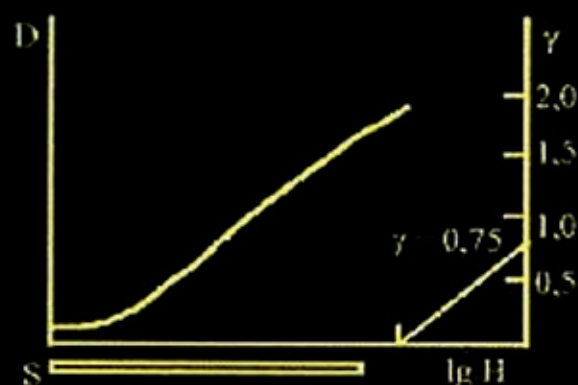


Б. А. Сечкарев,  
Л. В. Сотникова,  
Ф. В. ТИТОВ



# Измерительные методы исследования средств регистрации оптической информации

$$S = \frac{0,8}{H_{D=0,1+D_0}}$$



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»  
Кафедра общей физики

Б. А. Сечкарев, Л. В. Сотникова, Ф. В. Титов

# Измерительные методы исследования средств регистрации оптической информации

Учебное пособие

Рекомендовано  
Сибирским региональным учебно-методическим центром  
высшего профессионального образования  
для межвузовского использования  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по специальности 010400 «Физика»  
для специализации «Химическая физика»

Издание второе, переработанное и дополненное

Кемерово 2004

**ББК М 911Я73**  
**УДК 771.534.51**  
**С 28**

*Печатается по решению редакционно – издательского совета  
Кемеровского государственного университета*

Издано при содействии ФЦП «Интеграция» Б002/1878 и гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ РФ - НШ-20.2003.3

**Рецензенты:**

д.х.н., профессор **Кузнецов Л. Л.**  
(С-Петербургский государственный университет кино и телевидения),  
д.ф.-м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ **Лисицин В. М.**  
(Томский политехнический университет)

Сечкарев Б. А.

С 28 Измерительные методы исследования средств регистрации оптической информации: Учебное пособие/Б.А. Сечкарев, Л.В. Сотникова, Ф.В. Титов; Кемеровский госуниверситет. -2-е изд., перераб. и допол. - Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. - 100с.

ISBN 5-8353-0276-2

Учебное пособие «Измерительные методы исследования средств регистрации оптической информации» разработано по специальности 010400 «Физика» для специализации «Химическая физика» в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта. Содержит как теоретические основы современной сенситометрии и структурометрии светочувствительных материалов, так и методики измерения и обработки результатов. Пособие рекомендуется научным сотрудникам, аспирантам и студентам при изучении фотографической химии.

**ББК М 911я73**

ISBN 5-8353-0276-2

© Б. А. Сечкарев, Л. В. Сотникова,  
Ф. В. Титов, 2004  
© Кемеровский госуниверситет, 2004

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. СЕНСИТОМЕТРИЯ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Сенситометрическое экспонирование.....	8
1.2. Химико - фотографическая обработка сенситограмм .....	17
1.3. Денситометрия оптических плотностей .....	22
1.4. Основные сенситометрические характеристики.....	25
1.5. Спектральная и цветовая сенситометрия.....	33
1.5.1 Устройство и порядок работы на спектросенситометре .....	36
1.5.2 Обработка спектросенситограмм и результаты испытаний .....	42
1.6. Сенситометрия черно-белых фотографических бумаг.....	44
1.7. Определение фотографических свойств обрабатываемых фотоматериалов ...	49
1.8. Основы экспониметрии.....	51
<b>2. СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЦВЕТНЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>54</b>
2.1. Основные характеристики цветных фотоматериалов .....	54
2.2. Химико-фотографическая обработка цветной негативной фотопленки ...	58
2.3. Определение фотографических свойств цветных фотобумаг .....	60
<b>3. СТРУКТУРОМЕТРИЯ .....</b>	<b>64</b>
3.1. Основы гранулометрии.....	65
3.2. Основы резольвометрии .....	69
3.2.1 Определение разрешающей способности .....	70
3.2.2 Порядок работы на резольвометре .....	73
3.3. Частотно-контрастная характеристика .....	77
<b>4. СЕНСИТОМЕТРИЯ И СТРУКТУРОМЕТРИЯ НЕСЕРЕБРЯНЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>80</b>
4.1. Интегральная сенситометрия .....	81
4.1.1 Техника и приборное обеспечение .....	82
4.2. Спектральная сенситометрия .....	87
4.2.1 Техника и приборное обеспечение .....	87
4.3. Обработка сенситограмм .....	90
4.4. Структурометрия. Техника и приборное обеспечение.....	91
<b>5. ЗАРУБЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ СЕНСИТОМЕТРИИ .....</b>	<b>96</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>99</b>

## СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

$S$  — критерий светочувствительности

$\gamma$  — коэффициент контрастности

$D_{max}$  — максимальная оптическая плотность

$D_{min}$  — минимальная оптическая плотность

$D_0$  — оптическая плотность вуали

$H$  — экспозиция

$D_{кр}$  — критерий светочувствительности

$ЧКХ$  — частотно-контрастная характеристика

$ХК$  — характеристическая кривая

$ХФО$  — химико-фотографическая обработка

$\PhiЭУ$  — фотоумножитель

$ЦСИ$  — центр скрытого изображения

$МК$  — микрокристалл

$МПФ$  — модуляционная передаточная функция

$ЭФ$  — электрофотография

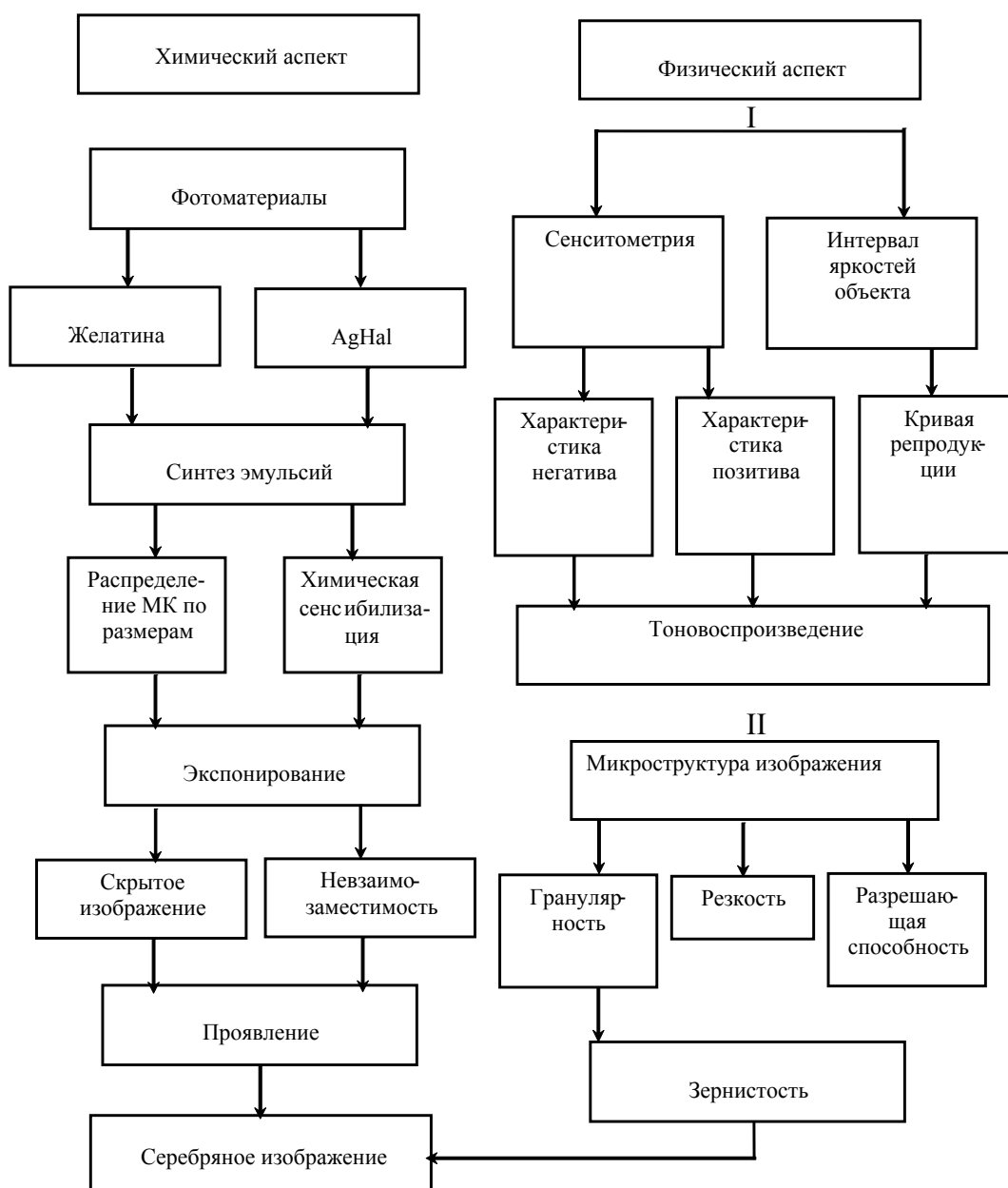
$\PhiТП$  — фототермопластический

## ВВЕДЕНИЕ

Уникальная способность галогенидов серебра образовывать при фотолитизе скрытое фотографическое изображение, которое способно усиливаться в  $10^7 - 10^{10}$  раз действием специальных органических восстановителей, делает галогениды серебра незаменимыми для записи оптической информации. Несмотря на интенсивное развитие, особенно в последнее десятилетие, электронных средств записи оптической информации, галогенсеребряная фотография продолжает оставаться основным способом получения визуальных изображений в твердых копиях. Частотно-контрастные характеристики и соотношение чувствительность/разрешающая способность галогенсеребряных фотографических материалов значительно выше, чем у сопоставимых по себестоимости электронных аналогов. За более чем полуторавековое существование традиционной фотографии предпринимались многочисленные попытки заменить галогениды серебра в фотографических материалах на соединения меди или другие химические соединения, включая органические. Несеребряные способы регистрации оптического изображения или проигрывают в скорости обработки, или оказываются более дорогостоящими. Изобретение электронных (цифровых и аналоговых) способов регистрации изображения позволило превзойти галогенсеребряную фотографию по фотографическому отклику, частотно-контрастным характеристикам, сохраняемости и др. Однако электронные способы регистрации изображения, несмотря на многие преимущества по сравнению с классическим фотографическим процессом (простота архивирования и хранения, быстрота и удобство передачи изображения на расстоянии, возможность трансформации изображений в любом удобном для потребителя виде, гарантированное получение безошибочно качественных копий), являются все еще дорогостоящими. Учитывая также консервативность профессиональных потребителей, консервативность подготовки специалистов и всемирно налаженное сервисное обслуживание в традиционной фотографии, электронные способы записи информации не могут практически в ближайшее десятилетие вытеснить традици-

онные фотографические методы. Таким образом, галогенидосеребряная фотография остается наиболее распространенным высококачественным методом регистрации оптической информации в различных областях науки и техники, медицине, полиграфии, художественной и любительской фотографии.

При изучении серебряного фотографического процесса необходимо учитывать его химические и физические особенности. Хотя сам процесс в целом является по своей природе химическим, однако ему сопутствует ряд тесно связанных, переплетающихся с ним физических явлений. Для наглядности химический и физический аспекты удобно выразить в виде общей и в некоторой степени условной схемы:



Из этой схемы видно как химические стадии фотографического процесса связаны с физико-фотографическими оценками и теоретической трактовкой отдельных стадий процесса. Здесь видно также как стадии синтеза эмульсий, экспонирования и проявления могут, с одной стороны, уточняться применением фотографической сенситометрии и сведениями об оптических свойствах объекта фотографирования, а с другой стороны, оцениваться измерениями свойств негативного и позитивного изображений и построением кривой репродукции, т. е. использованием теории тоновоспроизведения. Помимо этого, полнота оценки достигается сведениями о микроструктуре изображения, получаемыми при посредстве фотографической структурометрии, т. е. путем изучения гранулярности (физической неоднородности), создающей зернистость (визуальную неоднородность) серебряного изображения.

Для рационального использования фотоматериалов необходимо знать их фотографические свойства, т. е. уметь предсказать фотографический эффект в зависимости от количества и спектрального состава воздействующего на него света. Установлением этих закономерностей (определением фотографических свойств светочувствительных фотоматериалов) занимается раздел фотографической метрологии - *сенситометрия* (от латинского *sensitivus* — чувствительный и греческого *metreo* — измеряю). Первоначально этот метод применяли только для определения чувствительности фотослоя к свету, но затем с развитием фотографии и совершенствованием свойств фотоматериалов в него вошли и другие характеристики: определение спектральной чувствительности, контрастности, фотографической широты, вуали, зернистости, разрешающей способности и модуляционной передаточной функции.

Все без исключения области применения фотографии: кинематография, профессиональная и любительская фотография, телевидение, рентгенография, аэросъемка и космическая фотосъемка, научные исследования требуют точного определения сенситометрических характеристик фотоматериалов. Основные сенситометрические показатели указываются на упаковке фотоматериалов или в сопровождающих их документах.



## 1. СЕНСИТОМЕТРИЯ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

Этот раздел фотографической науки посвящен определению фотографических свойств материалов, обладающих чувствительностью к излучениям видимой и прилегающих к ней областей спектра, а также свойств получаемых на них фотографических изображений.

Общесенситометрическое испытание фотоматериалов основано на получении *сенситограмм* и построении *характеристических кривых*. Сенситограмма представляет собой изображение фотографического клина – пластинки, разные участки (поля) которой имеют различные нейтрально-серые оптические плотности, отличающиеся друг от друга на постоянную величину (константу клина), полученное на фотоматериале. Процесс получения сенситограммы включает две стадии:

- экспонирование фотоматериала при заданных стандартных условиях;
- химико-фотографическая обработка экспонированного фотографического материала.

На первой стадии фотоматериал подвергается действию света строго определенного состава и интенсивности. Оказанное воздействие визуализируется при помощи проявления фотоматериала в стандартных проявляющих растворах. Полученная таким образом сенситограмма имеет набор полей с плотностями почернения, полученными от воздействия известных количеств света (фотографический эффект). Результаты измерения проявленных плотностей почернения используют для построения характеристической кривой. Затем по характеристической кривой определяют численные значения сенситометрических величин, выражающие основные свойства фотографического материала.

### 1.1. Сенситометрическое экспонирование

Фотографическое почернение сильно реагирует на изменение условий освещения, в первую очередь на количество освещения ( $H$ )  $H = \lg Et$ , где  $E$  - освещенность плоскости эмульсионного слоя,  $t$  – время экспонирования. Ниже

приведены величины, характеризующие оптическое излучение по его действию на приемники оптического излучения (фотометрические величины - световой поток, сила света, освещенность и яркость).

Всё количество световой энергии, излучаемой источником во всех направлениях, представляет собой полный световой поток данного источника. Единицей измерения светового потока служит люмен (лм). Люмен определяется как световой поток эталонного источника, испускаемый полым платиновым излучателем с площади  $0,0053 \text{ см}^2$  при температуре затвердевания платины.

Сила света измеряется величиной светового потока, излучаемого источником света в наблюдаемом направлении.

Для определения границ пространства, в пределах которого распространяется свет источника, пользуются понятием телесного угла, измеряемого в радианной мере. Единицей телесного угла служит стерadian, т. е. телесный угол, который вырезает на поверхности сферы (шара) площадь, равную квадрату радиуса сферы. Площадь сферы (поверхность шара) составляет  $4\pi r^2$ . Поэтому полный телесный угол, измеряемый в стерadianах, составляет:

$$\Omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} \approx 12,56.$$

Единицей измерения силы света служит кандела (кд), т. е. сила света источника, который создает световой поток в 1 лм в пределах телесного угла в 1 стерadian. Поэтому силу света источника, излучающего свет во все стороны равномерно, можно определить, разделив полный световой поток источника на величину полного телесного угла, т. е.:

$$I = F/\Omega = F/12,56,$$

где  $I$  — сила света источника, кд;

$F$  — полный световой поток источника, лм;

$\Omega$  — полный телесный угол.

Освещенность есть мера света, получаемого какой-либо поверхностью, на которую падает световой поток.

Единицей измерения освещенности служит люкс (лк), т. е. освещенность, создаваемая световым потоком в 1 лм на площади в 1 м<sup>2</sup>. При равномерном распределении светового потока по всей площади освещаемой поверхности освещенность составляет:

$$E = F/S ,$$

где  $E$  - освещенность, лк;

$F$  - световой поток, лм;

$S$  - площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Поскольку световой поток выражается произведением силы света источника на полный телесный угол, то освещенность поверхности можно определить иначе: 1 лк есть освещенность, создаваемая на внутренней поверхности сферы радиусом в 1 м точечным источником света в 1 кд.

При увеличении радиуса сферы ее поверхность увеличивается пропорционально квадрату радиуса. Это означает, что при удалении источника света от освещаемой поверхности ее площадь возрастает пропорционально квадрату расстояния от источника света, а освещенность поверхности соответственно уменьшается, т. е.  $E = I/r^2$ ,

где  $E$  - освещенность, лк;

$I$  - сила света источника, кд;

$r$  - расстояние от источника света до освещаемой поверхности, м.

Приведенная формула означает, что освещенность поверхности прямо пропорциональна силе света источника и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света до освещаемой поверхности. Эта формула позволяет рассчитать освещенность, создаваемую источником известной силы света на определенном расстоянии.

Яркость есть мера света, излучаемого светящимся телом с единицы поверхности данного тела. Яркостью источника света называется отношение силы света источника, излучаемого перпендикулярно светящейся поверхности к площади светящейся поверхности.

**Таблица 1 - Основные фотометрические величины**

Наименование величин	Единица измерения	Определение	Обозначение
Световой поток	Люмен (лм)	Световой поток эталонного источника света	F
Сила света	Кандела (кд)	Люмен в стерadiane	I
Освещенность	Люкс (лк)	Люмен на единицу поверхности	E
Яркость источников света	Нит (нт)	Свеча с единицы поверхности или люмен в стерadiane на единицу поверхности	B

Единицей измерения яркости источников света служит нит (нт), т. е. яркость источника света силой в 1 кд при площади свечения в 1 м<sup>2</sup>. Яркость источника света определяется по следующей формуле:

$$B = I/S,$$

где  $B$  - яркость источника света, нт;

$I$  - сила света источника, кд;

$S$  - площадь светящейся поверхности, м<sup>2</sup>.

Для того чтобы сообщить фотоматериалу ряд последовательно изменяющихся калиброванных экспозиций, используется прибор - *сенситометр*. Образец фотоматериала, экспонированный в сенситометре, называется сенситограммой. Проявленная сенситограмма имеет вид полосы фотоматериала с последовательно изменяющимся рядом плотностей.

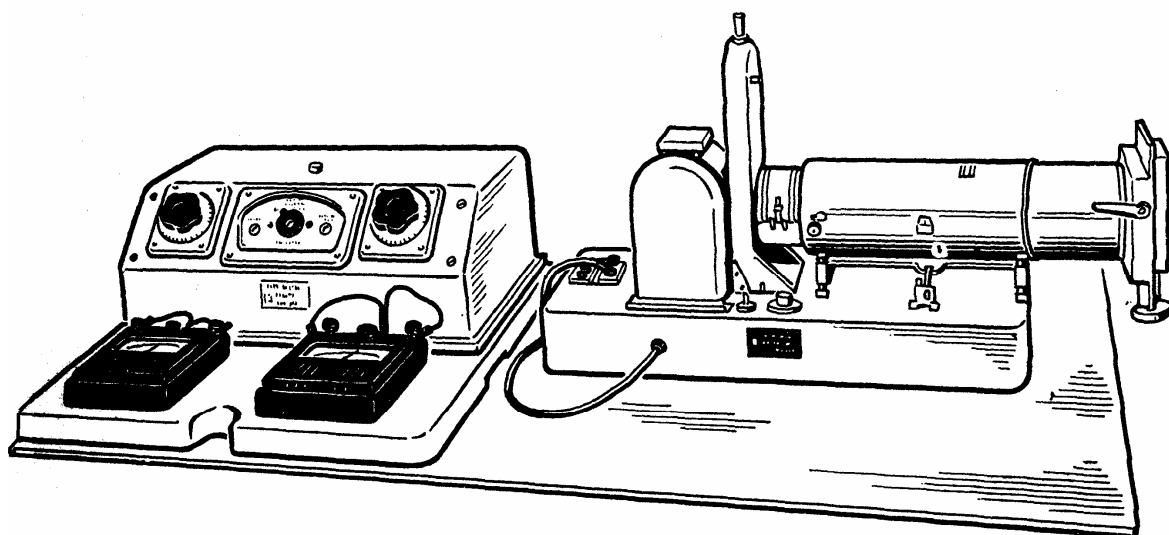
На практике сенситометрическое экспонирование производится при помощи разнообразных выпускаемых промышленностью установок. Все существующие сенситометры можно классифицировать по принципу экспонирования, следующим образом:

- одновременное экспонирование,
- последовательное непрерывное экспонирование,

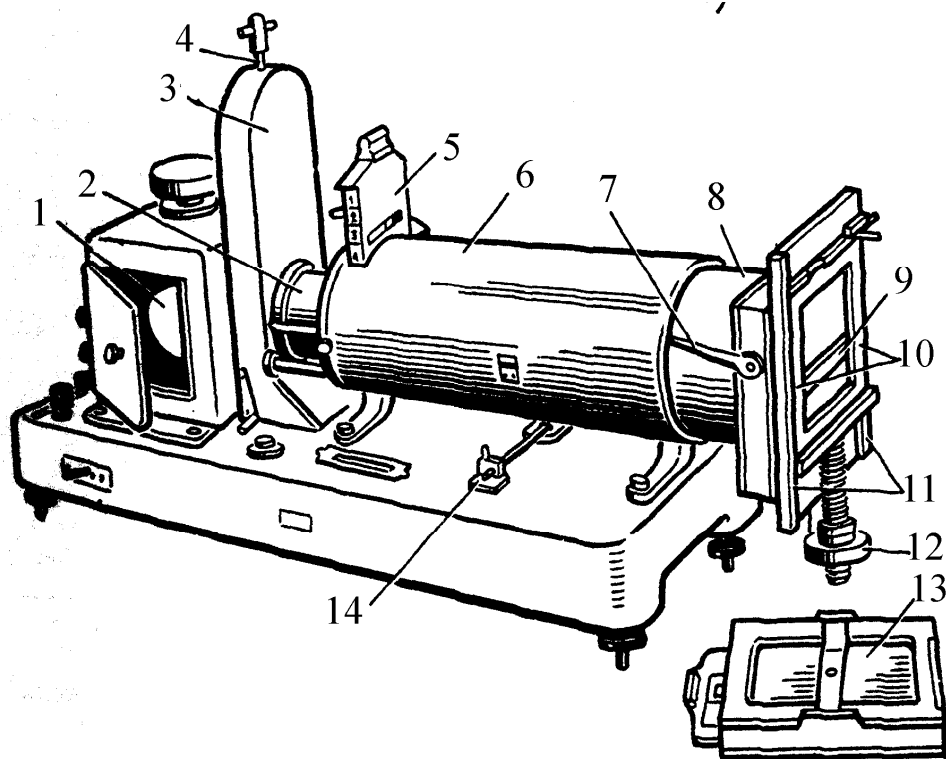
- последовательное ступенчатое экспонирование.

В настоящем пособии описаны устройство и порядок работы двух сенситометров: ФСР-41 - для черно-белых фотоматериалов и «УКЭП-1» - для цветных фото- и киноматериалов.

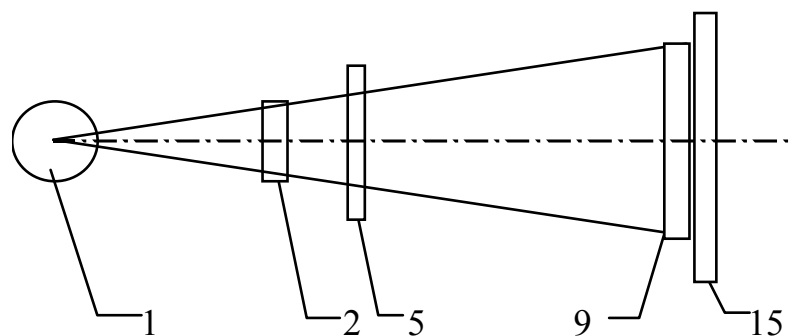
Сенситометр ФСР-41 (рис. 1) состоит из двух частей — собственно сенситометра и пульта питания источника света.



а



б



В

Рисунок 1 - Сенситометр ФСР-41:

а - внешний вид, б - схема; в – оптическая схема. 1 - источник излучения, 2 - светофильтр, 3 - щелевой затвор, 4 - штанга, 5 - рамка со светофильтрами, 6, 8 - трубы, 7 - рукоятка, 9 - оптический клин, 10 - рамка, 11 - направляющие, 12 - винт, 13 - кассета, 14 - кремальера, 15 - фотоматериал

Источник излучения 1 - низковольтная лампа накаливания постоянного тока, имеющая цветовую температуру 2850 К. За ним расположен светофильтр 2 искусственного дневного света, который позволяет экспонировать фотоматериал излучением с цветовой температурой 5500 К, соответствующей температуре Солнца. При испытании черно-белых позитивных фотоматериалов светофильтры убираются из хода лучей и фотослой экспонируется излучением с цветовой температурой  $T_{\text{цв}} = 2850$  К.

Источник света находится в кожухе с окошком, чтобы можно было видеть, включена ли лампа. Постоянство режима горения лампы обеспечивается контролем режима по амперметру и вольтметру и регулированием этого режима при помощи введенных в цепь реостатов.

За источником света расположен щелевой затвор 3 с падающей шторкой, дающий выдержку 0,05 с. Взвод затвора производится подъемом штанги 4. Внутри затвора имеется вспомогательная шторка, предохраняющая испытуемый фотоматериал от засветки при взводе затвора.

За светофильтром солнечного света расположена выдвижная рамка 5 с пятью прорезями для крепления дополнительных светофильтров. Первое окно

пустое, через него проводится экспонирование без фильтров; во втором, третьем и четвертом установлены фильтры из цветного стекла — желтого (ЖС-18), оранжевого (ОС-14) и красного (КС-14). Цветные светофильтры необходимы для определения «эффективной» светочувствительности, т. е. чувствительности фотослоя к излучению определенной части спектрального диапазона, прошедшего через фильтр. Светофильтр, укрепленный в пятой прорези, изготовлен из нейтрально-серого стекла НС-8 или НС-10 и имеет оптическую плотность 0,9, что соответствует восьмикратному уменьшению освещенности фотослоя. Этот светофильтр применяют при сенситометрии высокочувствительных фотографических материалов.

Корпус сенситометра состоит из двух концентрических труб *б* и *в*. Подвижная внутренняя труба *в* может передвигаться при помощи кремальеры *14* относительно неподвижной трубы *б*. Благодаря этому появляется возможность изменять расстояние между источником света и кассетой с фотоматериалом. Сделано это для того, чтобы получить на середине сенситограммы (11-е поле) экспозицию, равную 0,078, 0,110 или 0,156 Лк·с.

Сенситограмма на испытуемом фотографическом материале получается при впечатывании в него ступенчатого оптического клина *9*, который имеет 21 поле с постоянной клина  $0,15 \pm 0,005$ . Освещенность 1-го поля больше освещенности 21-го поля в 1000 раз. Это позволяет испытывать фотоматериалы, резко различающиеся между собой по чувствительности. На рис. 2 приведены типичные сенситограммы трех различных типов светочувствительных фотоматериалов: высокочувствительного, среднечувствительного и низкочувствительного, различающихся также коэффициентом контрастности.

Перед экспонированием фотографический материал помещают в кассету *13* сенситометра (см. рис. 1). Заряженную кассету вставляют в рамку *10*, которая передвигается относительно сенситометрического клина в направляющих *11* при помощи винта *12*. Пять фиксированных точек, имеющих на направляющих, позволяют впечатать в определенном положении пять сенситограмм в фотоматериал размером 9×12 см. Сенситометрический клин прижимается к

эмульсионному слою рукояткой 7. Для впечатывания сенситограмм в рулон 35-мм киноплёнки служит специальная кассета с откидной задней стенкой. В этом случае экспонирование фотослоя производят в темноте. При использовании кассеты формата 9×12 см фотоматериал можно экспонировать на свету. При экспонировании высокочувствительных фотоматериалов для предотвращения возможной засветки кассету следует накрыть черной тканью.

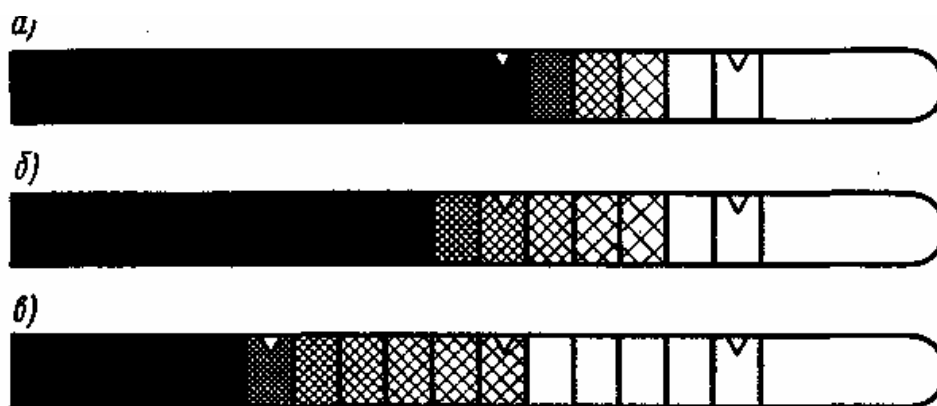


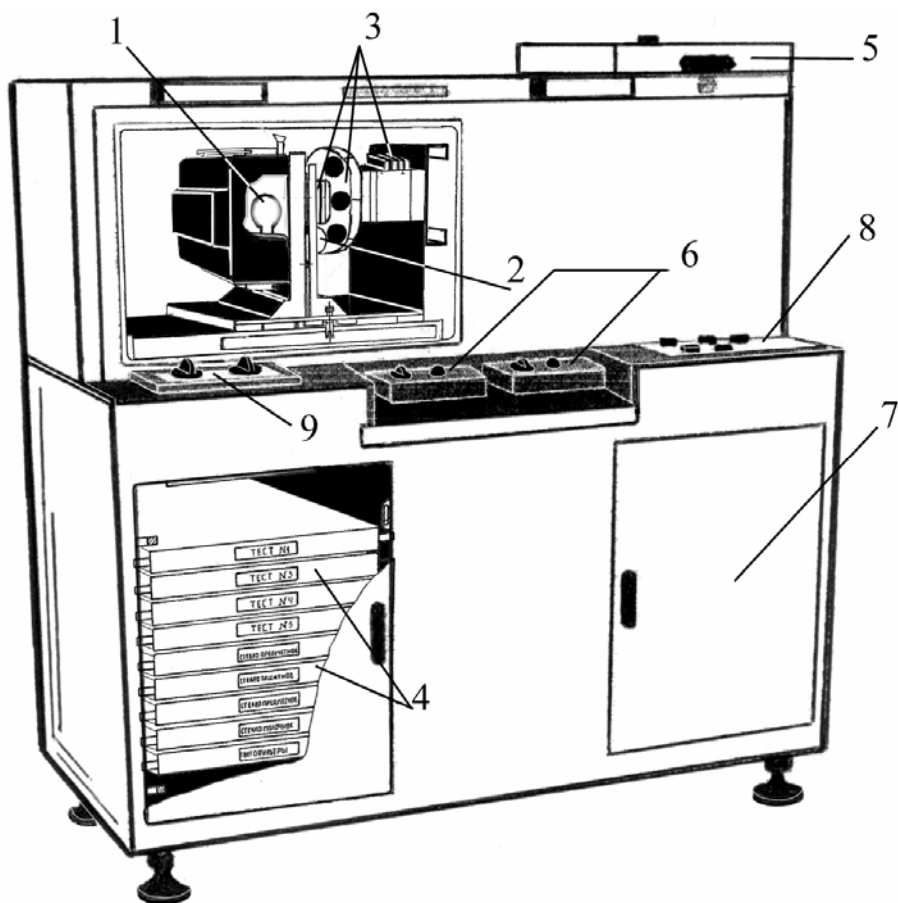
Рисунок 2 - Сенситограммы фотоматериалов различной светочувствительности: а) - высокочувствительного, б) - среднечувствительного, в) - низкочувствительного.

Универсальный контактно-экспозиционный прибор "УКЭП-1" (рис. 3) предназначен для сенситометрического испытания как цветных, так и черно-белых фотоматериалов.

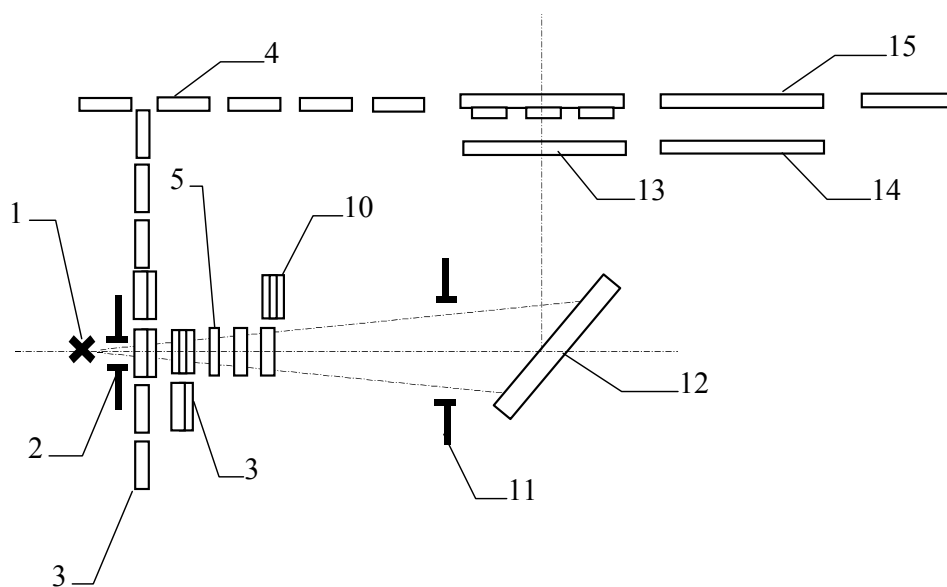
"УКЭП-1" построен по принципу контактной фотопечати, который заключается в экспонировании фотоматериала через тест (оптический клин), когда фотоматериал и тест находятся в непосредственном контакте.

Световой поток от источника света 1 проходит через затвор 2, который позволяет производить экспонирование с определенными выдержками. Источником света является кинопроекторная лампа, калиброванная на цветовую температуру 2850 К. Для питания лампы осветителя используется стабилизированный блок питания Ш-12. Контроль режима питания осветителя ведется по измерительным приборам вольтметру и амперметру 6. В зависимости от спектрального состава излучения, необходимого для экспонирования фотоматериала, в световой поток вводится один из светофильтров 3. Их спектральные





а



б

Рисунок 3 - Экспозиционный прибор УКЭП-1: а - внешний вид; б - оптическая схема. 1 - источник света, 2 - затвор, 3 - светофильтры, 4 - тесты, 5- прижимное устройство, 6 – измерительные приборы, 7 - блок управления, 8 - панель управления, 9 – реле времени, 10 - светофильтр маскирующий, 11 - диафрагма, 12 - зеркало, 13 - стекло молочное, 14 - стекло защитное, 15 - стекло предметное.

характеристики приведены в паспорте прибора. Съемный тест 4 преобразует излучение, даваемое источником, таким образом, чтобы испытуемый фотоматериал получал известный ряд количеств освещения.

Прижимное устройство 5 предназначено для надежного и равномерного контакта фотоматериала с тестом по всей площади.

Коммутация всех цепей и узлов прибора ведется через блок управления "БУ-УКЭП" 7. Реле времени ВЛ-47 9 служит для создания совместно с затвором выдержек от 1 до 100 с.

При нажатии на кнопку «ЭКСПОНИРОВАНИЕ» на панели управления 8 питание поступит на электромагнит, который откроет лепестковую часть затвора и начнется экспонирование с выдержкой, установленной на реле времени. По истечении времени набранного на панели реле времени затвор закрывается. После закрытия затвора на устройство управления электромагнитом прижима поступает команда на обесточивание электромагнитов прижимного устройства. При нажатой кнопке «АВТОМАТ» прижимное устройство откроется автоматически. В случае необходимости проведения многократных экспонирований, кнопку «АВТОМАТ» необходимо расфиксировать. По окончании экспонирования открывание крышки прижимного устройства производится нажатием кнопки «ПРИЖИМ».

## **1.2. Химико - фотографическая обработка сенситограмм**

Сенситометрические испытания включают сенситометрическое проявление, являющееся их важнейшей стадией. К нему предъявляются специальные требования в отношении как нормирования ряда условий и порядка проведения, так и получаемых результатов. Оговариваются равномерность проявления, способы его осуществления, гидромеханический режим, требования к различным техническим средствам и т. п.

Для проявления экспонированных образцов фотоматериалов используются стандартные проявители различных типов. Состав стандартных проявителей и тип фотоматериалов, для которых они предназначены, приведены в табл. 2.

**Таблица 2 - Состав стандартных проявителей  
для различных фотоматериалов**

Химикаты	ГОСТ на химикаты	Тип проявителей			
		№ 1	№ 2	№ 5	№ 6
		негативные и позитивные фотопластинки	негативные фотопленки	киноплёнки негативные, дубли-негативные и дубли-позитивные	позитивные фото- и киноплёнки
Метол (М-метиламино-фенол сульфат), г	25664—83	1,0	5,0	1,6	—
Фенидон (1-фенил-3-пи-разолидон), г	—	—	—	—	0,1
Гидрохинон (парадиок-сibenзол), г	19627—74	5,0	6	2,0	2,2
Сульфит натрия (безводный), г	5644—75	26,0	40,0	100,0	16,0
Натрий углекислый (безводный), г	83—70	20	31	—	22,0
Натрий тетраборнокислый (бура), г		—	—	2	—
Калий бромистый, г	4160—74	1,0	4	0,4	4,0
Вода дистиллированная	6709—72	До 1000 мл	До 1000 мл	До 1000 мл	До 1000 мл
pH раствора при 20°C	—	10,2±0,1	10,1±0,1	8,6±0,1	10,2±0,1

Фотографические растворы — сложные многокомпонентные системы, свойства которых в значительной степени зависят не только от состава и концентрации химикатов, но и от порядка составления раствора. Порядок составления проявляющих растворов очень важен, так как ряд веществ плохо растворяется в растворах других веществ.

Для приготовления фотографических растворов по рецептам необходимо точное взвешивание химикатов. Предельное отклонение массы навесок при взвешивании химических веществ для проявителей - 5%, фиксирующих рас-

творов - 10%.

Каждое химическое вещество надо взвешивать на отдельном листе чистой сухой бумаги. Химикаты с бумаги в раствор необходимо переносить с минимальным встряхиванием, использованную бумагу выбросить.

Для измерения объема жидкостей используют мерные стаканы, цилиндры и пипетки.

Для приготовления проявителей используют дистиллированную воду.

В сосуд, вмещающий необходимый объем раствора, наливают подогретую до 30 - 50 °С воду в количестве 3/4 полного объема и растворяют химикаты в следующей последовательности: трилон Б или гексаметафосфат натрия, 1/10 - 1/20 часть сульфита натрия, метол, парааминофенол, весь сульфит натрия, гидрохинон, пирокатехин, глицин, аскорбиновая кислота, амидол, тетраборнокислый натрий (бура), борная кислота, углекислые натрий (сода), калий (поташ), бромистый калий, йодистый калий, бензотриазол, фенилмеркаптотетразол, фенидон, метилфенидон и др.

Для ускорения растворения веществ воду подогревают до 30 - 50 °С; раствор интенсивно перемешивают. При более высокой температуре вещества могут разлагаться или быстро окисляться. Скорость перемешивания должна быть такой, чтобы в растворе не образовывалось воздушных пузырей и пены, что также приводит к повышенному окислению раствора.

Каждое вещество можно вводить в раствор только после полного растворения предыдущего. Для ускорения растворения вещества необходимо вводить его мелкими порциями, не допуская образования труднорастворимых комков.

После растворения всех веществ в сосуд доливают холодную воду до заданного общего объема проявителя.

Перед применением или хранением проявляющий раствор необходимо профильтровать.

Использовать проявитель для обработки сенситограмм следует не ранее чем через 12 ч после приготовления.

Проявляющие растворы необходимо хранить в доверху заполненных плотно закрытых чистых стеклянных бутылках с четкими надписями о типе раствора и дате приготовления. При использовании проявителя по частям его целесообразно хранить в небольших емкостях, достаточных для одноразовой обработки. Одни и те же емкости нужно использовать для однотипных растворов.

Проявляют сенситограммы не раньше чем через 10 — 15 мин и не позднее чем через 5 — 6 ч после экспонирования. Необходимость таких ограничений объясняется тем, что сразу после экспонирования процесс образования скрытого изображения не заканчивается, в частности, происходит перераспределение образовавшихся при поглощении света атомов серебра между центрами скрытого изображения различного размера и расположенных на разной глубине микрокристаллов.

При химико-фотографической обработке сенситограмм необходимо соблюдать следующие требования: температура черно-белого проявителя должна быть  $20 \pm 0,5$  °С; проявление следует проводить в свежем проявителе при непрерывном поступлении свежего раствора к проявляемой сенситограмме. Для такой обработки применяют различные проявляющие устройства. Наиболее простые из них - кюветы, расположенные в водяном термостате, например качающаяся термостатированная кювета.

После завершения процесса проявления фотоматериала следует промежуточная промывка водой или кислая стоп-ванна (2% -ный раствор уксусной кислоты). Во время этих операций происходит прерывание процесса проявления за счет удаления из фотографического слоя избытка компонентов проявляющего раствора и создания кислой среды, в которой проявляющее вещество неактивно.

Далее следует процесс называемый *фиксированием*, задачей которого является перевод непроявленных труднорастворимых соединений галогенида серебра в неэкспонированных участках эмульсионного слоя в водорастворимые соединения, которые затем (в процессе окончательной водной промывки) легко и полностью удаляются из слоя, что обеспечивает стабильность и длительный

срок хранения изображения на фотоматериале.

Приготовление фиксирующих растворов также требует соблюдения определенных правил, нарушение которых может привести к сульфоризации тиосульфата, помутнению и порче фиксажа. При составлении фиксажа химические вещества необходимо растворять в строгой последовательности. Первым всегда растворяют тиосульфат натрия, затем сульфит натрия, после чего вводят кислоту или кислую соль, дубящее вещество и доливают воду до нужного объема. Перед введением каждого вещества необходимо убедиться, что предыдущие вещества полностью растворились. Кислоту и квасцы следует вводить малыми порциями при интенсивном непрерывном перемешивании раствора. Рецептúra кислого фиксирующего раствора приведена в табл.3.

**Таблица. 3 - Состав фиксирующего раствора**

Химикат	Количество
Тиосульфат натрия	250,0 г
Сульфит натрия безводный	20,0 г
Кислота серная (конц.)	2,0 мл.
Вода	До 1000 мл

Фиксирующий раствор используется многократно, но по мере его использования происходит постепенное истощение раствора, что приводит к замедлению и ухудшению качества фиксирования. Работоспособным считается фиксирующий раствор, в котором время фиксирования (удвоенное время осветления фотослоя) не превышает более чем в 2 раза времени фиксирования в свежеприготовленном растворе. Обычно время фиксирования составляет 10 - 20 мин.

После фиксирования фотоматериала следует процесс окончательного промывания водой, в результате которого из фотослоя удаляется избыток ионов тиосульфата натрия и часть комплексных соединений серебра не перешедших в фиксаж и сушка сенситограмм.

### 1.3. Денситометрия оптических плотностей

Первичным эффектом действия света на фотографический слой является скрытое изображение, которое представляет собой столь незначительные изменения в МК AgHal в виде ЦСИ, что не позволяет применять доступные в практике денситометрии физико-химические методы. После проявления, т.е. огромного увеличения первичного эффекта, возникает видимое почернение, которое уже легко может быть измерено. Таким образом, количественно выраженная степень почернения является важной первоначальной фотографической величиной. Это также следует из того, что данная величина служит для количественной характеристики фотографических свойств бессеребряных светочувствительных материалов.

Соответствующая методика, получившая название *денситометрии* (от латинского *densitas* – плотность) имеет общее значение для всей совокупности фотографических процессов регистрации информации.

Денситометрией называется раздел фотографической денситометрии, посвященный измерению оптических плотностей, образовавшихся на фотослое в результате действия света и последующего проявления.

Для измерения фотографического эффекта в черно-белой фотографии используется понятие оптической плотности  $D$ . В общем случае оптическая плотность определяется как десятичный логарифм значения величины, обратной коэффициенту пропускания, т.е. показывает во сколько раз падающий световой поток больше светового потока, прошедшего через измеряемую среду.

В основу измерения почернений положен закон Бугера-Ламберта-Бера, который может быть выражен следующим уравнением:

$$F = F_0 10^{-dcl},$$

где  $F_0$  - световой поток источника,

$F$  - световой поток, прошедший через светопоглощающую среду,

$C$  – концентрация светопоглощающего вещества,

$d$  - коэффициент,

$\ell$  - толщина слоя.

Эта формула верна для монохроматического света и для белого при условии нейтральности светопоглощающей среды. Из этого выражения при постоянстве толщины слоя изучаемой среды  $\ell = 1$  можно получить производные величины, принимаемые для характеристики поглощающей способности фотографических почернений:

- прозрачность (коэффициент пропускания)  $T = F/F_0 = 10^{-dC}$  ;
- непрозрачность (коэффициент потемнения)  $O = F_0/F = 1/T = 10^{dC}$  ;
- оптическая плотность  $D = \lg O = -\lg T = dC$

Таким образом, оптическая плотность пропорциональна количеству светопоглощающего вещества в слое (серебра) и может служить мерой фотографического эффекта.

Для измерения оптических плотностей почернения применяют *денситометры*, различающиеся по принципу измерений, типу приемника излучения, степени автоматизации, площади измеряемого почернения.

Фотоэлектрические денситометры, применяемые в настоящее время, состоят из следующих составных частей: источника света, оптического устройства для освещения образца и для направления светового потока, прошедшего через образец на фотоприемник, фотоприемника, электронного блока для преобразования сигнала на выходе фотоприемника и измерительного прибора с отсчетным или регистрирующим устройством. Источником света служат малогабаритные лампы накаливания с цветовой температурой  $3000 \pm 200$  К.

Черно-белый и цветной денситометр ДП-1 состоит из двух основных частей — оптико-механической части и измерительного электронного блока. Оптико-механическая часть предназначена для освещения фотометрируемого участка сенситограммы и передачи прошедшего через сенситограмму светового потока в измерительный блок ФЭУ.

Денситометр ДП-1 предназначен для измерений оптических плотностей черно-белых и цветных фотоматериалов на прозрачной подложке. Диапазон



измеряемых плотностей прибора 0,01 - 5,00 ед. опт. пл.

Оптическая схема денситометра представлена на рис. 4. Нить накала источника света 9 проецируется сферическим 7 и плоским 1 – зеркалами на пластину молочного стекла 11 с диафрагмой 2. Световой поток, прошедший через измеряемый фотоматериал (сенситограмму) 3, передается световодом 4 на катод фотоэлектронного множителя 6 ФЭУ-55. Апертурный угол светового пучка составляет 10%. Для уменьшения нагревания молочного стекла 11 в оптическую схему введен теплофильтр 10. Перед фотоприемником расположены светофильтры 5 для измерения копировальной плотности  $D_{нк}$  и визуально-эквивалентносерой плотности светофильтров 5, а также светофильтр из стекла СС-5-13.

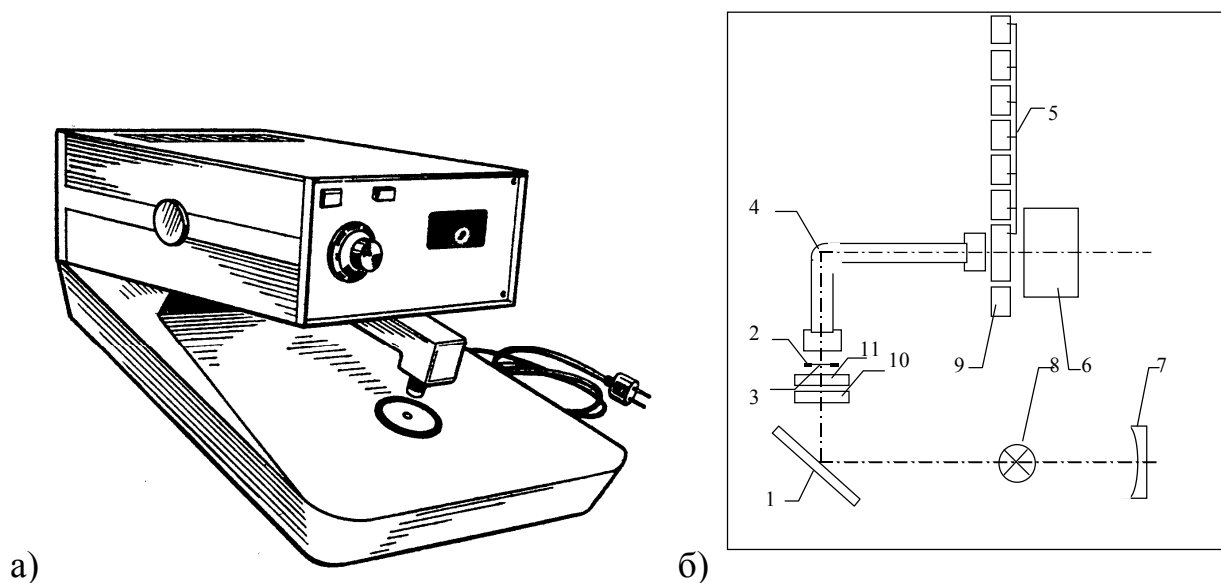


Рисунок 4 - Денситометр ДП-1: а) — внешний вид, б) — оптическая схема; 1 – плоское зеркало, 2 — диафрагма, 3 — сенситограмма, 4 – световод, 5,9 – светофильтры, 6 – плоское зеркало, 7 — сферическое зеркало, 8 — источник света, 10 — теплофильтр, 11 — молочное стекло.

В основе метода измерения оптической плотности использовано свойство фотоумножителя (ФЭУ), заключающееся в том, что, при условии постоянства величины анодного тока ФЭУ, напряжение на его динодах изменяется пропорционально логарифму изменения освещения фотокатода:

$$\Delta U_{\text{ФЭУ}} \sim K_1 \lg \frac{E_0}{E} \text{ при } i_{\text{ФЭУ}} = \text{const},$$

где  $\Delta U_{\text{ФЭУ}}$  — изменение напряжения на диодах ФЭУ;

$i_{\text{ФЭУ}}$  — анодный ток ФЭУ;

$K_1$  — коэффициент пропорциональности;

$E_0$  — текущее значение освещенности фотокатода;

$E$  — начальное значение освещенности фотокатода.

Это позволяет градуировать шкалу денситометра, измеряющего ток делителя ФЭУ, в единицах оптической плотности.

Оптические плотности почернений на сенситограммах измеряют на середине их полей. Минимальный размер измеряемой площади 4 мм<sup>2</sup>. Оптическую плотность вуали измеряют на проявленном участке сенситограммы не подвергшемся действию света при экспонировании. Измерения делают несколько раз или на нескольких образцах. Окончательным результатом считают среднее арифметическое полученных данных.

В ряде случаев требуется измерять оптическую плотность узких участков - шириной от десятых долей миллиметра до 3-5 мкм. Например, почернения на звуковой дорожке кинофильма, спектральных линий, изображения звезд. Для этих целей применяют микрофотометры нерегистрирующего и регистрирующего типов. Кроме того, в лабораториях ведущих фирм - производителей фотоматериалов, существуют электронные приборы для вычерчивания характеристических кривых – *денсографы*.

#### 1.4. Основные сенситометрические характеристики

Характеристическая кривая фотографического материала представляет собой графическую зависимость оптических плотностей почернения  $D$  от логарифмов экспозиций (количества освещения  $H$ ). На рис. 5 приведена типичная характеристическая кривая фотоматериала, экспонированного видимым светом. Всю характеристическую кривую принято делить на несколько участков:



После построения характеристических кривых находят численные значения следующих величин:

- общей светочувствительности  $S$  (для разных фотоматериалов критерий светочувствительности может быть различным);
- коэффициента контрастности  $\gamma$  для всех фотоматериалов;
- среднего полезного градиента  $q$  (для негативных фото- и киноплёнок);
- фотографической широты  $L$  (для черно-белых и цветных кинофотоплёнок);
- максимальной  $D_{max}$  и минимальной  $D_{min}$  плотности (для обрабатываемых фотоматериалов);
- оптической плотности вуали  $D_0$  (для всех фотоматериалов).

Наряду с полным сенситометрическим испытанием в ряде случаев проводят сокращенное, при котором определяют лишь параметры, предусмотренные стандартами или техническими условиями на фотографический материал. Все вычисления производят по одной характеристической кривой, построенной по сенситограмме, проявленной в течение близкого к оптимальному времени.

Рассмотрим подробнее как определяются основные сенситометрические показатели.

Под светочувствительностью понимают количественную меру способности фотоматериала реагировать на оптическое излучение. Она определяется при заданных условиях экспонирования фотоматериала и химико-фотографической обработки. Мерой светочувствительности является величина  $S$ , обратная количеству освещения (экспозиции)  $H$ , создающего на фотографическом слое (после проявления) заданный фотографический эффект. Величина фотографического эффекта, выбранная для оценки светочувствительности, называется *критерием светочувствительности*  $D_{кр}$ .

Общую светочувствительность черно-белых фотографических материалов вычисляют по следующим формулам:

- негативные фотоплёнки:  $S = 0,8/D_{кр}$ ;
- негативные фотопластинки:  $S = 0,8/D_{кр}$ ;

- негативные киноплёнки:  $S = 0,5/D_{Kp}$ ;
- обрабатываемые фотоплёнки  $S = 5/D_{Kp}$ ;
- позитивные киноплёнки и диапозитивные фотопластинки:  $S = 10/D_{Kp}$ .

Для негативных фотоплёнок, фотопластинок и киноплёнок  $D_{Kp} = 0,1 + D_0$ , для позитивных киноплёнок и диапозитивных фотопластинок  $D_{Kp} = 0,9 + D_0$ ; для обрабатываемых киноплёнок  $D_{Kp} = 0,9 + D_{min}$ , где  $D_{min}$  — минимальная плотность обращенного изображения.

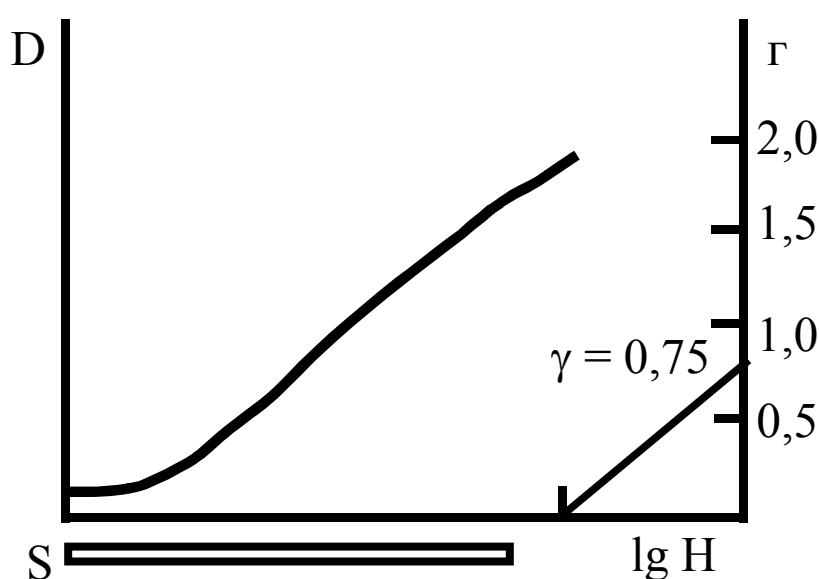


Рисунок 6 - Определение коэффициента контрастности на сенситометрическом бланке

Наиболее простой и часто применяемый в практике химико-фотографической промышленности способ - графическое определение чувствительности (рис. 6). Для этого на характеристической кривой находят точку, соответствующую критерию светочувствительности, и опускают из нее перпендикуляр на шкалу светочувствительности сенситометрического бланка, находящуюся под осью логарифмов экспозиций, на которой и определяют значение светочувствительности.

Помимо общей светочувствительности определяют эффективную свето-

чувствительность фотоматериала при экспонировании его за желтым, оранжевым или красным светофильтром. Эффективную светочувствительность для соответствующего типа фотоматериалов вычисляют по той же формуле, что и общую.

*Коэффициент контрастности  $\gamma$*  — количественная характеристика способности фотоматериала передавать различие экспозиций  $H$  деталей фотографического изображения соответствующим различием их оптических плотностей. Он численно выражается тангенсом угла наклона прямолинейного участка характеристической кривой к оси логарифмов экспозиций. Для одного и того же типа фотоматериалов коэффициент контрастности зависит от условий проявления, поэтому иногда его называют также фактором проявления,

Величину  $\gamma$  определяют либо графическим способом (см. рис. 6.), либо с помощью специального приспособления — *гаммаметра* (рис. 7.).

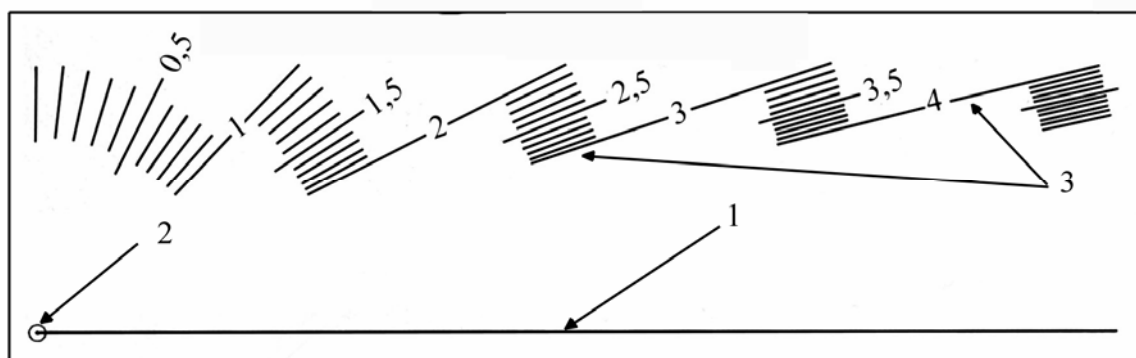


Рисунок 7 - Гаммаметр

В первом случае из основания штриха на сенситометрическом бланке в правой части оси логарифмов экспозиций проводят прямую, параллельную характеристической кривой, до пересечения с вертикальной осью бланка, на которой нанесена шкала значений  $\gamma$ . Точка пересечения дает величину коэффициента контрастности.

Во втором случае применяют изготовленный на прозрачной подложке гаммаметр, который накладывают на характеристическую кривую. В частности, гаммаметр, изображенный на рис. 7, размещают так, чтобы его ось  $1$  сов-

падала с прямолинейным участком характеристической кривой. Из центра круга 2 проводят вертикальную линию до пересечения со шкалой гаммаметра 3. Величина коэффициента контрастности определяется точкой их пересечения.

Коэффициент контрастности фотоматериала выражается отношением разности плотностей негатива (контраст изображения) к разности яркостей (контрасту) объекта. Если коэффициент контрастности равен единице, то интервал логарифмов экспозиций передается такой же разностью плотностей почернения, т. е. негатив точно воспроизводит яркости объекта съемки.

В зависимости от вида объекта съемки и последующих операций (копирование и т. д.) выбирают фотоматериалы или условия их обработки таким образом, чтобы получить необходимый контраст в изображении объекта.

*Средний полезный градиент  $q$*  необходим для нахождения оптимального времени проявления сенситограммы, по которой определяют все сенситометрические показатели фотоматериала при испытании негативных фото- и кинопленок.

Мерой среднего полезного градиента служит разность плотностей  $\Delta D$  в двух точках характеристической кривой, отстоящих друг от друга на  $\Delta \lg H = 1,3$ , из которых меньшая равна  $0,1 + D_0$ .

На рис. 8 показан способ определения среднего полезного градиента. Его величина выражается формулой:

$$\bar{q} = \Delta D / \Delta \lg H = \Delta D / 1,3$$

Значению среднего полезного градиента  $q = 0,62$  соответствует рекомендуемая степень проявленности фотоматериала. При этом разность плотностей  $\Delta D$  составляет 0,8:

$$\Delta D = q \Delta \lg H = 0,62 \cdot 1,3 = 0,8.$$

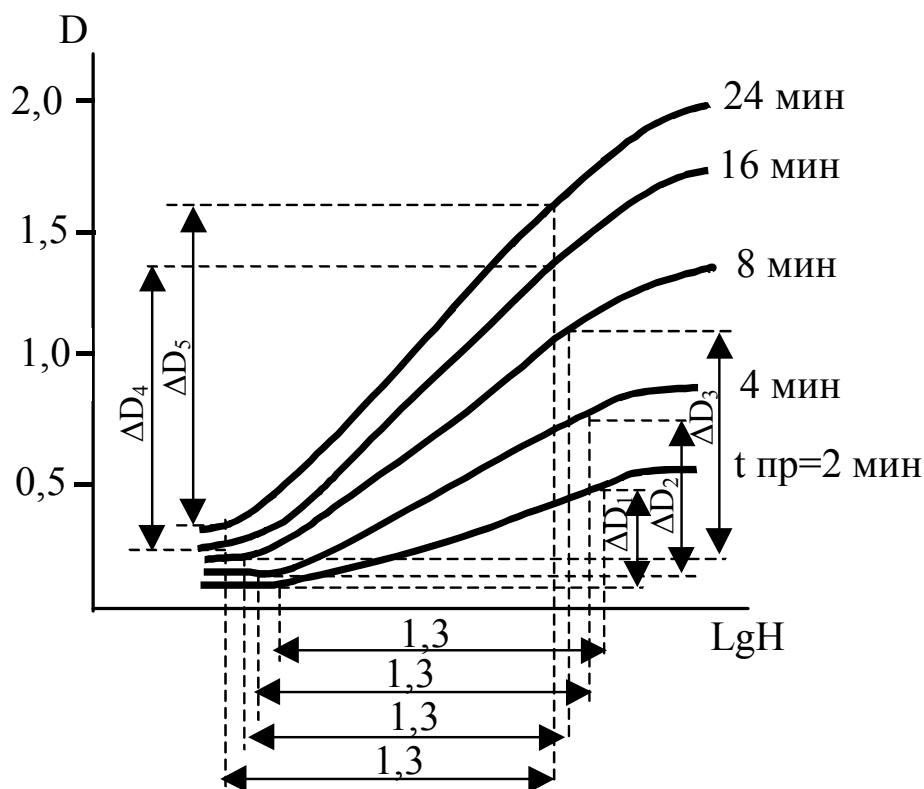


Рисунок 8 - Определение среднего полезного градиента с полулогарифмической шкалой

Сенситометрические показатели фотоматериала зависят от вида применяемого проявителя и продолжительности проявления. Поэтому для полной оценки сенситометрических свойств фотоматериала строят кривые *кинетики проявления*, т.е. кривые зависимости каждой из перечисленных сенситометрических величин от времени проявления. Для этой цели используют сенситометрический бланк с полулогарифмической шкалой (рис. 9).

По кривым кинетики проявления для рекомендуемой степени проявленности находят числовые значения следующих величин: числа общей светочувствительности и оптимального времени проявления.

Число светочувствительности должно быть округлено до ближайшего из следующих чисел, образующих ряд геометрической прогрессии: 1; 1,4; 2; 2,8; 16; 22; 32; 45; 65; 90; 130; 180; 250; 350; 500; 700; 1000 и т. д. Значение коэффициента контрастности и среднего полезного градиента округляется следующим образом: при их значении 0,78 и менее — до 0,02; от 0,8 до 1,45 — до 0,05; от



1,5 до 2,9 — до 0,1; от 3,0 и выше — до 0,2.

Одной из существенных сенситометрических характеристик является *фотографическая широта*. Ее величина соответствует проекции прямолинейного участка на ось абсцисс (см. рис. 5). Чем больше фотографическая широта, тем больше допустимый интервал выдержек или значений диафрагм при съемке, т.е. тем больше предел допустимой погрешности при расчете экспозиции. Чем выше контрастность фотоматериала, тем меньше фотографическая широта и более вероятна ошибка при неточно определенной экспозиции.

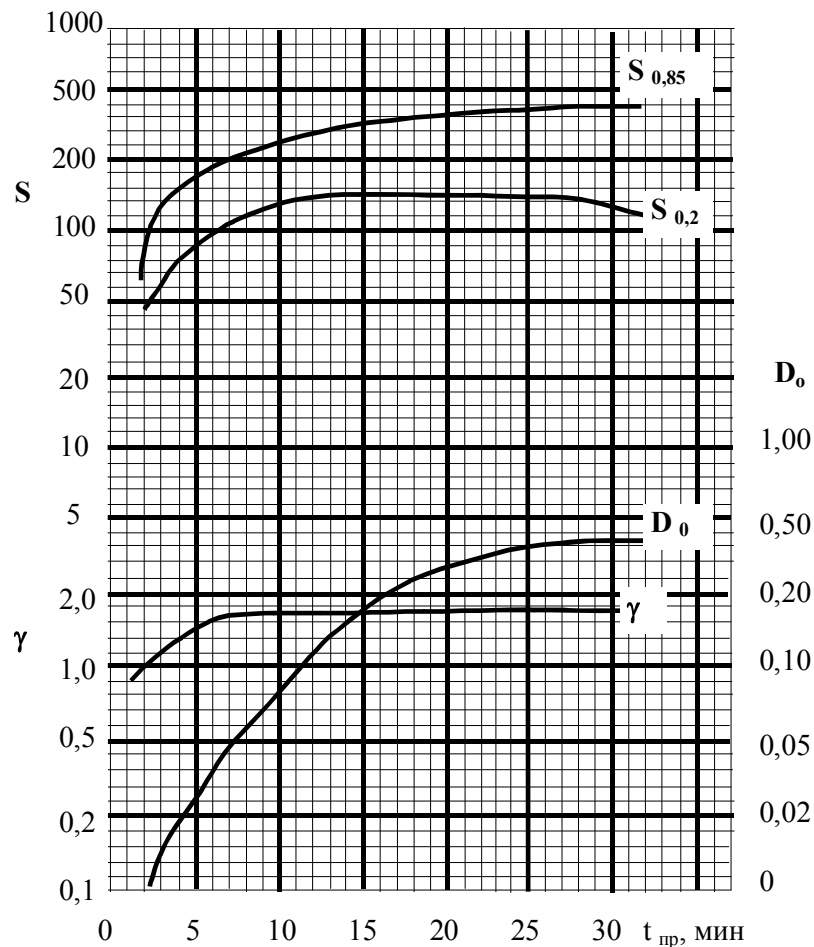


Рисунок 9 - Сенситометрический бланк для построения кривых кинетики проявления

*Фотографическая вуаль* — почернение или окрашенное потемнение фотослоя, образующееся на фотослое независимо от воздействия на него света в процессе химико-фотографической обработки фотоматериала. Возникновение фотографической вуали связано с процессом изготовления эмульсии и ее нане-

сением на подложку, составом светочувствительного слоя, а также условиями химико-фотографической обработки.

*Оптическая плотность вуали  $D_0$*  — это разность между средним значением оптической плотности неэкспонированных участков фотоматериала и плотностью подложки. Плотность подложки определяют измерением плотности неэкспонированного и непроявленного образца, отфиксированного и промытого совместно с сенситограммой. Плотность вуали  $D_0$ , максимальную и минимальную плотности в обращенном изображении  $D_{max}$  и  $D_{min}$  округляют до 0,02.

### 1.5. Спектральная и цветовая сенситометрия

В предыдущих разделах были описаны методы и средства измерения свойств фотоматериалов для получения изображений черно-белых объектов при освещении «белым» светом. Эти способы, называемые интегральной сенситометрией, позволяют определять те свойства, которые необходимы и в известной мере достаточны при воспроизведении шкалы серых цветов. Поскольку же на практике приходится постоянно иметь дело с объектами разнообразной цветности, то, естественно, возникла задача сенситометрического учета действия на светочувствительные слои лучей разного спектрального состава. Приблизительно, но обычно достаточно для фотографической практики, такая задача может решаться путем выяснения эффекта, вызываемого при освещении смешанными лучами отдельных спектральных зон, - это так называемая *цветовая сенситометрия*, поскольку такие смеси имеют определенную окраску. Точный же ответ о распределении фотографической чувствительности по спектру дает особый раздел сенситометрии — *спектральная сенситометрия*.

Видимый свет представляет собой сумму излучений различных длин волн. Зависимость фотографического эффекта от качественного различия экспонирующего света характеризуется спектральной чувствительностью фотоматериала  $S_\lambda$ .

По спектральной чувствительности черно-белые фотоматериалы можно

разделить на несенсибилизированные и спектрально сенсibilизированные: *ортохроматические, панхроматические, изопанхроматические, инфрахроматические* (таблица 4).

Несенсибилизированные фотоматериалы, обладают чувствительностью к сине-фиолетовой части видимого спектра, что обусловлено собственной чувствительностью галогенида серебра (граница собственной чувствительности для AgCl равна 425 нм, для AgBr и AgBr/I соответственно 480 нм и 520 нм). К несенсибилизированным фотоматериалам можно отнести: фотобумаги, позитивные киноплёнки, некоторые негативные фототехнические плёнки для репродукции и др.

**Таблица 4 - Спектр видимого света и его действие на различные светочувствительные слои**

Излучение		Длина волны, м		Воздействует на светочувствительные слои				
		от	до					
Ультрафиолетовые лучи		до 0,400		несенсибилизированный	ортохроматический	изохроматический	панхроматический и изопанхроматический	инфрахроматический
Видимый свет	фиолетовый	0,400	0,430					
	синий	0,430	0,450					
	голубой	0,450	0,500					
	зеленый	0,500	0,570					
	желтый	0,570	0,600					
	оранжевый	0,600	0,630					
красный	0,630	0,760						
Инфракрасные лучи		свыше 0,760		-	-	-	-	инфра-хроматический

Сенсибилизированные фотоматериалы кроме собственной чувствительности, обусловленной природой галогенида серебра, имеют дополнительную чувствительность в длинноволновой части видимого спектра. Так, ортохрома-

тические фотоматериалы (от греческого *ортос* — правильный) чувствуют сине-фиолетовую и желто-зеленую части спектра. Панхроматические фотоматериалы (от греческого *пан* — весь) реагируют на все лучи видимого спектра, правда, к зеленой части спектра чувствительность значительно понижена. Изопанхроматические фотоматериалы (от греческого *изос* — равный) почти одинаково реагируют на излучение всех длин волн видимого спектра.

Задачами *цветовой сенситометрии* являются определения, во-первых, собственно цветочувствительности путем фотографирования специальных цветных таблиц и, во-вторых, эффективной светочувствительности с помощью светофильтров, выделяющих определенные области спектра.

В первом способе были предложены различные цветные таблицы, и не только для качественной, но и для количественной характеристики цветочувствительности. В этих таблицах рядом с цветными полями помещены ступенчатые нейтрально-серые для количественного сравнения фотографического эффекта со зрительным. В качестве примера можно рассмотреть таблицу «Agfa», на которой расположены параллельно четыре цветные полосы - синяя, зеленая, желтая и красная. Рядом с ними, в контакте, помещены серые ступенчатые шкалы с возрастающими потемнениями полей, которые пронумерованы от 0 до 120%. Некоторая ступень серой шкалы при дневном свете будет обладать визуально одинаковой яркостью с соседней цветной полосой, - это поле обозначается 100%; более светлые для глаза серые поля оцениваются соответственно большим, а более темные - меньшим числом в процентах прямо пропорционально их визуальной яркости.

На негативном изображении совпадение почернений цветных полос с почернениями соседних серых полей, как правило, не будет одинаковым с визуальным восприятием. Тогда, если изображение той или иной цветной полосы будет сливаться с более светлым (или более темным) по сравнению с глазом изображением серого поля, это будет указывать на то, что цветочувствительность фотоматериала ниже (или соответственно выше), чем относительная чувствительность глаза. Отсюда, естественно, следует, что соответствующие цвета

объекта будут переданы в негативном черно-белом изображении слишком светлыми (или слишком темными), а в позитивном, наоборот, слишком темными (или светлыми). В сущности, получаемые значения процентов выражают отношение цветочувствительности фотоматериала к цветочувствительности глаза.

Практически применение метода цветных таблиц весьма просто и, в принципе, целесообразно, однако его главный недостаток состоит в воспроизводимости при изготовлении таблиц, особенно в отношении невозможности получения чистоты окрасок цветных полос и достаточной нейтральности серых полей. Кроме того, следует иметь в виду, что результаты испытаний зависят от спектрального состава освещаемого светового потока.

Другой путь измерения цветочувствительности представляет собой применение светофильтров, которые значительно надежнее выделяют отдельные спектральные зоны. Для этого производится экспонирование в сенситометре через стандартные светофильтры и определение эффективной светочувствительности  $S_\varphi$ . Если известна общая светочувствительность к белому свету  $S_b$ , то можно вычислить кратность светофильтра  $F = S_b/S_\varphi$ , которая указывает во сколько раз должна быть увеличена экспозиция, чтобы получить через светофильтр одинаковый с исходным фотографический эффект.

#### 1.5.1 Устройство и порядок работы на спектросенситометре

*Спектральная сенситометрия* предполагает действие на фотослой излучения различных длин волн, предварительно разложенных в спектр при помощи призмы. Поэтому в данном случае основной частью прибора для определения чувствительности фотослоя служит спектрограф.

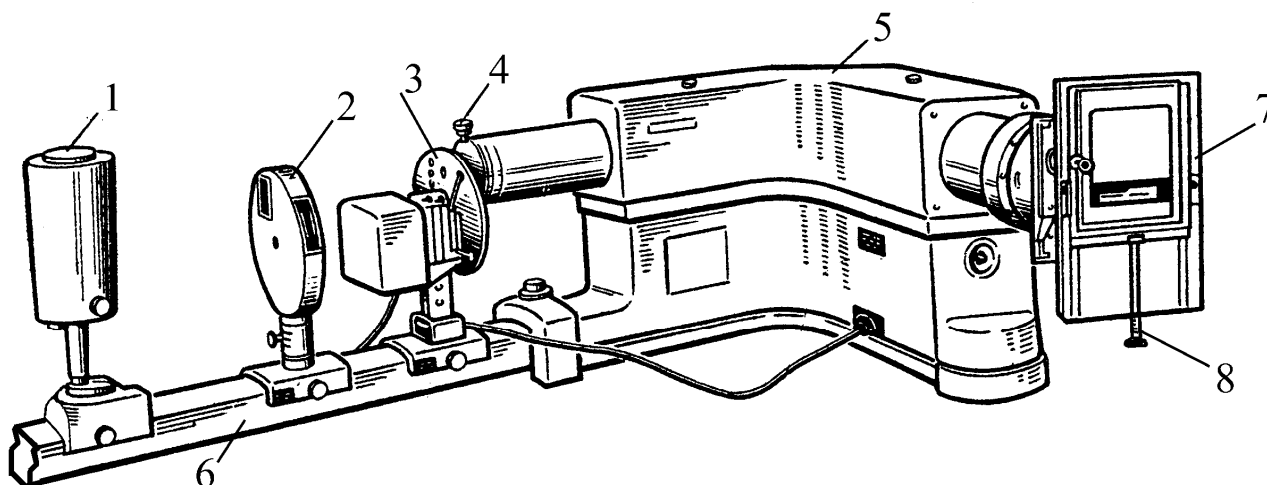


Рисунок 10 - Спектросенситометр ИСП-73: 1 - лампа накаливания, 2 – конденсор и нейтральный ослабитель, 3 – затвор, 4 - входная щель, 5 - спектрограф, 6 - станина, 7 – кассетная часть, 8 – ходовой винт

На рис. 10 показан общий вид спектросенситометра ИСП-73, применяемого для измерения абсолютной спектральной чувствительности фотографических материалов. Этот прибор дает возможность определять спектральную чувствительность фотоматериала, начиная от видимой области спектра до инфракрасной (от 400 до 1000 нм).

Источником излучения служит лампа накаливания 1 (СИ-14). Изображение нити накала проецируется через нейтральный ослабитель 2 и затвор 3 на входную щель 4 спектрографа 5.

Спектрограф ФСР-7, входящий в комплект спектросенситометрической установки ИСП-73, имеет стеклянную оптику, что позволяет регистрировать излучение с длиной волны  $\lambda=380$  нм. Более коротковолновое излучение стеклянная оптика не пропускает. Поэтому, если необходимо определить чувствительность фотоматериала к ультрафиолетовому излучению, используют кварцевую или другую оптику, пропускающую ультрафиолетовое излучение.

Свет, прошедший через щель, попадает на призму (или систему призм), которая отклоняет под разными углами излучение различных длин волн, экспонирующих разные участки фотопластины. При использовании лампы нака-

ливания получается сплошной спектр. Для определения длин волн в спектре в испытуемый фотоматериал впечатывается шкала длин волн.

Последовательно устанавливая дырчатые ослабители с различными оптическими плотностями при постоянной выдержке, на испытуемом фотографическом материале получают ряд изображений различно ослабленного сплошного спектра.

Спектросенситограмма, полученная после проявления, характеризуется тем, что для каждой ее точки известно абсолютное количество упавшего на нее монохроматического излучения. Фотометрическая обработка спектросенситограммы позволяет определить кривую спектральной светочувствительности испытуемого материала.

Все части спектросенситометра укреплены на массивной станине *б* и жестко соединенном с ней рельсе.

Источником света *l* в спектросенситометре служит ленточная лампа накаливания, калиброванная на цветовую температуру 2850 К. Режим питания лампы, соответствующий этой температуре и указанный в аттестате прибора, контролируется вольтметром и амперметром класса 0,5, смонтированным в пульте питания Л1С-132. Питание лампы осуществляется от сети переменного тока напряжением 127/220 В через пульт.

На держатель лампы надевается защитный кожух. Держатель устанавливается на рельс в положение, при котором конденсор дает резкое изображение ленты лампы с увеличением  $\Gamma^x$  в плоскости входной щели спектрографа.

Осветительно - сенситометрическое устройство состоит из двухкомпонентного, симметричного конденсора и двух револьверных дисков с набором дырчатых ослабителей, предназначенных для осуществления двенадцати ступеней неизбирательного ослабления света в спектрографе.

Оптические плотности дырчатых ослабителей *2* образуют ряд арифметической прогрессии со средним значением модуля  $0,20 \pm 0,01$ . Соответственно коэффициенты пропускания дырчатых ослабителей образуют ряд геометрической прогрессии с модулем около 1,60. Экспериментально определенные зна-

чения оптических плотностей дырчатых ослабителей занесены в аттестат прибора. Интервал освещенностей, создаваемый набором дырчатых ослабителей в фокальной плоскости спектрографа, составляет для разных приборов от 1:250 до 1:350.

Револьверные диски с дырчатыми ослабителями крепятся в корпусе. На левом диске "А" расположены ослабители № 7, 8, 9, 10, 11 и 12 с большими значениями коэффициента пропускания. На левом диске "Б" расположены ослабители № 1, 2, 3, 4, 5 и 6 с малыми значениями коэффициента пропускания.

Каждый из револьверных дисков можно поворачивать на оси с помощью выступающей оправы с накаткой и устанавливать посредством фиксатора в семи определенных положениях: шесть положений соответствуют центрированной установке дырчатых ослабителей относительно конденсора, седьмое - установке свободного отверстия.

Электрический затвор 3 состоит из однофазного синхронного электродвигателя с полезной мощностью около 3 Вт, который через редуктор вращает экспозиционный диск. Диск имеет три секторных выреза, соответствующих трем выдержкам затвора. Истинные значения выдержек указаны в аттестате прибора.

Электродвигатель с редуктором смонтирован в кожухе. Для того чтобы при непрерывном вращении диска происходила однократная засветка, затвор имеет вспомогательную заслонку с тремя отверстиями. При нажатии на одну из педалек заслонка устанавливается так, что против входной щели 4 спектрографа оказывается одно из отверстий заслонки. Нажатие на педальку следует производить тогда, когда белая метка на экспозиционном диске будет находиться вблизи верхнего вертикального положения. На внутренней стороне экспозиционного диска имеется выступ, сбрасывающий заслонку после полного оборота диска в исходное положение, при котором щель спектрографа становится экранированной.

Затвор закрепляют на рельсе так, чтобы расстояние между экспозиционным диском и щелью было не более 2-3 мм.



Питание затвора производится от сети переменного тока через пульт ЭПС-132.

Спектрограф 5 состоит из трех основных частей: коллиматора, призмной части и камеры; все они смонтированы на станине и закрываются общим литым кожухом.

Входная щель спектрографа выставлена в фокальной плоскости объектива коллиматора. Ширина раскрытия щели устанавливается по шкале барабана с точностью до 0,01 мм.

Призмы неподвижно укреплены на столик, который при юстировке может поворачиваться в небольших пределах с помощью эксцентрика.

Для уменьшения количества рассеянного света в фокальной плоскости прибора спектрограф внутри почернен и снабжен диафрагмами.

Кассетная часть 7 имеет укрепленные на плато направляющие, по которым перемещается рама с кассетой. Перемещение рамы производится с помощью ходового винта 8. Рама обеспечивает экспонирование шестнадцати полей спектросенситограммы и впечатывание двух шкал длин волн. Положение рамы определяется по шкале.

Кассета 9×12 состоит из рамки, крышки с двумя плоскими пружинами, выдвижной шторки и замка. Вкладыш представляет собой металлическую пластинку 9×12 для киноплёнки 3,5×12 см; на одной стороне вкладыша расположены два паза, на другой - один. В кассету вкладыш вставляется как обычная фотопластинка.

Порядок работы на спектросенситометре.

1. Установить необходимую по условиям работу ширину входной щели спектрографа и выдержку затвора (по шкале настройки).
2. Подключить к пульту питания ленточную лампу, электрический затвор и лампочку подсветки шкалы длин волн, как указано в описании пульта ЭПС – 132.

3. Включить ленточную лампу при пониженном (по сравнению с указанным в аттестате) режиме питания и убедиться в том, что в плоскости входной щели спектрографа получается резкое изображение ленты.
4. Установить по электроизмерительным приборам на пульте указанный в аттестате режим горения ленточной лампы соответствующий ее цветовой температуре 2850 К и дать лампе гореть 1-2 мин для достижения постоянства светового потока.
5. Вставить кассету с фотографическим материалом в кассетную рамку и установить ее в самое нижнее положение, отмеченное риску с надписью «шк».
6. Выдвинуть шторку кассеты до упора. Поворотом рукоятки с надписью «шкала» привести шкалу длин волн в контакт с испытуемым материалом и впечатать шкалу длин волн.
7. Вывести шкалу длин волн, передвинуть рамку с кассетой в положение «I» и поворотом рукоятки с надписью «рамка» привести рамку с прорезями в контакт с фотографическим материалом.
8. Установить диск «А» в положение «13», а диск «Б» - в положение «I», нажимая педальку, соответствующую определенной выдержке (время экспонирования определяется по табл. 5 ), экспонировать первое поле спектросенситограммы.
9. Передвинуть раму с кассетой в положение «2», ввести ослабитель №2 и, нажимая на педальку затвора, экспонировать второе поле спектросенситограммы. Последовательно устанавливая кассету в положение «3», «4», «5», «6», применяя соответственно ослабители № 3,4,5,6 и действуя в указанном порядке, экспонировать на фотографическом материале шесть полей спектросенситограммы при различных оптических плотностях дырчатых ослабителей.
10. Установить диск «Б» в положение «0», рукоятку кулачка повернуть в положение «А» и, последовательно устанавливая ослабители №7, 8, 9, 10, 11, 12 и 13, экспонировать остальные поля спектросенситограммы. Тринадцатое поле экспонируется с дырчатым ослабителем, оптическая плотность которо-

го равна нулю. Три запасных поля используют в тех случаях, когда не хватает диапазона освещенности даваемого ослабителями; тогда необходимо изменить ширину щели и производить дополнительное экспонирование при трех ослабителях.

**Таблица 5 - Таблица выбора условий экспонирования спектросенситограмм**

$S_{0,85}$	Щель $\ell$ , мм	Время эксп. t, сек	$S_{0,85}$	Щель $\ell$ , мм	Время эксп. t, сек
0,3-0,5	0,50	1	150	0,05	1/20 $\Phi=0,5$
0,5-1,5	0,15	1	200-300	0,05	1/20 $\Phi=0,5$
1,5-2,5	0,05	1/5	350-400	0,05	1/20 $\Phi=1$
2,5-3,5	0,10	1	400-450	0,05	1/20 $\Phi=1$
3,5-4,5	0,10	1	450-550	0,05	1/20 $\Phi=1,5$
4,5-6,5	0,05	1/5	550-600	0,05	1/20 $\Phi=1,5$
6,5-10	0,05	1/5	600-750	0,05	1/20 $\Phi=1,5$
10-15	0,05	1/5	750-800	0,05	1/20 $\Phi=1,5$
15-20	0,05	1/5	800-900	0,05	1/20 $\Phi=1,5$
20-30	0,10	1/20	900-1100	0,05	1/20 $\Phi=2$
30-40	0,05	1/20	1100-1600	0,05	1/20 $\Phi=2$
40-50	0,05	1/20	4000-4500	0,05	1/20 $\Phi=2$
60-70	0,05	1/20			
80-90	0,05	1/20			
90-100	0,05	1/20			
100-200	0,05	1/20			

### 1.5.2 Обработка спектросенситограмм и результаты испытаний

ХФО спектросенситограмм проводится точно так же, как и обычных сенситограмм. Для измерения оптических плотностей почернения используют микрофотометр или денситометр. Затем строят характеристические кривые для отдельных длин волн. На рис. 11 приведены кривые спектральной чувствительности ряда фотоматериалов с различными диапазонами спектральной сенсibilизации.

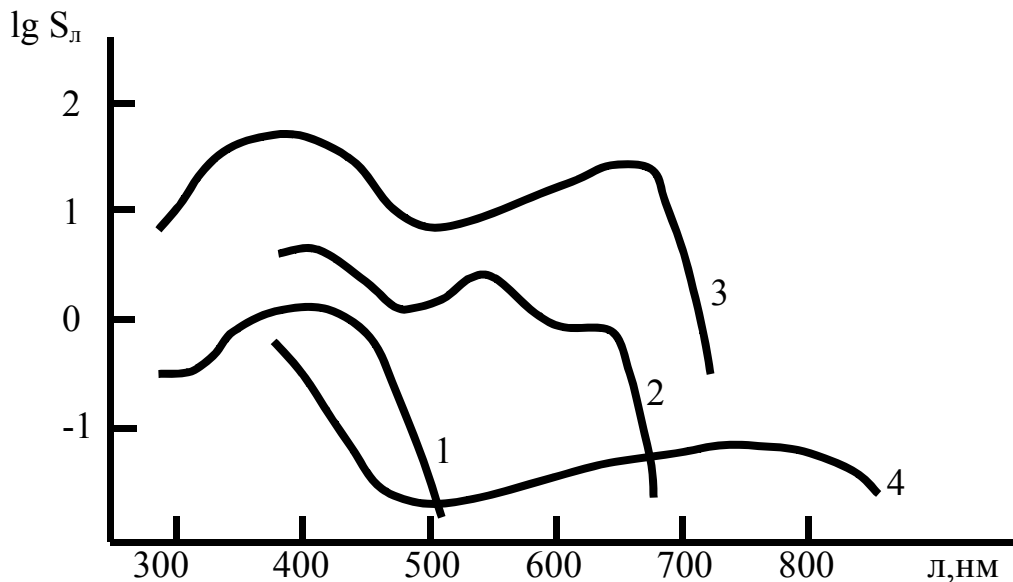


Рисунок 11 - Кривые спектральной чувствительности четырех типов фотоматериалов: 1 - позитивная пленка МЗ - 3, 2 - негативная кинопленка КН - 2, 3 - аэрофотопленка «Изопанхром - 13», 4 - инфрахроматическая пленка И-810

Для получения кривой спектральной светочувствительности ( $\lg S_\lambda - \lambda$ ) достаточно измерить для каждой из указанных длин волн оптические плотности лишь двух соседних полей – меньшую и большую  $D_1 = D_0 + 1,0$ . Интерполяцией значений оптической плотности дырчатых ослабителей «А» и «Б», соответствующих значениям оптической плотности почернения на спектросенситограмме, находим значение, отвечающее значению  $D_1 = D_0 + 1,0$ , являющемуся критерием спектральной светочувствительности черно-белых материалов.

Логарифм спектральной светочувствительности испытуемого материала вычисляется по следующей формуле:

$$\lg S_\lambda = -(\lg H_\lambda)_{D=const} = -[\lg E_\lambda - \Delta + \lg t + \lg \ell]_{D=const},$$

где  $H_\lambda$  - количество монохроматического освещения в фокальной плоскости спектросенситометра, эрг/см<sup>2</sup>;

$E_\lambda$  - плотность монохроматического потока с длиной волны  $\lambda$  в фокальной плоскости при выведенных дырчатых ослабителях (положение 13-е) и ширине входной щели  $\ell = 1,00$ мм;

$\Delta$  - найденная интерполяцией оптическая плотность дырчатого ослабителя, отвечающая почернению с плотностью  $D_1 = D_0 + 1,0$ ;

$\ell$  – истинная ширина щели, мм;

$t$  – истинное время освещения, даваемое затвором, сек.

Значение  $E_\lambda$  при требуемых длинах волн и истинные значения  $lg\ell$  и  $lgt$  находят по аттестату прибора.

Если необходимо получить монохроматические характеристические кривые, то для каждой длины волны измеряют плотности почернений на всех полях спектросенситограммы. Затем строят график, откладывая по оси ординат измеренные значения оптической плотности почернения, а по оси абсцисс – логарифмы количества монохроматического освещения

При испытании черно – белых материалов на непрозрачной подложке (фотографических бумаг) экспонирование в спектросенситометре производится так же, как и при испытании пленок и пластинок. Отличается лишь техника фотометрической обработки спектросенситограмм, которая в данном случае производится без применения денситометра. На испытуемой бумаге в результате равномерной засветки белым светом получают большое поле с желаемой эталонной плотностью отпечатка (например,  $D = 0,5$ ) и прорезают узкое прямоугольное отверстие размерами около  $1 \times 3$  мм. Перемещая эталонное поле вдоль каждого поля спектросенситограммы, находят длину волны, при которой плотность почернения равна эталонной плотности. Отсюда по формуле, аналогичной приведенной выше, находят спектральную светочувствительность.

### **1.6. Сенситометрия черно-белых фотографических бумаг**

Черно-белые фотобумаги по ряду сенситометрических свойств значительно отличаются от фотографических материалов на прозрачной подложке. Они имеют малую светочувствительность, небольшой интервал полезных экспозиций и невысокие значения максимальной плотности. Кинетика проявления фотобумаг отличается от кинетики проявления фотопленок или фотопластинок.

Фотобумаги должны проявляться быстро, чтобы массовая печать зани-

мала мало времени. Проявляют фотобумаги до максимальной контрастности, поэтому очень трудно регулировать величину контраста продолжительностью проявления. Чтобы получить позитивное изображение с необходимым контрастом, применяют фотобумаги с различной степенью контрастности. Следовательно, основные сенситометрические характеристики фотобумаг — контрастность и светочувствительность — определяют иначе, чем характеристики фотоматериалов на прозрачной подложке.

Испытание фотобумаг проводится при помощи специального тест-объекта ПС-24, входящего в комплект сенситометра ФСР-41. Тест-объект представляет собой стеклянную пластинку, на которую нанесены следующие составляющие:

1) три негатива одного сюжета, но разной степени контрастности: *H*, *K* и *OK*. Наибольший контраст имеет негатив *H*, минимальный — *OK*. Эти негативы предназначены для определения контраста фотобумаги. С негатива *H* наилучшие отпечатки получают на мягких и нормальных фотобумагах, с негатива *K* — на контрастных, с негатива *OK* — на особоконтрастных;

2) ступенчатый оптический клин для получения сенситограммы, по которой может быть построена характеристическая кривая или визуально определены светочувствительность и полезный интервал экспозиций. В качестве модулятора применяется ступенчатый оптический клин с постоянной  $K_c$ , равной  $0,100 \pm 0,005$ . Допускается применение ступенчатого клина с постоянной  $K_c = 0,150 \pm 0,003$ .

Почернение проявленной фотобумаги возникает при прохождении света через слой дважды: при его освещении под углом  $45^\circ$  часть света отражается или рассеивается в зависимости от структуры (глянца) поверхности слоя, другая часть проходит внутрь, поглощается частицами восстановленного серебра, отражается от баритового слоя подложки, снова поглощается и, выйдя наружу, попадает в глаз наблюдателя.

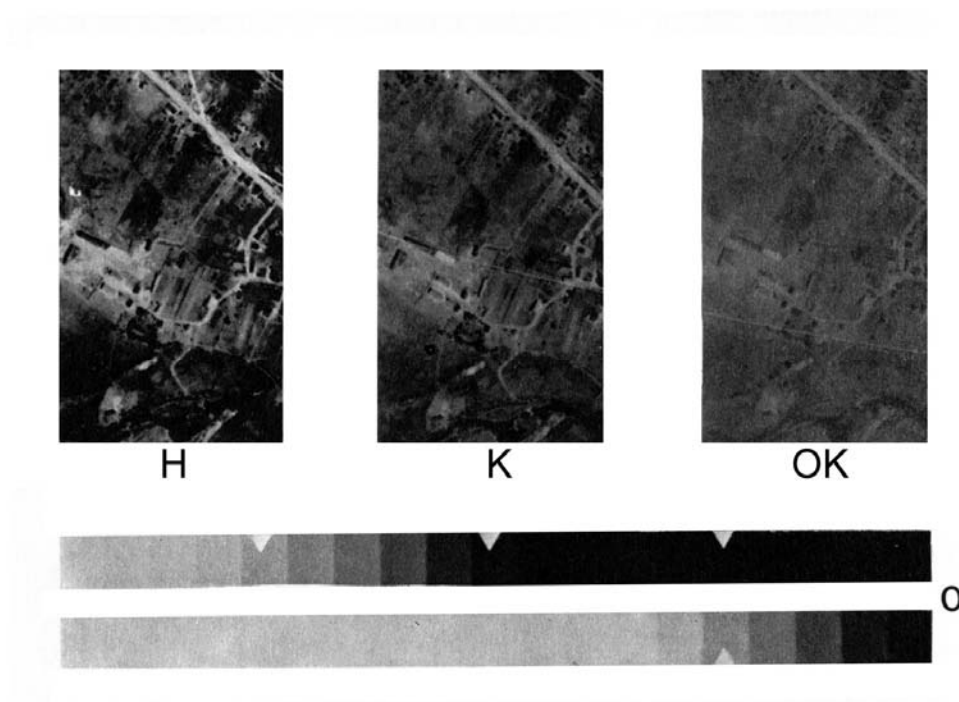


Рисунок 12 - Тест для сенситометрии фотобумаг

Для выражения степени почернения предложен термин «плотность отпечатка  $D''_r$ ». Эта величина, аналогично оптической плотности прозрачного слоя, принята равной десятичному логарифму коэффициента потемнения отпечатка:

$$D_r = \lg O_r$$

где  $O_r = B_0/B$ ,

$B_0$  - яркость поверхности отфиксированного слоя,

$B$  - яркость слоя после проявления.

Если обозначить через  $a$  – коэффициент отражения желатины,  $A$  - альbedo баритового слоя,  $T$  - коэффициент пропускания проявленного слоя фотобумаги в проходящем свете, то можно получить зависимость для  $D_r$ :

$$D_r = \lg \frac{1}{(1-a)T^2 A + a}.$$

В сенситометрии фотобумаг предпочтительнее источник света с  $T_c = 3200$  К. Для получения правильно экспонированных сенситограмм количество освещения на поверхности клина должно быть в случае малочувствительных хлоросеребряных бумаг  $\sim 15000$  лк•с, бромосеребряных бумаг общего назначе-

ния - 1000 - 2000 лк•с и для высокочувствительных технических фотобумаг - 150 - 200 лк•с. Проявление фотобумаг общего назначения производится в проявителе № 1 при температуре  $T = 20 \pm 0,5$  °С в горизонтальных кюветах при покачивании; фиксирование - в кислом фиксаже.

Измерения  $D_r$  осуществляются в специального типа фотометрах при освещении сенситограммы под углом  $45^\circ$ . За  $D_r = 0$  принимается значение оптической плотности непроявленного отфиксированного отрезка фотобумаги, тогда значения сравниваемых с ним почернений будут включать оптическую плотность вуали.

*Оптические плотности* почернений на сенситограммах измеряют на середине их полей в отраженном свете. Минимальный размер измеряемой площади  $4 \text{ мм}^2$ . Измерения делают на нескольких образцах. Окончательным результатом считают среднее арифметическое из полученных данных. Оптические плотности измеряют на денситометрах ЦД-7 с приставкой, фотометрах ФМ, RD-519-Макбет и др.

Сенситометрические показатели фотобумаги могут быть определены как с построением характеристических кривых, так и без них. Характеристические кривые строят на сенситометрическом бланке или на миллиметровой бумаге. Число светочувствительности фотобумаги находят по формуле:

$$S = 100 / \sqrt{H_1 H_2}$$

где 100 - постоянный условный коэффициент;

$H_1$  и  $H_2$  — экспозиции для ступеней клина, под которыми на сенситограмме получены крайние различимые изображения ступеней.

Число светочувствительности должно определяться как среднее арифметическое значение не менее чем трех параллельных испытаний. Допустимые расхождения между этими испытаниями не должны превышать 10%. Полученные результаты округляют следующим образом:



Значения светочувствительности S, ед. ГОСТ	Округление, до
1,0 — 2,0	0,1
2,1 — 5,0	0,2
5,2 — 10,0	0,5
10,5 — 20	1,0

Полезный интервал экспозиций по крайним изображениям ступеней клина измеряют в связи с тем, что при получении позитивного изображения на фотобумаге используется практически вся характеристическая кривая, включая нелинейные участки. Как и для фотоматериалов на гибкой подложке определяют максимальную оптическую плотность  $D_{max}$  и оптическую плотность вуали  $D_0$ .

Отличительной особенностью сенситометрии фотографических бумаг является измерение *фотографической гибкости*, под которой понимается отношение величин светочувствительности при проявлении в течение 6 и 2 мин, выраженной в процентах:

$$P_{\phi} = \frac{S_1}{S_2} \cdot 100$$

где  $S_1$  - светочувствительность фотобумаги при проявлении в течение 6 мин;

$S_2$  - светочувствительность при проявлении в течение 2 мин.

Самый важный признак классификации фотобумаг – степень контрастности. Контрастность фотобумаг оценивается средним градиентом характеристической кривой  $\bar{g}$  :

$$\bar{g} = \frac{\Delta D_g}{l_g}$$

где  $\Delta D_g$  – полезный интервал оптических плотностей, определяется по формуле:

$$\Delta D_g = D_{max} - 0,1,$$

$l_g$  – полезный интервал экспозиций, величину которого находят, используя следующую формулу:

$$l_g = 0,1(N_2 - N_1),$$

$N_1$  – номер самого темного поля на сенситограмме, визуально хорошо отличимого от двух соседних полей,

$N_2$  - номер самого светлого поля на сенситограмме.

Величина полезного интервала экспозиций фотобумаги – основной параметр при определении градационной группы изготавливаемой фотобумаги (табл. 6).

**Таблица 6 - Классификация фотобумаг по  $l_g$  согласно ГОСТ 10752-79**

Полезный интервал экспозиций фотобумаги $l_g$	Степень контрастности фотобумаги (градационная группа)
$\geq 1,4$	Мягкая
1,2 – 1,3	Полумягкая
1,0 – 1,1	Нормальная
0,8 – 0,9	Контрастная
$\leq 0,7$	Особоконтрастная

### 1.7. Определение фотографических свойств обрабатываемых фотоматериалов

У обрабатываемых фотоматериалов фотографический эффект обратно пропорционален действию света: чем оно больше, тем меньше оптическая плотность фотографического изображения. Поэтому характеристические кривые обрабатываемых фотоматериалов - зеркальное отражение кривых негативно-позитивных материалов (рис. 13).

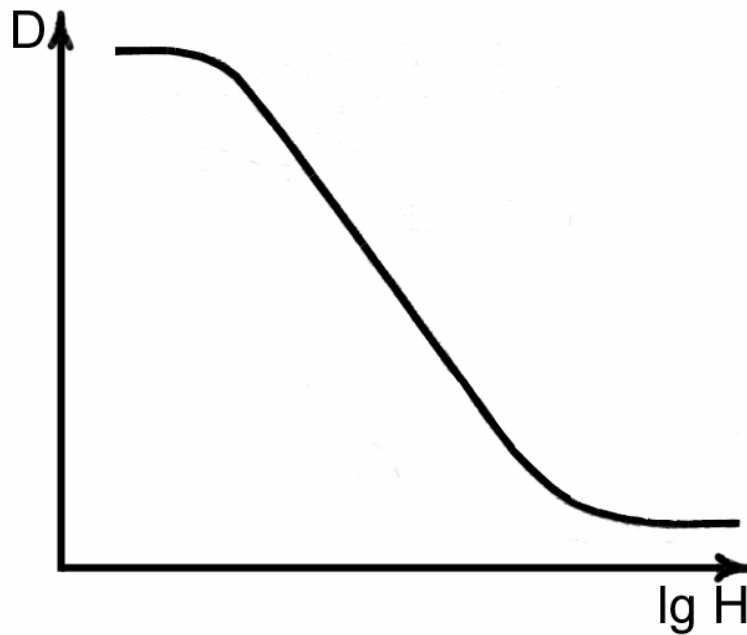


Рисунок 13 - Характеристическая кривая обращаемого фотоматериала

Принципы, которые заложены в основу определения фотографических свойств обращаемых материалов, такие же, как и для негативно-позитивных. Различия состоят только в выборе критериев и некоторых частных деталях.

Для обращаемых материалов:

- минимальная оптическая плотность  $D_{мин}$  - оптическая плотность участка, экспонированного таким образом, что дальнейшее увеличение экспозиции не вызовет ее уменьшения.
- оптическая плотность подложки определяется плотностью неэкспонированного и не проявленного образца, отфиксированного и промытого совместно с сенситограммой.
- оптическая плотность вуали  $D_0$  определяется разностью между минимальной плотностью и плотностью подложки;

Основное требование к определению светочувствительности обращаемых пленок: значение светочувствительности для них должно совпадать с этим показателем негативных пленок, т. е. у негативного и обращаемого фотоматериалов с одинаковой светочувствительностью при одних и тех же условиях

съемки должна быть и одинаковая экспозиция.

Частичная светочувствительность элементарных слоев цветных обра-  
щаемых пленок вычисляется по формуле:

$$S = K/H_{кр} = 10/H_{кр},$$

где  $K$  - постоянный коэффициент, равный 10;

$H_{кр}$  - экспозиция, соответствующая точке характеристической кривой с  
оптической плотностью, которая на величину  $D_{кр} = 0,9$  (критерий светочувст-  
вительности) превышает минимальную оптическую плотность  $D_{мин}$ .

Общую светочувствительность обращаемых пленок определяют значе-  
нием наибольшей частичной светочувствительности.

Контрастность обращаемых материалов оценивается теми же показате-  
лями, что и у негативно-позитивных материалов — коэффициентом контраст-  
ности или средними градиентами. Их значение (так же, как и для негативно-  
позитивных пленок) находится как отношение приращения оптической плотно-  
сти к интервалу логарифмов экспозиций для выбранных участков характери-  
стической кривой.

Общий коэффициент контрастности и общие средние градиенты опре-  
деляются как наибольшие частичные, относящиеся к зелено- и красночувстви-  
тельным слоям.

Фотографическая широта (для отдельных слоев и общая), баланс свето-  
чувствительности и баланс контрастности обращаемых пленок находятся так  
же, как для негативных.

## 1.8. Основы экспонометрии

Данную проблему следует отнести к задачам надежного определения  
выдержки при съемках фотокамерами, когда качество фотографического изо-  
бражения обусловлено, прежде всего, оптимальной выдержкой при неизменяе-  
мых условиях освещенности объекта, т. е. при определенной шкале его ярко-  
стей. Иными словами, данный раздел связан с фотографической сенситометри-  
ей и посвящен изучению и установлению условий экспонирования фотомате-

риалов, при которых получаются наилучшие результаты воспроизведения объекта.

Известно, что для достижения высококачественных результатов основное требование заключается в том, чтобы интервал яркостей объекта укладывался в интервал полезной области характеристической кривой негативного фотоматериала. Если интервал яркостей объекта меньше интервала экспозиций фотоматериала и при определенной выдержке он попадает на нижнюю (область недодержек) или прямолинейную часть характеристической кривой, то негатив будет, соответственно, прозрачным в тенях или обеспечит пропорциональную передачу светотени объекта.

При решении экспонометрической задачи возникает необходимость выбора сюжетно важной детали объекта, а именно: той или иной области яркостей объекта, которую следует в данном случае признать наиболее характерной. По данным практического опыта необходимо установить, чтобы оптическая плотность этой детали превышала на негативе его наименьшую плотность на некоторую величину  $\Delta D$ ; кроме того, необходимо, чтобы передача яркостей объекта была линейной. Тогда можно написать:

$$\lg H_2 - \lg H_1 = \frac{\Delta D}{\gamma},$$

где  $H_2, H_1$  - соответственно экспозиции крайних точек изображения в верхней и нижней части прямолинейной области характеристической кривой. Если светочувствительность слоя  $S = 1/H_1$  или  $H_1 = 1/S$ , а экспозиция сюжетно важной детали  $H_2 = E't$ , где  $E'$  - освещенность, создаваемая этой деталью, то, подставив значения  $H_1$  и  $H_2$  в вышенаписанное уравнение, получаем:

$$\lg E't - \lg\left(\frac{1}{S}\right) = \frac{\Delta D}{\gamma}, \text{ или } E'tS = 10^{\frac{\Delta D}{\gamma}}.$$

Учитывая оптические свойства объектива и его эффективную светосилу  $J_9$ , а также постоянство  $\Delta D$  и  $\gamma$ , можно влияние всех этих факторов объединить коэффициентом  $K$ . Тогда получаем выражение, которое можно считать экспо-

нометрической формулой:

$$B_{o\bar{o}} = J_{\bar{o}}StK.$$

Причем  $K$  является экспонометрической постоянной, индивидуальной для различных областей фотографии. Отсюда, для определения выдержки и градуировки экспонометров будем иметь формулу:  $t = K/B_{o\bar{o}}J_{\bar{o}}S$ . На практике задача определения выдержки решается обычно применением специальных приборов - экспонометров фотоэлектрического типа. Значение такого типа приборов состоит в том, что они позволяют учитывать освещенность или яркость объекта, а также оптические характеристики объектива и светочувствительность фотоматериала. Все эти данные сведены в подвижную таблицу - калькулятор, который и служит для вычисления выдержки.

## 2. СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЦВЕТНЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

### 2.1. Основные характеристики цветных фотоматериалов

В цветной фотографии выбор величины для определения фотографического эффекта и ее измерения более сложны. Прежде всего это связано с тем, что оптическая плотность участка цветного изображения зависит от спектрального состава освещения и спектральной чувствительности приемника.

Для оценки цветного изображения принята величина *«эффективная оптическая плотность»* – оптическая плотность, определенная при заданном спектральном составе освещения в отношении заданного светочувствительного приемника.

Цветное изображение состоит из трех красителей. Определение эффективной оптической плотности каждого из них проводится в зоне его максимума поглощения. Каждый из красителей цветных фотоматериалов имеет паразитное поглощение в зоне максимума двух других. Поэтому на определяемое значение эффективной оптической плотности одного из красителей будет существенно влиять количество остальных. В связи с этим в цветной фотографии необходимо измерять два вида оптических плотностей: общую (интегральную) и частичные.

Общая эффективная оптическая плотность всех слоев красителей характеризует фотографическое цветное изображение по его воздействию на приемник. Частичные эффективные оптические плотности отдельных слоев цветного изображения служат мерой концентрации образовавшегося в слое красителя, т.е. мерой фотоэффекта. По ним можно судить о фотографических свойствах отдельных слоев, их значения используются для построения характеристических кривых.

Сенситометрические испытания цветных фотоматериалов заключаются в получении сенситограмм для каждого из эмульсионных слоев и построении

характеристических кривых.

Сенситометрические показатели определяют для каждого из слоев, а также для всего фотоматериала в целом. При испытаниях определяют светочувствительность  $S_D$ , коэффициент контрастности  $\gamma$ , фотографическую широту  $L$ , оптическую плотность вуали  $D_0$ , баланс по чувствительности  $B_S$  и баланс по контрастности  $B_\gamma$ .

В качестве сенситометра используют прибор УКЭП-1, измерение плотностей почернений проводят при помощи описанного выше денситометра.

Экспонированные и проявленные сенситограммы измеряют последовательно через три цветных светофильтра, установленных в ходе лучей от источника света денситометра. Плотность желтого цветоделенного изображения определяют за синим, пурпурного - за зеленым, голубого - за красным светофильтром.

Суммарную плотность цветного негативного изображения, образованного во всех трех слоях фотоматериала, оценивают в величинах копировальной плотности  $D_{кп}$ . За единицу  $D_{кп}$  принимают величину оптической плотности на одном из слоев цветного позитива, дающего такой же эффект, как нейтрально-серое серебряное изображение с плотностью 1,0.

Светочувствительность каждого эмульсионного слоя измеряют аналогично чувствительности черно-белых фотоматериалов по формуле:

$$S = K / H_{кр}$$

где  $K$  - постоянный коэффициент;

$H_{кр}$  - количество освещения, соответствующее оптической плотности, которая на величину  $D_{кр}$  (критерий светочувствительности) превышает минимальную плотность  $D_{min}$ , Лк·С.

Значения критерия светочувствительности и постоянного коэффициента для каждого вида испытываемого материала соответственно равны:

- 0,2 и 1,6 — для негативных киноплёнок;
- 0,15 и 2 — для негативных фотоплёнок общего назначения;



- 0,9 и 10 — для контратипных и позитивных киноплёнок, технических позитивных плёнок, а также обрабатываемых киноплёнок для телевидения (для съёмки и контратипирования), любительской кинематографии, профессиональной и любительской фотографии;
- 0,85 и 20 — для технических негативных плёнок.

При определении светочувствительности рекомендуемую степень проявления негативных и позитивных киноплёнок оценивают средним градиентом, остальных материалов - коэффициентом контрастности.

По совокупности трех характеристических кривых определяют численные значения общих сенситометрических показателей — светочувствительности, фотографической широты, баланса светочувствительности, коэффициентов контрастности, средних градиентов. Баланс светочувствительности  $B_S$  определяет степень соответствия (сбалансированности) значений светочувствительности трех его слоев. Допустимые значения  $B_S$  могут достигать для негативных плёнок - 2,5, для обрабатываемых - 1,8. Нарушение  $B_S$  происходит при отклонениях в технологии изготовления цветных кинофотоплёнок, условий их проявления и при длительном хранении.

Баланс контрастности  $B_\gamma$  в цветных фотографических материалах выражает степень соответствия контрастности трех его светочувствительных слоев. У идеального фотоматериала он равен 1, у реальных - 1,1 - 1,2.

Баланс светочувствительности  $B_S$  определяется отношением наибольшей и наименьшей чувствительности, а баланс коэффициентов контрастности  $B_\gamma$  или баланс средних градиентов  $B_q$  - разностью между наибольшим и наименьшим- частичными значениями  $\gamma$  (или  $q$ ).

Общую светочувствительность определяют как среднее арифметическое трех частичных светочувствительностей (синей, зеленой и красной):

$$S_M = \frac{S_C + S_3 + S_K}{3}$$

Общую светочувствительность обрабатываемых цветных материалов опре-

деляют по значению наибольшей частичной светочувствительности, для остальных материалов - по наименьшей частичной светочувствительности.

Для каждого частичного слоя по его характеристической кривой находят фотографическую широту ( $L = \lg H_2 - \lg H_1$ ) так же, как и при сенситометрических испытаниях черно-белых фотоматериалов. Для практического применения цветных фотоматериалов важна общая фотографическая широта. Для негативных и обрабатываемых пленок она равна интервалу логарифмов экспозиции, в пределах которого все характеристические кривые прямолинейны.

Величина общей фотографической широты позитивных пленок равна наименьшей широте одной из характеристических кривых.

По характеристической кривой каждого из частичных слоев определяют величину коэффициента контрастности:  $\gamma_c$ ,  $\gamma_z$  и  $\gamma_k$  или  $\gamma_{ж}$ ,  $\gamma_{п}$  и  $\gamma_{г}$ , где  $\gamma_c$ ,  $\gamma_z$  и  $\gamma_k$  - коэффициенты контрастности, соответствующие измерениям в синей, зеленой и красной частях спектра, и  $\gamma_{ж}$ ,  $\gamma_{п}$  и  $\gamma_{г}$ , - коэффициенты контрастности, соответствующие желтому, пурпурному и голубому слоям проявленного изображения. В паспорте фотопленки указывают наибольшее значение коэффициента контрастности для зелено- или красночувствительного слоя (так называемый общий коэффициент контрастности).

Оптическую плотность вуали измеряют отдельно для каждого светочувствительного слоя.

Полное определение свойств цветных фотопленок возможно при построении кривых зависимости светочувствительности, коэффициента контрастности и плотности вуали от времени проявления, аналогично тому, как это делают при испытаниях черно-белых фотоматериалов. По кривым кинетики проявления определяют численные значения сенситометрических показателей при оптимальном времени проявления, соответствующем рекомендуемой степени проявленности испытываемого фотоматериала.

При сокращенных испытаниях сенситограммы проявляют в течение рекомендованного времени и по ним вычисляют основные сенситометрические показатели. Полезный интервал экспозиций цветных фотобумаг определяют

так же, как и черно-белых.

## 2.2. Химико-фотографическая обработка цветной негативной фотопленки

В настоящее время все ведущие фирмы-производители фотоматериалов применяют для химико-фотографической обработки цветной негативной фотопленки рецептуру, разработанную фирмой «Kodak» - «Kodak C-41». Фирма «Kodak» не публикует рецептуру и технологию обработки, а производит ее в своих лабораториях или поставляет потребителю комплекты реактивов. Ниже приведены альтернативные режим (Табл. 7.) и рецептура (Табл. 8,9) обрабатывающих растворов, предложенные Э.Геретом для обработки цветных негативных фотопленок, а также методика их приготовления.

**Таблица 7 - Режим обработки цветных негативных фотопленок по процессу «Kodak C-41»**

Стадии обработки	Время обработки	T, °C
Проявление	3 мин 30 сек	37,8 ± 0,15
Промывка	30 сек.	38 ± 0,2
Отбеливание + Фиксирование	6-10 мин	38 ± 0,15
Промывка	3 мин	38 ± 0,15
Сушка	-	43,0

*Приготовление проявляющего раствора.* Цветной проявляющий раствор приготавливают в двух сосудах. В один наливают 300 — 400 мл дистиллированной воды и при температуре 20 - 25 °C в ней растворяют половину навески калгона, а затем гидроксиламинсульфат. После полного растворения химикатов растворяют цветное проявляющее вещество CD-4.

**Таблица 8 - Рецептура проявляющего раствора для обработки цветных негативных фотопленок по процессу «Kodak C-41»**

Химикат	Количество
Калгон	2,0 г
Сульфит натрия (безводный)	4,25 г
Калий бромистый	1,5 г

Калий углекислый	37,5 г
Гидроксиламинсульфат	2,0 г
Проявляющее вещество CD-4	4,75 г
Вода до	1,0 л
pH = 10,1 – 10,2	

Во второй сосуд наливают 300—400 мл дистиллированной воды и при температуре 20—30 °С растворяют остаток калгона. Затем поочередно растворяют (мелкими порциями!) поташ при постоянном перемешивании, сульфит натрия и бромистый калий. После полного растворения всех химикатов в каждом из сосудов раствор из первого сосуда (с цветным проявляющим веществом) вливают во второй сосуд, перемешивают и доливают холодной дистиллированной водой до 1 литра.

*Приготовление отбеливающе-фиксирующего раствора.* В сосуд наливают 500 мл дистиллированной воды и последовательно при температуре 70-80 °С растворяют железный комплекс этилендиаминтетрауксусной кислоты, калий фосфорнокислый однозамещенный, тиоцианат калия, сульфит натрия, тиосульфат аммония, 20% - ный водный раствор аммиака. Объем раствора доводят до 1 литра.

**Таблица 9 - Комбинированный отбеливающе-фиксирующий раствор**

Химикат	Количество
Fe (III) EDTA	100,0 г
Аммиак (20% - ный водный раствор)	10,0 мл
Тиоцианат калия или натрия	10,0 г
Калий фосфорнокислый однозамещенный	8,0 г
Тиосульфат аммония	120,0 г
Сульфит натрия (безводный)	2,0 г
Вода	до 1,0 л
pH = 6,0 – 6,2	

### 2.3. Определение фотографических свойств цветных фотобумаг

Для оценки свойств цветных фотобумаг используются в основном те же показатели, что и для характеристик цветных кинофотоплёнок. Методы испытания - сенситометрия цветных фотобумаг - также в целом аналогичны сенситометрии плёнок. Общими являются и методы измерения интегральных и аналитических оптических плотностей. Основное различие заключается в том, что оптические плотности цветных фотобумаг измеряются в отраженном свете. Измерение  $D$  на фотобумагах осложнено отражением света на границе воздух/желатина как в сторону источника света, так и внутрь слоя. Пройдя через желатиновые слои с красителем, свет отражается от бумажной основы и выходит из слоя в воздух, но в значительной части только после многократных отражений от основы и границы желатина/воздух.

Типичная структура отпечатка на цветной фотобумаге показана на рис. 14. На основу из белой высококачественной бумаги нанесен слой суспензии  $BaSO_4$  в желатине, он служит высокоэффективным диффузным отражателем и преобразует направленно падающий свет в равномерно рассеянный, причем почти без поглощения. Эмульсионные светочувствительные слои нанесены поверх него: это три отдельных слоя с ЦОК для голубого, пурпурного и желтого красителей



Рисунок 14 - Строение цветного фотоматериала: 1 – 3 эмульсионные светочувствительные слои, 4 – баритовый слой, 5 – бумажная подложка

Экспонирование цветных фотобумаг в сенситометрах проводят светом с цветовой температурой 3200 К через ступенчатый сенситометрический клин с константой 0,15.

При испытании фотобумаг, предназначенных для печати с маскированных негативных пленок, на пути света дополнительно устанавливают фильтр-маску, спектральные оптические плотности, которого соответствуют плотностям маскирующих компонент.

Минимальную  $D_{мин}$  и максимальную  $D_{макс}$  оптическую плотность, оптическую плотность вуали  $D_0$  и цветных фотобумаг определяют так же, как у негативных и позитивных пленок.

Светочувствительность каждого эмульсионного слоя (частичную светочувствительность) вычисляют по формуле:

$$S = K/H_{кр} = 100/H_{кр},$$

где  $K$  - постоянный коэффициент, равный 100;

$H_{кр}$  - экспозиция, соответствующая точке характеристической кривой, оптическая плотность которой на  $D_{кр} = 1,0$  (критерий светочувствительности) превышает минимальную оптическую плотность  $D_{мин}$ .

Контрастность каждого светочувствительного слоя цветных фотобумаг оценивают двумя частичными средними градиентами. Для их вычисления на характеристической кривой элементарного слоя находят три точки А, В и С (рис. 15) со следующими значениями оптической плотности:

$$D_A = D_{мин} + 0,2; \quad D_B = D_{мин} + 0,6; \quad D_C = D_{мин} + 1,7.$$

Если максимальная оптическая плотность светочувствительного слоя меньше  $D_{мин} + 1,7$  (например у тисненых фотобумаг), то точку С находят на продолжении прямолинейного участка характеристической кривой.

Экспозиции, соответствующие этим точкам, обозначают  $H_A, H_B, H_C$ .

Первый частичный градиент  $g_1$  каждого слоя вычисляют по формуле:

$$g_1 = \frac{0,4}{\lg H_B - \lg H_A}.$$

Его значение характеризует способность фотобумаги передавать светлые детали изображения, имеющие на отпечатке небольшие оптические плотности.

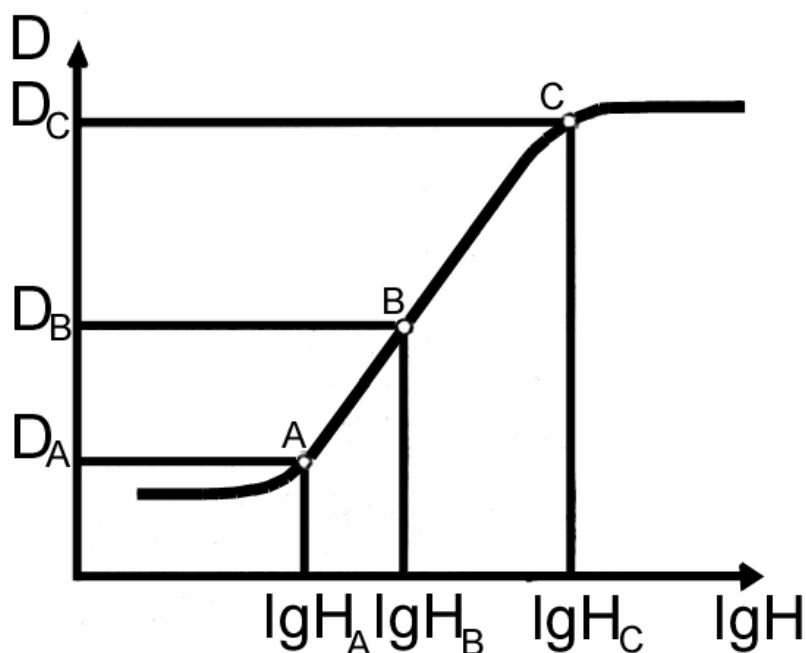


Рисунок 15 - Схема определения средних градиентов элементарных слоев цветных фотобумаг

Для вычисления второго частичного среднего градиента  $g_2$  каждого слоя пользуются формулой:

$$\overline{g_2} = \frac{1,1}{\lg H_C - \lg H_B}.$$

За общие первый и второй средние градиенты принимают значения соответствующих частных средних градиентов для зеленочувствительного слоя. Баланс средних градиентов  $B_{g1}$  и  $B_{g2}$  определяют как разность наибольшего и наименьшего значений частных средних градиентов.

Баланс светочувствительности цветных фотобумаг так же, как и у цветных пленок, определяется отношением наибольшего значения частичной светочувствительности к наименьшей. Однако этим показателем пользуются редко. В большинстве случаев применяют другой показатель - *балансные фильтры*. Это характеристика степени сбалансированности светочувствительных слоев цветных фотобумаг, выражаемая значениями плотности корректирую-

щих светофильтров, которые требуются для получения на данной фотобумаге нейтрально-серого изображения сенситометрического клина при экспозиции светом с цветовой температурой 3200 К и строгом соблюдении стандартного режима обработки.

Для определения значения балансных фильтров цветную фотобумагу экспонируют за различными корректирующими светофильтрами до получения на сенситограмме нейтрально-серых полей.

Сенситограмма считается нейтрально-серой, если оптические плотности ее полей в диапазоне  $D = 0,8 - 1,2$ , измеренные за синим и красным светофильтрами, не более чем на 0,15 отличаются от оптической плотности этих полей, измеренных за зеленым светофильтром.

Значение балансных фильтров выражается шести или семизначным числом, разделенным на три группы, состоящие из двух или трех цифр. Первая группа показывает значение плотности желтых корректирующих светофильтров в процентах, вторая - пурпурных и третья - голубых. Например, 90 00 30 означает, что для получения на данной цветной фотобумаге нейтрально-серой сенситограммы (при вышеуказанных условиях) потребовалось установить два корректирующих светофильтра: желтый плотностью 90 % (90 00 00) и голубой - 30 % (00 00 30).

По значению балансных фильтров можно определить относительную светочувствительность всех эмульсионных слоев цветных фотобумаг. В этом преимущество данного показателя по сравнению с балансом светочувствительности.

Цветная фотобумага, у которой светочувствительность всех трех слоев одинакова относительно источника света с цветовой температурой 3200 К, имеет балансные фильтры 00 00 00. Чем выше относительно других светочувствительность слоя, тем больше значение соответствующих цифр балансных фильтров: первая группа характеризует чувствительность синечувствительного, вторая – зеленочувствительного и третья – красночувствительного слоя.



### 3. СТРУКТУРОМЕТРИЯ

Этот раздел фотографической сенситометрии посвящен изучению, измерению и выражению свойств фотоматериалов, которые определяют их способность регистрировать и воспроизводить мелкие элементы объекта фотографирования. Важность этой проблемы состоит в том, что качество фотографического изображения определяется не только пропорциональным соотношением яркостей отпечатка и протяженных элементов объекта, но и в значительной степени четкой передачей мелких деталей. В этой части фотографического воспроизведения могут возникать заметные искажения, вызываемые зернистой структурой проявленного почернения, связанные с дискретной структурой эмульсионного слоя.

Это можно пояснить, сославшись на следующую принципиальную сторону фотографического процесса. В последнем надо различать две самостоятельные ступени: 1) чисто физическую, когда лучи света проникают в эмульсионный слой и, с одной стороны, непосредственно действуют на микрокристаллы, а с другой - подвергаются рассеянию и повторному на них действию; 2) химико-фотографическую, ведущую к образованию скрытого изображения и затем видимого почернения. При этом первая ступень является в количественном отношении линейной, т. е. эффективная освещенность в каждой точке слоя пропорциональна интенсивности падающего света, тогда как вторая вносит изменения нелинейного характера. Эта типичная особенность фотографического процесса оказывает свое влияние на ряд структурных явлений проявленного почернения, а именно: на резкость, разрешающую способность, ореолы рассеяния, а также создает определенные трудности при измерении частотно-контрастных характеристик.

Поскольку эмульсионный слой состоит из многочисленных микрокристаллов, находящихся в ксерогеле желатины, то при экспонировании происходит сильное светорассеяние, которое связано с большой разностью коэффициентов преломления галогенида серебра и желатины. Это явление усиливается

многократным отражением вследствие высокой концентрации галоидного серебра. Проявление отдельных микрокристаллов и их физических агрегатов создает зернистую структуру фотографических почернений и выявляет различные искажения, созданные светорассеянием, а именно: изменения в изображении формы контуров, расплывание на границе перепада яркостей. В результате в фотографическом изображении наблюдаются неоднородность почернений, нарушение резкости, ухудшение разрешающей способности. Все это приводит к необходимости количественных измерений возникающих основных эффектов структурного характера — *степени зернистости* и *разрешающей способности*, а вместе с тем к изысканию путей уменьшения или устранения подобных ухудшений фотографического изображения.

### **3.1. Основы гранулометрии**

Данный раздел структурометрии посвящен изучению и измерению неоднородностей оптических плотностей равномерно экспонированных и обработанных участков фотоматериалов.

Фотографическое изображение состоит из отдельных зерен металлического серебра, образовавшегося в процессе проявления из микрокристаллов галогенида серебра. Проявленные серебряные зерна лишь как исключение сохраняют форму эмульсионных микрокристаллов. Обычно это крупные агломераты серебра бесформенного строения, которые в отдельности можно различить лишь в микроскоп. При рассмотрении почернения на просвет такие частицы, кроме того, перекрывают друг друга, образуя «проекционные агрегаты зерен». Таким образом, в проявленном почернении просматриваются три типа структуры: сверхтонкая, часто нитевидная, тонкая и грубая в виде сложных агломератов.

Неоднородность проявленного изображения становится заметной при 10 - 20-кратном увеличении. Заметная неоднородность почернения называется зернистостью. С возрастанием увеличения зернистость будет еще более заметной, но только при 1000-кратном увеличении становятся различимыми отдель-

ные зерна металлического серебра, а при еще большем — их нитевидная структура. Поэтому различают два вида зернистости — *микрзернистость*, наблюдаемую при больших масштабах увеличения, и *макрзернистость*, видимую при малых увеличениях.

Проявленные зерна более многочисленны вблизи поверхности эмульсионного слоя, и толщина проявленной части растет по мере экспонирования и проявления, причем распределение зерен по толщине зависит и от концентрации галогенида серебра в слое, а также размеров микрокристаллов.

В изобразительной фотографии конечным результатом съемки является позитивное изображение, поэтому, как правило, рассматривают его, а не негатив, с которого был получен отпечаток.

Зернистость проявленного изображения можно оценить визуально, рассматривая отпечатки при определенном масштабе увеличения с различных расстояний или при различных масштабах увеличения с одного расстояния. В первом случае мерой зернистости будет предельное расстояние, во втором — предельное увеличение, при котором неоднородность изображения различается.

На рис. 16 приведена иллюстрация выявления зернистости на копиях с негатива по мере увеличения числа квантов при печати.

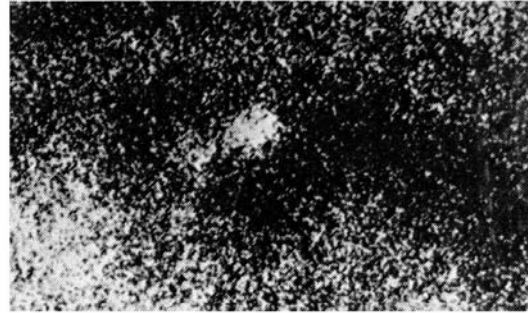
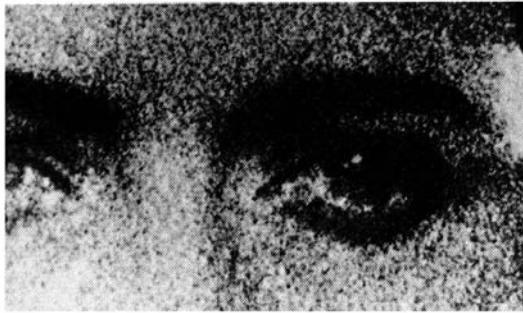
Простым способом измерения зернистости является постепенное увеличение определенного поля сенситограммы до тех пор, пока зернистость не будет различима визуально.

Степень зернистости определяют по формуле:

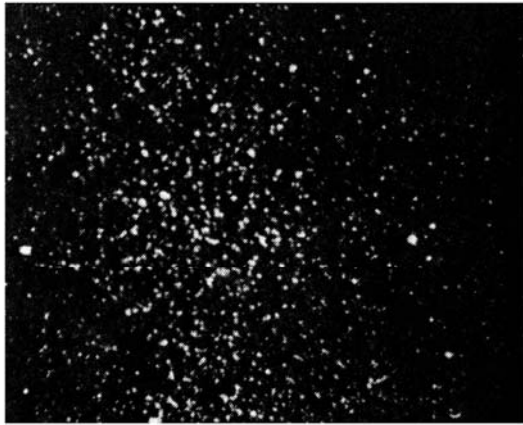
$$g = 100/n,$$

где  $g$  - фактор зернистости;

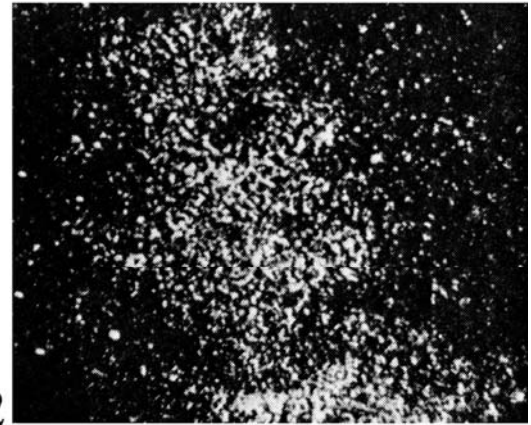
$n$  - коэффициент увеличения, при котором зернистость становится различимой.



а



1



2



3



4

б

Рисунок 16 - Выявление зернистости фотографического почернения:

а – путем увеличения проявленного изображения;

б – с увеличением числа квантов света при позитивной печати: 1-  $3 \cdot 10^3$  ; 2 –  $1,2 \cdot 10^4$  ; 3 –  $9,3 \cdot 10^4$  ; 4 –  $2,8 \cdot 10^7$  квантов света

Если неоднородность почернения фотографического слоя оценивается не визуально, а объективными физическими методами с использованием приборов, измеряющих пропускание или отражение света, то в таких случаях принято говорить о *гранулярности* фотослоя. Для подобных целей служат регистрирующие микрофотометры и микроденситометры, при помощи которых с использованием самописца производят запись неоднородности плотности почернения на ряде полей сенситограммы.

Микроденситометрические методы основаны на получении сведений о среднеквадратичном значении флуктуации оптической плотности. Для этого сканируют щелью измеряемое почернение, т. е. быстро перемещают его относительно щели микрофотометра. Поскольку применяется ширина щели, соизмеримая с проекционными агрегатами зерен, то происходит колебание пучка света, и возникающие сигналы регистрируются и обрабатываются методом теории вероятности с помощью электронных устройств. Считается, что среднеквадратичные величины флуктуации оптической плотности непосредственно связаны с макрозернистостью и могут быть приняты как ее параметры.

Денситометрические методы основаны на использовании коэффициента Калье -  $Q$ . Экспериментально было установлено, что существует линейная зависимость между  $lgQ$  и диаметром агломератов зерен, поэтому для выражения степени зернистости предложена формула  $g_{зерн.} = KlgQ$ . Однако эта зависимость соблюдается лишь при больших увеличениях, т. е. фактически относится к оценке микрозернистости.

Проекционные методы базируются на визуальных сравнениях увеличенного почернения. Поскольку зернистость является функцией оптической плотности, то в методике ее измерения необходимо нормировать степень почернения. Из опытов установлено, что максимальная зернистость падает на оптическую плотность около  $D = 0,5$ . Выбранное на сенситограмме соответствующее поле при помощи специально предложенного увеличителя - *гранулометра* - печатают на фотобумаге с разными увеличениями в геометрической прогрессии, но при неизменной выдержке. На полученной гранулограмме на-

ходят поле, где зернистость заметна при наименьшем увеличении  $U_{min}$ , тогда обратное значение этой величины - фактор зернистости  $g = K/U_{min} = 10^2/U_{min}$  - будет являться параметром макрозернистости фотоматериала. Достоинство метода состоит в том, что здесь существуют условия, сходные с практикой получения увеличенных позитивных копий. При исследовании явления зернистости было определено, что ее величина пропорциональна коэффициенту контрастности воспроизведения

### 3.2. Основы резольвотрии

Способность фотографического материала отдельно передавать мелкие однотипные детали называется *разрешающей способностью R*. Выражают ее обычно максимальным числом штрихов или промежутков между ними на единицу длины (1 мм), еще различаемых или «разрешаемых» фотографическим слоем.

Основные факторы, определяющие разрешающую способность фотографического слоя:

1. Размер эмульсионных микрокристаллов. Чем меньше микрокристаллы галогенида серебра и чем более однородны микрокристаллы по размеру, тем выше при прочих равных условиях разрешающая способность

2. Рассеяние света в слое уменьшает разрешающую способность. Применение эмульсий с микрокристаллами кубической огранки или плоской формы снижает рассеяние света в слое и ведет к увеличению разрешающей способности. Аналогичный результат достигается увеличением плотности упаковки микрокристаллов (снижение концентрации желатины в поверхности эмульсионного слоя). При действии ультрафиолетового и сине-фиолетового излучения разрешающая способность выше, чем при экспонировании более длинноволновым излучением. Например, при экспонировании фотослоя УФ-излучением с длиной волны  $<300$  нм разрешающая способность в 2 - 2,5 раза выше, чем в видимой области спектра.

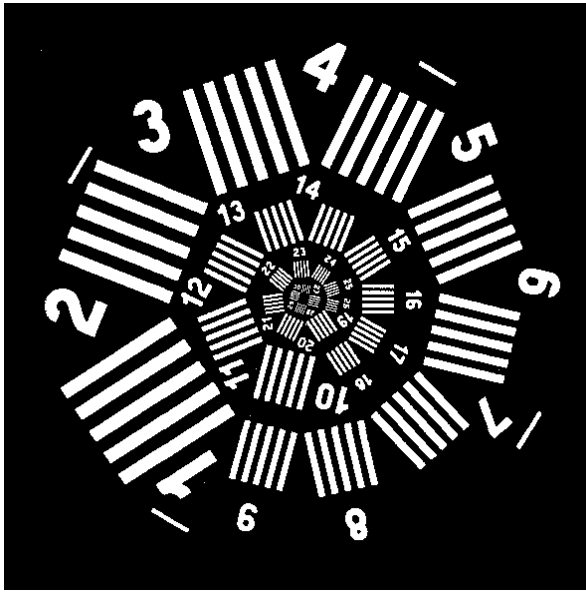
3. Отражение света от подложки уменьшает разрешающую способность,

поэтому между эмульсионным слоем и подложкой помещают окрашенный противоореольный слой, который поглощает свет. Противоореольный слой наносят и на обратную сторону подложки. Применяют также окрашенную (обычно в серый или сине-голубой цвет) основу.

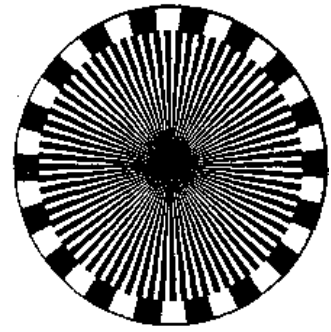
### 3.2.1 Определение разрешающей способности

Для определения разрешающей способности применяют специальные приборы — *резольвометры*. В качестве испытательной таблицы используют *миры*, состоящие из ряда групп штрихов различной ширины. Миры со ступенчатой разницей освещенности штрихов и промежутков называются прямоугольными, а с плавным изменением яркости — синусоидальными. Сильно уменьшенное изображение миры экспонируют при помощи резольвометра на фотографический слой. Проявленное изображение рассматривают в оптический микроскоп и определяют еще различимую визуально группу штрихов. Количество линий, различаемых в этой группе, и является разрешающей способностью фотоматериала.

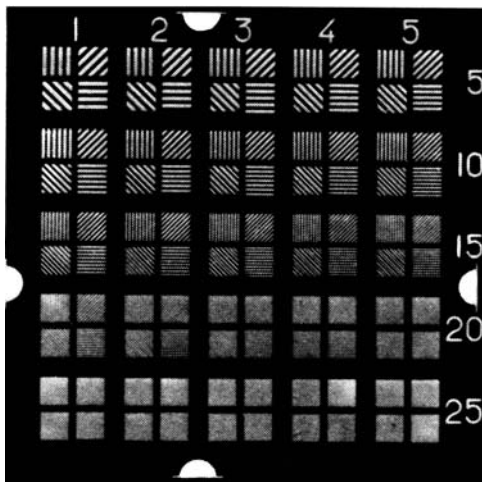
Резольвометрическая мира (см. рис. 17) состоит из 30 групп штрихов различной частоты и двух пар перпендикулярно расположенных базовых отметок. Каждая группа состоит из пяти светлых, равных по ширине параллельных штрихов на темном фоне. Ширина промежутка между штрихами равна ширине штриха, а отношение длины штриха к его ширине во всех группах постоянно и равно 10. Разность оптических плотностей фона и штрихов миры абсолютного контраста составляет 2,5.



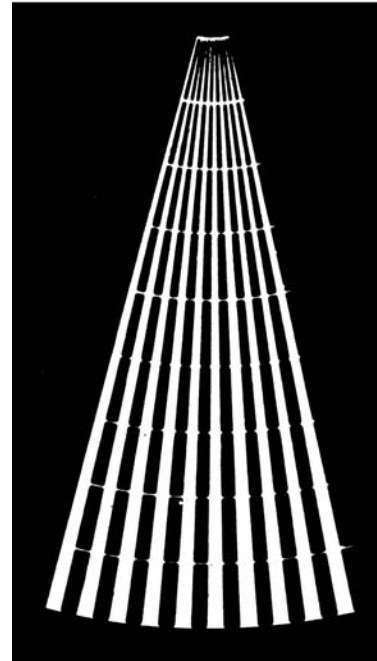
а



б



в



г

Рисунок 17 - Миры разных типов: а- мира Ащеулова; б – радиальная; в – стандартная штриховая; г – веерообразная

Для экспонирования фотоматериала используют резольвометр (рис. 18 и 19), относительное спектральное распределение энергии излучения источника которого соответствует цветовой температуре  $T = 3000 \pm 200\text{K}$ , а относительное спектральное распределение энергии излучения за светофильтром дневного света  $5500 \pm 200\text{K}$ . Нейтральные светофильтры, которыми комплектуется ре-



зольвомер, обеспечивают диапазон оптических плотностей от 0,15 до 2,4 с шагами  $0,15 \pm 0,02$  и  $0,07 \pm 0,02$ .

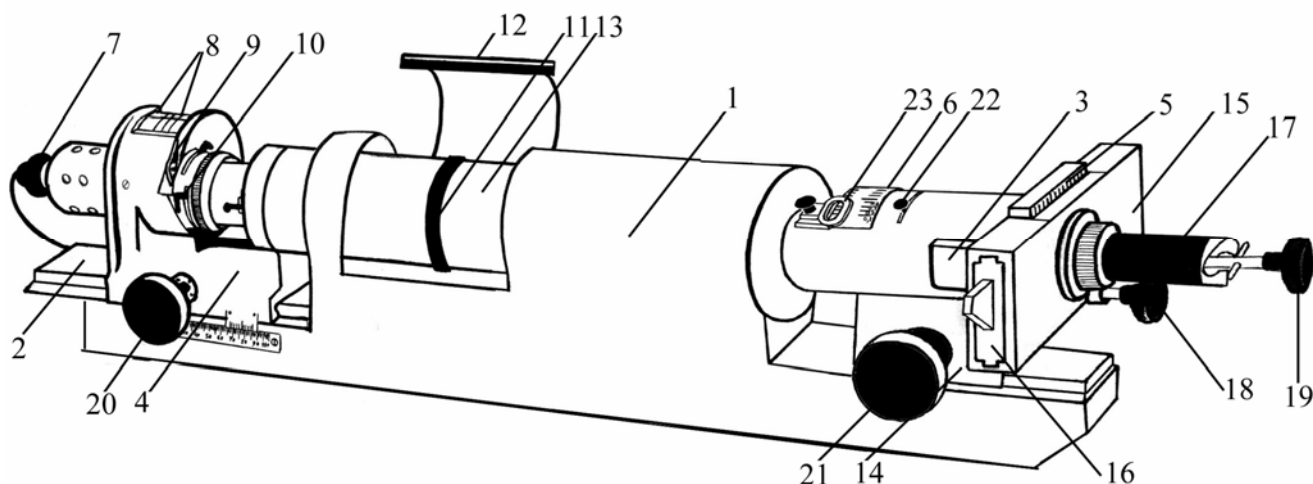


Рисунок 18 - Резольвомер РП-2М, общий вид

1 - корпус, 2 - направляющая, 3 - микрообъектив, 4 - каретка осветителя, 5 - шкала на каретке кассеты, 6 - шкала, 7 - осветитель, 8 - диски светофильтров, 9 - фотозатвор, 10 - кольцо шкалы выдержек, 11 - мира, 12 - крышка, 13 - труба, 14 - каретка кассеты, 15 - корпус кассеты, 16 - кассета, 17 - прижимное устройство, 18 - 21 рукоятки, 22 - рычаг, 23 - индекс установки диафрагмы.

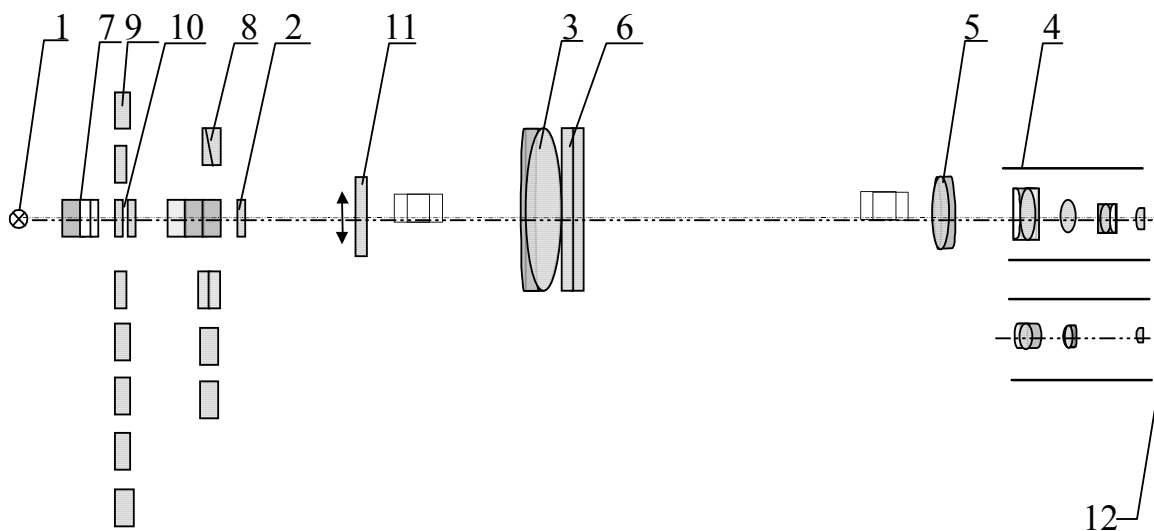


Рисунок 19 - Оптическая схема резольвометра РП-2М

1- лампа накаливания; 2- стекло молочное; 3- конденсор; 4- микрообъектив; 5- линза тубусная; 6 - мира; 7- светофильтр среднего дневного света; 8- светофильтры цветные; 9, 10, 11 - набор нейтрально-серых светофильтров; 12- фотоматериал.

### 3.2.2 Порядок работы на резольвометре

1. Подключите шнур осветителя к блоку питания.
2. Зарядите кассету фотографическим материалом: возьмите кассету, поверните к себе стороной с индексами, нажмите кнопку и раскройте кассету. Нарежьте образцы фотографического материала размером  $35 \times 120$  мм. Положите образец эмульсионной стороной вниз в нижнюю часть кассеты между направляющими, ограничивающими положение образца. Опустите верхнюю часть кассеты на нижнюю и прижмите, при этом кассета запирается.
3. Поставьте в прибор соответствующий микрообъектив. При испытании фотоматериала с разрешающей способностью, не превышающей  $600 \text{ мм}^{-1}$ , необходимо установить в прибор микрообъектив ОС-16, используя апертуру 0,3. При испытании фотоматериалов с разрешающей способностью выше  $600 \text{ мм}^{-1}$  необходимо установить микрообъектив ОС-8, используя апертуру 0,60.
4. Выберите миру и установите ее в прибор, предварительно протерев с обеих сторон. В соответствии с паспортом прибора (табл. 10) выберите миру со значением базы в зависимости от порядка величины разрешающей способности фотоматериала.
5. Установите необходимые светофильтры.
6. Установите выдержку на шкале затвора, руководствуясь техническим описанием. В зависимости от светочувствительности фотоматериала установите заведомо большую выдержку, чтобы при применении ряда нейтрально-серых светофильтров, можно было получить кривую зависимости разрешающей способности испытуемого фотоматериала от плотности этих светофильтров.
7. Установите каретку с мирой в положение, соответствующее делению  $L$  по шкале фокусировки, т.е. совместите первое деление нониуса с делением  $L$  шкалы, так как при выпуске прибора оптимальная фотографическая фокусировка микрообъективов выполнена при этом положении измерительной миры.
8. Отведите каретку кассеты 14 поворотом рукоятки 21 до положения,

при котором микрообъектив 3 не будет виден в пазах для кассеты.

Отведите прижимное устройство 17 поворотом рукоятки прижима 19 по часовой стрелке.

Вставьте кассету 16 в паз каретки таким образом, чтобы индекс был обращен в сторону прижимного устройства. Этот индекс служит для установки кассеты на различные деления от 1 до 15 по шкале на каретке кассеты 23.

Совместите индекс кассеты с делением 1 вращением рукоятки 18. Убедитесь в том, что рукоятка 22 находится в рабочем положении, т. е. боковые шторки закрыты. Они открываются только при смене объектива. Выдвиньте шторку кассеты, придерживая рукоятку 18.

Прижмите прижимным устройством испытуемый фотоматериал к опорной плоскости объектива, для этого рукоятку 19 поверните против часовой стрелки. Установите каретку 14 в рабочее положение вращением рукоятки 21 против часовой стрелки, в соответствии с типом объектива.

9. Закончив экспонирование, закройте шторку кассеты при отведенной каретке и отведенном прижимном устройстве. Выньте кассету из прибора, вращая рукоятку 18. На образце испытуемого материала можно получить два ряда изображений миры (по 15 или более изображений в каждом ряду). Ряды изображений смещены относительно друг друга на 6 мм по вертикали. Для получения второго ряда кассету установите с противоположного конца паза каретки индексом в сторону прижимного устройства.

10. Проявление образцов фотоматериала производите в соответствии с требованиями ГОСТ 2817-50, ГОСТ 10691-63, ГОСТ 9160-59.

11. Рассматривать изображение миры надо под микроскопом при достаточно большой яркости поля и таком увеличении, которое обеспечивает возможность рассматривания предельно разрешенного элемента миры для исследуемого материала. Рекомендуется использовать в микроскопе объектив с числовой апертурой, близкой к апертуре объектива резольвометра. Оценка каждой резольвограммы должна быть выполнена двумя опытными наблюдателями с нормальным зрением.

12. Таким же образом определите различные группы штрихов максимальной частоты изображений мир, полученных при экспонировании за разными светофильтрами, и соответствующую им разрешающую способность.

13. С помощью таблицы 8 определите по группе штрихов значение разрешающей способности для испытуемого фотоматериала.

14. Результаты наблюдений усреднить и представить в виде кривой разрешения (рис. 20). При построении кривой разрешения по оси абсцисс откладываются значения оптической плотности  $D$  нейтральных светофильтров (см. в таблице 10) или их коэффициента пропускания  $T$ , по оси ординат - соответствующие значения предельно разрешенной частоты ппр.

Наибольшее значение предельно разрешенной частоты, полученное на указанной зависимости, представляет собой разрешающую способность  $R$  фотографического материала. Резольвометрическую широту  $L_R$  фотоматериала определяют из кривой разрешения как разность значений по оси абсцисс, отвечающих значению ординаты  $n_{пр}$  равному  $0,8R$ .

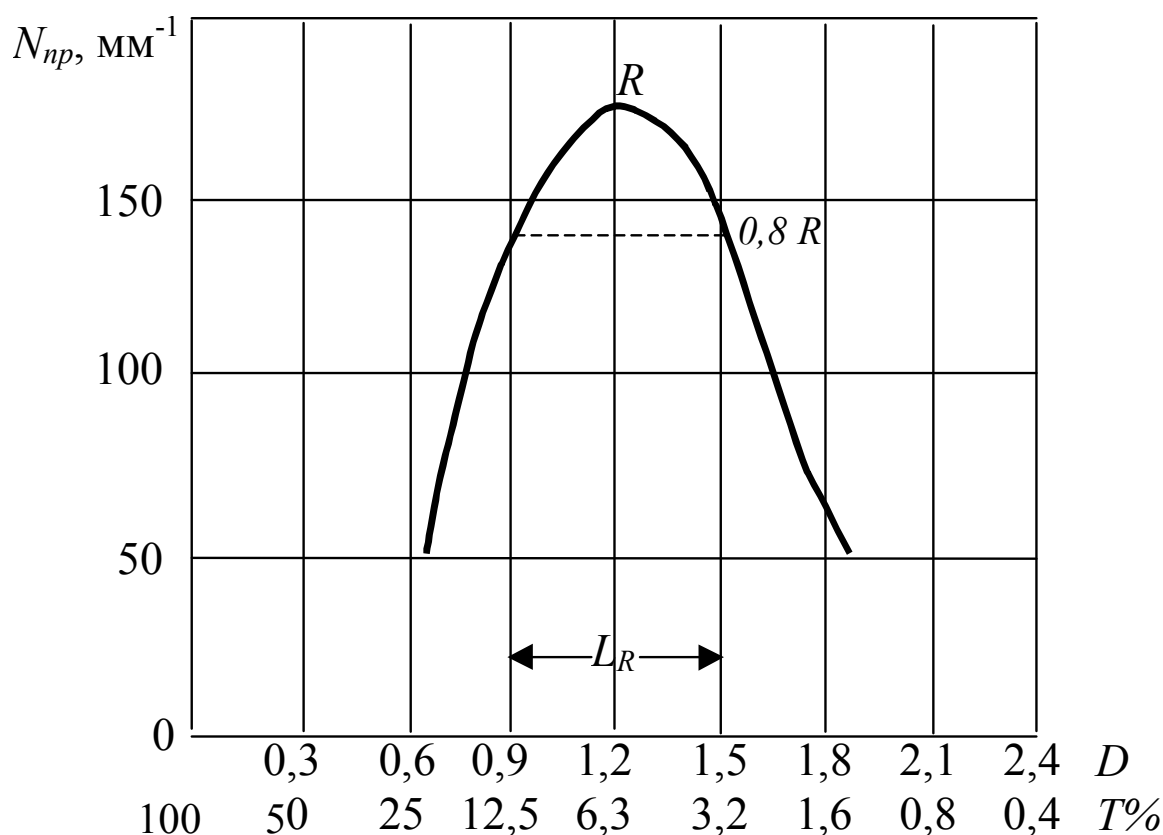


Рисунок 20 - Кривая разрешения

**Таблица 10 - Значения числа штрихов на миллиметр в изображении  
мир при применении микрообъективов ОС-16 и ОС-8 при нормальном  
масштабе увеличения прибора 32× и 60×**

№ Элемента	Объектив ОС-16		Объектив ОС-8	
	В = 10 mm	В = 20 mm	В = 10 mm	В = 20 mm
1	65	32	120	60
2	70	35	130	65
3	77	38	145	72
4	85	42	160	80
5	95	46	175	87
6	105	52	190	95
7	115	58	210	105
8	125	62	230	115
9	135	68	255	130
10	150	75	280	140
11	165	82	310	155
12	180	90	340	170
13	200	100	375	190
14	220	110	410	205
15	240	120	450	225
16	270	135	500	250
17	290	145	550	275
18	320	160	600	300
19	360	180	670	330
20	390	195	730	365
21	430	215	810	400
22	480	240	890	440
23	520	260	980	490
24	580	290	1070	535
25	630	315	1180	590
26	700	350	1300	650
27	760	380	1430	710
28	840	420	1570	790
29	920	460	1730	860
30	1020	510	1900	950

### 3.3. Частотно-контрастная характеристика

Предполагалось, что задачи воспроизведения мелких по размерам деталей полностью решаются использованием данных о разрешающей способности фотоматериалов. Однако опыт показал, что это свойство не может быть достаточной мерой качества фотоматериала в отношении передачи деталей. Причина недостаточности этой характеристики является сложной: разрешающая способность определяется в известной степени субъективно, а ее значение описывает, в сущности, пороговое разрешение, оцениваемое к тому же с участием глаза. Поэтому эта величина представляет собой не просто независимый параметр фотоматериала, но относится, по существу, ко всей системе измерения. Отсюда следует, что число  $R$ , строго говоря, дает сведения о свойстве фотоматериала передавать только те детали, которые сопоставимы по размерам и контрасту с едва разрешимыми субъективно штрихами миры.

Разрешающая способность позволяет оценить способность фотоматериала передавать мелкие детали объекта съемки и определять максимально разрешаемый размер деталей. Однако по ней нельзя определить качество передаваемых деталей различного размера. Для этого необходимо знать частотно-контрастную характеристику (ЧКХ), которая позволяет оценить способность фотоматериала воспроизводить детали различного размера и их контраст. В ряде работ для ЧКХ существует иное определение — модуляционная передаточная функция (МПФ). Чтобы измерить ЧКХ фотоматериала, на эмульсионный слой экспонируют тест-объект с известным распределением яркостей (рис. 17, б). После химико-фотографической обработки почернения изображения измеряют на микрофотометре или на микроденситометре. Затем по характеристической кривой фотоматериала пересчитывают измеренные плотности в эффективные экспозиции, подействовавшие на эмульсионный слой. Далее для каждой группы штрихов сопоставляют распределение освещенностей в объекте съемки с распределением освещенностей, подействовавших на фотоматериал. По рассчитанным значениям строят кривую зависимости полученных отноше-

ний от частоты мира. Эта кривая и является частотно-контрастной характеристикой фотоматериала.

Таким образом, ЧКХ в отличие от разрешающей способности, оцениваемой на глаз, измеряется инструментально. Еще одним преимуществом ЧКХ является то, что она не зависит от условий химико-фотографической обработки. Как и разрешающая способность, ЧКХ фотографического материала определяется рассеянием и поглощением света в эмульсионном слое и плотностью упаковки микрокристаллов.

ЧКХ может быть измерена для всех звеньев оптико-фотографического воспроизведения объекта: объектива фотоаппарата, процесса негативного проявления, копирования и т. д. Суммарную ЧКХ фотопроцесса получают перемножением ЧКХ его составляющих.

Рассмотренная проблема частотно-контрастной характеристики может быть распространена также на изучение качества передачи деталей на любой стадии фотографического процесса. Причем для получения вывода о процессе в целом достаточно перемножить частное значение для промежуточных стадий. Таким образом, достоинство метода частотно-контрастной характеристики заключается в том, что он может быть использован как показатель качества сложной фотографирующей системы в целом.

При рассмотрении принципа частотно-контрастной характеристики нельзя не отметить, что этот принцип находит применение в различных отраслях знаний (электротехника, теплотехника, техника связи и др.) и тем самым свидетельствует о своих преимуществах. Если теоретические основы метода не вызывают особых разногласий, то отдельные пути измерений частотно-контрастной характеристики не получили общего признания и продолжают оставаться предметом дальнейших изысканий.

Многочисленные способы измерения частотно-контрастных характеристик фотоматериалов включают, как правило, четыре четко разделенные операции:

- 1) формирование на фотослое оптического сигнала;

- 2) измерение после химико-фотографической обработки почернения;
- 3) пересчет полученных значений по характеристической кривой в величины действовавших экспозиций;
- 4) математическая обработка результатов.

В принципе, первый этап должен быть отделен от последующих вследствие необходимости обработки. Что же касается остальных этапов, то это вызвано перерасчетом по характеристической кривой, т. е. отсутствием линейности. Для устранения возникающих неавтоматизируемых операций был предложен метод измерения частотно-контрастных характеристик по частотным спектрам фотографического изображения, исключающий пересчет по характеристической кривой, однако не снимающий ряд ошибок, вытекающих, в частности, из нелинейности фотографического процесса. Поэтому для быстрого получения достаточно надежных и точных результатов было необходимо разработать простой и эффективный способ создавать искусственно в приборе линейность фотографического процесса; на этой основе выработать автоматизированный метод измерения частотно-контрастных характеристик.



#### 4. СЕНСИТОМЕТРИЯ И СТРУКТУРОМЕТРИЯ НЕСЕРЕБРЯНЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Сенситометрию понимают как учение об измерении фотографических свойств светочувствительных материалов. Она дает ответ на вопрос о характеристиках фотоматериала, необходимых для фотографического воспроизведения объекта съемки, и методах их измерения. Основой для создания сенситометрии несеребряных фотоматериалов послужила сенситометрия AgHal-материалов, которая к моменту появления новых фотоматериалов была достаточно хорошо разработана и оформлена в виде национальных стандартов. Сенситометрия несеребряных фотоматериалов при сохранении основного требования — максимально возможного приближения условий испытаний к практическим условиям съемки (что обеспечивает наиболее адекватное воспроизведение) — учитывает новые свойства и области применения несеребряных материалов: не только фотографический, но и голографический способ регистрации, не только амплитудные, но также фазовые, амплитудно-фазовые и рельефные типы изображений, не только измерения на стадии проявленного, воспроизведенного или реконструированного изображений, но и измерения на стадии скрытого изображения.

Сенситометрия несеребряных материалов использует единообразное с сенситометрией AgHal-материалов определение характеристик и взаимодействие приборов при их инструментальной сенситометрической оценке.

Независимых характеристик для несеребряных материалов, как и для галогенидосеребряных, можно выделить три: градационную, шумовую и частотную, а остальные могут быть получены комбинацией этих трех. Из них последние две относятся к структурометрии, будучи представлены такими широко используемыми показателями, как отношение сигнал/шум, квантовая эффективность детектирования, гранулярность и др. (шумовые), разрешающая способность, частотно-контрастная характеристика, функция рассеяния точки или линии, краевая резкость (частотные).

Новые свойства несеребряных фотоматериалов — возможность измерения на стадии СИ и быстрое сухое проявление на месте — позволили создать сенситометрические системы, объединяющие экспозиционный и анализирующий приборы с устройствами обработки и отображения результатов, функционирующие для AgHal-материалов отдельно.

#### 4.1. Интегральная сенситометрия

Измерение характеристик и параметров несеребряных амплитудных фотоматериалов, как уже говорилось, можно осуществлять теми же методами, что и для амплитудных AgHal-материалов. Сенситометрия же фазовых материалов, сенситометрия по СИ применительно к материалам с ЭФ-чувствительностью специфичны для несеребряной фотографии. Если в классической фотографии измерение СИ требует оптических методов, трудно осуществимых из-за слабого светопоглощения СИ (оптическая плотность  $D < 10^{-5}$ ), то для ЭФ-материалов благодаря электростатической природе СИ измерения легко выполнимы. Определение светочувствительности  $S$  непосредственно по СИ не только удобно при разработке и исследовании ЭФ-слоев, но и является основой исследования ЭФ-процесса, поскольку чувствительность процесса при разных способах визуализации можно определять, исходя из значения  $S$  фотослоя и метода визуализации.

При определении  $S$  исходят из общего стандартизованного определения чувствительности приемника излучения, согласно которому чувствительность приемника при посылке на него сигнала  $C$  обратно пропорциональна величине сигнала и прямо пропорциональна величине ответа  $A$  приемника, т. е.  $S = k(A/C)$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности. На ЭФ-материал посылается сигнал в виде экспозиции  $Et$  ( $E$  - освещенность,  $t$  - время экспонирования), приводящей к появлению фотографического эффекта в виде изменения потенциала  $V$ , плотности поверхностного заряда  $\sigma$  и эффективной толщины  $d$ . В зависимости от способа визуализации СИ ответ определяется изменением  $V$ ,  $\sigma$  или  $d$ . Так,

при проявлении порошком, определяющим обычно является изменение  $V$ , при более высокоразрешающем жидкостном проявлении - изменение  $V$  и  $\sigma$ , а при электронном и оптическом считывании, как правило, изменение  $\sigma$  или  $d$ . Между тремя параметрами существует функциональная зависимость  $V = f(\sigma, d)$ , в общем случае достаточно сложная. Если рассматривать ЭФ-слой в приближении двойного электрического поля с плотностью поверхностного заряда  $\sigma$  и эффективной толщиной  $d$ , то указанная зависимость сводится к  $V \propto \sigma d$ . Учитывая удобство измерения  $V$  и возможность последующего пересчета одного ответа (например, по изменению  $V$ ) в другой, целесообразно в качестве ответа выбрать

$$\Delta V/V - \text{тогда } S \text{ выразится как } S = k \frac{\Delta V/V}{Et} .$$

Определить общую чувствительность по СИ можно с помощью  $S_{\Delta V/V}$  в  $\text{лк}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , выбрав  $\Delta V/V = 0,1$  или  $0,5$ , а по проявленному изображению — с помощью широко распространенного критерия оптической плотности  $D = 0,2 + D_0$ .

#### 4.1.1 Техника и приборное обеспечение

Имеющаяся аппаратура для исследования общей и эффективной чувствительности несеребряных материалов, в том числе с ЭФ-чувствительностью, предназначена для видимой и УФ-областей, включая вакуумную. Источник излучения для вакуумной УФ-области — водородный. При измерении эффективной светочувствительности экспонирование ведется через соответствующий светофильтр без изменения расположения слоя относительно источника. Сравнением результатов воздействия двух полужон с различной коротковолновой границей (для области  $< 300$  нм не существует эффективных полосовых фильтров) можно определить зональную  $S$ . Используя фильтры с резкой коротковолновой границей пропускания, выделяют четыре полужоны:

- $\lambda > 110$  нм (коротковолновая граница водородного источника с окном из LiF);
- $\lambda > 130$  нм (светофильтр из CaF<sub>2</sub>);

- $\lambda > 160$  нм (кварцевый светофильтр);
- $\lambda > 180$  нм (коротковолновая граница воздушного промежутка).

По разностному эффекту воздействия полужон можно определить  $S$  в зонах 110 — 130, 130 — 160, 160 — 180 и 180 — 300 нм. Кроме того, можно определить  $S$  в зоне 300 — 400 нм, выделяемой светофильтром из стекла УФС-1.

*Сенситометр для вакуумной УФ-области спектра.* Блок-схема сенситометра показана на рис. 21.

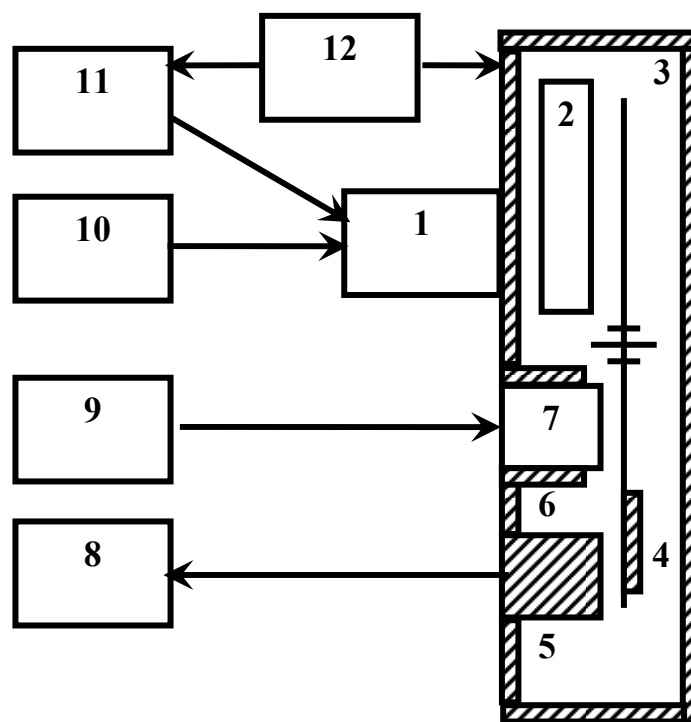


Рисунок 21- Схема сенситометра для вакуумной УФ области

Прибор состоит из источника излучения 1, измерительно-экспозиционной камеры 3 и вакуумной системы 12. Источник излучения — высоковольтная капиллярная разрядная трубка, наполненная водородом, с окном из LiF. Кварцевый капилляр источника, охлаждаемый проточной водой, заключен между двумя металлическими электродами; катод заземлен, а на анод от блока питания 10 подается напряжение до 1500 В. При разрядном токе 60 мА освещенность в плоскости экспонирования составляет  $10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>. Капилляр заполняется водородом от электролизера 11 через регулируемый натекаль. В

камере размещены светофильтры 2, коронирующее устройство 7 для электростатической зарядки ЭФ-слоев, зонд 5 динамического электрометра. Светофильтры вводятся между источником и слоем без нарушения вакуума. Коронирующее устройство 7 с источником питания 9 выполнено в двух вариантах: острия, окруженного заземленным экраном 6, и коротрона. Измерительный зонд 5 с помощью высокоизолирующего вакуумного ввода соединен с электрометром 8. Образцы крепят на револьверном диске 4, и они могут перемещаться от зарядного устройства к зонду и окну для экспонирования. Смена образцов осуществляется через вакуумный люк.

*Сенситометр для видимой области.* Сенситометр разработан на основе универсального контактно-экспозиционного прибора УКЭП-1 (см. гл. 1). Блок для экспонирования ЭФ- и фототермопластических (ФТП) материалов выполнен в кассетном варианте и управляется от процессора, обеспечивающего заданные режимы обработки и контроль.

*Сенситометр сверхкоротких выдержек.* Сенситометр позволяет исследовать различные типы фотоматериалов, в том числе с ЭФ-чувствительностью. Для ЭФ-материалов он позволяет исследовать темновые характеристики и кривые фоторазрядки при экспонировании прямоугольными световыми импульсами (интегральным светом или в спектральных зонах) длительностью  $10^{-2}$  –  $10^{-6}$  с при постоянной экспозиции и разных температурах (от - 50 до +50 °С).

Сенситометр (рис. 22) состоит из экспозиционного прибора и ЭФ-блока. Он построен на принципе зеркальной развертки изображения равномерно освещенной щели по поверхности слоя.

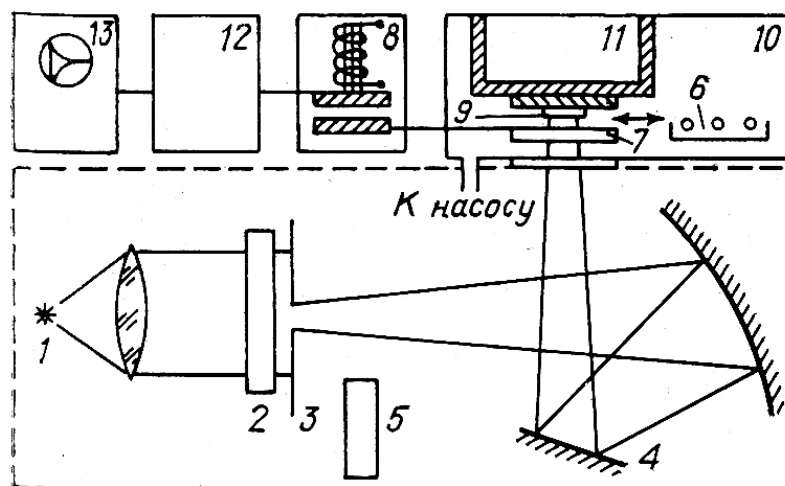


Рисунок 22 - Схема сенситометра сверхкоротких выдержек

Источник света *1* — кварцевая ртутная лампа на постоянном токе - проецируется конденсором на входную щель прибора *3*. Щель изображается на поверхности слоя *9* с увеличением  $1^x$  с помощью зеркал *4* — неподвижного вогнутого и вращающегося плоского. Выдержка регулируется шириной щели и скоростью вращения зеркала. Выделение спектральных зон в излучении ртутного разряда достигается светофильтрами для ртутных линий *2*. Набором нейтральных платиновых ослабителей *5* освещенность на слое можно изменять в  $10^8$  раз. Ослабители калиброваны для каждой зоны спектра с точностью 0,02 на единицу плотности, что для полного диапазона ослабления  $10^8$  дает точность  $\sim 40\%$ . ЭФ-блок *10* выполнен в виде вакуумной кассеты, внутри которой размещается ЭФ-слой с коротроном и системой измерения потенциала. ЭФ-слой *9* на металлической основе пружиной прижимается к стакану кассеты *11*. Над слоем с помощью штока перемещается коротрон *6* и выносной зонд *7* динамического электрометра *8*. Сигнал электрометра регистрируется самописцем *12* или осциллографом с памятью *13*.

*Лазерный наносекундный сенситометр.* Сенситометр (рис. 23) позволяет экспонировать фотоматериалы монохроматическим излучением нескольких длин волн с выдержкой 0,015 мкс.

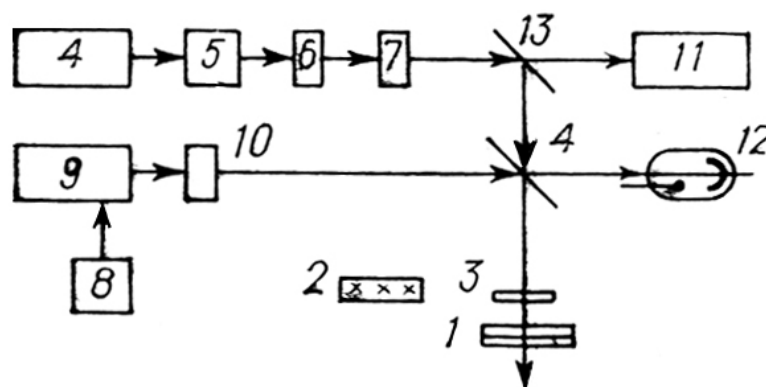


Рисунок 23 - Схема лазерного наносекундного сенситометра

ЭФ- или ФТП-слой заряжают коротроном 2 до заданного уровня потенциала или заданного уровня снижения скорости заряжения. Затем слой перемещают под прозрачный измерительный зонд электрометра 3, экспонируют и через время, превышающее время возможного последействия света, измеряют потенциал. Измерение вновь повторяют при большей освещенности, причем для устранения влияния возможной усталости каждый участок слоя экспонируют лишь однократно. Для экспонирования используют вторую гармонику импульсного неодимового лазера 4 ( $\lambda = 530$  нм), формируемую кристаллом KDP 5, и излучение рубинового лазера ( $\lambda = 694$  нм). Равномерность освещенности создает формирующая диафрагма 6, величину освещенности изменяют нейтральными ослабителями 7. Для сравнения предусмотрено экспонирование с выдержкой 15 с волнами той же длины, выделяемыми из излучения лампы накаливания 8 монохроматором 9 с применением затвора 10. Для проверки влияния когерентности и поляризации излучения можно устанавливать систему сбития когерентности. Измерение энергии излучения импульсного лазера ведется измерителем энергии и мощности импульсов 11, а в области длительных выдержек — системой с фотоэлементом 12, включающей полупрозрачное зеркало 13 и выдвигаемое зеркало 14. Обе системы калибруются совместно в абсолютных единицах в области промежуточных освещенностей. Точность относительных измерений составляет 25%, а абсолютных - 40 %.

## 4.2. Спектральная сенситометрия

Для ЭФ-слоя заданной толщины  $d$  при определенном способе экспонирования (со стороны слоя или основы), как и для других фотоматериалов, полное представление о спектральных свойствах его может дать функциональная зависимость  $(\lambda, H_\lambda, \Delta V/V)$ . Графически эта зависимость дает трехмерную поверхность. Трехмерное представление, неудобное на практике, заменяют набором двумерных зависимостей, получаемых сечением этих поверхностей параллельно какой-либо из трех координатных плоскостей. Сечение, перпендикулярное к оси  $\lambda$ , дает монохроматические кривые фоторазрядки  $\Delta V/V = f(H_\lambda)$ , перпендикулярное к оси  $V$  — кривые спектральной ЭФ-чувствительности  $S_\lambda = (I|H_\lambda)_{\Delta V/V=const}$ , важнейшей спектрально-сенситометрической характеристики материала.

### 4.2.1 Техника и приборное обеспечение

Измерение  $S_\lambda$  с помощью спектросенситометра дает наиболее полные и точные данные. С 60-х гг. прошлого века в спектросенситометрах начали применять принцип последовательного, а не одновременного экспонирования излучением разных  $\lambda$ . Этот принцип использован и в спектросенситометре для вакуумной УФ-области, где создание методов и аппаратуры встречает наибольшие трудности. В схеме впервые для такой аппаратуры использован люминесцентно-фотоэлектрический приемник на основе салицилатнатриевого люминофора в сочетании с надлежаще подобранным ФЭУ. Этот приемник позволяет провести абсолютные измерения энергетической освещенности в области 40 - 300 нм, поскольку он неселективен с точностью  $\pm 10\%$  во всей области и имеет чувствительность  $10^{-14}$ .

*Спектросенситометр для вакуумной УФ-области.* Спектросенситометр, представленный на рис. 24, позволяет исследовать в области 40 - 200 нм разнообразные амплитудные и фазовые фотоматериалы, в том числе с ЭФ-чувствительностью.

Схема включает в себя спектральный прибор (монохроматор), источник



излучения, измерительно-экспозиционную камеру и вакуумную систему; подробности видны из приведенной схемы.

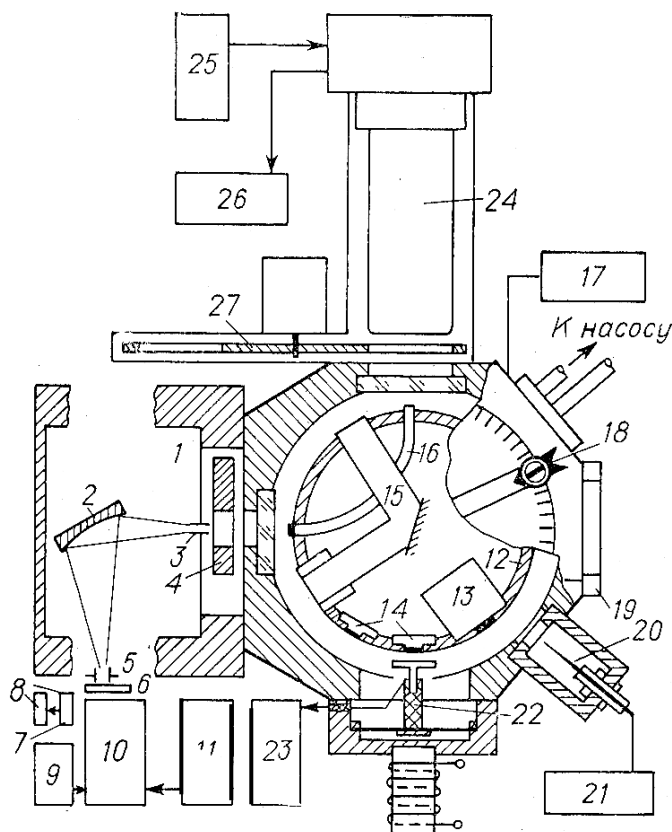


Рисунок 24 - Схема спектросенситометра для вакуумной УФ-области:

1 — монохроматор; 2 — дифракционная решетка; 3 — выходная щель; 4 — световакуумный затвор; 5 — входная щель; 6 — кварцевый фильтр; 7, 8 — система контроля стабильности работы источника; 10, 9 — источник излучения с блоком питания; 11 — электролизер для получения водорода; 12 — револьвер барабанного типа; 13 — термостолбик; 14 — фотоматериал; 15 - оптическая система контроля чувствительности приемника; 16 — светопровод со слоем люминофора на торце; 17 — микровольтметр; 18 — система перемещения; 19 — вакуумный люк; 20 — коротрон; 21 — высоковольтный блок; 22, 23 — электрометр с усилителем; 24, 25 — ФЭУ с блоком питания; 26 — усилитель; 27 — модулятор

С помощью описанной техники спектральной сенситометрии в вакуумной УФ-области были исследованы не только разнообразные ЭФ-материалы, но и различные типы AgHal-фотоматериалов. В частности, таким путем был исследован спектр абсолютного квантового выхода внутреннего фотоэффекта в

микрорекристаллах AgVg для области энергий фотонов 3 - 28 эВ (410 - 44 нм), показаны его сложная структура и тенденция к возрастанию с увеличением энергии фотона.

*Спектросенситометр для УФ-, видимой и ИК-областей.* В основу этого спектросенситометра положена схема монохроматора, что упрощает привязку измеряемых почернений по  $\lambda$ , исключает взаимовлияние соседних участков сенситограмм, облегчает достижение изоэнергетичности сенситограммы, а в случае материалов с ЭФ-чувствительностью позволяет полностью автоматизировать обработку. Применительно к последним, в том числе к ФТП-материалам, прибор сочетает функции сенситометра и денситометра, так как наряду с сенситометрическим экспонированием осуществляет «электростатическое денситометрирование» электростатического скрытого изображения (ЭСИ). Функциональная схема прибора приведена на рис. 25.

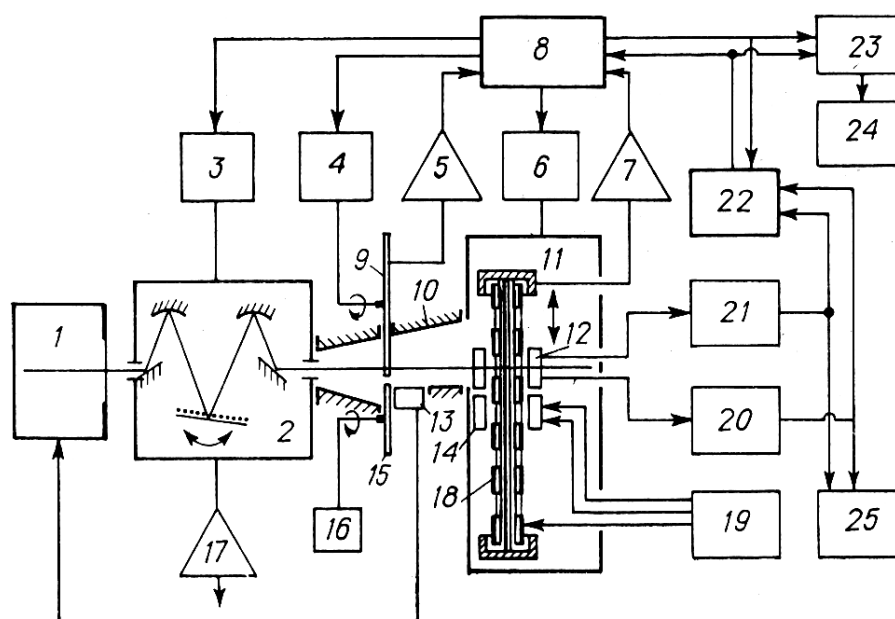


Рисунок 25 - Схема спектросенситометра для УФ-, видимой и ИК-области 1 — источник света ДКСШ-200; 2 — монохроматор; 3 — привод; 4 — усилитель; 5, 7, 17 — датчики положения; 6 — электронные блоки; 8 — блок управления коммутирующей системы; 9 — затвор; 10 — световод; 11 — кассета; 12 — зонды электрометра; 13, 15, 16 — система стабилизации источника; 14 — коротроны; 18 — фигурная диафрагма; 19 — электронный блок; 20, 21 — электрометры; 22 — решающее устройство; 23—25 — ЭВМ с дисплеем и графопостроителем.

Сенситометр состоит из систем: оптической, стабилизации светового потока, электростатического очувствления, измерения потенциала, регистрационной и коммутирующей. Светосильный дифракционный монохроматор 1 выделяет из излучения источника 3 монохроматические потоки с максимальным разрешением 2 нм и осуществляет дискретное шаговое сканирование спектрального интервала 300 — 1100 нм. Полосовые фильтры перед входной щелью монохроматора устраняют спектры порядков выше первого. Непосредственно за выходной щелью монохроматический пучок попадает в экспозиционное устройство, полый световод 4 которого создает равномерную освещенность, а оптический затвор 7 задает время экспонирования. Часть пучка из световода попадает на фотоприемник, контролирующий уровень энергетической освещенности в экспозиционной плоскости. Решающее устройство 25 сравнивает в ходе фоторазрядки потенциал экспонированного участка с заданным уровнем, вычисляет время экспонирования и по нему величину  $S_\lambda = I \lambda E_\lambda t$ . Коды значений  $\lambda$ ,  $E_\lambda$ , начального потенциала  $V_0$  и  $S_\lambda$  поступают на цифropечатающее устройство. Минимальное значение измеряемой ЭФ-чувствительности составляет  $5 \text{ см}^2/\text{Дж}$  при диапазоне изменения экспозиции  $>10^6$ . Точность измерения абсолютной ЭФ-чувствительности не хуже 30 %.

### 4.3. Обработка сенситограмм

Основные требования нормированного проявления включают поддержание постоянства температуры и параметров проявляющего агента (жидкий или сухой проявитель, тепло и т. д.) и обеспечение выбранной продолжительности проявления.

В настоящее время разработано несколько типов устройств для сенситометрической обработки ФТП-пленок и пластинок при постоянстве температуры не хуже  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , поскольку отклонение ее на  $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  от оптимального значения может снизить дифракционную эффективность до 10-20 раз. Разработано

также устройство обработки ФТП-пленок с оперативным поиском оптимального режима обработки путем создания температурного клина при проявлении, но низкой точностью задания температуры (3 - 4 °С) при интегрировании по неравномерно проявленному измеряемому участку ФТП пленки (~ 10 мм<sup>2</sup>).

#### 4.4. Структурометрия. Техника и приборное обеспечение.

Структурометрия охватывает широкий круг величин, характеризующих способность фотоматериалов регистрировать и воспроизводить малые участки объекта фотографирования: разрешающую способность, ЧКХ, гранулярность, макрозернистость, отношение сигнал/шум, квантовую эффективность детектирования, информационную чувствительность, информационную емкость и др.

*Фазовый гранулометр с телевизионной обработкой сигнала.* Гранулометр предназначен для оперативного измерения флуктуации  $D$  равномерно экспонированного и проявленного амплитудного или фазового фотоматериала. Схема его приведена на рис. 26.

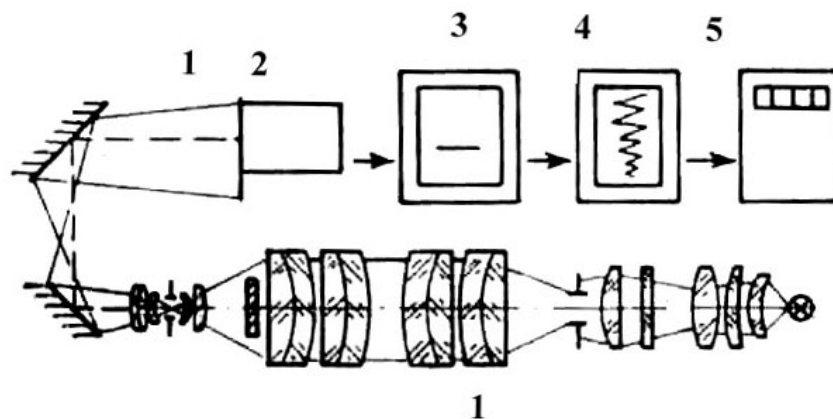


Рисунок 26 - Схема фазового гранулометра с телевизионной обработкой сигнала

Он содержит оптическую систему с визуализирующей фазовой диафрагмой. (поле 20×20 мм<sup>2</sup>) и телевизионный микроденситометр; система дает разрешение в плоскости фотоматериала 140 мм<sup>-1</sup>. Оптическая система форми-

рует в плоскости телевизионного микроденситометра 2 оптическое изображение в темном или светлом поле. Микроденситометр содержит передающую телевизионную трубку 3 с площадью считывающего электронного пучка в плоскости оптического изображения  $400 \text{ мкм}^2$  (что соответствует стандартизованной апертуре при измерении среднеквадратичной гранулярности AgHal-фотоматериалов), видеоконтрольное устройство 4 с системой выделения любой строки или ее части из изображения кадра (анализируемые элементы изображения отмечаются светящейся кодирующей меткой) осциллографа для наблюдения денситограммы 5 и системы регистрации 6.

*Проекционный резольвометр.* Любой резольвометр предназначен исходно для фотографирования резольвометрической миры, т. е. тест-объекта с набором постоянного контраста с закономерным изменением частоты в них. Для несеребряных фотоматериалов используют два типа резольвометров — проекционный и контактный; проекционным может служить обычный резольвометр РП-2М1, дополняемый для материалов с ЭФ-чувствительностью ЭФ-приставкой в кассетном исполнении. Подробно устройство и порядок работы на резольвометре рассмотрены в гл. 3.

*Контактный резольвометр.* В основе контактного резольвометра лежит проекция резольвометрической миры в параллельном пучке на фотослой, находящийся с ней в контакте. Можно использовать как когерентное, так и некогерентное излучение (рис. 27); в первом случае с помощью коллиматора 2 формируют параллельный пучок от источника света 1 с расходимостью не более  $1^\circ$ , а во втором — расширенный параллельный пучок от лазера 9 с помощью телескопической системы 11. Резольвометр содержит также набор светофильтров 3 для выделения рабочей области спектра, затворы 4 и 10, плоскопараллельную стеклянную пластину 5, накладываемую на миру 6 для достижения равномерного контакта с ФТП- или другим слоем 7, и процессор 8 для контроля и обработки.

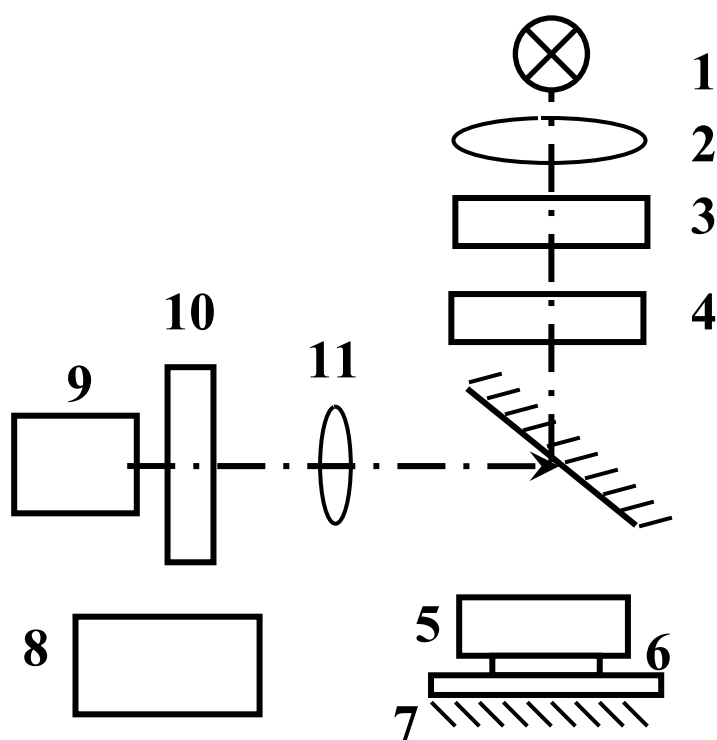


Рисунок 27 - Схема контактного резольвометра

Расчетом и прямыми измерениями показано, что зазор контактного резольвометра имеет высокую ЧКХ вплоть до  $1000 \text{ мм}^{-1}$ . Используются резольвометрические миры двух типов: металлические с группами штрихов для  $\nu = 25 - 60 \text{ мм}^{-1}$  и синусоидальные голографические, полученные на фотопластинках для  $\nu = 100 - 1000 \text{ мм}^{-1}$ .

*Лазерный полихромный резольвометр с зеркалом Ллойда.* Этот резольвометр позволяет впечатывать на фотоматериал синусоидальную решетку заданного контраста с  $\nu = 100 - 3000 \text{ мм}^{-1}$ , измерять зависимость дифракционной эффективности от экспозиции, исследовать передаточные частотно-амплитудные и частотно-дифракционные характеристики фотоматериалов, в том числе с ЭФ-чувствительностью, измерять кривые фоторазрядки ЭФ-слоев в широком диапазоне  $\lambda$  лазерного излучения.

*Лазерный полихромный резольвометр с попутными пучками.* Этот резольвометр (рис. 28) позволяет использовать менее мощные малогабаритные лазеры, чем предыдущий, и поэтому значительно более компактен.

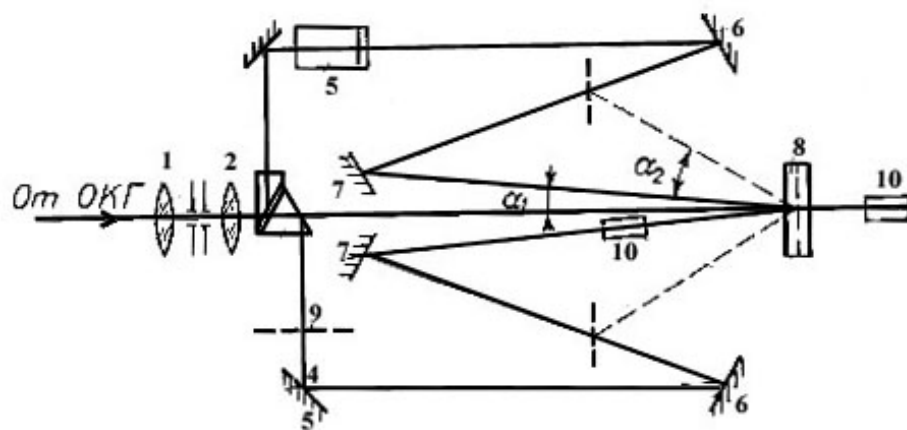


Рисунок 28 - Схема лазерного полихромного резольвометра с попутными пучками

Пучок лучей от лазера проходит через объектив 1, фокусирующий его в плоскости точечной диафрагмы (диаметр 0,015 мм), создающей высокую равномерность освещения следующей диафрагмы (диаметр 0,15 мм), изображаемой объективом 2 в плоскости испытуемого фотоматериала. Неравномерность рабочего поля диаметром 3 мм не превышает 10 %. Свет после прохождения светоделительной призмы 3, отражающих зеркал 4, мультипликаторов 5 и поворотных зеркал 6 попадает на подвижные зеркала 7, которые, перемещаясь по направляющим и поворачиваясь при этом, создают определенный угол схождения лучей. На испытуемом материале 8 регистрируется несколько *интерферограмм*. Контраст интерферограммы можно изменять введением ослабителей 9 в одно из плечей.

Высокая освещенность достигается прежде всего за счет высокого коэффициента отражения светоделительной призмы (не менее 50 %) в области спектра 420 - 700 нм. Мультипликаторы имеют светоделительное покрытие с коэффициентом пропускания  $\approx 27\%$  в диапазоне 420 - 700 нм; при этом каждое последующее поле отличается по освещенности от предыдущего в 2 раза.

Источниками света служат одномодовые лазеры непрерывного излучения He – Cd (441,6 нм) и He – Ne (632,8 нм) с мощностью излучения не ниже 8 мВт.

Голографический резольвометр с диффузным тест-объектом. Схема этого резольвометра (рис. 29) типична для записи голограмм в попутных пучках, причем тест-объект 9 выполнен в виде матированного рассеивателя, содержащего непрозрачный квадрат.

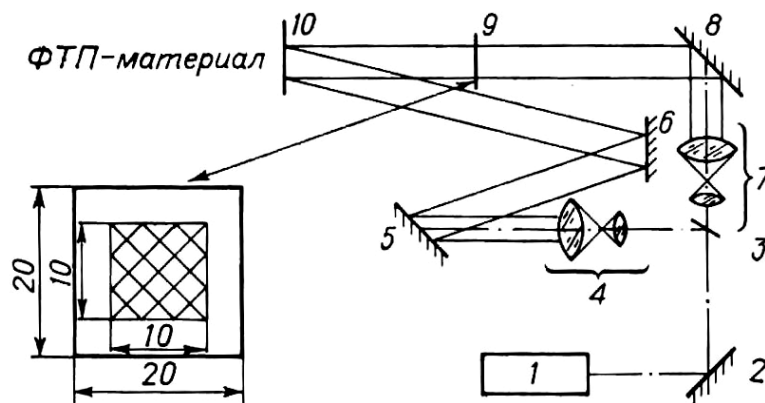


Рисунок 29 - Схема голографического резольвометра с использованием диффузного тест-объекта

Схема включает лазер 1, телескопические системы 4 и 7, поворотные и разделительные зеркала 2, 3, 5, 8, кассету с фотоматериалом 10.



## 5. ЗАРУБЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ СЕНСИТОМЕТРИИ

В разных странах используют различные системы измерения светочувствительности, что затрудняет использование фотоматериалов и правильное их экспонирование. Поэтому международная организация по стандартизации (ИСО) предложила создать общую для всех стран систему сенситометрии без существенных изменений, применяемых в настоящее время способов и аппаратуры. Этим рекомендациям практически полностью соответствуют американская система АСА, система ДИН, принятая в ФРГ, а также ГОСТ 10691.0 - 84 - для черно-белых и ГОСТ 9160 - 82 - для цветных фотоматериалов.

Этими системами сенситометрии предусмотрено получение семейства характеристических кривых по сенситограммам, проявленным в течение различного времени. В системе АСА и ИСО критерием светочувствительности является оптическая плотность 0,1 над плотностью вуали. Определяют величину светочувствительности следующим образом. Несколько одинаково экспонированных образцов фотоматериала проявляют в течение различного времени. Затем на каждой из построенных по сенситограммам характеристических кривых находят точку, равную плотности почернения  $0,1 + D_0$  (рис. 30). Из этой точки опускают перпендикуляр на ось логарифмов экспозиций  $LgH$  и от точки, соответствующей  $lgH = 0,1 + D_0$ , откладывают отрезок, равный 1,3 (20-кратное увеличение экспозиции). Из всего семейства характеристических кривых выбирают ту, на которой при этой экспозиции образуется плотность почернения  $0,80 \pm 0,05$  над плотностью  $D_0$ .

Светочувствительность в единицах АСА рассчитывают по следующей формуле:

$$S = \frac{0,8}{H_{D=0,1+D_0}}$$

Вычисленное значение светочувствительности округляют до ближайшего числа геометрической прогрессии со знаменателем 1,26; 4; 6; 8;... 32; 40; 64; 80 и т.д.

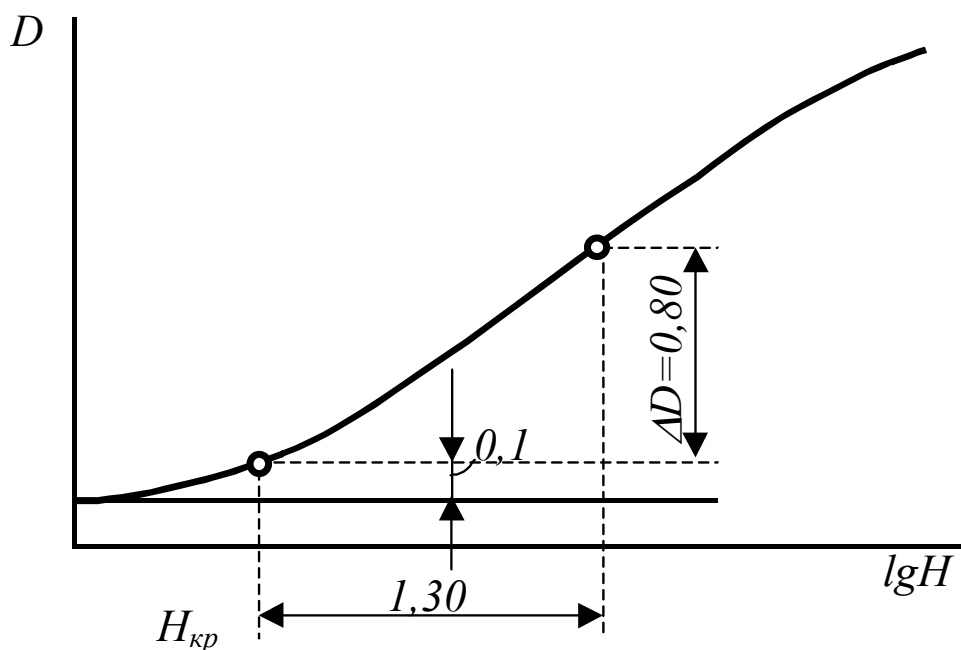


Рисунок 30 - Определение светочувствительности по ИСО

В системе ДИН, как и в АСА, критерием светочувствительности является оптическая плотность  $0,1 + D_0$ , но светочувствительность выражают в логарифмических единицах и определяют по формуле:

$$S = 10 \cdot \lg \frac{1}{H_{D=0,1+D_0}}$$

В соответствии с этой формулой изменение числа светочувствительности на единицу соответствует изменению экспозиции в 1,26 раза.

Измеренное значение светочувствительности фотоматериала округляют до ближайшего ряда чисел 1; 2; 3;... 19; 20; 21; 22 и т. д.

Поскольку ГОСТ 10691—84 предусматривает тот же критерий светочувствительности, что и в системах АСА и ДИН, можно определить достаточно точное соотношение между величинами светочувствительности в этих системах.

В таблице 11 приведены соотношения величин светочувствительности для интервала величин, охватывающих практически все используемые в настоящее время галогенидосеребряные фотоматериалы.

**Таблица. 11 - Соотношения величин светочувствительности.**

ГОСТ 10691-73	ГОСТ 10691-84, ASA	ISO/ISO0	DIN 4512/1
22	22	25/150	15
32	32	32/160	16
45	40	40/170	17
	50	50/180	18
65	64	64/190	19
90	80	80/200	20
	100	100/210	21
130	125	125/220	22
	160	160/230	23
180	200	200/240	24
250	250	250/250	25
350	320	320/260	26
	400	400/270	27
500	500	500/280	28
700	640	640/290	29
	800	800/300	30
1000	1000	1000/310	31
1400	1250	1250/320	32
	1600	1600/330	33
2000	2000	2000/340	34
2800	2500	2500/350	35
	3200	3200/360	36
4000	4000	4000/370	37
5600	5000	5000/380	38
	6400	6400/390	39

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джеймс, Т. Х. Теория фотографического процесса. - Л.: Химия, 1980.
2. Картужанский, А. Л. Химия и физика фотографических процессов/ А. Л. Картужанский, Л. В. Красный-Адмони – Л.: Химия, 1983.
3. Чибисов, К. В. Общая фотография - М.: Искусство, 1984.
4. Зернов, В. А. Фотографическая сенситометрия. - М.: Искусство, 1980.
5. Киселев, А. Я., Физические и химические основы цветной фотографии/ А. Я. Киселев, Ю. Б. Виленский - Л.: Химия, 1990.
6. Редько, А. В. Основы черно-белых и цветных фото процессов.- М.: Искусство, 1980.
7. Августинович, К. А. Основы фотографической метрологии. - М.: Легпромбытиздат, 1990.
8. Журба, Ю. И. Краткий справочник по фотоматериалам.- М.: Искусство, 1987.
9. Несеребряные фотографические процессы/Под ред. А.Л. Картужанского. - М.: Химия, 1984.

**Сечкарев Борис Алексеевич  
Сотникова Лариса Владимировна  
Титов Федор Вадимович**

**Измерительные методы исследования  
средств регистрации оптической информации**

**Учебное пособие**

Редактор: З. А. Кунашева

Подписано к печати 29.01.2004. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Печ. л. 6,25. Тираж 300 экз. Заказ №

---

ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». 650043, Кемерово, ул. Красная, 6.  
Отпечатано в типографии издательства «Кузбассвузиздат». 650043, Кемерово, ул. Ермака, 7.