразователя (включая сеть)  $\eta = 0,80$  составит

$$A = \frac{0,031 \cdot 400}{0,80} = 15,5 \text{ катч/м.}$$

При пользовании только переменным током  $\eta$  может быть принято равным единице, тогда  $A = 12,4 \text{ катч/м.}$

## § 25. Примеры расположения осветительной аппаратуры при киносъемках

Отмечалось уже, что расположение осветительной аппаратуры при киносъемке может быть самым разнообразным в зависимости от творческой манеры оператора, задач освещения, а часто и технических возможностей киностудии. Ниже приведены данные, характеризующие расположение осветительных приборов при съемке в ателье некоторых кадров из советских кинофильмов.

На рис. 118а приведено расположение осветительных приборов при съемке крупного плана из фильма „Отец и сын“. Съемка производилась неподвижной камерой с объективом  $f = 50 \text{ мм}$ ,  $O_b = 1:2$  при обтюраторе с  $\delta = 175^\circ$ , без фильтров на пленке СЧС. Декорация имеет окраску пола мумией ( $\rho_\phi = 0,13$ ) и стен — смесью мела и мумии ( $\rho_\phi = 0,34$ ). Площадь декорации: полезная  $65 \text{ м}^2$ , строительная  $166 \text{ м}^2$ , полезная поверхность декорации  $137 \text{ м}^2$ , высота декорации  $3,5 \text{ м}$ .

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 61.

Таблица 61

| Наименование прибора          |                                                                             | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                               |                                                                             | колич.      | мощн.<br>(в кет) | колич.       | мощн.<br>(в кет) |
| Приборы с лампами накаливания | Прожектор КП-45 . . .                                                       | 11          | 33               | 1            | 3,4              |
|                               | Прожектор $\approx 500 \text{ Д мм}$ с параболическим отражателем . . . . . | 9           | 18               | 1            | 2,3              |
|                               | Прожектор с линзой Френеля $D = 250 \text{ мм}$ . . . . .                   | 6           | 12               | 2            | 4,6              |
|                               | Прожектор $D = 250 \text{ мм}$ с параболическим отражателем . . . . .       | 1           | 0,5              | 1            | 0,57             |
| Дуговые приборы               | Прожектор $D = 500 \text{ мм}$ с секционным отражателем . . . . .           | 2           | 18               | —            | —                |
|                               | Итого . . .                                                                 | 29          | 81,5             | 5            | 10,87            |

Кадр отвечает моменту, когда мать просыпается и смотрит на приехавшего сына.

Поздний вечер. Свет от лампы. Спереди, слева от аппарата — линзовый прожектор с диаметром  $250 \text{ мм}$  для создания „мягкого“ переднего

света. Справа, внизу, на широком луче для подсветки глаз актера — прибор 250 мм с лампой 500 вт.

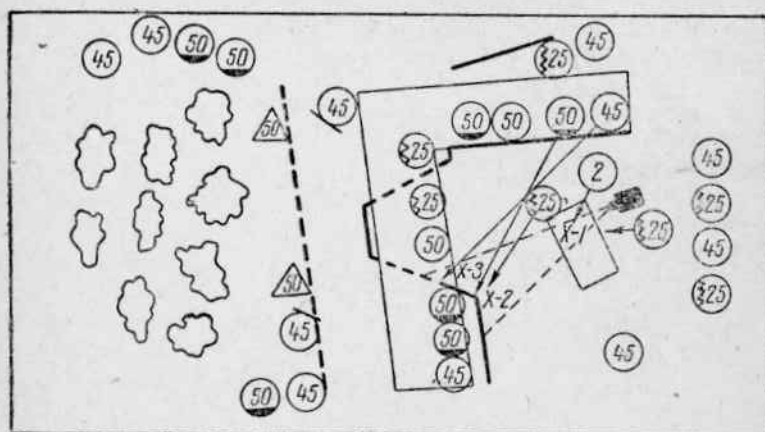


Рис. 118а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1:150

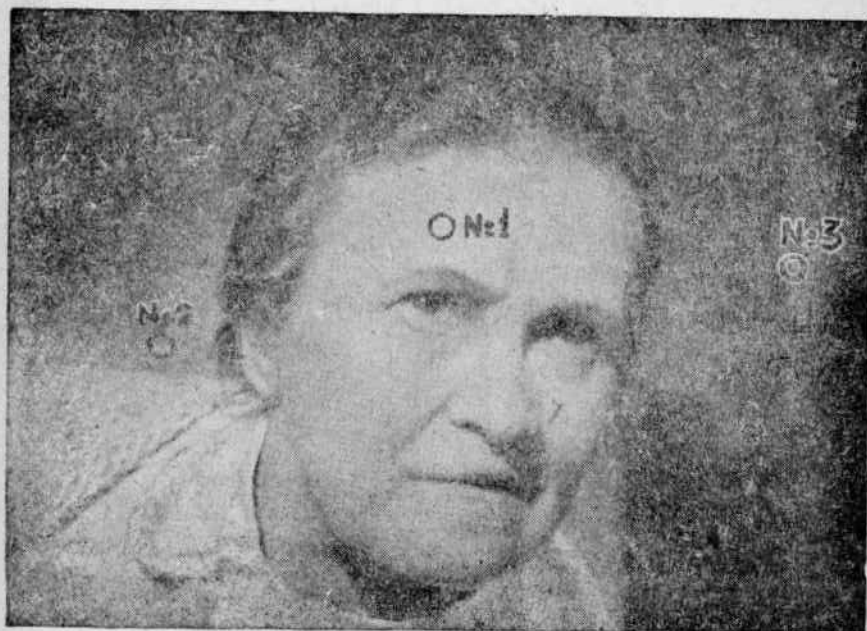


Рис. 118б. Фотография снятого кадра из фильма „Отец и сын“

Пятно на фоне создается прожектором 500 мм с цельным параболическим отражателем. На край пятна для мягкого перехода в тень накладывается пятно от прожектора с линзой Френеля 250 мм с вышки.

На остальной части фона (за углом) освещенность получена от прибора КП-45 на широком луче.

На рис. 118b приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лица (№ 1) — 11450 лк, пятна на фоне (№ 2) — 10400 лк, фона (№ 3) — 2100 лк.

На рис. 119a приведено расположение осветительных приборов при съемке среднего плана из фильма „Член правительства“. Съемка производилась неподвижной камерой с объективом  $f=50,0$ ,  $=1:2$  (диафрагма 1:2,3), при obtюраторе с  $\delta=175^\circ$ , без фильтров, на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: стен — светлый беж ( $\rho_{\phi}=0,44$ ), пол некрашенный — струганные доски ( $\rho_{\phi}=0,34$ ). Площадь декорации полезная — 46 м<sup>2</sup>, строительная — 331 м<sup>2</sup>, полезная поверхность декорации — 150 м<sup>2</sup>, высота декорации — 3 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 62.

Таблица 62

| Наименование прибора          |                                                               | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                               |                                                               | коллич.     | мощн.<br>(в квт) | коллич.      | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы с лампами накаливания | Прожектор КП-45 с секционным отражателем . .                  | 15          | 45               | 2            | 6,85             |
|                               | Прожектор с $D=500$ мм с параболическим отражателем . . . . . | 6           | 12               | 1            | 2,28             |
|                               | Прожектор с $D=250$ мм с линзой Френеля . . . .               | 1           | 1,5              | 1            | 1,71             |
|                               | Ауфгеллер с $D=450$ мм                                        | 5           | 10               | 3            | 6,86             |
| Дуговые приборы               | Специальный прибор . .                                        | 1           | 1                | 1            | 1,14             |
|                               | Прожектор с $D=1000$ мм с секционным отражателем              | 1           | 30               | —            | —                |
|                               | Прожектор с $D=700$ мм с секционным отражателем               | 2           | 36               | —            | —                |
|                               | КП-60 с секционным отражателем . . . . .                      | 1           | 18               | —            | —                |
| Итого . . . . .               |                                                               | 32          | 153,5            | 8            | 18,84            |

Кадр отвечает моменту, когда отец садится около кровати и обращается к спящему сыну.

Вечер. Свет от лампы, подвешенной слева вне кадра.

Расположение приборов: справа у аппарата — прожектор КП-45 с рассеивающим матированным стеклом для общего переднего света. В качестве прибора бокового света на мальчика — небольшой софит с лампой 1 квт. Блики на лице, руках отца и на одеяле — от прожектора 500 мм с вышки. Небольшой контржур от ауфгеллера 450 мм — справа. Пятно на фоне — от прибора с линзой Френеля ( $D=250$  мм). Последние два прибора — на остальную часть фона.

На рис. 119b приведена фотография снятого кадра. Освещенность

(в вертикальной плоскости) лица отца (№ 1) — 6400 ЛК, фона (№ 2) — 2500 ЛК, лица сына (№ 3) — 6000 ЛК.

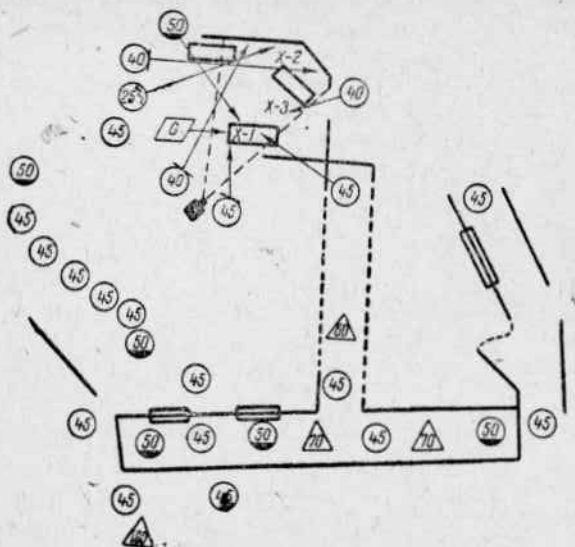


Рис. 119а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1 : 200



Рис. 119б. Фотография снятого кадра из фильма „Член правительства“

На рис. 120 а приведено расположение осветительных приборов при съемке среднего плана из фильма „Аринка“. Съемка производилась

неподвижной камерой с объективом  $f=35$  мм,  $O_p=1:2$  (диафрагма 1:2,7) при obtюраторе с  $\delta=175^\circ$ , без фильтров на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: пола — серую ( $\rho_{\phi}=0,14$ ), стен — охры с сажей ( $\rho_{\phi}=0,24$ ) и фона — брауншвейг ( $\rho_{\phi}=0,37$ ). Площадь декорации: полезная — 110 м<sup>2</sup>, строительная — 160 м<sup>2</sup>, полезная поверхность декорации — 170 м<sup>2</sup>, высота декорации — 2,5 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 63.

Таблица 63

| Наименование прибора          |                                                               | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                               |                                                               | колич.      | мощн.<br>(в квт) | колич.       | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы с лампами накаливания | Прожектор КП-45 с секционным отражателем . .                  | 12          | 36               | 10           | 34,2             |
|                               | Прожектор с $D=500$ мм с параболическим отражателем . . . . . | 1           | 2                | —            | —                |
|                               | Ауфгеллер с $D=450$ мм                                        | 10          | 20               | 9            | 20,5             |
|                               | Специальный прибор, .                                         | 2           | 5,5              | 1            | 1,7              |
|                               | Прожектор с $D=350$ мм с параболическим отражателем . . . . . | 2           | 2                | —            | —                |
| Дуговые приборы               | Прожектор с $D=250$ мм с параболическим отражателем . . . . . | 1           | 0,5              | —            | —                |
|                               | Прожектор с $D=700$ мм с параболическим отражателем . . . . . | 1           | 18               | 1            | 20,4             |
|                               | Итого . . . . .                                               | 29          | 84               | 21           | 76,8             |

Кадр отвечает моменту, когда отец прощается с дочерью.

День. Внутренность небольшой избы. От солнечного света, падающего в крохотное оконце, слегка освещена кровать. Остальная часть помещения в тени.

Расположение приборов: у аппарата в качестве приборов переднего света на действующих лиц работают два ауфгеллера 450 мм и один прибор со снятым отражателем. Все приборы — на самом широком луче. Контржурный свет, за исключением луча от ауфгеллера 450 мм с вышки, почти отсутствует. Имитация солнечного света за окном достигается посредством дугового прожектора 700 мм с цельным параболическим отражателем. Остальные приборы предназначаются для подсветки фона и для прохода отца по декорации.

На рис. 120b приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лица дочери (№ 1) — 10 400 лк, фона (№ 2) — 6350 лк, окна (№ 3) — 12 000 лк.

На рис. 121а приведено расположение осветительных приборов при съемке среднего плана из фильма „Яков Свердлов“. Съемка производилась неподвижной камерой с объективом  $f=50$  мм,  $O_v=1:2$

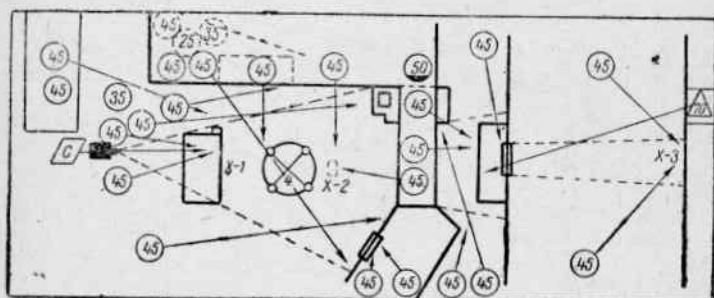


Рис. 120а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1 : 200



Рис. 120б. Фотография снятого кадра из фильма „Аринка“

(диафрагма 1:3), при obtураторе с  $\delta=175^\circ$ , без фильтров, на пленке „Ультра-рапид“. Декорация имеет окраску: пола — мумия, охра ( $\rho_{\phi}=0,21$ ), стен — мумия, охра, умбра, мел ( $\rho_{\phi}=0,29$ ), фона — мумия, охра, умбра, мел ( $\rho_{\phi}=0,29$ ). Площадь декорации; полезная —  $143 \text{ м}^2$ , строительная —  $254 \text{ м}^2$ ; полезная поверхность декорации —  $383 \text{ м}^2$ , высота декорации — 4 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 64.



| Наименование приборов               |                                                                | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                                     |                                                                | колич.      | мощн.<br>(в квт) | колич.       | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы<br>с лампами<br>накаливания | Прожектор КП-45 с секционным отражателем . .                   | 18          | 54               | 1            | 3,65             |
|                                     | Прожектор с $D=500$ мм с параболическим отражателем . . . . .  | 1           | 3                | —            | —                |
| Дуговые<br>приборы                  | Прожектор с $D=250$ мм с линзой Френеля . . .                  | 3           | 6                | 3            | 7,3              |
|                                     | Лампа общего света . .                                         | 20          | 20               | 8            | 9,75             |
|                                     | Ауфгеллер с $D=450$ мм                                         | 4           | 8                | —            | —                |
|                                     | Прожектор с $D=1000$ мм с параболическим отражателем . . . . . | 1           | 30               | —            | —                |
|                                     | Прожектор с $D=500$ мм с секционным отражателем                | 5           | 45               | —            | —                |
| Итого . . .                         |                                                                | 52          | 166              | 12           | 20,7             |

Кадр отвечает моменту встречи Трофимова с Свердловым.

Солнечный день в помещении. Солнечные лучи из окна, расположенного с левой стороны, падают на Свердлова и на стоящего перед ним Трофимова. На фоне проектируется тень от жалюзи.

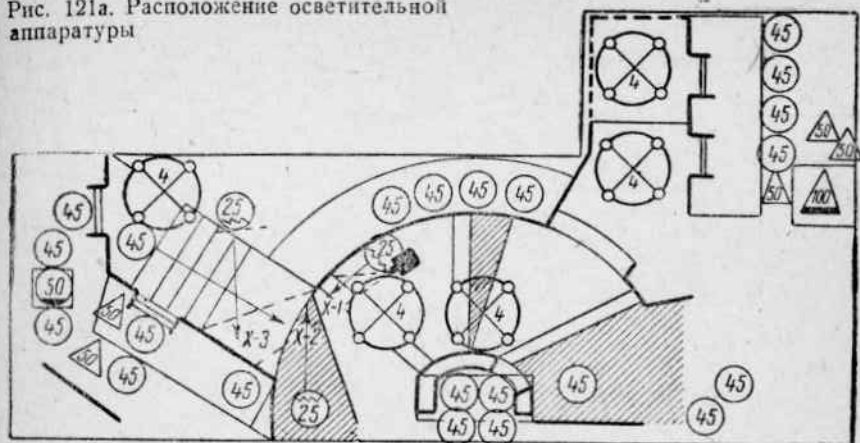
Расположение приборов: спереди, с левой стороны аппарата — прибор с линзой Френеля 250 мм на широком луче. На приборе для уменьшения силы света установлена плотная марлевая сетка. В качестве прибора бокового света работает такой же прибор на узком луче. От этого прибора, несколько поднятого на штативе, — блики на плече и затылке Трофимова и на лице и тужурке Свердлова. На контржур актеров и портьеры работает прожектор КП-45. Тень на фоне от третьего линзового прожектора  $D=250$  мм со снятой линзой. Перед прибором — щиток с продольными вырезами. Для смягчения теней работают две площадки верхнего света.

На рис. 121b приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лица Свердлова (№ 1) — 1000 лк, лица Трофимова (№ 2) — 800 лк, фона (№ 3) — 300 лк, стены (№ 4) — 900 лк.

На рис. 122a приведено расположение осветительных приборов при съемке среднего плана на фоне общей перспективы из фильма „Фронтные подруги“. Съемка производилась с движения (панорама и отъезд аппарата) при объективе с  $f=35$  мм,  $O_v=1:2$  (диафрагма 1:2,8), при obtураторе с  $\delta=175^\circ$ , без фильтров, на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: пола — мумия ( $\rho_{\phi}=0,12$ ), стен — мел, зелень ( $\rho_{\phi}=0,44$ ), фона — мел, зелень ( $\rho_{\phi}=0,44$ ). Площадь декорации: полезная — 220 м<sup>2</sup>, строительная — 530 м<sup>2</sup>; полезная поверхность декорации — 560 м<sup>2</sup>, высота декорации — 5 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 65.

Рис. 121а. Расположение осветительной аппаратуры



Масштаб 1 : 225



Рис. 121б. Фотография  
снятого кадра из фильма  
„Яков Свердлов“

| Наименование прибора                |                                                                      | Установлено |                          | Использовано |                          |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
|                                     |                                                                      | колич.      | мощн.<br>(в <i>квт</i> ) | колич.       | мощн.<br>(в <i>квт</i> ) |
| Приборы<br>с лампами<br>накаливания | Пржектор КП-45 с сек-<br>ционным отражателем . .                     | 30          | 90                       | 18           | 61,56                    |
|                                     | Пржектор с $D=500$ мм<br>с параболическим отража-<br>телем . . . . . | 8           | 24                       | 1            | 3,42                     |
|                                     | Пржектор с $D=250$ мм<br>с линзой Френеля . . . .                    | 4           | 8                        | —            | —                        |
|                                     | Ауфгеллер с $D=450$ мм                                               | 10          | 30                       | —            | —                        |
|                                     | Ауфгеллер с $D=350$ мм                                               | 2           | 4                        | —            | —                        |
| Приборы<br>дуговые                  | Пржектор с $D=700$ мм<br>с секционным отражателем                    | 8           | 144                      | 5            | 90                       |
| Итого . . .                         |                                                                      | 62          | 300                      | 24           | 154,98                   |

Кадр отвечает моменту, когда к столу подходят девушки.

Зимнее утро. Свет мыслится из окна, расположенного сзади председа-  
теля. В качестве основного переднего света, справа от аппарата — три  
прожектора КП-45 (один внизу и два с вышки). Четвертый прожектор  
КП-45, слева от аппарата — установлен для подсветки теневой части лица  
актеров. Два прожектора КП-45, установленных на правой вышке (бо-  
ковой свет), еще более подчеркивают основное направление света,  
усиливая блики на лицах актеров. На контржур волос последних  
работают дуговой прожектор 700 мм и прожектор 500 мм с цельным  
параболическим отражателем. Остальные приборы освещают фон или  
работают на проход актеров.

На рис. 122b приведена фотография снятого кадра. Освещенность  
(в вертикальной плоскости) фонов: № 3—3150 лк, № 4—2000 лк,  
№ 6—2125 лк, лиц актеров: № 7—80 000 лк, № 8—12 400 лк.

На рис. 123а приведено расположение осветительных приборов при  
съемке „средне-общего“ плана из фильма „Музыкальная история“. Съемка  
производилась с движения (панорама и проезд аппарата по всей деко-  
рации) при объективе с  $f=35$  мм,  $O_v=1:2$  (диафрагма 1:3) при  
объектюре  $\delta=175$ , без фильтров на пленке СЧС. Декорация имеет  
окраску: пола — мумия ( $\rho_{\phi}=0,12$ ), стен — мед, охра ( $\rho_{\phi}=0,43$ ). Пло-  
щадь декорации: полезная — 330 м<sup>2</sup>, строительная — 670 м<sup>2</sup>, полезная  
поверхность декораций — 570 м<sup>2</sup>, высота декорации — 3 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппа-  
ратуры приведена в табл. 66.

Кадр отвечает моменту, когда домохозяйки слушают пение Говор-  
кова.

Утро. Кухня. В кухне примусы. Чай и пар. Через окно слева про-  
биваются лучи света. От солнечных лучей — блики на стенах и лицах

актеров. Резкий контржурный свет. Расположение приборов, установленных для съемки показанных на фотографии кадров, следующее: спереди в качестве прибора переднего света — прожектор (№ 1) КП-45 на широком луче. Блики на волосах актеров от прожектора (№ 2) КП-45.

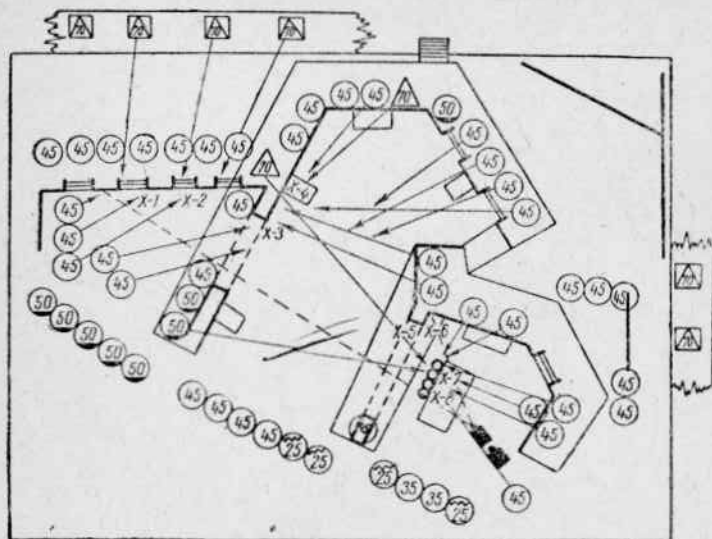


Рис. 122а. Расположение осветительной аппаратуры

Масштаб 1 : 300



Рис. 122б. Фотография снятого кадра из фильма „Фронтовые подруги“

| Наименование прибора                |                                                                          | Установлено |                          | Использовано |                          |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
|                                     |                                                                          | колич.      | мощн.<br>(в <i>квт</i> ) | колич.       | мощн.<br>(в <i>квт</i> ) |
| Приборы<br>с лампами<br>накаливания | Прожектор КП-45 с сек-<br>ционным отражателем . .                        | 36          | 108                      | 19           | 57                       |
|                                     | Прожектор с $D = 500$ мм<br>с параболическим отра-<br>жателем . . . . .  | 24          | 48                       | 10           | 20                       |
|                                     | Ауфгеллер с $D = 450$ мм                                                 | 9           | 18                       | 5            | 10                       |
|                                     | Прожектор с $D = 250$ мм                                                 | 2           | 4                        | 1            | 2                        |
|                                     | с линзой Френеля . . . .                                                 | 6           | 6                        | 6            | 6                        |
| Дуговые<br>приборы                  | Лампа общего света . .                                                   |             |                          |              |                          |
|                                     | Прожектор с $D = 1000$ мм<br>с параболическим отра-<br>жателем . . . . . | 3           | 90                       | 3            | 83,4                     |
|                                     | Прожектор с $D = 700$ мм<br>с секционным отражателем                     | 1           | 18                       | —            | —                        |
| Итого . . .                         |                                                                          | 81          | 292                      | 44           | 178,4                    |

Солнечный блик на фоне от прожекторов 500 мм с цельным параболическим отражателем (№ 2, № 5 и № 7). Остальная часть фона освещается прожекторами КП-45 (№ 8). На контржур актеров с вышки работают два прожектора 500 мм с цельным параболическим отражателем (№ 3 и № 4).

На рис. 123b приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лица актеров: № 2—5000 лк, № 12—4800 лк, фона (№ 10)—600 лк.

На рис. 124a приведено расположение осветительных приборов при съемке общего плана из фильма „Оборона Царицына“. Съемка произведена неподвижной камерой с объективом с  $f = 40$  мм,  $O_p = 1:2$  (диафрагма 1:2,8), при obtюраторе с  $\delta \approx 175^\circ$ , без фильтров на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: пола — серую (грязные доски с  $\rho_{\phi} = 0,08$ ), стен — зеленъ, мел ( $\rho_{\phi} = 0,28$ ), фона — зеленъ, мел ( $\rho_{\phi} = 0,28$ ). Площадь декорации: полезная — 85 м<sup>2</sup>, строительная — 280 м<sup>2</sup>; полезная поверхность декорации — 185 м<sup>2</sup>, высота декорации — 3 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 67.

Кадр отвечает моменту, когда Руднев подходит к барьеру и вызывает машиниста.

День внутри помещения. Общее равномерное освещение, оправданное светом из окна. Много приборов переднего света, освещающих основных действующих лиц и массовку. На переднем плане освещенность несколько меньшая. Резкий контржурный свет. Сзади за дверью — проекция тени от решетки. От различной освещенности переднего, среднего и заднего планов — глубина кадра, перспектива.

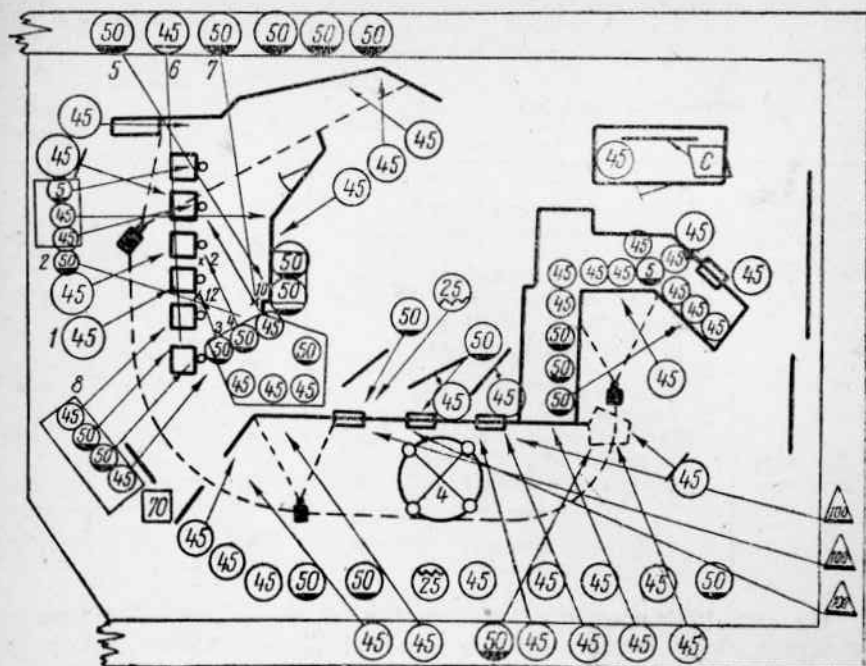


Рис. 123а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1:250



Рис. 123б. Фотография снятого кадра из фильма „Музыкальная история“

Таблица 67

| Наименование приборов         |                                                     | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                               |                                                     | колич.      | мощн.<br>(в квт) | колич.       | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы с лампами накаливания | Прожектор с $D=700$ мм с параболическим отражателем | 2           | 10               | 2            | 11,4             |
|                               | Прожектор КП-45 с секционным отражателем            | 11          | 33               | 11           | 37,6             |
|                               | Прожектор с $D=500$ мм с параболическим отражателем | 14          | 42               | 12           | 47,9             |
|                               | Прожектор с $D=250$ мм с линзой Френеля             | 1           | 2                | 1            | 2,3              |
| Дуговые приборы               | Лампа общего света                                  | 4           | 4                | 4            | 4,60             |
|                               | Прожектор с $D=700$ мм с секционным отражателем     | 2           | 36               | —            | —                |
| Итого . . .                   |                                                     | 4           | 127              | 30           | 103,8            |

На рис. 124b приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лиц актеров: (№ 1) — 15 000 лк, (№ 5) — 11 000 лк, (№ 4) — 9500 лк, фона (№ 6) — 6250 лк, задника (№ 8) — 2700 лк.

На рис. 125а приведено расположение осветительных приборов при съемке общего плана из фильма „Отец и сын“. Съемка произведена неподвижной камерой с объективом с  $f=35$  мм,  $O_v=1:2$  (диафрагма 1:2,8) при обтюраторе  $\delta=175^\circ$ , без фильтра, на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: пола — светлоричневая ( $\rho_{\phi}=0,34$ ), стен и фонов — киноварь, мел ( $\rho_{\phi}=0,43$ ). Площадь декорации: полезная — 150 м<sup>2</sup>, строительная — 235 м<sup>2</sup>, полезная поверхность — 255 м<sup>2</sup>, высота декорации — 3 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 68.

Кадр отвечает моменту беседы Удалова с Ксаной.

День. От лучей, падающих в окно слева, освещены волосы Андрея и лицо Ксаны. Остальная часть комнаты в тени.

Расположение приборов: спереди по бокам аппарата — пять приборов КП-45 и дуговой прожектор 700 мм с секционным отражателем для общего переднего света. Имитация солнечных лучей достигается дуговым прожектором 1000 мм с цельным параболическим отражателем (на балконе) и прожектором 500 мм (с вышки). От этих приборов — блики на лице и волосах Ксаны и затылке Андрея. Сильный контржурный свет от большого количества приборов (линзовый прожектор 250 мм, ауфгеллер  $f=450$  мм и КП-45) дает резкие контуры лиц актеров. Остальные приборы работают для освещения прохода Андрея и Ксаны и для освещения фона.

На рис. 125b приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лиц актеров (№ 1) — 14 500 лк, двери (№ 2) — 5200 лк, окна (№ 3) — 14 500 лк.

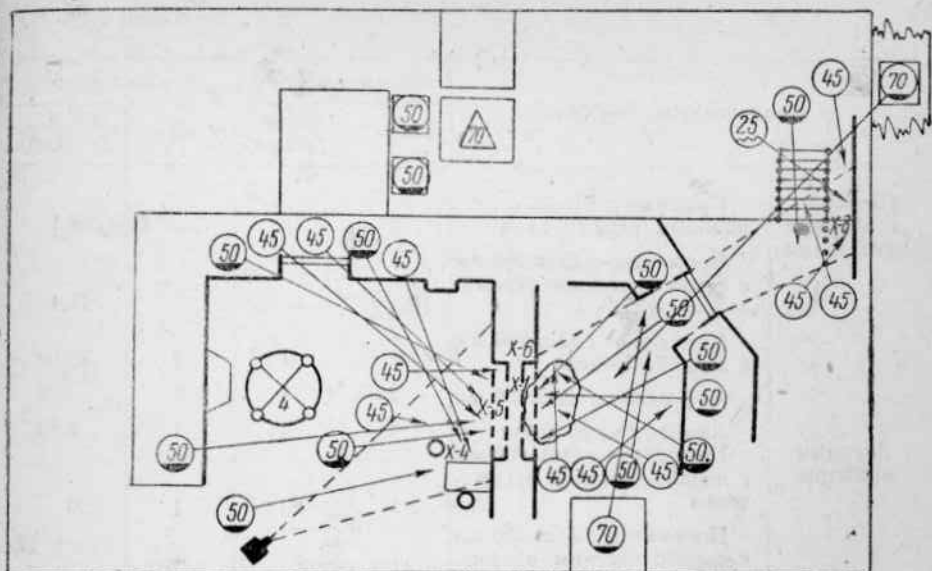


Рис. 124а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1:150



Рис. 124б. Фотография снятого кадра из фильма „Оборона Царицына“



Таблица 68

| Наименование прибора                |                                                                | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                                     |                                                                | колич.      | мощн.<br>(в квт) | колич.       | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы<br>с лампами<br>накаливания | Прожектор КП-45 с сек-<br>ционным отражателем                  | 25          | 75               | 20           | 68,4             |
|                                     | Прожектор с $D = 500$ мм<br>с параболическим отража-<br>телем  | 5           | 10               | 5            | 11,4             |
|                                     | Прожектор с $D = 250$ мм<br>с линзой Френеля                   | 2           | 4                | 2            | 4,56             |
| Дуговые<br>приборы                  | Ауфгеллер с $D = 450$ мм                                       | 2           | 4                | 2            | 4,56             |
|                                     | Лампа общего света                                             | 4           | 4                | 4            | 4,56             |
|                                     | Прожектор с $D = 1000$ мм<br>с параболическим отража-<br>телем | 1           | 30               | 1            | 30               |
|                                     | Прожектор с $D = 700$ мм<br>с параболическим отража-<br>телем  | 1           | 18               | 1            | 18               |
|                                     | Прожектор с $D = 700$ мм<br>с секционным отражателем           | 2           | 36               | 2            | 36               |
| Итого . . .                         |                                                                | 42          | 181              | 37           | 177,48           |

На рис. 126а приведено расположение осветительных приборов при съемке общего плана из фильма „Доктор Калюжный“. Съемка произведена с рирпроекцией при объективе с  $f = 50$  мм,  $0_v = 1:1,9$  (диафрагма 1:2,8), обтюратор с  $\delta = 150^\circ$ , без фильтра, на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: пола — охра жженая ( $\rho_{\phi} = 0,13$ ), стен — мел, охра ( $\rho_{\phi} = 0,49$ ), фона — зелень светлая ( $\rho_{\phi} = 0,18$ ). Площадь декорации: полезная — 4 м<sup>2</sup>, строительная — 102 м<sup>2</sup>; полезная поверхность декорации — 22 м<sup>2</sup>, высота декорации — 2,5 м.

Характеристика установленной и использованной аппаратуры приведена в табл. 69.

Таблица 69

| Наименование прибора                |                                               | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                                     |                                               | колич.      | мощн.<br>(в квт) | колич.       | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы<br>с лампами<br>накаливания | Прожектор КП-45 с сек-<br>ционным отражателем | 2           | 6                | 2            | 6,84             |
|                                     | Ауфгеллер с $D = 450$ мм                      | 2           | 4                | 1            | 2,28             |
|                                     | Итого . . .                                   | 4           | 10               | 3            | 9,12             |

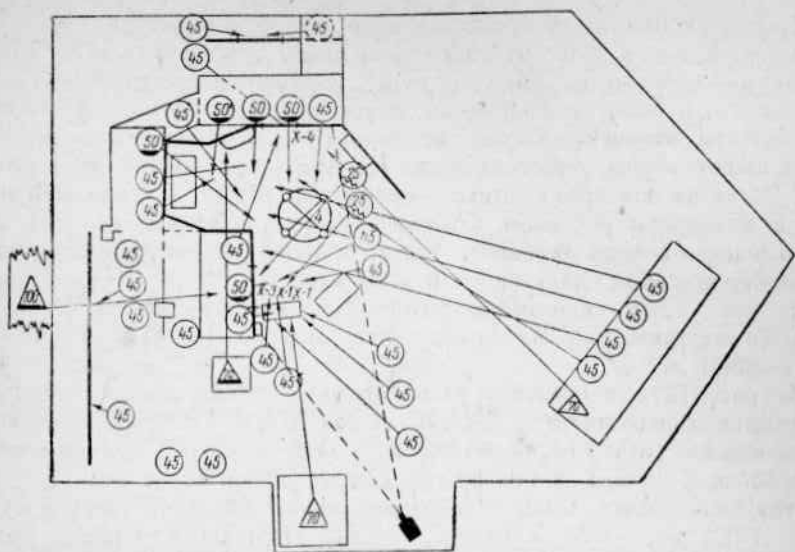


Рис. 125а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1 : 530



Рис. 125б. Фотография снятого кадра из фильма „Отец и сын“

Кадр представляет внутренность купе вагона в движении.

Вечер. Сумерки. Свет от настольной лампы с абажуром и от плафона, расположенного на потолке купе. Верхний свет доминирует. Это подчеркнута в пятне за Калойным, тенью от поднятой полки, освещенным платком женщины. Справа от аппарата для общей просветки сцены на широком луче с рассеивающим стеклом — прибор 450 мм (ауфгеллер). Слева на поднятом штативе — прожектор КП-45, освещающий военного и женщину с ребенком. От этого прибора получена тень под полкой, освещены волосы женщины. Третий прибор — КП-45, расположенный на вышке, освещает Калужного и угол купе.

На рис. 126 б приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лиц актеров (№ 1) — 12000 лк, № 2 — 8000 лк.

На рис. 127 а приведено расположение осветительных приборов при съемке общего плана из фильма „Отец и сын“. Съемка произведена с движения (панорама, небольшой отъезд аппарата) при объективе с  $f=35$  мм,  $O_p=1:2$  (диафрагма 1:2,8), obtюратор с  $p=175^\circ$ , без фильтра, на пленке СЧС. Декорация имеет окраску: пола — мумия ( $p_v=0,13$ ), степ — мел, мумия ( $p_{\phi}=0,34$ ). Площадь декорации: полезная — 65 м<sup>2</sup>, строительная — 166 м<sup>2</sup>; полезная поверхность декорации — 137 м<sup>2</sup>, высота декорации — 3,5 м.

Характеристика установленной и использованной осветительной аппаратуры приведена в табл. 70.

Таблица 70

| Наименование прибора          |                                                     | Установлено |                  | Использовано |                  |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
|                               |                                                     | колич.      | мощн.<br>(в квт) | колич.       | мощн.<br>(в квт) |
| Приборы с лампами накаливания | Прожектор с $D=500$ мм с параболическим отражателем | 10          | 20               | 9            | 20               |
|                               | Прожектор КП-45 с секционным отражателем            | 11          | 33               | 11           | 36,6             |
|                               | Линзовый прожектор с $D=250$ мм                     | 7           | 14               | 7            | 15,4             |
|                               | Прожектор с $D=250$ мм с параболическим отражателем | 1           | 0,5              | 1            | 0,5              |
|                               | Лампа общего света                                  | 1           | 0,5              | 1            | 0,5              |
| Дуговые приборы               | Прожектор с $D=500$ мм с секционным отражателем     | 2           | 18               | 2            | 20,3             |
| Итого . . . . .               |                                                     | 32          | 86               | 31           | 93,3             |

Кадр переносит момент разговора отца с матерью.

Вечер. Сумерки. Спереди от аппарата общим „мягким“ светом из широко-роком луче работает КР-45. Блик на матери создается прожектором 250 м.м с лампой накаливания 500 вт. Третий прожектор с линзой



Рис. 126а. Расположение осветительной аппаратуры

Масштаб 1 : 120



Рис. 126б. Фотография снятого кадра из фильма „Доктор Калужный“

Френеля  $D=250$  м.м освещает в качестве бокового света лицо отца. Для создания перспективы и освещения „напросвет“ волос обоих актеров установлен в качестве полуконического второй линзовый прожектор с  $D=250$  м.м. Мягкое пятно на фоне за изголовьем матери получено от прожекторов ПК-45 с вышки и линзового прожектора с  $D=250$  м.м. За окном напросвет окон дуговые прожекторы с  $D=500$  м.м с рас-

сенвающими стеклами и КП-45 с лампами 3 квт на узком луче. Остальные приборы работают „на проход“ отца и создают общее освещение сцены.

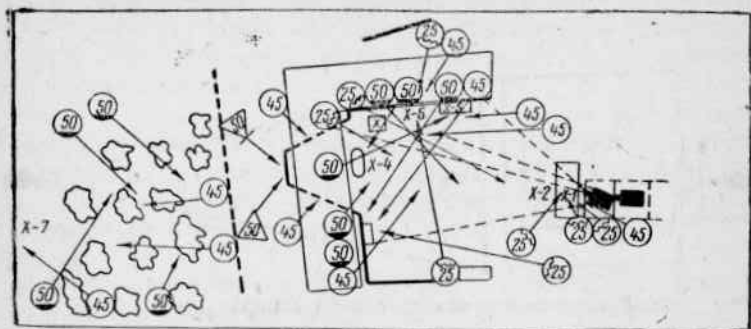


Рис. 127а. Расположение осветительной аппаратуры  
Масштаб 1:200



Рис. 127б. Фотография снятого кадра из фильма „Степ и сын“

На рис. 127б приведена фотография снятого кадра. Освещенность (в вертикальной плоскости) лиц актеров (№ 1) — 17 400 лк, (№ 2) — 15 800 лк, фона за окном (№ 7) — 2100 лк и горизонтальная освещенность пола (№ 4) — 8300 лк.

### § 26. Особенности освещения при натуральных съемках

В условиях натуральных съемок общее освещение создается как светом солнца, так и равномерным рассеянным светом небосвода, а также поверхностей, находящихся вблизи снимаемых предметов. Направленное освещение осуществляется прямым солнечным светом, к которому добавляют освещение от осветительных приборов направленного действия. Кроме того для ряда эффектов направленного освещения используют специальные отражатели.

Для подсветки днем при натуральных съемках используют преимущественно линзовые прожекторы с мощными дуговыми лампами интенсивного горения. При ночных съемках на натуре большое распространение получили приборы направленного освещения с лампами накаливания.

Для создания разных эффектов, устранения теней, изменения направления падающих лучей широко применяются разного рода отражатели, представляющие деревянные щиты, покрытые станиолем или алюминием, а также зеркала. Размеры указанных щитов различны, начиная от  $700 \times 1000$  мм и больше. Некоторое применение получили также стеклянные и металлические вогнутые зеркала. Наконец, для натурального освещения характерно применение различных рассеивающих сеток, дисков, тентов и пр. Рассмотрим основные свойства солнечного света, которые необходимо учитывать при киносъемках на натуре.

Солнце является старейшим источником света, используемым для целей киносъемки. В настоящее время считают, что солнце представляет собой газовый шар диаметром 1 392 000 км. Температура поверхностного слоя солнца, так называемой фотосферы, в зависимости от способа измерения дает величину от 5750 до 6170° абсолютной шкалы. Для практических расчетов температуру поверхностного слоя солнца принимают равной 6000° абс.

Солнце является температурным излучателем, близким к абсолютно черному телу. Это следует из рассмотрения кривой 1 распределения энергии (рис. 128) в солнечном спектре вне атмосферы и кривой 2, характеризующей распределение энергии в спектре абсолютно черного тела, нагретого до температуры 6000° абс. Солнечное излучение селективно поглощается и рассеивается земной атмосферой. В зависимости от места земного шара и времени дня солнце находится на различной высоте над горизонтом, поэтому солнечные лучи, попадающие на землю, проходят в атмосфере путь разной длины (рис. 129). Если длину пути, проходимую лучами солнца, стоящего в зените (высота солнца = 90°), принять за единицу, то длина пути солнечных лучей при меньших углах высоты солнца определяется данными табл. 71.

Таблица 71

| Высота солнца                       | 90° | 80°  | 70°  | 60°  | 50°  | 40°  | 30° | 20° | 10° | 5°   | 3°    | 1°    | 0°    |
|-------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|
| Длина пути в относительных единицах | 1,0 | 1,02 | 1,06 | 1,15 | 1,30 | 1,55 | 2,0 | 2,9 | 5,5 | 10,4 | 15,36 | 26,96 | 35,40 |

Так как поглощение и рассеяние слоями атмосферы солнечного излучения зависит от толщины атмосферы, то легко видеть, что качественные и количественные изменения в спектре излучений солнца, доходящих до земной поверхности, будут тем больше, чем меньше высота солнца.

Атмосферный воздух в чистом виде (а также углекислота), как показывают исследования, относительно мало поглощает лучистый поток, излучаемый солнцем, и преимущественно рассеивает этот поток.

В табл. 72 приведены данные о спектральном составе солнечной радиации при различных высотах солнца.

Таблица 72

| Высота солнца | Распределение энергии в частях спектра (в %) |         |        |         |
|---------------|----------------------------------------------|---------|--------|---------|
|               | синие-зеленый                                | зеленый | желтый | красный |
| 90            | 18                                           | 24      | 26     | 32      |
| 80            | 18                                           | 24      | 26     | 32      |
| 70            | 17                                           | 24      | 27     | 32      |
| 60            | 17                                           | 24      | 27     | 32      |
| 50            | 17                                           | 23      | 28     | 32      |
| 40            | 16                                           | 23      | 28     | 34      |
| 30            | 14                                           | 22      | 28     | 35      |
| 20            | 14                                           | 22      | 28     | 39      |
| 15            | 10                                           | 20      | 28     | 42      |
| 10            | 7                                            | 17      | 29     | 47      |
| 7             | 4                                            | 13      | 28     | 55      |
| 5             | 3                                            | 9       | 26     | 62      |
| 4             | 2                                            | 8       | 23     | 67      |
| 3             | 0                                            | 3       | 19     | 73      |
| 2             | 0                                            | 0       | 18     | 82      |

Легко видеть, что при изменениях высоты солнца от 50 до 90° спектральный состав солнечного света изменяется сравнительно мало. Следовательно, в полуденные часы спектральный состав солнечного света на экваторе (высота 90°) и в средней и южной частях СССР (высота 50°) будет примерно одинаковым.

При малых высотах солнца ультрафиолетовая радиация заметно уменьшается, зеленые лучи также поглощаются атмосферой, зато относительно инфракрасное излучение увеличивается.

Основное влияние на поглощение атмосферы оказывает наличие водяного пара, озона и пыли\*. Водяные пары наиболее интенсивно поглощают

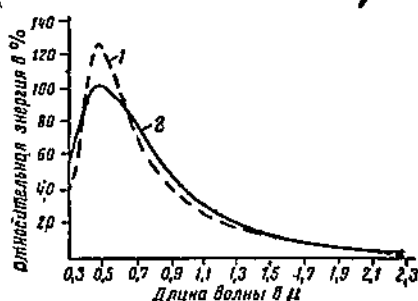


Рис. 128. Спектр солнечного света

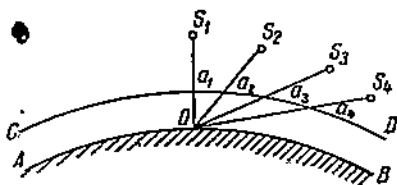


Рис. 129. Прохождение солнечных лучей через атмосферу

длинноволновую часть спектра (вызывая потерю лучистого потока примерно до 17%). В противоположность водяным парам озон поглощает преимущественно коротковолновую часть спектра.

Пыль атмосферы состоит в основном из так называемой наземной пыли и весьма незначительного количества космической и вулканической пыли. Особо большое влияние на прохождение лучистого потока солнца через атмосферу оказывает пыль земного происхождения (обломки пород и т. п.) и пыль городов (сажа, отбросы производства и т. д.)

Количество пыли резко уменьшается над морем. Так, Н. Калигин на расстоянии 26 км от берега (г. Феодосия) наблюдал уменьшение числа пылинок в 1 см<sup>3</sup> воздуха почти в 50 раз.

С высотой запыленность воздуха также резко падает, уменьшаясь в 2000 раз на высоте в 6 км (по данным Виганда). Зимой количество пыли в воздухе заметно падает, исключая крупные города, где задымленность воздуха в зимние месяцы по сравнению с летними месяцами несколько возрастает за счет продуктов топки печей.

Пыль воздуха поглощает лучистую энергию солнца и одновременно рассеивает солнечные лучи, проходящие через атмосферу.

Наряду с пылью в рассеянии лучистого потока солнца участвуют частицы воды, льда, а также и молекулы газов, составляющих воздух.

В соответствии с законом Релея, по которому рассеяние лучистой энергии обратно пропорционально длине волны света в четвертой степени, в чистой атмосфере наблюдается значительное рассеяние коротких

\* В разных местах земного шара чистый воздух обладает большим постоянством состава, являющимся результатом перемешивания нижних частей атмосферы воздушными течениями, и состоит из азота (78% по объему), кислорода (20,99%), аргона (0,937%), криптона (0,0061%), ксенона (0,000095%), неона (0,0015%), гелия (0,00015%) и водорода (0,01%).



лучей видимого спектра. Это видно из данных табл. 73, в которой рассеяние света с длиной волны 700  $\mu$  принято равным единице.

Таблица 73

| Цвет             | Длина волны ( $\mu$ ) | Относительная величина рассеянной энергии |
|------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| Красный          | 0,700                 | 1,0                                       |
| Оранжевый        | 0,620                 | 1,6                                       |
| Желтый           | 0,570                 | 2,2                                       |
| Зеленый          | 0,520                 | 3,3                                       |
| Синий            | 0,470                 | 4,9                                       |
| Фиолетовый       | 0,440                 | 6,4                                       |
| Ультрафиолетовый | 0,410                 | 8,5                                       |
| "                | 0,375                 | 12,0                                      |
| "                | 0,350                 | 15,9                                      |
| "                | 0,325                 | 21,3                                      |
| "                | 0,310                 | 26,0                                      |
| "                | 0,300                 | 30,0                                      |

При наличии в воздухе частиц с размерами, превосходящими 0,35  $\mu$ , рассеяние уже не подчиняется закону Релея. В зависимости от величины частиц рассеяние происходит обратно пропорционально третьей и второй степени длины волны, а для крупных частиц диаметром, большим 1,2  $\mu$ , рассеяние не зависит от длины волны.

В результате максимум рассеяния передвигается в более длинноволновую часть спектра, поэтому небо становится белесоватым, а не синим, как для чистого и сухого воздуха.

Пыль воздуха способствует конденсации водяных частиц и образованию облаков и туманов, которые обладают отмеченным не подчиняющимся закону Релея рассеянием. В результате облачное небо, в противоположность безоблачному, излучает рассеянный свет с преобладанием в области длинных волн. На рис. 130 представлены характеристики излучения безоблачного неба 1 и неба, покрытого облаками, 2. Энергия излучения безоблачного неба зависит от высоты солнца над горизонтом, прозрачности атмосферы и отражения земной поверхности. Ряд измерений показывает, что энергия рассеянного излучения безоблачного неба составляет 10 и более процентов от энергии излучения солнца для высоты его около 50°, т. е. наших широт. Эта величина значительно возрастает при плохой прозрачности атмосферы.

Влияние высоты солнца сильно сказывается на изменении рассеянного излучения неба. Для примера приведем кривую 1 (рис. 131), построенную на основании данных М. Гущиной (опыты в г. Слуцке). Мы видим, что при малых углах радиация безоблачного неба сильно изменяется, при высотах солнца более 40° радиация практически постоянна.

Влияние отражающей поверхности земли заключается в том, что отраженная от земного покрова лучистая энергия солнца падает вверх в атмосферу, которая часть этой энергии рассеивает, увеличивая общую радиацию неба. На рис. 131 приведена кривая 2, построенная на основании данных М. Гущиной для случая наличия снежного покрова. Сравнивая кривые 1 и 2, мы видим, что при малых высотах солнца влияние снежного покрова особенно велико, при больших углах становится меньше и почти не изменяется.

В процессе рассеяния лучистого потока солнца атмосферой имеет место перераспределение спектрального состава рассеянного света. Это видно из рис. 132, где кривая 1 дает зависимость интенсивности коротковолновой радиации от высоты солнца, а кривая 2 — интенсивность общей радиации безоблачного неба в той же зависимости.

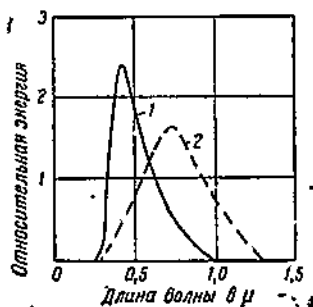


Рис. 130. Характеристика излучения безоблачного неба и неба, покрытого облаками

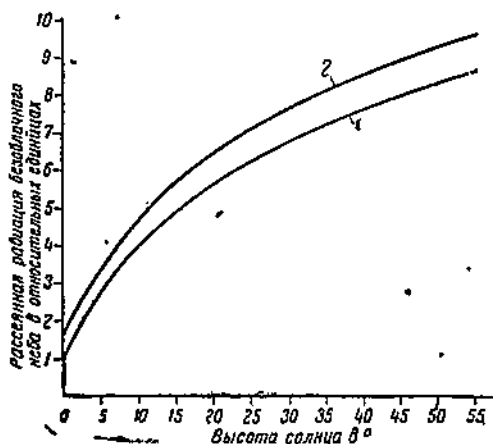


Рис. 131. Влияние высоты солнца на рассеянное излучение неба

Облачное небо, как указывалось выше, значительно увеличивает рассеянную радиацию атмосферы, причем это увеличение относительно меньше для неплотных облаков (типа перистых) и особенно значительно для высококучевых, кучевых или кучево-дождевых облаков. Рассеянная

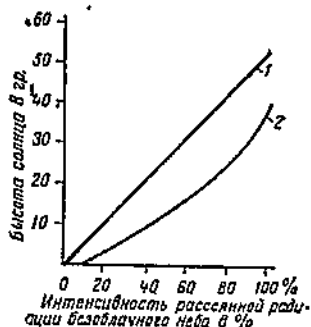


Рис. 132. Перераспределение излучения вследствие рассеянной радиации

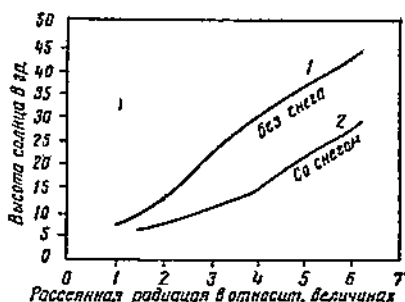


Рис. 133. Энергия рассеянной радиации в зависимости от наличия снежного покрова

радиация атмосферы претерпевает сильные изменения в зависимости от состояния последней и высоты солнца. При этом следует подчеркнуть, что величина рассеянной энергии может достигнуть достаточно больших значений. И если для безоблачного неба энергия рассеянной радиации

составляет 8—10% от энергии излучения солнца, то в зависимости от характера облачности эта величина может подняться до нескольких десятков процентов.

Состояние поверхности земли может значительно изменить величину рассеянной радиации атмосферы; так, снежный покров может увеличить рассеянную радиацию атмосферы на 100 и более процентов.

Для характеристики влияния снежного покрова на рассеянную радиацию атмосферы на рис. 133 приведены кривые зависимости энергии рассеянной радиации от высоты солнца для случая неба, полностью покрытого облаками, при отсутствии снега на земной поверхности — кривая 1 и при наличии снежного покрова — кривая 2.

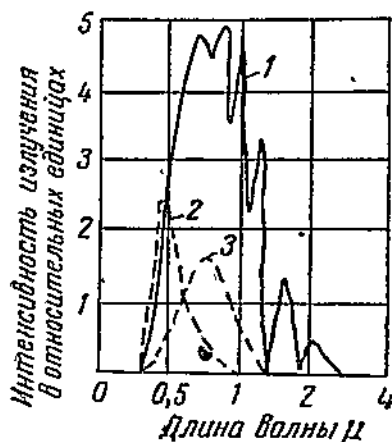


Рис. 134. Энергия излучения солнца и рассеянной атмосферой лучистого потока

Суммарная энергия излучения и его спектральный состав вследствие радиации солнца и рассеянного атмосферой лучистого потока изменяются в зависимости от координат места и времени и от состояния погоды. Представление о спектральном и количественном соотношении этих видов излучения можно получить из рис. 134, где кривая 1 относится к лучистой энергии, излучаемой солнцем, кривые 2 и 3 — к излучению голубого и облачного неба.

Освещенность, создаваемая непосредственно лучами солнца, а также освещенность, вызванная рассеянным светом неба и облаков, зависит от времени года, часа суток и высоты стояния солнца.

На рис. 135а приведен суточный ход освещенности солнечными лучами горизонтальной поверхности на широте г. Ленинграда (в г. Слуцке)\* Как видно, наибольшая освещенность имеет место в июле — 65 000 лк против 5 000 лк в январе в 12 часов дня. В утренние и послеобеденные часы наблюдается значительное уменьшение освещенности. Зависимость освещенности от высоты стояния солнца представлена на рис. 135б по данным М. Былова для г. Слуцка на основе многолетних исследований. Кроме прямых лучей солнца в освещенности земли участвует рассеянный свет от безоблачного неба или облаков. Рассеянный свет будет интенсивнее, чем больше высота солнца (длиннее путь в рассеивающей среде), чем больше засорение атмосферы пылью, водяными каплями и другими рассеивающими частицами и чем больше коэффициент отражения земного покрова.

В табл. 74 приведены данные, характеризующие освещенность, создаваемую безоблачным небом при растительном покрове земной поверхности и при наличии снежного покрова. Увеличение освещенности за

\* Следует отметить, что вопросами измерения освещенности в различных местах земного шара интересовались лишь в последнее время. В СССР основные измерения были проведены в г. Слуцке.

Таблица 74

| Высота солнца (в °)        |           | 0   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   |
|----------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Освещенность (в тыс. люкс) | без снега | 0,5 | 2,7 | 4,6 | 6,1 | 7,3 | 8,4 | 9,5  | 10,6 | 11,6 | 12,6 | 13,6 | 14,5 |
|                            | со снегом | 1,6 | 4,0 | 5,8 | 7,2 | 8,5 | 9,6 | 10,8 | 11,9 | 12,9 | 14,0 | 14,9 | 15,9 |

счет снежного покрова (особенно заметное при малой высоте солнца) является следствием вторичного рассеяния атмосферой отраженных от снега световых лучей.

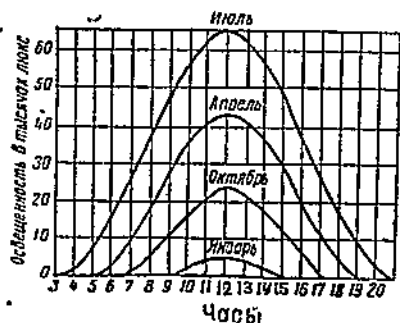


Рис. 135а. Суточный ход освещенности на открытом воздухе

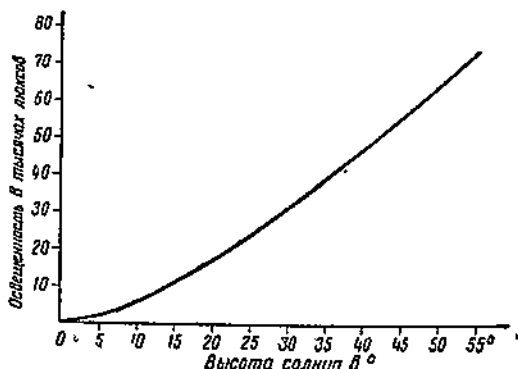


Рис. 135б. Зависимость освещенности от высоты стояния солнца

Облака создают сильное рассеяние в атмосфере и вызывают в общем значительное увеличение освещенности земной поверхности. Влияние разного типа облаков при различном состоянии неба (наполнину и полностью покрытого облаками) можно видеть из табл. 75, в которой приведены данные для высоты солнца в 20 и 50°.

Если облака находятся низко и очень плотны, общая освещенность земной поверхности уже не увеличивается, а уменьшается. Это наблюдается обычно на севере зимой при низкой высоте солнца, а также и летом при больших высотах солнца и при прохождении грозных облаков. Так же, как и при безоблачном небе, наличие снежного покрова земли значительно увеличивает освещенность, создаваемую рассеянным светом атмосферы. Это можно видеть, например, из рис. 135с, где кривая 1 дает зависимость освещенности рассеянным светом атмосферы без снежного покрова земли, а кривая 2 отвечает наличию снежного покрова. Мы видим, что снежный покров может увеличить освещенность в два и более раза, а особенно при большей высоте солнца.

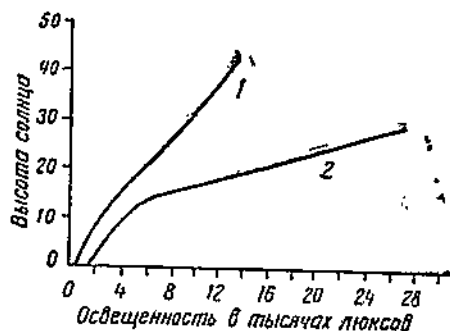


Рис. 135с. Влияние снежного покрова на освещенность

Таблица 75

| Форма облаков | Освещенность при безоблачн. небе (в тыс. люксов) | 5 баллов               |                | 10 баллов              |                |
|---------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
|               |                                                  | освещ. (в тыс. люксов) | 0/0 увеличения | освещ. (в тыс. люксов) | 0/0 увеличения |

## При высоте солнца 20°

|                           |     |      |    |      |     |
|---------------------------|-----|------|----|------|-----|
| Перистые . . . . .        | 7,3 | 8,1  | 11 | 10,0 | 37  |
| Перисто-кучевые . . . . . | 7,3 | 9,6  | 32 | 14,2 | 195 |
| Высоко-кучевые . . . . .  | 7,3 | 10,4 | 42 | 15,3 | 10  |
| Слоисто-кучевые . . . . . | 7,3 | 10,9 | 49 | 11,4 | 56  |
| Кучево-дождевые . . . . . | 7,3 | 10,4 | 42 | 7,7  | 5   |
| Кучевые . . . . .         | 7,3 | 11,3 | 55 | 10,0 | 37  |

## При высоте солнца 50°

|                           |      |      |     |      |     |
|---------------------------|------|------|-----|------|-----|
| Перистые . . . . .        | 13,6 | 16,8 | 24  | 26,3 | 101 |
| Перисто-кучевые . . . . . | 13,6 | 21,3 | 57  | 32,0 | 135 |
| Высоко-кучевые . . . . .  | 13,6 | 27,6 | 103 | 33,6 | 147 |
| Слоисто-кучевые . . . . . | 13,6 | 22,5 | 65  | 34,5 | 154 |
| Кучево-дождевые . . . . . | 13,6 | 24,3 | 79  | 23,5 | 74  |
| Кучевые . . . . .         | 13,6 | 22,5 | 65  | 24,0 | 76  |

Общая освещенность земной поверхности создается освещенностью непосредственно солнечными лучами (если солнце не закрыто облаками) и рассеянной освещенностью от атмосферы. Суммарная освещенность может изменяться в значительных пределах, причем процент солнечной и рассеянной освещенности изменяется в зависимости от высоты солнца. Из приводимой табл. 76, полученной для безоблачного неба М. Было-

Таблица 76

| Освещенность (в тыс. люксов) | Высота солнца (в°) |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|--------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              | 0                  | 5   | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   |
| Солнечная . . . . .          | 0                  | 1,5 | 5,8  | 11,7 | 17,7 | 24,6 | 32,3 | 39,4 | 46,2 | 55,5 | 63,4 | 72,4 |
| Рассеянная . . . . .         | 0,5                | 2,7 | 4,6  | 6,1  | 7,3  | 8,4  | 9,5  | 10,6 | 11,6 | 12,6 | 13,6 | 14,5 |
| Суммарная . . . . .          | 0,5                | 4,2 | 10,4 | 17,8 | 25,0 | 33,0 | 41,8 | 50,0 | 57,8 | 68,1 | 77,0 | 86,9 |
| Процент солнечной . . . . .  | 0                  | 36  | 56   | 66   | 71   | 75   | 77   | 79   | 80   | 81   | 82   | 83   |
| Процент рассеянной . . . . . | 100                | 64  | 44   | 34   | 29   | 25   | 23   | 21   | 20   | 19   | 18   | 17   |

вым для г. Слуцка, видно, что при восходе солнца имеет место только рассеянная освещенность; при увеличении высоты солнца процент освещенности, создаваемой солнечными лучами, увеличивается. Наличие облаков, как отмечалось уже, сильно увеличивает освещенность от рассеянного света атмосферы. Поэтому, если солнце не закрыто облаками, то суммарная освещенность земной поверхности может достичь огромных величин порядка 130 000 лк для наших широт и 150 000 лк для южных мест. При этом для высоты солнца в 50° около 50% суммарной освещенности создается прямыми лучами солнца и около 50% — рассеянным светом атмосферы.

В табл. 77 приведены значения освещенностей в районе Москвы (г. Мытищи) согласно данным П. А. Чудакова. Табл. 77 дает средние освещенности (в тысячах люксов), измеренные в прямом солнечном свете, а в табл. 78 приведены средние освещенности (в тысячах люксов), измеренные в рассеянном свете (тень)\*.

Таблица 77

| Месяцы             | Освещенность при солнечном свете в часы |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                    | 10                                      | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Апрель . . . . .   | 34                                      | 38   | 37   | 39,5 | 41,5 | 35   |
| Май . . . . .      | 46                                      | 48   | 52   | 56   | 56   | 50   |
| Июнь . . . . .     | 47,5                                    | 49   | 53,5 | 54   | 55   | 52   |
| Июль . . . . .     | 56                                      | 57,5 | 61   | 63   | 61,5 | 55   |
| Август . . . . .   | 40                                      | 45   | 43   | 52   | 50   | 43   |
| Сентябрь . . . . . | 36                                      | 40   | 41   | 40   | 39   | 39   |
| Октябрь . . . . .  | 32                                      | 40   | 50,5 | 42,5 | 37,5 | 25   |
| Декабрь . . . . .  | 31                                      | 39   | 47   | 41   | 36   | 21,5 |

Таблица 78

| Месяцы   | Освещенность в тени в часы |      |      |      |      |      |
|----------|----------------------------|------|------|------|------|------|
|          | 10                         | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Апрель   | 15                         | 17   | 17,5 | 21,5 | 22   | 18,5 |
| Май      | 15                         | 16   | 18   | 19   | 20   | 19   |
| Июнь     | 16                         | 17,5 | 18,5 | 20   | 21   | 19   |
| Июль     | 18,5                       | 19   | 20   | 20,5 | 22,5 | 22   |
| Август   | 16,5                       | 18   | 20   | 21,5 | 20,5 | 19   |
| Сентябрь | 16,5                       | 17,5 | 19,5 | 20,5 | 20   | 17   |
| Октябрь  | 20                         | 29   | 37,5 | 30   | 21   | 13,5 |
| Декабрь  | 21                         | 29   | 35,5 | 31   | 20   | 14   |

## § 27. Особенности освещения при цветных съемках

Принцип освещения при съемке цветных фильмов не отличается от изложенных выше для съемки черно-белых картин. При этом задачи художественного освещения при цветных киносъемках в некоторой части облегчаются тем, что цвет значительно способствует созданию эффекта глубины. Поэтому может быть применено более плоское освещение сцены при сравнительно небольшой освещенности, создаваемой приборами заднего освещения. Зато задачи, стоящие перед техникой освещения, при съемке цветных фильмов значительно более сложны, чем для обычных случаев киносъемочного освещения. Возникающие трудности связаны с двумя основными особенностями освещения при съемках цветных фильмов: 1) необходимостью постоянства спектрального состава света источников света, 2) требованием значительных освещенностей снимаемых цветных объектов.

\* Измерения освещенности были проведены в 1933 г., за исключением октября, января, февраля и марта.

## 1. Спектральный состав источников света для цветной киносъемки

Применяемые в настоящее время методы цветной киносъемки основываются преимущественно на получении последовательно (мультипликация) или одновременно (обычная киносъемка) трех цветоделенных негативов. Последние представляют собой три черно-белых негативных изображения объекта, снятых через соответствующие фильтры, которые пропускают определенную область спектра. Свет, попадающий в объектив, встречает на своем пути специальную расщепляющую систему („кубик“) и частично проходит через нее и через зеленый светофильтр, фиксируя на отдельной пленке так называемое „зеленое“ изображение объекта.

Другая часть света, отражаясь от кубика через „минус-зеленый“ светофильтр, попадает на „бипак“, представляющий две пленки, сложенные эмульсиями друг к другу. Передняя пленка („фронтфильм“) имеет обычную несенсибилизированную эмульсию, которая покрыта слоем красного светофильтра. Задняя пленка („рюкфильм“), чувствительная к красным лучам, выбирается панхроматического типа. Свет, проходя через целлулоидную подложку передней пленки, попадает на ее эмульсию, образуя „синее“ изображение, и затем, пройдя через нее и красный фильтрующий слой, фиксирует „красное“ изображение на „рюкфильме“.

Очевидно, что такая цветоделительная система должна обуславливать большие потери света, в частности цветоделительная система советской съемочной камеры ЦКС-1 (светорасщепительный кубик, цветоделительные фильтры, эмульсия фронтфильма, бипака) поглощает до 93% света, попадающего в объектив.

Наиболее распространенные методы цветной кинематографии требуют для правильной передачи цветов, чтобы все три цветоделенных негатива были сбалансированы; иными словами, они должны иметь равный контраст и примерно равные оптические плотности при съемке бесцветных объектов.

Баланс негативов осуществляется для одного источника света с определенным спектральным излучением. Обычно в качестве такого источника света берут средний солнечный дневной свет с цветовой температурой около 4800° абс. Такой источник света является „белым“, и освещенная им бесцветная поверхность на пленке передается без всякой цветности. Ориентировка именно на эту цветную температуру объясняется, с одной стороны, тем, что наиболее выгодно с точки зрения экономической снимать при дневном свете и такого рода съемки наиболее распространены, а с другой — что дневной свет по своему спектральному составу является средним между светом ламп накаливания и дуговых ламп; следовательно, фильтры для подгонки спектра этих источников света к спектру дневного света не должны обладать большой кратностью.

Для источников света с другим спектральным излучением применяются специальные компенсационные светофильтры, которые приводят спектральный состав этих источников света к спектральному составу среднего дневного света. Если снимать бесцветные предметы при освещении этими источниками света без компенсационных фильтров, предметы получаются на позитиве цветными.

В НИКФИ были найдены допустимые отклонения плотности цветоделенных негативов от балансных. Критерием допустимости отклонения плотностей являлись съемка серого объекта и проекция полученного гидротипным способом позитива на экран без обнаружения цветности изображения.

Допустимые отклонения плотностей от балансных составляют для „синего“ негатива  $\pm 0,08$ , для „зеленого“ негатива  $\pm 0,065$ , для „красного“ негатива  $\pm 0,05$ . Это отвечает допустимым колебаниям цветовой температуры при съемке цветных фильмов от  $-480$  до  $+880^\circ \text{K}$ .

Исходя из условия правильности цветопередачи при съемке цветных объектов в настоящее время считают возможным колебание цветовой температуры источников света при съемке от средней цветовой температуры  $-500$  (меньше на  $500^\circ$ ) и  $+800$  (больше на  $800^\circ$ )\*. Такие довольно значительные допуски цветовой температуры позволяют осуществлять съемки в разнообразных условиях при относительно небольшом числе компенсационных светофильтров несмотря на большие колебания цветовой температуры. Таким образом допустимый для цветных киносъемок спектральный состав источников освещения определяется довольно значительным интервалом цветовых температур от  $4300$  до  $5600^\circ \text{K}$ . Нужно отметить, что цветная температура солнечного света не является постоянной.

Высота солнца, облачность, прозрачность атмосферы, широта местности, цвет неба оказывают большое влияние на цветовую температуру. Спектральный состав солнечного света особенно сильно изменяется при низкой высоте солнца (см. табл. 72).

При грозовых облаках, после дождя, при дымке и при более низком стоянии солнца имеют место скачки цветовой температуры.

Для иллюстрации изменений цветовой температуры дневного света в различное время дня в разные месяцы для некоторых мест Советского Союза приводим данные табл. 79.

Можно принять, что средняя цветовая температура в Ялте составляет  $5200-5400^\circ$ , в Москве — около  $4800^\circ$ . Повышение цветовой температуры для Ялты объясняется более синим цветом южного неба, отсутствием пыли в воздухе. В общем следует считать, что при натурной съемке цветовая температура дневного света может изменяться от  $3500$  до  $9000^\circ \text{K}$ . Чтобы изменения цветовой температуры не были значительны, следует ограничить отрезок времени дня, когда можно производить

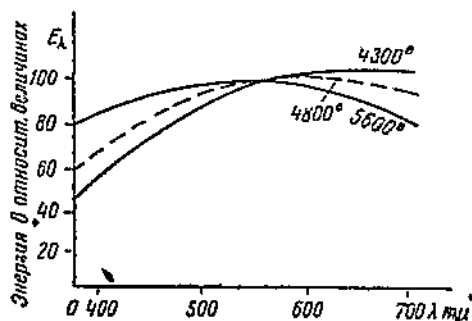


Рис. 136. Распределение энергии в спектре солнечного света при разных цветовых температурах

\*Эти допуски могут быть еще больше, если имеет место так называемый последовательный контраст, когда между двумя планами, снятыми при разных цветовых температурах источников освещения, смонтирован отличный по цвету или темный кадр.



Таблица 79

| Место измерения | Месяц          | Часы  | Состояние неба                                                         | Цветовая температура (°K) |
|-----------------|----------------|-------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Москва          | 8/VII 1939 г.  | 9—30  | Безоблачно . . . . .                                                   | 4800                      |
| "               | "              | 14    | " . . . . .                                                            | 5200                      |
| "               | "              | 17    | " . . . . .                                                            | 5000                      |
| "               | 14/VII 1939 г. | 17—30 | Легкие облака . . . . .                                                | 5300                      |
| "               | 23/V           | 12—30 | Солнце, кучевые облака . . . . .                                       | 5600                      |
| "               | 27/V           | 13    | Безоблачно . . . . .                                                   | 5400                      |
| "               | "              | 14—45 | Легкие облака . . . . .                                                | 4800                      |
| "               | 20/VI          | 10    | Дымка . . . . .                                                        | 4200                      |
| "               | "              | 14    | На небе „молоко“ . . . . .                                             | 6200                      |
| "               | 14/VII         | 10    | Безоблачно . . . . .                                                   | 5000                      |
| "               | 7/VIII         | 9     | Много кучевых облаков . . . . .                                        | 4800                      |
| "               | "              | 12    | Все небо затянуто облаками, солнце в просветах . . . . .               | 5300                      |
| "               | 15/XI          | 10    | Туман . . . . .                                                        | 7500                      |
| "               | "              | 13    | Облачно, очень пасмурно . . . . .                                      | 7200                      |
| Одесса          | 30, VI 1940 г. | 13    | Солнце за облаками, на небе тучи . . . . .                             | 8000                      |
| "               | 2, V           | 12    | Очень ясно после дождя (измерен. в парке у моря) . . . . .             | 6200                      |
| "               | "              | 17—45 | Ясно, безоблачно . . . . .                                             | 5000                      |
| "               | 3, V           | 13    | Очень легкое прозрачное „молоко“ . . . . .                             | 5400                      |
| "               | "              | 13—40 | Более плотное „молоко“ . . . . .                                       | 6200                      |
| "               | "              | 13—45 | То же (промер в тени) . . . . .                                        | 7200                      |
| Ялта            | 9/VIII         | 10    | Легкий слой облаков, просветы солнца . . . . .                         | 6000                      |
| "               | "              | 12    | 100% облаков . . . . .                                                 | 5300                      |
| "               | "              | 14    | То же . . . . .                                                        | 5200                      |
| "               | 7/VIII         | 13    | Промеры в декорации . . . . .                                          | 5300                      |
| "               | "              | 14    | Солнце с небольшим количеством белых облаков . . . . .                 | 5200                      |
| "               | "              | 15    | То же . . . . .                                                        | 5200                      |
| "               | "              | 17—30 | То же . . . . .                                                        | 5000                      |
| "               | 10/VIII        | 13—40 | Прямое солнце на небе, 200% белых облаков . . . . .                    | 5200                      |
| "               | "              | 15    | То же . . . . .                                                        | 5100                      |
| "               | "              | 16    | То же . . . . .                                                        | 5100                      |
| "               | 5/VIII         | 10    | Безоблачно, промеры у моря . . . . .                                   | 5500                      |
| "               | "              | 12    | То же . . . . .                                                        | 5800                      |
| "               | "              | 14    | Безоблачно, пром. у моря . . . . .                                     | 5400                      |
| "               | "              | 17    | То же . . . . .                                                        | 5000                      |
| "               | 6/IX           | 6—08  | Небо в облаках, солнце в разрывах очень низко над горизонтом . . . . . | 3600                      |
| "               | "              | 6—40  | Небо в облаках, солнце в разрывах очень низко над горизонтом . . . . . | 4000                      |
| "               | "              | 7—15  | То же . . . . .                                                        | 4200                      |
| "               | "              | 7—50  | То же . . . . .                                                        | 4400                      |
| "               | "              | 8     | Солнце закрыто облаками . . . . .                                      | 5800                      |

съемки. Считают, что освещением, не требующим контроля и применения компенсационных светофильтров, является солнечное освещение в средних широтах в промежутки времени от 3 часов после восхода солнца до 3 часов до захода солнца.

На рис. 136 изображены кривые распределения энергии в спектре дневного света при цветовых температурах соответственно в 4300, 4800 и 5600°. Всякий источник света, применяемый при киносъемке, должен обеспечивать световое излучение с кривой распределения энергии в спектре, лежащей в пограничных пределах графика (см. рис. 136).

При съемках в ателье цветовая температура света, освещающего декорацию, изменяется в зависимости от количества, мощности, расположения, типа источников света и электрического их режима.

В главе III были показаны характеристики излучения применяемых при съемке источников света, которые отличны от характеристик среднего дневного света с допустимыми отклонениями цветовой температуры. Чтобы привести спектральные характеристики этих источников света к цветовой температуре солнца, в СССР применяются компенсационные фильтры, разработанные НИКФИ. Они рассчитаны для некоторого интервала цветовых температур источников света таким образом, что отфильтрованный ими свет имеет цветовую температуру, находящуюся в пределах допусков для цветовой температуры дневного света.

В табл. 80 представлены данные компенсационных фильтров, а рис. 137 изображает спектральные характеристики этих фильтров.

Таблица 80

| Название свето-<br>фильтра | Назначение светофильтра                                     | Интервал цветовой темпе-<br>ратуры источников света, в<br>пределах которой можно<br>применять светофильтр |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ДИГ                        | Дуги интенсивного горения                                   | *                                                                                                         |
| КС                         | Пламенные дуги, угли «КС»                                   | *                                                                                                         |
| ЛН                         | Мощные лампы накаливания                                    | 3200—3900                                                                                                 |
| ДС-1                       | Дневной свет с температурой<br>4000° К . . . . .            | 3600—4500                                                                                                 |
| ДС-2                       | Дневной свет с цветовой темпе-<br>ратурой 6200° К . . . . . | 5400—7600                                                                                                 |
| ДС-3                       | То же 9000° К . . . . .                                     | 7000—12000                                                                                                |

При смешанном освещении лампами накаливания и дуговыми на снятых объектах при проекции обнаруживаются окрашенные блики и тени. Для устранения этого каждый осветительный прибор необходимо снабжать компенсационным фильтром. При съемках цветных фильмов на натуре с подсветкой все применяемые осветительные приборы должны быть снабжены компенсационными светофильтрами.

Если же съемка производится на натуре без подсветки или же при однородных источниках света, компенсационный светофильтр может быть

\* К лампам дуговым понятие цветовой температуры может быть применено лишь с ограничениями, так как спектр дуги не является непрерывным, а спектральная характеристика ее зависит от введенных в угли примесей. Поэтому при работе с дуговыми лампами—применять фильтры, приводящие его излучение приближению к серому.

установлен в фильтродержателе съемочной камеры перед объективом. Так, если освещение осуществляется только осветительными приборами с лампами накаливания (рекомендуется для повышения цветовой темпе-

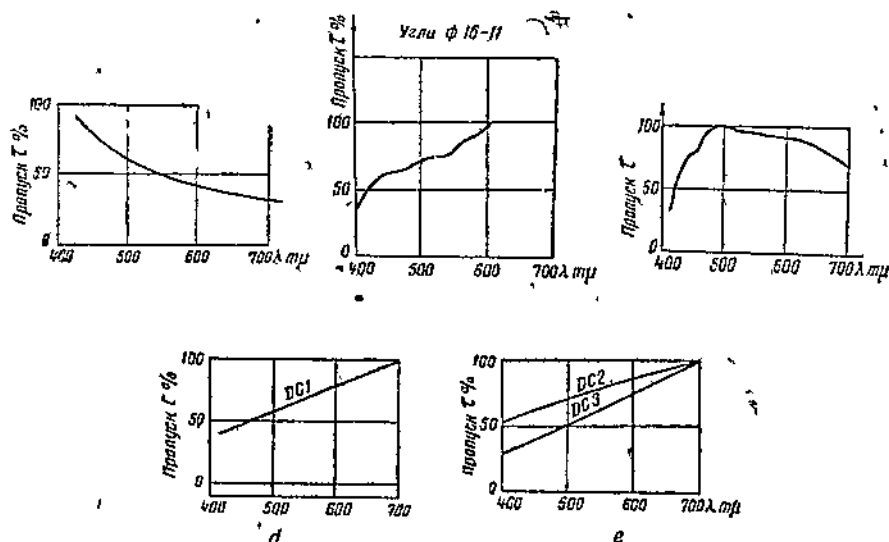


Рис. 137а, б, с, d, e—характеристики пропускания компенсационных фильтров для цветной киносъемки

ратуры давать перекал  $100\%$ ), то фильтр ЛН ставится перед камерой. При освещении исключительно дугowymi лампами интенсивного горения в камере устанавливается фильтр ДИГ. Неудобства компенсационных фильтров заключаются в том, что они вызывают потерю света и кроме того довольно часто портятся (при установке на осветительные приборы). За последнее время сделаны попытки изменить спектральные характеристики излучения дуговых ламп с целью приближения их к спектральным характеристикам дневного света.

Улучшение углей для дуг интенсивного горения в отношении приближения их спектральной характеристики к спектру дневного света может быть произведено, как показали исследования, путем введения в состав фтиля угля кальция, марганца и бария. Наилучший эффект дают угли с примесью кальция. Следует отметить, что введение кальция в состав углей интенсивного горения приводит к некоторому уменьшению глубины кратера и падению его яркости. Однако в условиях цветных киносъемок это не имеет большого значения, так как в случае применения обычных углей интенсивного горения приходится применять компенсационные светофильтры, в которых теряется около  $20\%$  света.

На рис. 138 представлены спектральные характеристики излучения обычной дуги интенсивного горения (кривая 1), интенсивной дуги при углях с 3 и  $60\%$  кальция (кривые 2 и 3) и дневного света при цветовой температуре  $5000^\circ\text{K}$  (кривая 4).

В американской практике съемки цветных фильмов за последнее время начали применяться белопламенные дуги, представляющие собой дуго-

вые лампы ризкой интенсивности и не требующие компенсационных фильтров при киносъемке. Кроме компенсационных фильтров при цветных съемках могут быть применены эффектные фильтры, дающие специальное цветное освещение для получения определенного эффекта при съемке.

Сказанное выше в отношении цветовой температуры и применения фильтров при съемке цветных фильмов приводит к необходимости измерять цветовую температуру перед киносъемкой.

При этом опыт показывает, что измерение цветовой температуры необходимо проводить с точностью порядка  $\pm 300^\circ \text{K}$ .

Для измерения цветовой температуры в условиях киносъемки применяются три способа: определение цветовой температуры с помощью цветных таблиц по методу „синие-красного отношения“ и нахождение цветовой температуры с помощью пирометрического клина.

Первый метод требует производства съемки и обработки пленки и потому представляет некоторые неудобства при быстром определении цветовой температуры.

В СССР получил основное распространение второй способ определения цветовой температуры, заключающийся в нахождении „синие-красного отношения“. Этот метод основан на том, что отношение энергий излучения для двух достаточно узких и далеко отстоящих друг от друга участков видимого спектра вполне определяет цветовую температуру. Это легко видеть, например, из двух кривых 1 и 2 распределения энергии абсолютно черного тела (рис. 139), построенных для цветовой температур  $T_1$  и  $T_2$ . Как следует из рисунка, отношение заштрихованных площадей на участках  $\lambda_1, \lambda_2$  и  $\lambda'_1, \lambda'_2$  для обеих кривых различно, следовательно,

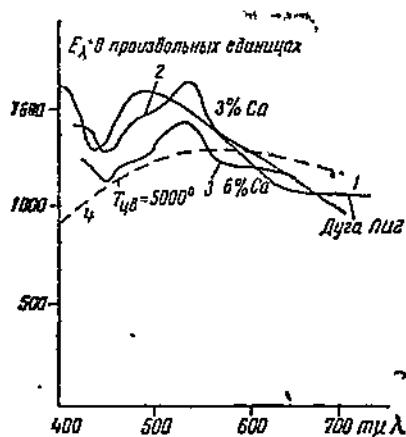


Рис. 138. Влияние примесей кальция на спектральную характеристику дуги интенсивного горения

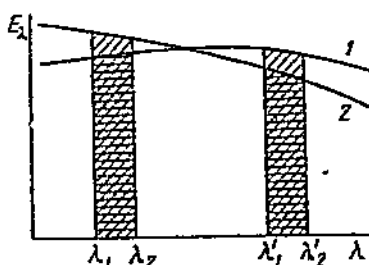


Рис. 139. Определение цветовой температуры по „синие-красному отношению“

оно может характеризовать цветовую температуру. Точность этого метода тем больше, чем дальше отстоят оба участка спектра, в пределах которых определяется энергия излучения. Практически обычно определяют энергию излучения в красной и синей части спектра для по возмож-

ности небольшого интервала длин волн  $\lambda_1 - \lambda_2$  и  $\lambda'_1 - \lambda'_2$ , причем измерение производят с помощью фотоэлемента с красным и синим фильтрами.

Показания включенного к фотоэлементу гальванометра в первом случае будут пропорциональны выражению

$$i_{кр} = \int_{\lambda_1}^{\lambda'_1} E_{\lambda, T \tau_{\lambda}} S_{\lambda} d\lambda,$$

а во втором

$$i_{син} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda, T \tau_{\lambda}} S_{\lambda} d\lambda,$$

где  $\tau_{\lambda} = f(\lambda)$  и  $S_{\lambda} = f(\lambda)$  — соответственно коэффициент спектрального пропускания светофильтров и относительная спектральная чувствительность фотоэлемента.

При применении источников света с известными цветовыми температурами устанавливается зависимость

$$T_{цв} = f\left(\frac{i_{син}}{i_{кр}}\right),$$

которая представляется в виде кривой, прилагаемой к фотоэлементу с соответствующими фильтрами. Конструкция измерителя цветовой температуры, примененная НИКФИ, использует в качестве фотоэлемента селеновый фотоэлемент распространенного в наших киностудиях экспозиметра Вестон типа 650 с фильтрами КС-3 и ФС-1 завода „Изос“. На рис. 140 представлены кривые: 1 — спектральной чувствительности фотоэлемента экспозиметра Вестон, 2 и 3 — спектральной чувствительности фильтров КС-3 и ФС-1. Фильтры укреплены в кожухе, надеваемом на экспозиметр Вестон-650, причем в кожухе сделаны вырезы для отсчета по измерительному прибору и окну для фотоэлемента. На кожухе укрепляется номограмма с характеристиками  $T_{цв} = f\left(\frac{i_{син}}{i_{кр}}\right)$ , представленная в виде кривых. На оси абсцисс отложены фототоки, показываемые экспозиметром под красным фильтром, на оси ординат — фототоки при употреблении синего фильтра.

Третьим типом прибора, измеряющего цветовую температуру, является контрольная трубка с пирометрическим клином, разработанная для цветных киносъемок НИКФИ (рис. 141). Основной частью прибора является пирометрический клин, который представляет собой клиновидный слой пурпурного красителя. Так как поглощение света с увеличением толщины в коротковолновой части спектра растет быстрее, чем в длинноволновой, то клин на тонком своем конце окрашен в голубой или зеленый цвет, на толстом — в красный.

Так как положение точки перехода из одного цвета в другой зависит от спектрального состава освещающего клин света, то шкалу клина можно проградуировать в градусах цветовой температуры.

## 2. Освещенность объектов при цветной съемке

Вследствие значительных потерь в цветоделительной системе камеры и в компенсационных фильтрах, а также в связи с относительно невысокой светочувствительностью применяемых специальных киноплёнок

освещенности объектов при цветных съемках весьма велики. Так, согласно американским данным, для процесса „Техниколор“ освещенность при съемке обычно составляет около 7500 лк, достигая максимума в 10—12 тысяч люксов. За последнее время в связи с улучшением оптических систем съемочных камер для цветной кинематографии, улучшением эмульсий, а также благодаря введению метода *Keylight* в цветную кинематографию освещенность сюжетно важного объекта съемки находится в пределах от 1600 до 5000 лк. В наших условиях цветной съемки, как показал опыт студии „Мосфильм“, освещенность снимаемых объектов доходит до 15—20 тысяч люксов.

При выборе освещенности для цветных киносъемок следует учесть, что контраст изображения в позитиве обычно сильно возрастает, вследствие чего интервал яркостей при цветной киносъемке должен быть значительно уменьшен. Кроме того негативы должны быть

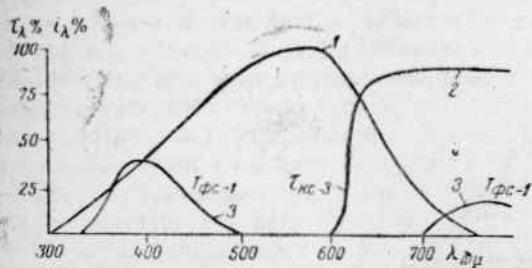


Рис. 140. Кривые спектральной чувствительности фотоэлемента и светофильтров измерителя цветовой температуры НИКФИ

тщательно экспонированы, так как ширина фронтфильма из-за тонкости полива значительно меньше ширины современных эмульсий. Для получения удовлетворительного изображения интервал яркостей объекта съемки должен быть равен 10:1 или максимально 20:1. Необходимое уменьшение интервала яркостей объекта может быть достигнуто при съемках на натуре путем применения тюля, смягчающего резкий солнечный свет, и подсветкой, увеличивающей освещенность в тени. К этой же цели ведет уменьшение коэффициента отражения белых костюмов, который обычно составляет 0,7—0,75. В практике цветной киносъемки светлый грим женского лица имеет  $\rho = 0,30—0,35$ , а грим мужского загорелого лица  $\rho = 0,25—0,30$ .

Требования к точности цветопередачи при цветных киносъемках приводят к необходимости точного определения экспозиции для каждого цветоделенного изображения. Кроме того чрезвычайно ценным может явиться измерение яркости отдельных деталей кадра для определения соизмеримости интервала яркостей объекта съемки и фотографической шириты трехцветного комплекса пленок.



Рис. 141. Контрольная трубка для определения цветовой температуры

В НИКФИ был разработан экспозиметр деталей кадра, позволяющий измерять яркость деталей объекта, занимающих до  $\frac{1}{1000}$  площади кадра, что отвечает углу зрения экспозиметра в  $0,01 - 0,015^\circ$ .

Прибор (рис. 142) представляет собой фотографическую камеру зеркального типа с объективом „Индустар“ с  $f=300$  мм и относительным отверстием 1:4,5.

На задней стенке камеры крепится фотозлемент, перед которым находится револьверная головка для трех фильтров. Последние предназначены для приведения спектральной чувствительности фотозлемента к спектральным чувствительностям трех эмульсий съемочного комплекта пленок с цветоделительными съемочными фильтрами. Камера экспозиметра устанавливается рядом со съемочной камерой (параллаксом пренебрегают), причем на матовом стекле экспозиметра получают изображение

объекта съемки размерами  $9 \times 12$  см. Фотозлемент может перемещаться с помощью особого устройства для определения яркости данной части кадра. Так как световой поток, падающий от детали объекта на фотозлемент, не превосходит  $10^{-3}$  лм, то для фиксации токов фотозлемента их приходится усиливать. Селеновый фотозлемент вследствие незначительности его сопротивления мало пригоден для схем усиления, поэтому в экспозиметре применяется сурьмяноцезиевый вакуумный фотозлемент с чувствительностью около 100  $\mu\text{a/lm}$ .

Для регистрации весьма небольших токов фотозлемента в приборе применена специальная схема, использующая неоновую лампу тлеющего разряда. Эта лампа 1 включена параллельно конденсатору С, находящемуся в цепи батареи В и фотозлемента 2 (рис. 143).

Под влиянием падающего на фотозлемент света в цепи появляется ток заряжающий конденсатор С. Когда напряжение на конденсаторе достигнет величины потенциала зажигания неоновой лампы, она загорится, причем конденсатор, шунтируемый лампой, моментально разрядится, напряжение на нем упадет до потенциала погасания лампы, и лампа потухнет. За конденсатор С снова начнет заряжаться, лампа снова вспыхивает и т. д. Чем больше величина фототока, тем чаще будет вспыхивать неоновая лампа, следовательно, число вспышек неоновой лампы в единицу вре-

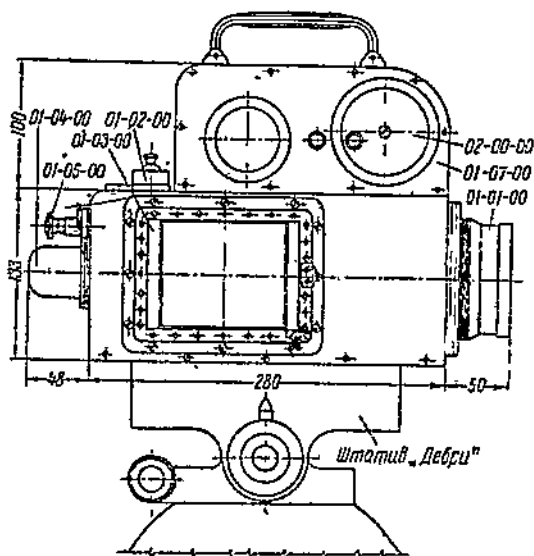


Рис. 142. Экспозиметр для цветных киносъемок НИКФИ

\* Напомним, что угол зрения экспозиметров Вестон составляет около  $60^\circ$ .

мени является в данном приборе мерой яркости измеряемого объекта. Для приведения в действие счетчика вспыхивает неоновая лампа напряжения в цепи лампы должны быть усилены. Это осуществляется схемой. Усиленные импульсы поступают в реле, которое срабатывает при возрастании анодного тока сверх определенной величины во время заряда конденсатора. При этом реле замыкает цепь электромагнита счетного механизма, который передвигает на один зубец счетчик импульсов. При уменьшении анодного тока (вследствие разряда конденсатора) реле размыкает цепь электромагнита, затем процесс повторяется в течение всего времени работы часового механизма прибора, ограничивающего время измерения примерно 20 секундами.

Осветительные приборы для цветных киносъемок применяются тех же типов, что и для черно-белых съемок. В американской практике для общего освещения применяется белопламенная дуга (осветительные приборы типа MR-27 и MR-29), удачно воспроизводящая дневной свет; для направленного освещения — высокоинтенсивная дуга. Сине-фиолетовая часть ее излучений уменьшается путем применения специальных соломенно-желтых компенсационных светофильтров. Часто применяются также лампы накаливания, горящие с сильным перекалом и работающие с синим фильтром.

Следует особо отметить необходимость постоянства напряжения ламп накаливания в процессе освещения при цветных киносъемках, так как сильные колебания напряжения сказываются на изменении цветовой температуры нити канала. При этом изменение напряжения на 5 и 10% вызывает соответствующие изменения цветовой температуры примерно на 75 и 200°K.

Нормы осветительной аппаратуры при цветных съемках те же, что и для черно-белых киносъемок, но увеличение освещенностей и соответствующий характер его достигаются применением в осветительной аппаратуре мощных ламп (преимущественно дуговых интенсивного горения) и специальных фильтров. При этом берется максимальное число осветительных приборов для данного размера декорации (см. табл. 62).

В практике цветных киносъемок в СССР используют в основном те же осветительные приборы, которые применяются в киностудиях США.

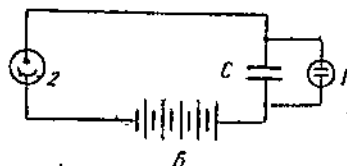


Рис. 143. Схема усиления фототоков экспонометра НИКФИ

#### ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА, ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ПРИ НАПИСАНИИ КНИГИ

1. Проф. Б. Ф. Федоров. „Общий курс светотехники“, 1938 г.
2. Е. М. Голдовский и Н. В. Горбачев. „Светотехника кинопроизводства“, 1934 г.
3. Е. М. Голдовский. „Шум ламп в звуковом кино“, 1934 г.
4. Е. М. Голдовский. „Физические основы кинотехники“, 1939 г.
5. Е. М. Голдовский. Лекции по курсу „Светотехника киносъемки“, читаемые на операторском факультете Всесоюзного государственного института кинематографии с 1924 по 1944 год.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                               | Стр.    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Предисловие . . . . .                                                                                         | 3       |
| Глава I. Основы светотехники . . . . .                                                                        | 5—32    |
| § 1. Лучистая энергия и зрение . . . . .                                                                      | 5       |
| § 2. Световые величины и единицы . . . . .                                                                    | 8       |
| § 3. Световые характеристики тел . . . . .                                                                    | 16      |
| § 4. Световые измерения . . . . .                                                                             | 21      |
| Глава II. Источники света для киносъемки . . . . .                                                            | 33—84   |
| § 5. Законы излучения . . . . .                                                                               | 34      |
| § 6. Лампы накаливания . . . . .                                                                              | 43      |
| § 7. Дуговые лампы . . . . .                                                                                  | 55      |
| § 8. Ртутные лампы . . . . .                                                                                  | 77      |
| Глава III. Фотохимическое действие света . . . . .                                                            | 85—111  |
| § 9. Основы химического действия света . . . . .                                                              | 85      |
| § 10. Активность излучений источников света . . . . .                                                         | 95      |
| § 11. Точность цветопередачи при киносъемках . . . . .                                                        | 102     |
| § 12. Активность и цветопередача источников света . . . . .                                                   | 106     |
| Глава IV. Колебания излучений и шум источников света . . . . .                                                | 112—129 |
| § 13. Колебания излучений источников света . . . . .                                                          | 112     |
| § 14. Влияние изменений светового потока ламп во времени на процесс киносъемки . . . . .                      | 116     |
| § 15. Шум источников света . . . . .                                                                          | 122     |
| § 16. Способы устранения шума ламп . . . . .                                                                  | 125     |
| Глава V. Осветительные приборы для киносъемки . . . . .                                                       | 130—162 |
| § 17. Светильники . . . . .                                                                                   | 130     |
| § 18. Проекторы . . . . .                                                                                     | 134     |
| § 19. Характеристики осветительных приборов для киносъемки . . . . .                                          | 142     |
| Глава VI. Основы расчета киносъемочного освещения . . . . .                                                   | 163—216 |
| § 20. Принцип освещения при киносъемке . . . . .                                                              | 163     |
| § 21. Освещенности объекта съемки и киноплёнки . . . . .                                                      | 167     |
| § 22. Расчет и измерения экспозиции для киносъемки . . . . .                                                  | 177     |
| § 23. Методы расчета киносъемочного освещения . . . . .                                                       | 185     |
| § 24. Нормирование мощности осветительной аппаратуры и расхода электроэнергии при съемках декораций . . . . . | 192     |
| § 25. Примеры расположения осветительной аппаратуры при киносъемках . . . . .                                 | 198     |
| Глава VII. Особенности освещения при натуральных и цветных съемках . . . . .                                  | 217—235 |
| § 26. Особенности освещения при натуральных съемках . . . . .                                                 | 217     |
| § 27. Особенности освещения при цветных съемках . . . . .                                                     | 225     |