

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ
СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

ТРУДЫ ВНИИМ
ВЫПУСК 17 (77)

МАШГИЗ 1952

MEMORANDUM
D. O. J. C. P.
BETTORIA, 13/1/1911

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР и ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ имени Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ИССЛЕДОВАНИЯ
В ОБЛАСТИ
СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЛАЗА
(относительная видность)
РАЗНОЦВЕТНЫЕ СВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЕНОВЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ
ЕДИНООБРАЗИЕ и ТОЧНОСТЬ ЦВЕТОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ

ТРУДЫ ВНИИМ
ВЫПУСК 17 (77)

*Под общей редакцией канд. техн. наук
М. П. ПАВЛОВА*

БИБЛИОТЕКА
Всесоюзного научно-исследо-
вательского института метрологии
имени Д. И. Менделеева



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

Работы, содержащиеся в сборнике, относятся к новым определениям спектральной чувствительности глаз и трехцветных составляющих цветового восприятия для условного среднего наблюдателя.

Далее описывается основной способ разноцветных световых измерений. Сообщается о возобновлении образцов коэффициентов яркости и отражения. Приводятся данные исследований по применению селеновых фотоэлементов для поверочных работ. Наконец, две работы посвящены установлению единообразия цветковых измерений и выяснению их точности.

Сборник предназначен для научных, инженерно-технических работников и светотехников, имеющих дело со световыми и цветковыми измерениями и расчетами.

Редактор сборника проф. П. М. ТИХОДЕЕВ

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА

Редакция литературы по машиностроению

Заведующий редакцией инж. Ф. И. ФЕТИСОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЛАЗА

Постановка работы

Конечный итог всех световых измерений с помощью глаза зависит от спектральной чувствительности у наблюдателей, выполнявших данные измерения. В соответствии с этой зависимостью в самих определениях световых величин отмечена связь последних со свойствами глаза.

По этой же причине любые световые измерения, как выполняемые непосредственно глазом, так и с помощью какого-либо иного приемника лучистой мощности, своей конечной целью имеют оценку световых величин лишь применительно к свойствам „среднего“ глаза. Последнее определение подразумевает средние значения спектральной чувствительности (относительной видности) для большого числа наблюдателей. Практическое значение этого понятия весьма велико и особенно возрастает при расширении задач разноцветной фотометрии.

Описываемая работа первоначально была поставлена для определения спектральной чувствительности глаза у сотрудников фотометрической лаборатории ВНИИМ. В дальнейшем задача расширилась в связи с необходимостью пересмотра применяемых в настоящее время значений относительной видности. Эти значения (ОСТ 8485), принятые решением Международной комиссии по освещению в 1924 г., представляют собой обобщенные данные измерений, выполненных в основном в Бюро стандартов США (и в некоторых других лабораториях американских институтов) в 1918—1922 гг. [12]¹. К пересмотру этих данных побуждает самая давность произведенных измерений, несомненное движение вперед измерительной техники и, наконец, существенные расхождения в результатах последующих многочисленных работ. Из числа последних значительная часть — прежде всего здесь следует отметить работы

¹ В квадратных скобках указаны порядковые номера в списках литературы, помещенных в конце каждой статьи.

проф. Н. Т. Федорова — непосредственно посвящена прямым или косвенным определениям спектральной чувствительности [6, 7, 4, 5, 9, 15]¹, другие связаны с вопросами разноцветной фотометрии, использующей принятые значения относительной видности для разного рода расчетов [10, 13, 14].

Рассмотрение перечисленных и других работ в этой области не позволяет только на их основании ввести определенные изменения в принятые значения, но приводит к выводу о необходимости повторного и полного определения заново относительной видности. При этом материалы вышеуказанных работ могут быть использованы лишь в зависимости от целей последующего применения полученных данных.

Здесь подразумевается следующее. Результаты световых измерений зависят не только от свойств глаза, но и от обстановки измерений. Однозначного решения задача определения относительной видности не имеет. В любом случае она должна быть ограничена совокупностью некоторых вполне определенных условий, выбранных в соответствии с целями исследования.

Основными условиями, влияющими на свойства глаза, являются яркость и размеры полей сравнения; существенны также условия адаптации.

Выбор условий измерений

При выборе обстановки измерений можно, вообще говоря, исходить из разных соображений. Часто, например, ставятся исследования, основной целью которых является изучение физиологических и психофизиологических свойств глаза. Выбор условий при этом будет вполне своеобразен. Цель данной работы — определение свойств глаза в применении к задачам световых измерений. Отсюда, прежде всего, стремление по возможности сблизить условия испытания с условиями обычного фотометрирования и затем — обеспечить наибольшую точность измерений в той мере, в какой она зависит от данных условий. Из этих соображений было установлено следующее.

1. Размер поля был взят равным 3° . В практике световых измерений фотометрической лаборатории этот размер встречается наиболее часто. Выбор его не совпадает с широко распространенным мнением о необходимости малых угловых размеров, не превышающих $1,5^\circ$ и даже значительно меньших.

Размер поля в $1,5^\circ$ (применяемый, например, в Германии для целей разноцветной фотометрии) имеет то преимущество, что

¹ Подобные же работы, но в узком разрезе определения спектральной чувствительности для глаз наблюдателей фотометрической лаборатории, велись также во ВНИИМ в 1938—1939 гг.

обеспечивает (по некоторым данным, и то, впрочем, не полностью) участие в зрительном процессе одних колбочек. В таких исследованиях выделяются, следовательно, свойства исключительно дневного зрения. Однако при столь малых размерах поля рассматривание его затрудняется и тем самым снижается точность световых измерений; в ту же сторону снижения точности действует невозможность использования контраста в поле зрения фотометра; кроме того, известны работы, указывающие, что при малых полях зрения (около $0,5^\circ$) работающий участок сетчатки практически является дихроматическим. С другой стороны, выделение свойств дневного зрения может быть достигнуто также применением определенного уровня яркости¹.

2. В качестве исходных данных для выбора яркости полей сравнения учитывались следующие требования:

а) нижний предел для исключения возможности явления Пуркинье не должен спускаться ниже 3—4 *дмсб*;

б) колебания яркости по спектру должны, по возможности, быть незначительными (вследствие наличия некоторой зависимости значения спектральной чувствительности глаза от уровня яркости даже в пределах выше уровня явления Пуркинье [8]);

в) значения яркости при исследовании свойств глаза должны, по возможности, соответствовать значениям, принятым в обычных световых измерениях (от 3 до 30 *дмсб*).

3. Адаптация применена темновая, как принятая издавна в фотометрических лабораториях и вполне оправдавшая себя по устойчивости измерений.

Основные способы определения относительной видности в прежних работах

Для определения относительной видности требуется измерить по всей области видимого спектра относительную яркость и относительное распределение лучистой мощности. Первое измерение выполняется глазом, второе — каким-либо неизбирательным приемником. Помимо обычных трудностей спектральных измерений (малая лучистая мощность, влияние рассеянного света и др.), измерения глазом дополнительно осложняются тем, что требуют разноцветного фотометрирования. При непосредственном сравнении сильно различающихся по цвету излучений точность такого сравнения будет очень низка. В предыдущих работах эта трудность преодолевалась двумя путями: 1) методом малых ступеней [12, 6, 7, работы

¹ Характерно, что даже в колориметрии, где издавна установлен угловой размер поля, равный 2° , замечается теперь стремление к увеличению этого размера [3]. В частности, есть предположение, что колориметры ГОИ нового выпуска будут иметь поля 5—6°.

ВНИИМ] и 2) методом смешения разноцветных яркостей во времени [9, 10]¹.

В первом случае остается неустранимой, хотя и не всегда препятствующая измерениям, некоторая разница в цвете. Кроме того, так как в этом способе непосредственно между собой сличаются только близко расположенные участки спектра, дальнейшая обработка этих измерений может привести к значительному накоплению постоянных ошибок, в особенности на краях видимой области.

В отношении работ ВНИИМ (1938 г.) попутно можно отметить следующее. Способ ступеней применялся в двух видоизменениях. В первом — смешение по спектру для второго поля сравнения осуществлялось от второго коллиматора спектрофотометра Люммера-Бродгуна. Во втором — вспомогательное поле сравнения было образовано от лампы накаливания, перед которой устанавливались сменные цветные стекла. При этом сличение красного и синего концов спектра производилось не только косвенно через все ступени в зеленой и желтой областях, но и непосредственно через пурпурные цвета во втором поле сравнения.

При использовании смешивающего („мелькающего“) фотометра условия измерений очень сильно отличаются от нормальных условий обычного фотометрирования. Поэтому возможность получения для обоих случаев измерений сопоставимых результатов нередко подвергалась сомнению. Самые последние международные сличения разноцветных измерений заставили отказаться от способа „мелькающего“ фотометра даже те лаборатории, в которых этот прибор применялся.

Способ измерений в данной работе и измерительная установка

Главной особенностью способа измерений, принятого в данной работе, является фотометрирование в одноцветных полях. Для создания последних использован известный способ смешения цветов. Известно, что любой спектральный цвет при разбавлении его надлежащим количеством белого может быть уравнен со смесью двух несектральных цветов, определенным образом подобранных. Для уравнивания всех цветов спектра возможно ограничиться всего тремя несектральными цветами, используя их в различных сочетаниях различными парами (или все три вместе). Пояснением к сказанному служит рис. 1. Внутри треугольника $K_1Z_1C_1$ находятся все цвета, воспроизводимые различными сочетаниями цветов, лежащих в его вершинах. При одновременном использовании только

¹ Особняком стоят работы, где определяется пороговая чувствительность глаза [4, 5]. Для целей фотометрии они непосредственного приложения иметь не могут.

двух из них изменение цвета будет происходить по той или другой прямой, соединяющей точки K_1 , Z_1 и C_1 . Изменение спектрального цвета, разбавленного белым (точка A^1), происходит также по прямой, соединяющей эти два цвета. Точка пересечения прямых, например, AM и K_1Z_1 , или AE и C_1Z_1 , или AB и K_1C_1 , указывает на равенство цвета при смешении. Линии AD , AO и AK_1 определяют границы спектрального участка, уравнивающегося по цвету с данным сочетанием исходных цветов.

Практически осуществленная измерительная установка изображена на рис. 2. L_6 — светоизмерительная лампа типа № 7 (ОСТ 8273), мощностью около 700 *вт*. Изображение ее нити фокусируется на входную щель монохроматора M с помощью линзы L_3 . M — зеркальный монохроматор с двойной дисперсией; K — фотометрический кубик, расположенный на оптической оси выходной щели монохроматора. Последняя рассматривается со стороны кубика через окуляр и линзу L_2 , создавая одно из полей сравнения. На той же оптической оси, под углом к ней около 45° , расположено оптически правильное бесцветное стекло C_4 . Отражая в направлении кубика часть лучей, падающих на него от сернобариевой пластинки P_2 , стекло это служит для примеси белого цвета к спектральному. Пластика P_2 освещается лампой L_4 , перемещающейся по скамье $Ск_4$. Оптические оси всех перечисленных частей и приборов расположены в одной горизонтальной плоскости.

В плоскости, находящейся приблизительно на 60 *см* выше, лежат оси светомерных скамей $Ск_1$, $Ск_2$ и $Ск_3$. В месте пересечения этих осей находится сернобариевая пластинка P_1 , освещаемая лампами L_1 , L_2 и L_3 . На пути лучей от каждой лампы, в 15—20 *см* от пластинки P_1 , устанавливаются смен-

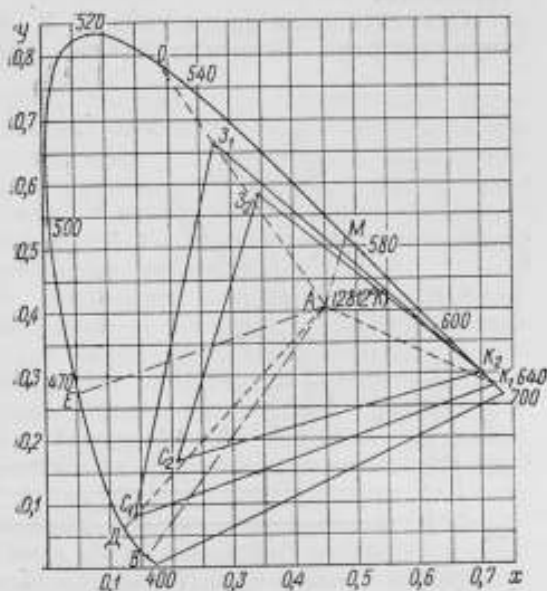


Рис. 1. Треугольник цветов.

¹ Условный белый цвет установки соответствует цветовой температуре около 2810°K .

ные цветные стекла C_1 , C_2 и C_3 — красное (к), зеленое (з) и синее (с). Пластика $П_1$ образует второе поле сравнения. Все поле зрения имеет вид круга, разделенного на две равные половины наклонным диаметром.

Перед всеми пятью источниками света установлены вращающиеся поглотители $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$, $Д_4$ и $Д_5$. Они необходимы для расширения пределов в изменениях количественных сочетаний различных цветов, примеси белого и яркости спектрального.

Осветительная лампа типа № 7 перед щелью монохроматора выбрана, несмотря на ее сравнительно ограниченную

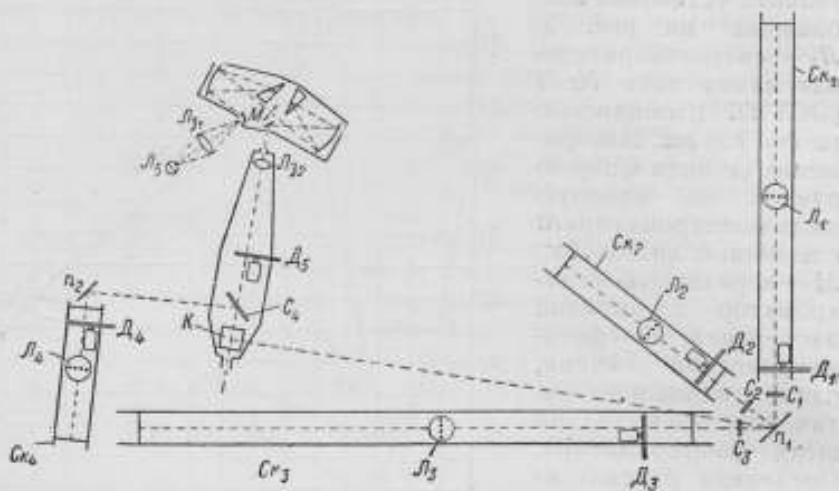


Рис. 2. Измерительная установка для определения спектральной чувствительности глаза.

мощность, ввиду устойчивости. Впрочем, ограничение мощности этого источника оказывается существенным в основном только для случая энергетических измерений. При измерениях с помощью глаза яркость полей сравнения ограничивается, главным образом, со стороны цветных источников $Л_1$, $Л_2$ и $Л_3$ в силу применения насыщенных стекол с малыми значениями общего коэффициента пропускания. Вместе с тем значительная общая мощность установки (около 2 квт) не позволяет произвести замену этих ламп.

Напряжение у всех источников света при измерениях поддерживается с помощью потенциометров.

Порядок измерений и расчетов

Каждым наблюдателем в начале и в конце его работы измерялись относительные силы света четырех ламп [$Л_1$, $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$] (рис. 2) без цветных стекол и при выключенной

лампе L_5 . Среднюю основную часть измерений составляли измерения по спектру. Общий предел их от 400 до 740 нм. Участок вблизи максимума спектральной чувствительности глаза измерялся дважды. Измерения начинались от 520 нм и велись через 10 нм до 740 нм; затем от 580 нм также через 10 нм до 400 нм. После 740 нм обычно делался перерыв на 15—20 мин. в зависимости от утомления наблюдателя. Адаптация при этом сохранялась темновой. Ширина спектрального участка составляла при измерениях от 1—1,5 нм в коротковолновой части спектра и до 3—3,5 нм в длинноволновой. Яркость полей сравнения менялась от 3—5 до 20 *дмсб* по всему спектру.

Предварительный подбор условий (т. е. соотношения цветных яркостей) для каждой точки спектра производился заранее по данным других лиц, во избежание излишнего утомления наблюдателя, для ускорения работы и для исключения чрезмерных изменений в цветовой адаптации при подборе цвета. Каждым наблюдателем эти условия уточнялись в соответствии с особенностями его зрения.

Ввиду относительной трудности выполнения световых и еще более цветных измерений к настоящим исследованиям привлекались прежде всего более или менее опытные фотометристы и колориметристы. Не имевшие опыта в цветных измерениях предварительно практиковались на трехцветном колориметре ГОИ (Л. И. Демкиной), где уравнивание полей по яркости и цвету выполняется проще и быстрее, чем в данной установке.

Следует отметить индивидуальные способности (или, напротив, отсутствие таковых) у отдельных наблюдателей к различению и подбору цветов. Соответственно этому у различных наблюдателей ход измерений протекает своеобразно: неодинакова скорость выполнения измерений, уверенность и быстрота отсчета, утомляемость и напряжение при измерениях. Полное измерение относительных яркостей по всему спектру занимало у разных лиц от 3 до 5 час. Неодинакова у отдельных наблюдателей устойчивость или разброс измерений.

Относительная спектральная яркость по результатам измерений вычислялась так:

$$\frac{B_\lambda}{B_{\lambda_0}} = \frac{B_1 + B_2 + B_3 - B_4}{B_{1_0} + B_{2_0} + B_{3_0} - B_{4_0}},$$

где B_λ и B_{λ_0} — спектральные яркости для двух длин волн λ и λ_0 ;

B_1, B_2, B_3 и B_4 ¹ — яркости (пропорциональные освещенностям) полей сравнения от соответствующих источников света при измерениях с длиной волны λ ; $B_{1_0}, B_{2_0}, B_{3_0}$ и B_{4_0} — при длине волны λ_0 .

¹ Обычно в измерениях одновременно работают со стороны второго поля сравнения только две лампы (L_1 и L_2).

Длина волны λ_0 , была принята равной 550 нм.

В значения яркостей B_1 , B_2 и B_3 входят общие коэффициенты пропускания цветных стекол K , Z и C . Это обстоятельство является наиболее трудным местом выбранного способа измерений и как бы некоторым его недостатком. Точные значения этих коэффициентов пропускания, различные для разных наблюдателей, не могут быть известны заранее. В силу этого весь расчет кривой относительной видности приобретает характер последовательных приближений. Объем вычислений оказывается при этом очень значительным.

О точности измерений. Оценка принятого способа измерений

Кроме индивидуальных особенностей, точность получаемых результатов в большой мере зависит также от степени разбавления белым цветом.

Проф. Н. Т. Федоровым специально исследовался [6] вопрос влияния на значения относительной видности степени разбавления спектральных цветов белым. Такого влияния не было обнаружено для очень широких пределов разбавления.

Увеличение разбавления имеет и известные преимущества, облегчая подбор цвета и увеличивая яркость полей сравнения. Однако при увеличении разбавления измеряемая спектральная яркость в общей яркости поля имеет меньший относительный вес. Естественно, что при этом снижается точность ее определения.

В данной работе применялись в разное время два набора цветных стекол $K_1Z_1C_1$ и $K_2Z_2C_2$ (рис. 1). Второй набор представлен стеклами меньшей насыщенности, с коэффициентами пропускания, приблизительно в два раза большими, чем у стекол первого набора. При этом не обнаружено (в среднем для двух групп наблюдателей) заметных сдвигов в значениях относительной видности, но средняя квадратичная погрешность для случая применения второго набора примерно в два раза больше, чем для первого: $\pm 5\%$ вместо $\pm 3\%$.

Сравнивая в дальнейшем результаты, полученные в данной работе, со значениями, принимавшимися до сих пор (ОСТ 8485), оценку первых следует произвести двояко:

- 1) с точки зрения принципиальных особенностей, отличающих данный способ измерений от других, ранее применявшихся, и

- 2) с точки зрения некоторых непринципиальных, но практически существенных или имеющих значение подробностей в условиях измерений.

Основными преимуществами самого метода являются:

- 1) измерения в одноцветных полях сравнения и 2) вполне независимое определение спектральной чувствительности в каждой точке спектра.

Точность фотометрических измерений при этом практически одного порядка почти по всему спектру, исключая, может быть, только самые крайние участки видимой области. Средняя квадратичная погрешность для одного наблюдателя по данным его повторных измерений указана выше. Эта погрешность, характеризующая точность значения чувствительности по спектру для какой-либо одной длины волны, уменьшается при проведении полной кривой, где случайный разброс отдельных точек сглаживается.

В способе малых ступеней, применявшемся для определения принятых международных значений, погрешность измерений накапливается при их обработке и растет к краям спектра. Для длин волн 430 и 700 нм значения вероятной погрешности достигают 5% [12].

Особенностью способа измерений, принятого в данной работе, является, как указывалось выше, метод последовательного приближения в расчетах, громоздкость и сложность вычислений. Неблагоприятно эта особенность сказывается в основном только на объеме работы.

Как отрицательное обстоятельство уже отмечено ограничение яркости поля сравнения со стороны вспомогательных цветных источников. Однако необходимые пределы яркости были выдержаны даже при насыщенных стеклах первого набора. Незначительность колебаний яркости по спектру следует, напротив, считать преимуществом выполненных измерений, а не их недостатком [8]. Колебания яркости в работе Бюро стандартов были весьма значительны: от 1,7 до 170 дмсб. С другой стороны, нижний предел в 1,7 дмсб в красном конце спектра достигался весьма значительным расширением щелей и, следовательно, снижением чистоты спектра. Ширина выделенного участка в этих крайних условиях составляла, вероятно, не менее 15—20 нм.

Для устранения рассеянного света (спектральным прибором был однократный спектрофотометр) применялись цветные стекла. В данной работе, как указывалось, использован двойной монохроматор, наиболее действенно исключаящий рассеянный свет в приборе.

Измерения лучистой мощности

Относительное распределение лучистой мощности в плоскости выходной щели монохроматора измеряется повторно по истечении 50—70 час. горения лампы. Измерения производились с помощью нескольких термоэлементов разной конструкции. Последние поочередно включались на низкоомную обмотку гальванометра с чувствительностью к напряжению около 10^{-8} в/мм. Магнитный шунт гальванометра устанавливался для работы его в критическом режиме. Время установки термотока не превышало обычно 2—5 сек.

Приемные поверхности термоэлементов располагались в зависимости от их конструкции—в части случаев непосредственно у плоскости выходной щели монохроматора, в других—в некотором отдалении, причем расходящийся пучок лучей собирался на поверхности термоэлемента с помощью линзы L_2 (рис. 2).

Для защиты от внешних тепловых воздействий термоэлемент помещался в особую камеру (рис. 3). Камера представляет собой цилиндр с тройными металлическими стенками: внутренняя вычернена с обеих сторон, средняя с обеих сторон

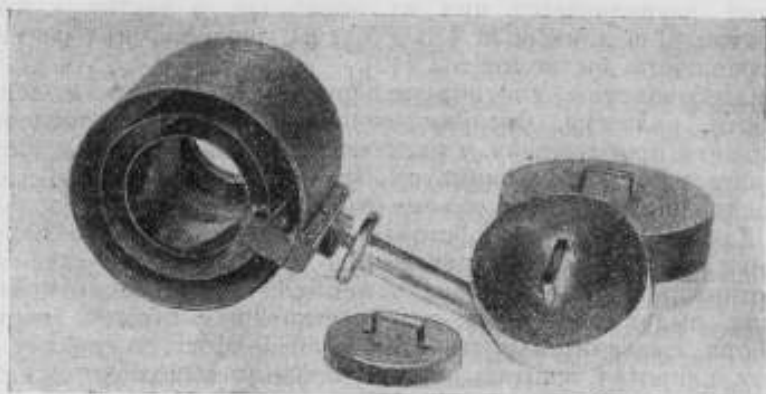


Рис. 3. Защитное устройство для термоэлемента.

никелирована, наружная—вычернена только с внутренней стороны. Стенки камеры закреплены на деревянной основе. Последняя практически исключает возможность передачи тепла между стенками через теплопроводность. Один из торцов цилиндра закрыт тремя крышками, подобными стенкам. С переднего конца камера остается открытой. В эту сторону обращена приемная поверхность термоэлемента. Расположение стенок камеры выбрано на следующем основании. Уменьшение теплообмена между двумя излучающими телами помещением между ними экрана—обычный прием в этом случае—достигается наилучшим образом, когда коэффициент излучения экрана значительно меньше коэффициентов излучения самих тел. Количественно теплообмен в этом случае может быть легко доведен до 3,5% от возможного максимума вместо 50%, какие дает экран с равным коэффициентом излучения [1].

О действенности принятых мер можно судить, например, по тому, что влияние руки, положенной на наружную стенку камеры, не сказывалось на положении нуля гальванометра.

Из таких же соображений источник L_0 (в силу конструкции двойного монохроматора расположенный очень близко от термоэлемента) был окружен четырехслойным кожухом из металлических листов. Блестящие, хорошо отражающие листы чередуются с черными. Кожух, открытый сверху, имеет сквозные отверстия в боковых стенках: одно — перед нитью накаливания, другое — позади нее. Лучи света от нити свободно проходят через переднее окно. Заднее закрыто несколькими слоями черного бархата. Последний устраняет отраженные лучи, которые могли бы пойти в направлении линзы L_3 . Перед линзой установлен подобного же устройства тройной щит с окошком.

Устранение излишнего нагрева термоэлемента и окружающих его предметов резко снизило неустойчивость температуры холодных спаев, соответственно повысив постоянство показаний гальванометра. При этих условиях — достаточной устойчивости нуля и быстрой установки термотока — отпала необходимость точной регистрации времени производимых отсчетов, ранее применявшейся лабораторией [2].

Погрешность в определении относительной лучистой мощности в спектре составляет около $\pm 1 - \pm 2\%$ в области 500—740 нм, $\pm 3 - \pm 5\%$ — в участке 500—430 нм и до $\pm 8 - \pm 10\%$ для 400—420 нм. Измерения лучистой мощности выполнялись в тех же точках спектра, что и световые измерения. Ширина спектрального участка составляла от $\pm 1,5$ до ± 5 нм в области 500—740 нм и от ± 3 до ± 6 нм в крайней синей части. Поправки на ширину щелей оказались при этом за пределами точности.

Спектральное пропускание стекла C_4 (рис. 2) было определено отдельным измерением. Практически, ввиду бесцветности стекла введения поправок не требовалось. Следовательно, распределение лучистой мощности измерялось как бы непосредственно в том пучке, который выходит из окулярной щели монохроматора и яркость которого и подлежит измерению глазом¹.

Предварительные результаты измерений относительной видности

На рис. 4 приведены средние значения спектральной чувствительности для 20 наблюдателей (6 мужчин, 14 женщин; средний возраст — 39 лет). Значения эти подлежат еще некоторым уточнениям расчетного характера и приведены как предварительные. Обращает внимание заметное отклонение

¹ В работе по установлению международно принятой относительной видности распределение лучистой мощности определялось косвенным путем, включавшим отдельные спектрофотометрические измерения источников света и определения коэффициента пропускания для спектрофотометра.

от международных значений в синей части спектра. При длине волны 400 нм эти расхождения достигают десятикратного значения.

Следует иметь в виду, что именно этот участок международной кривой является наименее достоверным, принятым

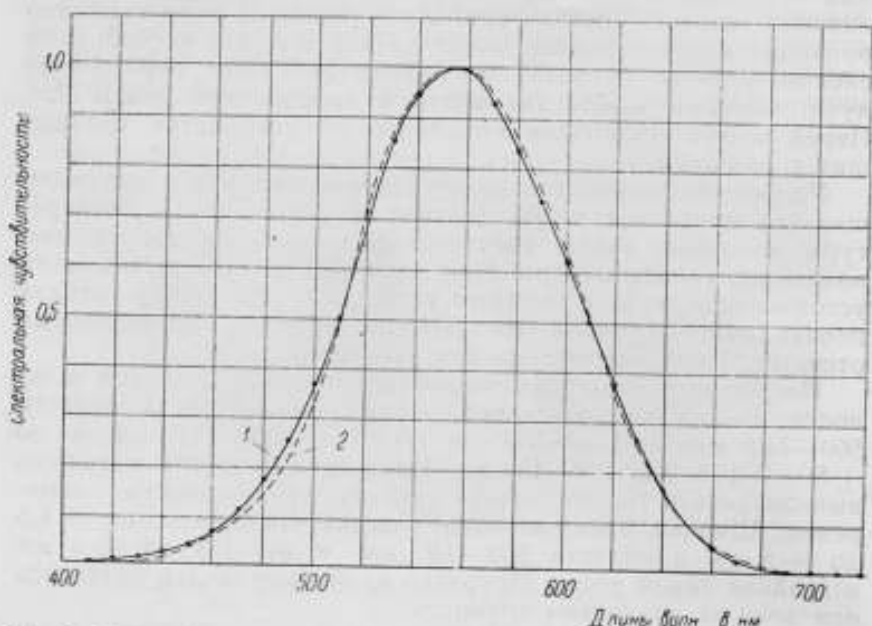


Рис. 4. Спектральная чувствительность глаза по измерениям 20 наблюдателей:

1 — значения, полученные по измерениям 20 наблюдателей; 2 — значения по ГОСТ 8485.

в свое время почти условно. Ряд позднейших работ [15, 13, 14] указывает на сомнительность значений именно в этой области. В крайней красной части спектра отклонения сравнительно невелики, но обратного знака. Интересно, между прочим, отметить, что расхождения измерений отдельных наблюдателей в этой части спектра гораздо меньше, чем в синей.

Длина волны наибольшей спектральной чувствительности — 556 нм — мало отличается от международного значения — 555 нм.

В некотором разногласии с рядом работ [6, 7, 9, 10] не обнаружено смещение (увеличение) спектральной чувствительности по сравнению с международными данными в красной части спектра. Однако во всех этих работах применялся очень малый размер поля (до 1°). Вместе с тем, например, в работах проф. Н. Т. Федорова [6] имеются указания, что при изменении размера поля только от $1,5$ до 2° длина волны наиболь-

шей чувствительности смещалась с 565 на 560 нм, а при увеличении поля до $4,8^\circ$ — на 547 нм.

Как сказано, полученные данные имеют пока предварительный характер. Признано необходимым продолжить накопление опытного материала при одновременном уточнении выполненных расчетов, что в настоящее время и выполняется¹.

Определение свойств глаза для цветовых измерений

Выбранный способ измерений, в котором по спектру уравниваются и яркости полей сравнения, и их цвета, позволяет одновременно с определениями относительной видности полу-

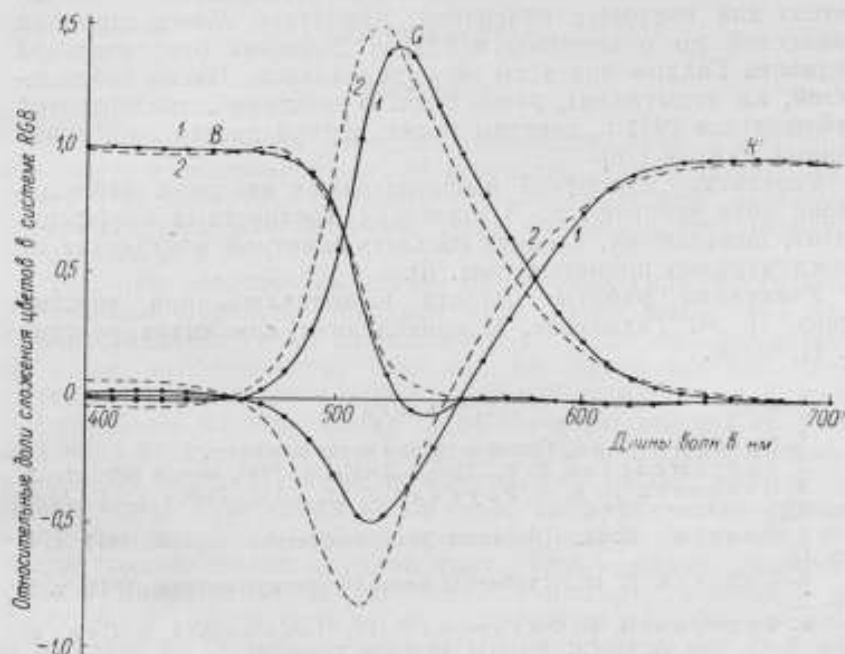


Рис. 5. Доли сложения спектральных цветов по измерениям 14 наблюдателей.

1 — значения, полученные по измерениям 14 наблюдателей; 2 — международно принятые значения

чить и значения трехцветных составляющих для цветов спектра. Единственным дополнительным измерением, которое при этом требуется, является определение белого цвета. Условный белый цвет установки (от источника L_4) уравнивается по цвету и по яркости со смесью трех цветов —

¹ Ко времени печатания настоящей статьи число наблюдателей дошло до 50.

красного, зеленого и синего — от трех источников L_1 , L_2 и L_3 . Это измерение дает возможность соответствующей обработкой ранее выполненных измерений определить в цветах установки составляющие для спектральных цветов. В тех же цветах установки непосредственным измерением выражаются в частности и цвета R , G и B (700, 546,1 и 435,8 $m\mu$), принятые в колориметрии в качестве опорных. Отсюда переход от совокупности цветов установки к любой другой системе цветов возможно совершить чисто расчетным путем.

Принципиально такой же способ определения трехцветных составляющих (при совершенно ином практическом его осуществлении) был применен Гилдом в его работе [11], послужившей основанием для определения „стандартного“ наблюдателя для цветовых измерений, принятого Международной комиссией по освещению в 1931 г. Значения относительной видности Гилдом при этом не определялись. Число наблюдателей, им испытанных, равно семи. В значения „стандартного“ наблюдателя 1931 г. введены также данные десяти лиц, испытанных Райтом [16].

Результаты измерений вышеуказанных двадцати наблюдателей пока уточняются. В значениях трехцветных коэффициентов, по видимому, следует ожидать заметные отклонения от международно принятых (рис. 5).

Участники работы. Работа выполнялась при участии проф. П. М. Тиходеева. В вычислениях принимала участие З. Н. Энно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребер и Эрк, Основы учения о теплообмене.
2. Каргашевская В. Е., Труды ВНИИМ, 1949, вып. 8 (68), стр. 3.
3. Лобанова Н. В. и Раутиан Г. Н., ДАН, 1949, т. LVIII, № 6, стр. 1025.
4. Пинегин Н. И., Проблемы физиологической оптики, 1947, т. 4, стр. 11.
5. Пинегин Н. И., Проблемы физиологической оптики, 1948, т. 5, стр. 2.
6. Федоров Н. Т., Федорова В. И., Плахов А. Г. и Селецкая Л. О., Изв. А. Н. СССР, ОТН, 1939, № 7, стр. 97.
7. Федоров Н. Т. и Федорова В. И., ДАН, 1936, т. II, № 9, стр. 37.
8. Юров С. Г., ДАН, 1949, т. LVII, № 2, стр. 271.
9. Arndt W., Das Licht, 1936, № 4, № 6.
10. Dresler A., Das Licht, 1937, №№ 5-6.
11. Guild J., Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1932, vol. 230, p. 149.
12. Gibson K. S., and Tyndall E. P., Sc. Papers, No 475, 1923.
13. Jacobsen A. E., JOSA, 1948, № 5, 442.
14. Judd D. B., JOSA, 1949, № 11, 945.
15. Wald G., Science, 1945, vol. 101, № 2635, p. 653.
16. Wright W. D., Trans. Opt. Soc., 1928/29, vol. 30, p. 141.

ОСНОВНОЙ СПОСОБ РАЗНОЦВЕТНЫХ СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Введение

В метрологическом деле, а равно — или даже в большей степени — и в поверочном обыкновенно предпочитают выбрать и остановиться на одном способе сравнений отличающихся по размерам величин. Этот способ удобно назвать основным.

Так, при образовании набора образцовых гирь поступают следующим образом. Исходная мера имеет массу в 1 кг. С ней сравнивается на равноплечих весах одинаковая (с некоторым приближением) гиря в 1 кг. Затем обе эти гири сравниваются сначала с одной гирей в 2 кг и затем с другой в 2 кг. Далее на одну чашку весов ставятся гири в 1 кг, 2 кг и 2 кг, а на другую — одна гиря в 5 кг и т. д. Итак, сравниваются на равноплечих весах одинаковые массы, причем на одной чашке помещается набор гирь, арифметическая сумма масс которых сравнивается с массой одной (впрочем, не всегда одной) более крупной гири. Такой весьма удобный способ определения массы образцовой гири, например в 10 кг, по исходной гире в 1 кг оказывается наиболее точным и простым по сравнению с возможными другими.

Можно было бы гири в 1 и 10 кг поместить на чашки неравноплечих весов и затем подыскать такое положение точки опоры коромысла весов, при котором было бы достигнуто равновесие; по соотношению длин плеч коромысла можно затем судить о соотношении масс. И этот способ сравнений можно было бы весьма усовершенствовать и сделать для многих случаев в достаточной степени точным и несложным. Однако по установившемуся мнению первый общепринятый способ считается наиболее пригодным в качестве основного. Во всяком случае он как бы наперед уже обладает существенными преимуществами по сравнению с другими возможными: он всесторонне изучен в течение многих десятков лет и от его применения не приходится

ожидать чего-либо непредвиденного, что очень существенно и для метрологического и для поверочного дела.

Изложенное отступление было сделано, чтобы облегчить понимание постановки и разрешения задачи выбора основного способа разноцветных световых измерений.

Основным способом измерения одноцветных световых величин следует считать также способ уравнивания измеряемой величины с арифметической суммой соответственного числа величин, взятых в единичном количестве.

Следовательно, чтобы, например, измерить светоизмерительную лампу в 2 св, надо сравнить освещенность от нее на определенном расстоянии с суммой освещенностей от двух одновременно горящих ламп в 1 св, причем по крайней мере одна из них должна являться образцовой (исходной). Такой способ пока еще применяется в виде исключения, так как является более сложным по сравнению с обычно применяемым способом изменения освещенности путем изменения расстояний. На деле последний способ является основным, хотя способу арифметического сложения освещенностей можно было бы и отдать преимущество.

Изменение расстояний требует иногда внесения не очень точных поправок к „закону квадратов расстояний“. Сложение же освещенностей может оказаться связанным также с внесением трудно определяемых поправок — например, для учета влияния направления падения света на приемную поверхность светоизмерительного прибора.

Но для световых измерений надо еще выбрать основной способ при сравнении величин разного цвета, что сокращенно называют разноцветными световыми измерениями. Как известно, разработке подходящих способов разноцветных измерений уделялось достаточно много внимания на протяжении около шести десятков последних лет и достигнуто много положительного. Предложено много различных способов, однако трудно указать среди них такой, который был бы общепринятым и удовлетворял бы важнейшим требованиям в отношении точности при сравнительной простоте. Но если бы даже такой способ и существовал, то все равно время от времени, сообразно развитию наук, требовалось бы его пересматривать, дабы повторно убедиться в правильности решения о сохранении его на будущее или о замене его другим.

Прежние способы разноцветных измерений

Фотометрическая лаборатория ВНИИМ в своих прежних метрологических работах нередко пользовалась прямым сравнением разноцветных яркостей при контрастных полях сравнения в светомерной головке. В подобных работах принимало участие несколько (чаще всего 5) опытных наблюдателей,

поэтому не приходилось опасаться за значительное снижение точности, поскольку спектральная чувствительность глаз наблюдателей косвенно или прямо подвергалась исследованию.

В работах последних лет (1940—1941, 1946—1947) фотометрическая лаборатория пользовалась голубым стеклом для выравнивания цветов при переходе от основного светового эталона с температурой в 2042°K к рабочим эталонам и образцовым светоизмерительным лампам с цветовой температурой в 2360° и 2800°K . Коэффициент пропускания света для голубого стекла был определен расчетным путем на основании измерения спектральных коэффициентов пропускания и на основе приятия международной относительной видности (ОСТ 8485).

Такой способ указан совещательной комиссией по фотометрии при Международном комитете мер и весов как раз для применения в указанных случаях перехода измерений от одной цветовой температуры к другой.

Еще в 1928 г. автор предложил за основной способ разноцветных измерений принять такой, при котором разноцветные световые измерения сводятся к одноцветным так, что применяются для сравнения с измеряемым источником света две или, в общем случае, три лампы с цветными стеклами (например, с красным, зеленым и синим). Путем смещения света от этих последних ламп в разных долях можно, как известно (и как это используется в трехцветных колориметрах), уравнять в светомерной головке сравниваемые цвета. По разным причинам лишь в самые последние годы (1948—1950) этот способ представилось возможным осуществить на надлежащем оборудовании, приспособленном для таких надобностей. При этом способ измерений в своей исходной части был видоизменен.

Внимание исследователей часто привлекал к себе способ измерений при помощи наблюдения поверхности, поочередно — в быстрых сменах — освещаемой двумя сравниваемыми разноцветными источниками света посредством „смешивающего фотометра“ (иначе — „мелькающего“). Автор не считал этот способ надежным прежде всего вследствие его искусственности: условия работы глаза при измерениях резко отличаются от обычных в повседневной работе и при том являются весьма удаленными от этих последних. Поэтому нельзя предполагать, что такой способ измерений может отвечать запросам практической жизни в сколько-нибудь широких пределах. В практике работ фотометрической лаборатории ВНИИМ смешивающий фотометр не применялся (кроме как для испытаний самого способа и сравнения его с другими). Теперь стало известно, что при международных сравнениях цветных стекол в 1949—1950 гг. измерения смешивающим фотометром значительно разошлись как по сравне-

нию с расчетными данными, так и по итогам, полученным разными лабораториями. В настоящее время такой способ измерения надо считать, как правило, непригодным.

Надо заметить, что еще давно предлагался способ сравнения разноцветных источников с помощью спектрофотометра по отдельным участкам спектра. Соотношение сил света затем вычисляется на основании относительной видности. Этот способ вполне правилен по существу дела. Но применение его сопряжено со многими трудностями, очень трудоемко и для точных измерений представляется делом, не обеспечивающим надежное исключение многих неизбежных погрешностей.

Исходные соображения для выбора основного способа

Спектральная чувствительность к свету у разных людей неодинакова, поэтому разноцветные измерения для метрологических и поверочных надобностей должны основываться на общеустановленной средней для многих людей спектральной чувствительности, которая называется относительной видностью. Потому основной способ должен возможно точнее учитывать именно относительную видность. Отсюда, естественно, вытекает, что как способ определения спектральной чувствительности, так и способ разноцветных измерений должны быть тесным образом согласованы. Число промежуточных переходов от одного способа к другому должно быть предельно малое для устранения увеличения погрешностей измерений.

а) Поскольку некоторый световой поток определенного цвета может быть получен путем сложения (иначе говорят — смешения) нескольких световых потоков разных цветов;

б) поскольку в полном согласии с опытом в светотехнике и при световых измерениях общепринято вести расчеты¹, исходя из известного соотношения светового потока F , одноволновой лучистой мощности P_λ и ее видности V_λ :

$$F = \sum P_\lambda \cdot V_\lambda$$

(здесь сложение распространено на видимую область спектра);

в) поскольку в области цветовых измерений широким образом пользуются сложением (или вычитанием) световых потоков разных цветов — постольку необходимо, чтобы основной способ разноцветных световых измерений находился в полном согласии с изложенными положениями.

Два предложенных соображения сочтены решающими для выбора основного способа. Естественно, что из многих способов разноцветных измерений ни один в полной мере не удовлетворял поставленным требованиям. Вновь предложен-

¹ При яркостях не ниже примерно 2—3 дмб.

ный способ не является новым в отдельных своих частях — это и не ставилось во главу угла. Он очень близок к ранее предложенному автором, но в целом решение дается существенно отличающееся от других, и оно требует при своем применении нового измерительного оборудования (или изменения прежнего).

Разноцветные измерения при помощи глаза и физических приемников

Полезно сделать некоторые замечания о соотношении световых измерений с помощью глаза — зрительных — и с помощью физических приемников лучистой энергии (фотоэлементов и т. д.). Некоторые думают, что физические приемники потому и предпочтительнее, что они устраняют зависимость итогов измерений от личных свойств глаз наблюдателей и вполне поэтому пригодны для разноцветных измерений. Хорошо известно, что спектральная чувствительность (иначе восприимчивость) физического приемника при световых измерениях должна вполне отвечать относительной видности. Однако в условиях точных измерений каждый физический приемник (вместе с такими принадлежностями, как выравнивающий чувствительность поглотитель) должен быть поверен в этом отношении. В ряде случаев и, в частности, для селеновых фотоэлементов такая поверка с помощью спектрофотометра не дает достаточной точности и сверх того является сложной. На практике оказывается, что пригодность физических приемников для световых измерений — и именно разноцветных — приходится устанавливать если не прямо, то косвенно, по совпадению показаний этих приемников с данными, полученными при зрительных измерениях. Например, удобно пригодность определять по измерениям коэффициентов пропускания цветных стекол.

Таким образом, световые измерения и в силу самого определения светового потока (ОСТ 7637) и в силу действительного положения дела неизменно опираются именно на зрительные измерения и по меньшей мере на те, которые выполняются при установлении относительной видности.

Такое разъяснение сделано для устранения неточности иногда высказываемого представления о том, что зрительные световые измерения, и прежде всего разноцветные, утрачивают (или — даже более сильно — уже утратили) свое значение, что, следовательно, теряется надобность их совершенствовать из-за возможности заменить глаза наблюдателя физическими приемниками. В условиях точных измерений для метрологических и поверочных надобностей зрительные измерения еще продолжают сохранять свое значение, как исходные. Но, конечно, уже во многих случаях (и прежде всего при спектрофотометрических измерениях) область применения физических приемников неуклонно расширяется за счет сужения области зрительных измерений.

Сущность принятого способа

Три цвета, соответственно подобранные, при смешении позволяют получать любые промежуточные цвета (причем более насыщенные цвета приходится так или иначе разбавлять). Это давно известное свойство глаз успешно используется в трехцветной колориметрии. Оно подробно и длительно изучено.

Итак, измеряемый источник света может иметь любой цвет (включая одноцветный). С ним сравниваются одновременно горящие три разноцветных источника света — красный, зеленый и синий. Доли их световых потоков подбираются

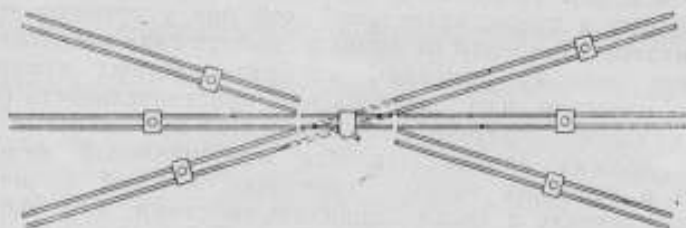


Рис. 1. Шестиконечная светомерная скамья (упрощенный чертеж; вид сверху).

так, чтобы при сложении они давали цвет, одинаковый с измеряемым. Если измеряемый источник имеет более насыщенный цвет, чем можно получить его от сложения цветов трех источников, то к измеряемому световому потоку добавляется или белый или цветной свет (например, из числа источников сравнения), как это обычно делают при цветовых измерениях.

В условиях постановки точных измерений, как это требовалось для фотометрической лаборатории ВНИИМ, для осуществления принятого способа измерений потребовалось создать новую светоизмерительную установку, впрочем, уже после того, как способ был испытан на трех разных временных пробных установках. Новая установка представляет собою шестиконечную светомерную скамью. Это как бы три скамьи, середины которых пересекаются в одной точке, где располагается светомерная головка (рис. 1 и рис. 2). Оси крайних скамей образуют угол около 20° с осью средней. По одну сторону светомерной головки расположены три цветных источника — три лампы сравнения. По другую — эталонные, образцовые или иные светоизмерительные лампы с цветными стеклами или без них — по надобности. Лампы сравнения горят при известной цветовой температуре; удобнее сделать ее одинаковой у всех ламп. Силы света ламп без цветных стекол известны.

Коэффициенты пропускания света цветных стекол должны быть приведены в известность. Это и есть самая главная

задача в выбранном способе, которая и подлежит разрешению. Коэффициенты являются различными для разных наблюдателей, а нужно взять такие, которые отвечают условному среднему наблюдателю, т. е. той относительной видности, которая принята для общего применения.

Вычисление общих коэффициентов пропускания по спектральным дает вполне удовлетворительные итоги для таких

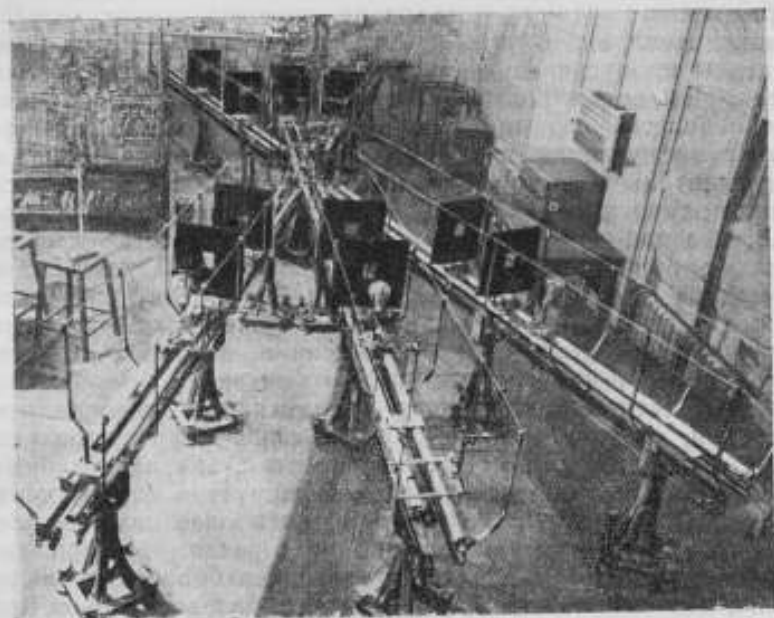


Рис. 2. Шестиковечная светомерная скамья (фотография сверху).

цветных стекол, у которых спектральные коэффициенты значительны — более примерно 0,1—0,2 в средней части видимого спектра, т. е. где относительная видность более приблизительно 0,4. Сюда относятся желтые, зеленые и некоторые голубые стекла. Спектральные коэффициенты измеряются с пониженной точностью у красных стекол в области резкого их изменения (в зависимости от длины волны света) и как раз там, где значения относительной видности тоже получаются большими: 0,15—0,6. Спектральные коэффициенты пропускания синих стекол в области фиолетовых и синих лучей определяются с малой точностью вследствие, главным образом, недостаточности мощности лучистой энергии, которой можно располагать при спектральных измерениях. Относительная видность в той же области спектра определяется опять-таки со сравнительно малой точностью, вследствие трудности измерения лучистой мощности — по причине ее

незначительности. Поэтому расчетные значения общих коэффициентов пропускания красных и синих стекол в обычных условиях не отличаются достаточной точностью.

В работе по новому определению относительной видности¹ был выбран тот же способ разноцветных измерений, который принят за основной: одноволновой свет разбавляется некоторым белым (точнее, от лампы накаливания с цветовой температурой в 2800° К) и сравнивается с одинакового с ним цвета смесью световых потоков от ламп с красным, зеленым и синим стеклами. В этой работе нужно знать общие коэффициенты пропускания указанных стекол для каждого наблюдателя. При достаточно большом числе последних — предположено довести его не менее чем до 50 — средние коэффициенты пропускания для стекол окажутся определенными со сравнительно высокой точностью. Для зеленого стекла можно получить среднюю квадратичную погрешность не более $\pm 0,2\%$, а для красного и синего $\pm 0,5-1\%$; эти числа зависят от общего количества наблюдателей. Однако измеряются два сочетания стекол: первое включает более насыщенные цвета, а второе — менее. Вследствие этого указанные числа могут оказаться немного большими, так как количество наблюдателей распределится на два сочетания.

Коэффициенты пропускания определяются на основании измерений, которые ведутся одновременно для спектральной чувствительности глаза. Вследствие этого, как нетрудно видеть, соответствие значения коэффициентов пропускания с принятой видностью оказывается наиболее полным, без каких-либо промежуточных переходов. Правда, при принятых к данному времени способах измерений и обработки наблюдений², вычисление коэффициентов оказывается весьма кропотливой задачей, существенно осложняющей дело. Но если бы определять коэффициенты опытным путем по способу измерений, о котором упоминалось выше (стр. 19), то для неопытных в световых и цветовых измерениях наблюдателей, а их привлекать неизбежно, по необходимости учитывать средние свойства достаточно большого числа людей, измерения такие оказались бы крайне трудными и итоги их недостаточно надежными.

Образцовые цветные стекла

Итак, для решения вопроса разноцветных измерений, причем полного в смысле охвата всех возможных цветов света, созданы исходные образцовые цветные стекла. Конечно, предпочтительно было бы иметь образцовые стекла не трех, а гораздо большего числа цветов. Ввиду большой трудоем-

¹ См. статью В. Е. Карташевской в данном сборнике.

² См. статью В. Е. Карташевской

кости увеличение числа может производиться лишь постепенно. На первое время их взято шесть. Первоначально было взято три стекла возможно более насыщенных цветов, как это обычно для цветных измерений (в трехцветных колориметрах). Однако по соображениям уменьшения погрешностей измерений при последующем применении подобных стекол для определения разнообразных цветов правильнее выбрать менее насыщенные цвета.

В поверочном деле, как правило, предпочитают поверять прибор в таких точках, которыми были бы охвачены крайние его показания и при дальнейшем применении приходилось бы производить измерения в промежуточных точках между поверенными¹ (т. е. допускается интерполирование, а не экстраполирование по отношению к поверенным показаниям). Это вызывается опасениями в отношении нарушения плавности или закономерности изменения показаний прибора. В случае отдельно взятых цветных стекол для разноцветных измерений эти опасения отпадают, так как закономерность сложения цветов у каждого обычного глаза („трихромата“) имеет плавное изменение.

В ходе измерений выяснилось, что доли смещения цветов определяются при более насыщенных стеклах устойчивее, чем при менее насыщенных. Это происходит в силу наличия некоторого порога в различении цветов.

При повторении своих измерений яркости некоторого одноволнового света наблюдатели отклонялись при втором отсчете от первого в среднем на $\pm 7\%$ при менее насыщенных цветах стекол и на $\pm 3\%$ при более насыщенных. Конечно, отклонения могли бы быть сглажены при соответственном увеличении числа наблюдений (т. е. при большем для менее насыщенных стекол). Приведенные числа свидетельствуют именно о пороге для различения цветов, который непосредственно влияет и на точность разноцветных световых измерений.

Два сочетания цветных стекол (всего шесть стекол) составляют образцовый набор 1-го разряда. По ним создается образцовый набор 2-го разряда. По последнему измеряются поверочные стекла для нужд потребителей.

Порядок поверки стекол

Переход от образцового набора 1-го разряда ко 2-му и от последнего к поверочным выполняется одинаково. Вот некоторые подробности ранее данных общих описаний.

Измерения производятся на шестиконечной светомерной скамье (рис. 1). По одну сторону светомерной головки рас-

¹ Так, например, и следует поверять трехцветные колориметры.

полагаются лампы накаливания (1-я, 2-я, 3-я), каждая на своем луче. По другую сторону тоже три лампы (4-я, 5-я, 6-я). Все шесть ламп имеют одинаковую наперед установленную и известную цветовую температуру (из обычных: 2360° , 2800° или 2854° K). Соотношения их сил света известны, что находится на этой же скамье поочередным сравнением ламп, например, 2-й с 4-й, 5-й и 6-й и затем 1-й и 3-й с 5-й. У ламп 1-й, 2-й и 3-й помещаются образцовые цветные стекла (2-го разряда): красное, зеленое и синее. У остальных ламп помещаются схожие стекла одинакового цвета (см. ниже).

Как ранее указывалось, поверяемые стекла заранее подбираются близко сходными по спектральным коэффициентам пропускания с образцовыми. Это вовсе не обязательно, но для повышения точности измерений к этому надобно стремиться.

Пусть надлежит измерить поверочное (т. е. поверяемое для сторонних заказчиков) красное стекло. Сначала сравниваются лампы 1-я и 4-я, у которых имеются красные стекла, в пучке лучей от лампы к светомерной головке. Затем у 1-й лампы вместо образцового стекла ставится поверяемое и производится сравнение 1-й и 4-й ламп с замененным стеклом. Если поверяемое стекло по цвету отличается от образцового и при том более насыщено, то для выравнивания цвета пластинка сравнения светомерной головки дополнительно освещается (со стороны поверяемого стекла) лампами 2-й и 3-й. Если поверяемое стекло менее насыщено, то сначала оно помещается у 1-й лампы, а другая сторона светомерной головки освещается всеми тремя лампами (4-й, 5-й и 6-й; в частном случае 5-я или 6-я лампа может оказаться лишней). Затем поверяемое стекло у 1-й лампы заменяется образцовым, причем зажигаются и лампы 2-я и 3-я для выравнивания цвета (при одновременном выравнивании, как и обычно, яркости обоих полей сравнения).

Изложенный способ измерений, как видно, использует в наибольшей возможной степени прием замещения. Влияние спектральной чувствительности глаз наблюдателей становится исчезающе малым при схожих стеклах.

Необходимо обратить внимание, что поверяемые стекла при измерениях находятся в условиях трехцветного колориметра и потому одновременно определяется их цвет (т. е. „цветовые координаты“). Следовательно, стекла являются (или могут являться) и поверочными для колориметров, чем и разрешается в своей исходной части задача о проверке колориметров.

Для установки стекол в правильное положение применяется особая стойка. С помощью отвесов стекла устанавливаются в плоскости, перпендикулярной к оси лучей скамьи, для чего стойка имеет возможность необходимых плавных перемещений.

Выводы из опытных измерений

Опытная часть, относящаяся к данной работе, в значительной части накапливалась при ведении работы по определению свойств среднего глаза, так как производившиеся при этом исследования доставляли все необходимые сведения. Надлежало сделать выводы в применении к данной работе.

Эти выводы по существу являются известными и из собственного опыта фотометрической лаборатории и из опыта других лабораторий (и из литературы). Но именно этот опыт нужно было накопить и его нужно было освоить для лучшего понимания и использования.

1. Темновая адаптация вносит большую определенность в условия световых и цветовых измерений, и последние оказываются более устойчивыми.

2. Угловые размеры полей сравнения в светомерной головке в силу их влияния (на итоги измерений) надлежит выбрать, как условные. В условиях повседневной жизни сравнения яркостей (независимо от их цвета) и цветов производятся при угловых размерах, меняющихся в широких пределах. Для целей метрологической и поверочной практики удобно сохранить прежде применявшиеся размеры около 3° (хотя в колориметрии обычно применяют 2°).

3. Наблюдатели, участвующие в измерениях, должны иметь опыт не только в световых, но и в цветовых измерениях. Некоторые лица довольно быстро, уверенно и устойчиво производят выравнивание цветов, даже при отсутствии опыта в измерениях. Напротив, другие испытывают значительные затруднения: выравнивают цвета медленно и неустойчиво; по мере увеличения практики дело улучшается. Однако возможно, что не все наблюдатели могут участвовать в цветовых измерениях, даже и при отсутствии значительных отклонений от „среднего глаза“.

4. Измерения должны время от времени прерываться для отдыха от них, который может быть кратковременным. Например, если данное стекло измеряется несколькими наблюдателями по очереди, то перерывы и отдых получают естественным порядком. Но если один наблюдатель длительное время (1—2 часа; у разных лиц по-разному) производит измерения (с подбором цветов), то возникает утомление, сказывающееся как бы в помутнении поля зрения (вместо отчетливого восприятия его) и в появлении замешательства при суждении о наличии или отсутствии равенства цветов. Явление замешательства, в общем, кратковременно, если ему не предшествовало длительное переутомление.

5. Психологическое напряжение (напряжение внимания) при подборе цветов гораздо больше, чем при обычных световых измерениях, не сопровождающихся подбором цветов. В связи с этим отбор наблюдателей для разноцветных изме-

рений является делом более сложным, чем для одноцветных световых измерений.

6. Каждый достаточно опытный наблюдатель при соблюдении необходимых предосторожностей не привносит постоянных ошибок в измерения, если не считать отклонений из-за особенности спектральной чувствительности глаз. Погрешности таких измерений являются случайными, и потому погрешность итогов измерений может быть уменьшена при увеличении числа наблюдений (см. ниже).

7. Надо напомнить, что относительная видность (т. е. средняя спектральная чувствительность) является понятием статистического происхождения. Поэтому для обеспечения повышенной точности разноцветных световых измерений в поверочном деле надо заботиться, чтобы средняя спектральная чувствительность (и средние значения пропорций трехцветного восприятия цветов) у данных (4—6) наблюдателей была достаточно близка к принятой относительной видности (устанавливаемой в настоящее время, как намечено, по 50 наблюдателям; это отвечает известному правилу статистики: выборка должна быть „репрезентативной“¹). Но это существенно при измерениях цветов, значительно отличающихся от тех, которые имеются у образцовых стекол. Так как в ближайшем будущем подобные поверки, как правило, не намечаются, то и считается возможным довольствоваться 2—4 наблюдателями с исследованными и подходящими глазами (в отношении чувствительности к цветам).

Изложенное ясно указывает на влияние числа наблюдателей на точность измерений, мерой которой является степень приближения к итогам измерений, выполненных очень большим числом наблюдателей.

В целях сбережения сил и времени измерения поверочных стекол предположено произвести сразу для большого их числа (и после доведения числа наблюдателей, измеряющих образцовые стекла, примерно до 50).

Новая светомерная скамья для разноцветных измерений

Устройство такой скамьи показано на рис. 3.

Собственно, с одной стороны было бы достаточно и одного луча. Однако обычные метрологические требования всегда указывают на необходимость иметь симметричные измерительные устройства, так как это дает возможность производить симметричные измерения, позволяющие исключить ряд систематических ошибок. Добавочные лучи нужны в отдельных случаях для разбавления цвета измеряемого источника.

¹ Сама по себе достаточность числа наблюдателей — 50 или иного — может быть установлена лишь позже — в 1952 г. при окончании работы по установлению относительной видности.

Кроме того, шестиконечная скамья позволяет не только производить различные исследовательские работы, но и дает возможность иметь несколько измерительных установок, например, не только для световых и цветовых измерений, но и для измерения цветовых температур.

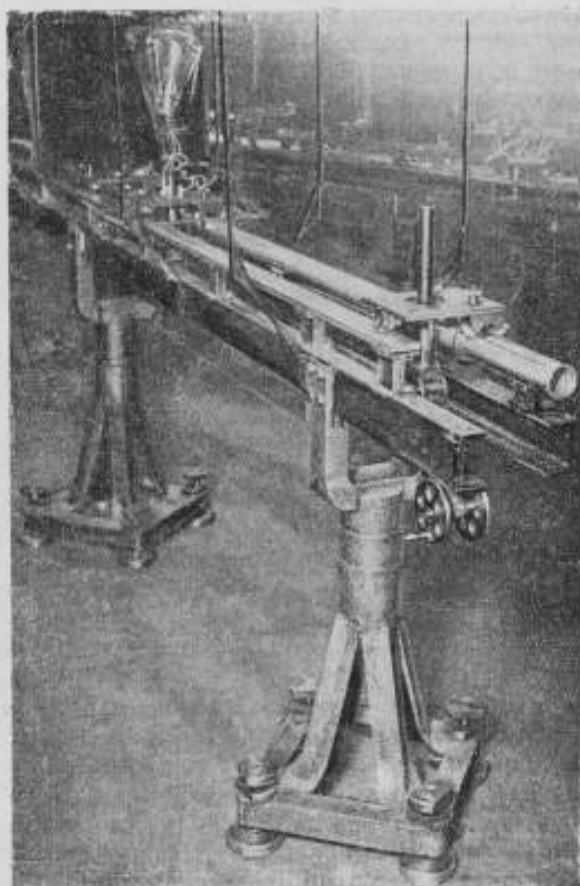


Рис. 3. Устройство шестиконечной скамьи.

Здесь не имеется в виду входить в подробности устройства скамьи, но на некоторые стороны следует обратить внимание.

Длина скамьи. Большинство имеющихся в фотометрической лаборатории скамей имеет длину около 4—5 м. Опыт показал, что для удовлетворения некоторых важных запросов практики этой длины недостаточно. Было решено каждый луч сделать длиной около 4 м. Средняя часть скамьи (рис. 4),

несущая светомерную головку, имеет длину 1 м. Эта короткая скамья может поворачиваться, чтобы служить местом для соединения всех противоположных лучей друг с другом поочередно. Таким образом, как уже указывалось, лежащие на одной прямой два луча вместе со средней частью образуют скамью длиной около 9 м, причем получают три таких скамьи, пересекающиеся в средней части. Светомерная головка может находиться в любом месте скамьи, а потому есть возможность при некоторых измерениях использовать полностью всю длину. Можно, например, изменять расстояние между головкой и лампой с 1 до 8 м, что изменяет освещенность в 64 раза. Вследствие этого в ряде случаев можно измерять мощные источники света без применения вращающихся поглотителей, которые несколько снижают точность измерений.

Основные части скамьи. Скамья представляет собою неподвижную поверхность, по которой перемещается тележка с измеряемым источником света (рис. 5). Эта поверхность вместе с тем является и направляющей, так как источник света, а следовательно, и несущая его тележка должны перемещаться вдоль оси, несколько не отклоняясь от нее и не поворачиваясь около какой-либо оси (движение должно быть поступательным).

На практике встречаются такие способы осуществления этой основной части скамьи: две параллельных стальных трубы (встречаются чаще всего) в горизонтальной плоскости или в вертикальной, два параллельных валика, два уголка (т. е. угловое прокатное железо). Оптическая, а не светомерная скамья почти всегда устраивается в виде бруска треугольного сечения.

Из практики точного машиностроения и приборостроения известно, что для осуществления прямолинейного движения чаще всего применяется плоскость совместно с трехгранным бруском.

Первоначально предполагалось осуществить новую скамью как раз по последнему способу. Однако надо было считаться с производственными возможностями. Изучение их показало, что можно более точно обтачивать цилиндры на токарных станках, чем строгать бруски на строгальных. Последующее изменение прямолинейности после снятия со станка, происходящее вследствие влияния способов закреплений, более ощутимо после обработки на строгальном станке. Вот почему пришлось остановиться на сочетании плоскости и цилиндра. Последний представлял трубу длиной 1,3 м с толщиной стенок около 5 мм и диаметром 50 мм. Трубы приставлялись впритык друг к другу.

Плоскость была осуществлена в виде стального цельного бруска длиной 4 м, шириной 50 мм и толщиной 10—11 мм.

Этот брусок представляет в сущности измерительную линейку, изготовленную первоначально как мера длины. Она разделена на миллиметры.

Перечисленных двух частей недостаточно для обеспечения жесткости. Для этого применены еще две корытных балки (прокатное железо), сечение которых около $80 \times 43 \times 6$ мм. Одна балка поддерживает трубу, другая — линейку. Труба и линейка лежат не непосредственно на балках, а на малых

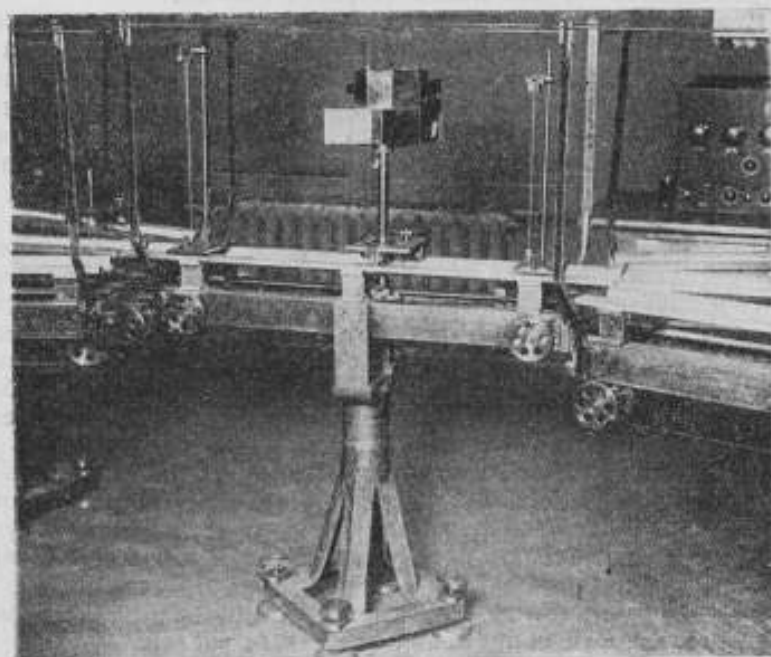


Рис. 4. Средняя часть скамьи (поворотная) со светомерной головкой.

подставках, расположенных через 45 см по длине. Указанные малые подставки не имеют каких-либо приспособлений для регулировки, и такая заранее была предусмотрена с помощью прокладок между подставками, балкой и трубой (или линейкой). Подсчеты показали, что применение прокладок хотя и менее совершенно, но гораздо дешевле, сложного регулирующего устройства.

Соединение между балками и стойками осуществлено с помощью болтов. Здесь также возможно применение прокладок для регулировки. Стойки имеют внизу установочные болты, опирающиеся на кружки; последние лежат на полу. Верхняя часть стойки может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Стойки сделаны тяжелыми для устойчивого положения скамьи.

Вся скамья сделана тяжелой, чтобы она не могла быть сбита с правильного положения, что весьма существенно при работе в темной комнате, как это имеет место при измерениях. Вместе с тем, скамью нельзя было сделать еще более жесткой конструкции, так как последняя была бы еще более тяжелой. На утяжеление нельзя было идти, так как фотометрическая лаборатория находится в 4-м этаже и потому не могла располагать тяжелыми фундаментами, которые потребовались бы для очень тяжелой скамьи.

Светомерная головка. В обычных светомерных головках свет падает на испытательную пластинку в перпендикулярном к ней направлении. На шестиконечной скамье свет падает не только перпендикулярно, но и наклонно, именно под углами $+20^\circ$ и -20° . Поэтому обычные светомерные головки непригодны: в них отдельные части должны затенять боковые пучки.

Вновь разработанная и осуществленная светомерная головка сделана двухъярусной. В нижнем ярусе расположены испытательные пластинки, одна из которых освещается с трех лучей и другая с остальных трех лучей. Дальнейшее устройство головки расположено во втором ярусе, т. е. выше шести пучков света. Устройство головки получается несколько сложнее обычного. Головка снабжена разными приспособлениями, чтобы она могла иметь более разнообразное применение, чем только для данной работы.

Скамья и головка изготовлены 3-дом „Эталон“.

Исследование скамьи. Задачей являлось исследование установки в отношении точности прямолинейного и поступательного перемещения источника света и точности измерения расстояний.

Исследования были совмещены с одновременной выверкой правильности сопряжения составных частей.

Все трубы и линейки были расположены горизонтально. Очень чувствительный уровень дал возможность проверить это и достигнуть того, чтобы отступления от горизонтальной линии не превосходили $\pm 0,1$ мм на 1 м длины. Труба служит направляющей для перемещения тележек вдоль прямой: 4 колесика (шариковые подшипники) у каждой тележки опираются на трубу и 1 — на линейку. Прямолинейность трубы проверена с помощью отдельной 4-метровой линейки. Правильность этой последней была определена путем сличения с другими линейками.

Найдено, что отступления (ребра) от прямолинейности менее 0,1 мм на всю длину.

Прямолинейность труб была так подогнана, чтобы отступления по всей длине не превышали $\pm 0,05$ мм. Расположение уровня (длиною около 25 см) поперек трубы и линейки по всем скамьям показало, что отступления их от параллельности (т. е. возможные разности высот по отношению к го-

ризонгальной плоскости) не превосходят $\pm 0,05$ мм. Иные проверки были выполнены с помощью натягивания тонких струн в непосредственной близости от ливеек и труб, чтобы дополнительно убедиться в прямолинейности. Наконец, вдоль скамей на тележке перемещался отвес в виде тонкой нити с грузом внизу, которая была подвешена к жесткому стержню, закрепленному на тележке. Возможны, как известно, и другие приемы испытаний, например при помощи оптических приборов с применением автоколлимации. Но и примененные

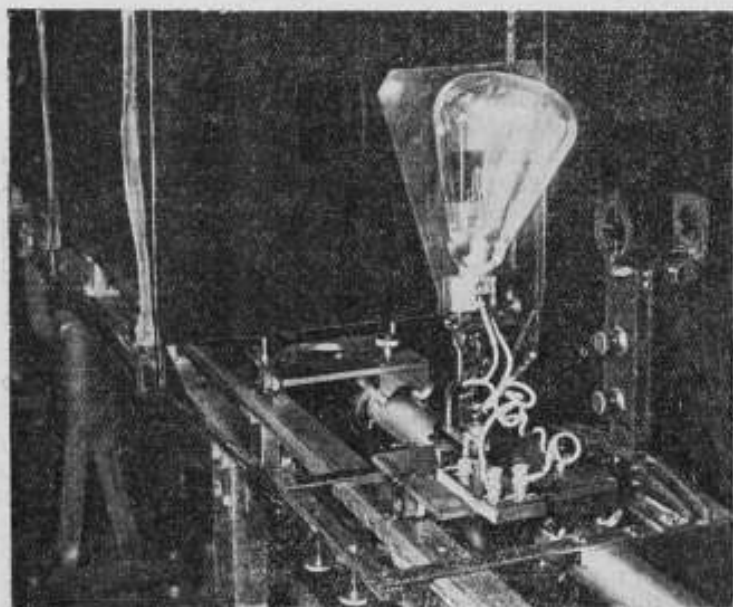


Рис. 5. Тележка с лампой. Назодный прибор.

способы указывали на то, что при перемещении источника света вдоль скамьи он будет двигаться прямолинейно и поступательно и отступления едва ли превзойдут $\pm 0,1$ мм.

В обычных скамьях при меньших длинах отклонения возможны в ± 1 мм и даже более. При опытах по повышению точности световых измерений с помощью фотоэлементов, например, обнаружилось, что обычные скамьи уже не обеспечивают надлежащей прямолинейности перемещений. Поэтому получение точности световых измерений свыше 0,1% (примерно, в частных случаях это зависит от ряда других условий) при измерениях на этих скамьях встречает в указанном отношении затруднения.

Новая скамья, следовательно, отвечает требованиям, которые для световых измерений надо признать достаточно

высокими и способными обеспечить неизбежное повышение запросов практики к возрастанию точности измерений. Однако необходимо сделать оговорку. Имеющийся пол не в состоянии обеспечить длительную и полную неподвижность стоек. Температурные изменения — неравномерные в обычной большой лабораторной комнате — также могут несколько нарушить правильность сопряжения всех частей столь громоздкой установки. Поэтому следует ожидать через некоторое время заметных отступлений от прямолинейности. Их можно, конечно, исправлять. Следовательно, время от времени сохранность правильного состояния установки надо проверять, что не представляет особых затруднений. Например, на торцах скамей и в некоторых местах можно расположить отвесы. При перемещении ламп вдоль скамьи с их помощью нетрудно видеть отступления от прямолинейности перемещения.

Этот способ сравнительно мало чувствителен при ведении очень точных световых измерений, но в обычных условиях и, в частности, для поверочных работ совершенно достаточен.

В связи с изложенным следует еще иметь в виду, что существующие эталонные и светоизмерительные лампы не имеют приспособлений, с помощью которых можно было бы устанавливать их на скамье с очень большой точностью. Поэтому последнее обстоятельство через некоторое время уже может оказаться некоторым препятствием для повышения точности измерений, притом таким, которое следует преодолеть уже в ближайшее время. Следовательно, новая скамья по своим качествам теперь значительно ушла вперед по сравнению со светоизмерительными лампами. Таким образом, в цели причин, ограничивающих точность световых измерений в метрологической обстановке, — на некоторое время не будет сказываться скамья.

Подразделения линеек, выполненные, как указывалось, через 1 мм (т. е. 25 000 делений), были поверены все без исключения при помощи образцового метра. Поправки в подавляющем большинстве случаев не превосходят $\pm 0,05$ мм и в очень редких случаях приближаются к $\pm 0,1$ мм. Отсюда следует, что поправки к отсчетам по шкале потребуются вводить лишь в очень редких исключениях.

Испытание светомерной головки

Правильность действия оптики головки проще всего проверить в обратном ходе световых лучей. У выходного отверстия зрительной трубы помещается источник света малых размеров. Изображение его получается на обеих испытательных пластинках, в середине их, если все части головки правильно установлены. Это и достигнуто. Поля сравнения охватывают на средней части пластины эллипс; большая ось

его наклонена к вертикали под углом 45° . Размеры эллипса могут быть изменяемы при замене лупы в зрительной трубе; предпочтительны небольшие эллипсы, например с площадью около 2 см^2 . Испытательные пластинки в светомерной головке (их две — каждая для одной из сторон) сделаны из сжатой сернобариевой соли.

Применение поверочных стекол в обыкновенных лабораторных условиях

Светотехнические лаборатории, как научно-исследовательских институтов, так и заводские, в условиях своих обычных измерений осуществлять шестиконечную скамью могут более

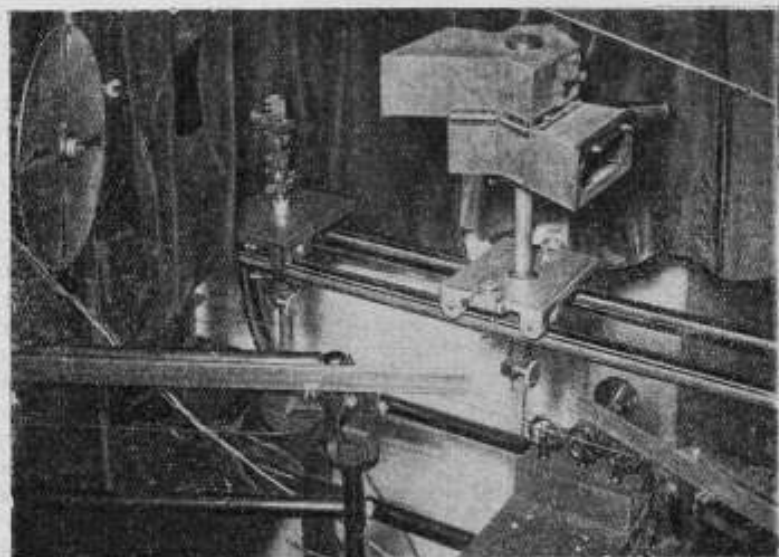


Рис. 6. Упрощенная четырехконечная светомерная скамья.

простыми средствами. Так, фотометрическая лаборатория первые опыты разноцветных измерений вела на обычной светомерной скамье, к которой с боков приставлялись под малым углом две или три светомерные скамьи упрощенного устройства, трубы которых были расположены в отвесной плоскости — одна под другой — для сбережения места (рис. 6). Можно также дополнительные скамьи ставить под прямым углом к основной и поворот лучей света к светомерной головке производить с помощью отражения от бесцветного плоско-параллельного оптического стекла. Удобно поместить последнее на основной скамье так, чтобы оно пропускало

сквозь себя лучи от источника света, находящегося на основной скамье. Коэффициенты пропускания и отражения света нетрудно определить на этой же установке; это лучше, чем на другой.

В некоторых случаях дополнительные источники света с цветными стеклами могут устанавливаться неподвижно, сбоку от основной скамьи

При употреблении поверочных стекол следует не забывать обращать внимание на чистоту их поверхности (ее удобно

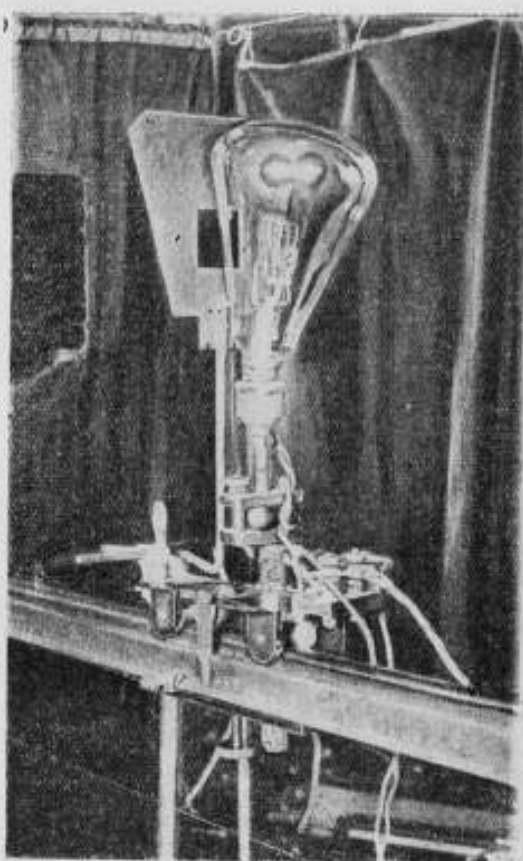


Рис. 7. Тележка с лампой.

наблюдать при очень наклонно падающем свете в отраженных лучах). При измерениях стекла ставятся строго перпендикулярно к лучам проходящего света, притом вдали от лампы, чтобы устранить нагревание стекол; в случае необходимости последние должны обдуваться воздухом (например, от комнатного вентилятора). Коэффициент пропускания света изменяется в зависимости от температуры. Это особенно заметно у красных стекол.

Следует подчеркнуть, что опираясь на поверочные цветные стекла светотехнические лаборатории могут теперь поверять правильность показаний физических приемников—притом в широких пределах—

Заключение

За основной способ разноцветных измерений принят такой, при котором эти измерения сводятся к одноцветным путем смешения света от трех цветных ламп сравнения (красной, зеленой и синей). Коэффициенты пропускания образцовых цветных стекол определяются большим числом наблюдателей при определении средней спектральной их чувствительности. Таким образом, принятые коэффициенты пропускания для образцовых стекол через примененный способ измерений непосредственно связаны с относительной видностью.

Задача разноцветных измерений в основной своей части — для метрологических и поверочных надобностей — разрешена. Дальнейшие усилия теперь направлены к усовершенствованию разных сторон дела. Особенно нужно развить способы применения поверочных цветных стекол в разных светотехнических лабораториях.

Участники работы. При выполнении опытной части исследований автору помогали: инж. В. С. Степанов (з-д „Эталон“) в работе по устройству шестиконечной скамьи, инженер Т. Н. Брюсова (з-д „Эталон“) в разработке устройства светомерной головки; в поверке шкалы, сборке электроизмерительных установок и опробовании действия шестиконечной скамьи участвовала З. Н. Энно. Некоторое участие, особенно в создании набора образцовых цветных стекол, принимала В. Е. Карташевская.

II. НЕКОТОРЫЕ ОПЫТЫ В ОБЛАСТИ РАЗНОЦВЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Введение

В предыдущем изложении было опущено описание различных опытов, которые производились в области разноцветных измерений. Ниже описываются лишь некоторые, имеющие немаловажное значение для понимания возникающих трудностей и оценки точности в зависимости от обстановки и задач измерений.

Известно, что общий коэффициент пропускания цветного стекла определяется расчетным путем по спектральным коэффициентам пропускания и по относительной видности с достаточной точностью, если числовые значения спектральных коэффициентов для средней части видимого спектра не малы.

Пусть дело идет о таких разноцветных световых измерениях, в которых все цвета могут быть получены смешением только двух некоторых цветов, т. е. все цвета лежат в цветовом поле на одной линии цветов. Если известны силы света (или яркости, или иные световые величины) для двух разного цвета источников, то путем смешения цветов от них при одноцветных измерениях можно определять силы света источников всех цветов, как промежуточных, так и внешних. Зада-

чей исследований ставилось выяснение возможности исходить из той измеренной разницы в цветах, которая отвечает цветовым температурам 2042—2800°K или даже 2360—2800°K.

Установлено, что цветовая разница между двумя исходными цветами может быть не очень значительной: это не начало и конец линии цветов, а примерно треть и две трети ее, если она равнопороговая. Однако можно идти и на еще большее сближение, что подтверждается уже выполненными исследованиями.

Если можно ограничиться сравнительно умеренной разницей в цвете, то она может быть получена с помощью цвето-

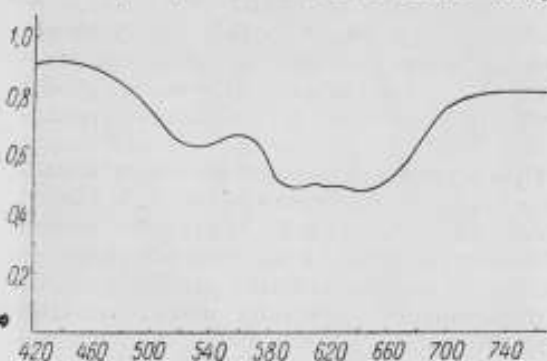


Рис. 8. Спектральные коэффициенты пропускания голубого стекла. По оси ординат — коэффициенты пропускания; по оси абсцисс — длины волн в нанометрах.

участвующего в измерениях. Надо предусмотреть, чтобы коэффициент пропускания стекла зависел главным образом от средней части спектра. В таком случае отклонения в спектральной чувствительности глаз отдельных наблюдателей будут сказываться в меньшей степени. Все же это является слабым местом.

В дальнейших исследованиях было применено голубое стекло с общим коэффициентом пропускания в 0,590. Это то стекло, которое применяется лабораторией для перехода цветовых температур 2042—2360°K и далее 2360—2800°K. Его спектральные коэффициенты пропускания, очень точно и многократно измеренные (для других работ), приведены на рис. 8.

Разноцветные измерения ламп накаливания (и люминесцентных ламп — белых и дневных)

Линия цветов черного тела при разных его температурах не является прямой, если ее определять расчетным путем, на основе цветовых свойств среднего глаза Международной комиссии по освещению 1931 г. Даже для участка в пределах 2000—5000° линия представляется значительно согнутой.

ного стекла со значительным коэффициентом пропускания. Последний, следует это повторить, может быть с высокой точностью определен при помощи спектральных измерений. Далее, однако, придется пользоваться средней относительной видностью, если только не определена спектральная чувствительность глаз у каждого наблюдателя,

На рис. 9 нанесены цветовые координаты (x, y) для цветовых температур 2042, 2360 и 2800° К. Видно, что они не находятся на одной прямой линии. Однако поставленные опыты показали, что отступлений от прямой линии не наблюдается, по крайней мере в пределах цветового порога. Наблюдения велись так. На одной стороне светомерной скамьи находилась лампа накаливания (типа № 6). Ее температура менялась в широких пределах (2050—2800° К) путем изменения напряжения. На другой стороне находились на меняющихся расстояниях лампы при 2042° и при 2800° К. У последней лампы при некоторых наблюдениях ставились голубые и синие стекла, которые изменяли цвет до 5000° К.

Непосредственные наблюдения показали, что можно считать цвета черного тела в пределах 2000—2800° К лежащими на прямой линии, по крайней мере, без заметного (для глаза, конечно) отступления в цвете от прямой. Следовательно, зная силу света у двух ламп при температурах соответственно, например, 2360 и 2800°, которые приняты для эталонных ламп, можно одноцветно, с удовлетворительной точностью измерять лампы даже до 5000° К, что имеется у люминесцентных ламп „дневного света“.

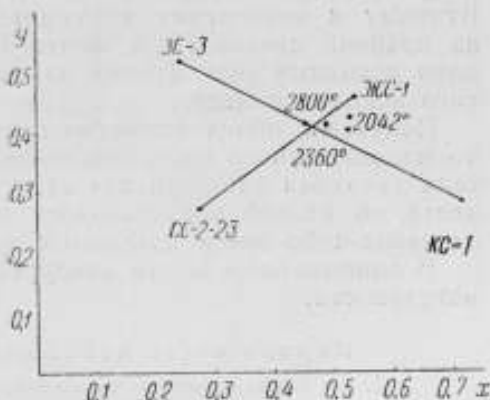


Рис. 9. Цветовые координаты цветковых температур и стекол ЖС-1, СС-2-23; КС-1 и ЗС-3.

Измерения общего коэффициента пропускания цветных стекол

Усилия были направлены к тому, чтобы, исходя из тех же двух цветов 2360 и 2800° К, определить общие коэффициенты пропускания цветных стекол, очень сильно отличающихся по цвету. Было перепробовано около 30 стекол, чтобы подобрать два таких, которые лежали бы на краях линии цветов 2360 и 2800° К. Таких не оказалось. Тогда было решено пойти на то, чтобы два крайних измеряемых цвета при сложении в некоторых долях давали хотя бы один из двух исходных цветов, т. е. или 2360°, или 2800° К. Были подобраны две пары стекол: желтое (ЖС-1)¹ — синее (СС-2-23) и красное (КС-1) — зеленое (ЗС-3). Спектральные коэффициенты пропу-

¹ Обозначение согласно каталогу стекол Изюмского завода.

скания их были отдельно измерены и приводятся на рис. 10, 11, 12 и 13. Положение их на цветовом треугольнике видно из рис. 9.

В измерениях общего коэффициента пропускания участвовало четыре наблюдателя. По прежним опытам было известно, что средняя для всех их спектральная чувствительность глаз близка к международно принятой, если ее оценивать по умеренному (в смысле расстояния в цветовом треугольнике) различию цветов.

По мнению первого наблюдателя оба исходных цвета лежали на прямой, проходящей через желтый и синий цвета. Второму и четвертому наблюдателям казалось, что можно из крайних цветов (т. е. желтого и синего) получить лишь один исходный цвет. Третий находил подбор цветов для другого исходного цвета.

Получение обоих исходных цветов из красного и зеленого по мнению одного было вовсе невозможно. Другие наблюдатели находили близость для какого-нибудь одного исходного цвета, но второй представлялся им довольно отличающимся от какой-либо смеси красного с зеленым.

В описываемом опыте измерения велись в такой последовательности:

Первая часть наблюдений (без стекла)

1. 1-я лампа сравнивалась со 2-й, у которой ставилось или не ставилось голубое стекло.
2. 1-я лампа сравнивалась с 4-й.
3. 4-я лампа сравнивалась с 3-й.
4. 1-я лампа вместе с 3-й сравнивалась с 4-й.
5. 1-я лампа вместе с 3-й сравнивалась с 4-й вместе со 2-й с голубым стеклом.

Вторая часть наблюдений

6. 1-я лампа с красным стеклом вместе с 3-й с зеленым стеклом сравнивалась с 4-й.
7. 1-я лампа с красным стеклом вместе с 3-й с зеленым стеклом сравнивалась со 2-й с голубым стеклом.
8. 1-я лампа с красным стеклом вместе с 3-й с зеленым стеклом сравнивалась со 2-й без голубого стекла.

Третья часть наблюдений

9. 1-я лампа с желтым стеклом вместе с 3-й с синим стеклом сравнивалась с 4-й.
10. 1-я лампа с желтым стеклом вместе с 3-й с синим стеклом сравнивалась со 2-й.
11. 1-я лампа с желтым стеклом вместе с 3-й с синим стеклом сравнивалась со 2-й с голубым стеклом.

В некоторых повторных измерениях порядок изменялся, но это не влияло на существо дела.

В сравнении 4-м по порядку сличались две лампы с одной стороны, тогда как с другой была одна. Вместе с тем лампы сравнивались и порознь. Такие сравнения с высокой точ-

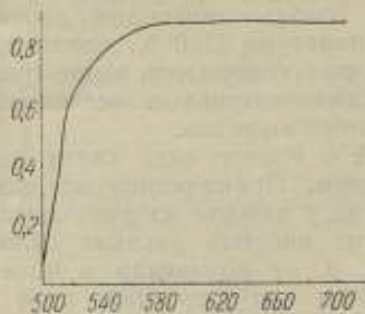


Рис. 10. Спектральные коэффициенты пропускания желтого стекла ЖС-1.

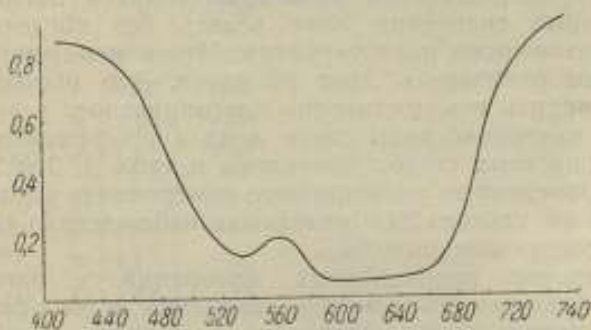


Рис. 11. Спектральные коэффициенты пропускания синего стекла СС-2-23.

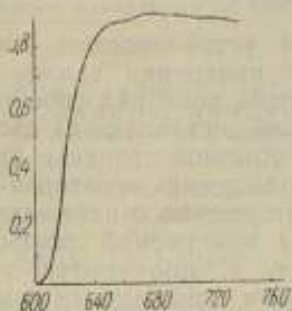


Рис. 12. Спектральные коэффициенты пропускания красного стекла КС-1.

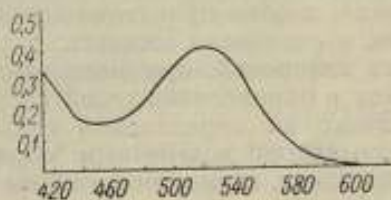


Рис. 13. Спектральные коэффициенты пропускания зеленого стекла ЗС-3.

ностью подтвердили, что в условиях данной измерительной установки закон квадратов расстояний и правило сложения световых величин дают одинаковые итоги. У 2-й лампы, горевшей при температуре 2360° К, могло применяться голубое стекло, о котором говорилось выше (рис. 8). Оно позволяло делать ряд дополнительных исследований и получить несколько добавочных выводов.

Лампы типа № 6 имеют силу света около 500 св, что являлось избыточным. Применялись вращающиеся поглотители. Применение их у каждой из двух ламп, расположенных с одной стороны, не вносило никаких осложнений в световые измерения (т. е. не возникало в поле зрения никаких колебаний в яркости или мерцаний, хотя число оборотов поглотителей и порядок чередования пропуска и задержки света поглотителями были в некоторых пределах произвольны).

Были поставлены отдельные исследования для выяснения возможных погрешностей из-за вращающихся поглотителей.

Некоторые сравнения ламп велись без поглотителей, а затем с различными поглотителями. Итоги измерений во всех случаях не отличались друг от друга. Это обстоятельство нужно отметить как достаточно благоприятное.

Итоги измерений силы света ламп и коэффициентов пропуска цветных стекол приведены в табл. 1, 2 и 3.

Все проведенные разноцветные измерения (в которых было произведено свыше 3000 отдельных наблюдений) позволяют сделать следующие выводы.

1. Сведение разноцветных измерений к одноцветным весьма облегчает выполнение измерений и не представляет никаких затруднений. Особенно в случае линии цветов подбор доли крайних цветов для получения заданного промежуточного (измеряемого или исходного) цвета представляется нетрудным делом даже для неопытных в этом наблюдателей.

2. Измерения отличаются полной устойчивостью (какую можно получить от глаз). Пробные измерения велись так, что наблюдатель через некоторое время повторял свои измерения, заново производя подбор долей составляющих цветов. Как и следовало ожидать, согласно обычной практике цветовых измерений, при повторении наблюдений некоторая разница в определении долей составляющих цветов наблюдается. Однако на определении силы света измеряемой лампы это сказывается незаметным образом, т. е. получаются такие колебания, какие свойственны обычным одноцветным измерениям.

3. Точность измерений получается, в сущности, почти такой же высокой, как и при одноцветных измерениях. Некоторое неизбежное снижение получается вследствие того, что в новом способе разноцветных измерений число измерений может немного возрасти: в измерениях участвует одна допол-

Таблица 1

Измерения силы света ламп через лампы сравнения с цветными стеклами

Части наблюдений	Номера ламп	Номера наблюдений, взятых в расчет	Сила света ламп 1-й, 3-й и 4-й, выраженная через силу света лампы 2-й, в относительных единицах				
			1-й наблюдатель	2-й наблюдатель	3-й наблюдатель	4-й наблюдатель	среднее
Первая часть наблюдений	1	1	7,33	7,45	7,45	7,42	7,4 ₁
	1	2—4	7,56	7,72	7,88	7,56	7,6 ₈
	1	2—4	7,59	7,60	7,93	7,19	7,5 ₃
	3	3	6,74	6,85	6,79	6,86	6,8 ₂
	4	2	5,18	5,18	5,21	5,18	5,1 ₉
Вторая часть наблюдений (через красное и зеленое стекла)	1	1,2,3	6,67	6,85	9,01 ¹	7,76	7,5 ₇
	3	1,2,3	6,68	6,72	5,96	6,60	6,4 ₀ ¹
	4	1,2,3	5,20	5,14	5,21	5,25	5,2 ₀
Третья часть наблюдений (через желтое и синее стекла)	1	1,2,3	7,52	7,32	7,15	7,51	7,3 ₇
	3	1,2,3	6,66	8,06	8,52	6,76	7,4 ₅
	4	1,2,3	5,19	5,20	5,29	5,11	5,2 ₀

¹ Без 3-го наблюдателя — 6,66.

Примечание. При рассмотрении этой таблицы надо сопоставлять силы света одной и той же лампы (отмечены в столбце 2-м), полученные по разным измерениям (в каждой части наблюдений).

Таблица 2

Общие коэффициенты пропускания цветных стекол (1-го набора); измерения — при почти одноцветных полях сравнения в светомерной головке

Обозначение стекла (1-й набор)	Расчетные — по средней относительной видности	По измерениям отдельных наблюдателей				Среднее
		1-й	2-й	3-й	4-й	
Красное	0,0952	0,086 ₇	0,087 ₇	0,115 ₀	0,099 ₀	0,0996
Зеленое	0,157	0,156 ₅	0,154 ₀	0,138 ₇	0,152 ₀	0,150
Желтое	0,786	0,80 ₅	0,77 ₂	0,75 ₅	0,79 ₆	0,78 ₂
Синее	0,138	0,13 ₆	0,16 ₂	0,17 ₃	0,13 ₆	0,15 ₂

Таблица 3

Отклонения измерений (сделанных отдельными наблюдателями) по определению коэффициента пропускания — от рассчитанного по средней относительной видности (в процентах)

Обозначение стекла (1-й набор)	Наблюдатели					
	1-й	2-й	3-й	4-й	среднее для одного наблюдателя	среднее для всех наблюдателей
Красное	-9,0	-8,0	+21,0	+4,2	±10,0	+2,1
Зеленое	-0,3 ₂	-1,3 ₄	-11,7	-3,2	-4,1	-4,1
Желтое	+2,5	-1,0	-3,9	+1,0	±2,4	-0,5
Синее	-1,1	+17,6	+25,4	-1,6	±11,4	+10,0
Среднее	-2,0	+1,0	+7,7	+0,2	—	+1,9

нительная лампа (или даже две при первоначальных измерениях).

4. Разумеется, каждый наблюдатель по-своему определяет коэффициент пропускания цветных стекол. Различие для желтого цвета, как бы для средней части спектра, менее заметно, чем для синего. Когда надо определить собственную оценку цветной яркости каждым наблюдателем, то новый способ разноцветных измерений удобен тем, что возможно более высокую точность может дать мало или даже вовсе неопытный наблюдатель.

5. Если сопоставить полученные коэффициенты пропускания стекол с теми, которые получаются путем теоретического расчета для среднего глаза, то надобно отметить некоторое небольшое расхождение (табл. 2). Оно более заметно для зеленого и синего стекол. Тем не менее разница для столь сильно отличающихся друг от друга (и довольно насыщенных) цветов в практике, например, может считаться совершенно допустимой. У двух наблюдателей отклонения особенно малы.

6. Следует обратить внимание, что в выполненных измерениях одноцветность иногда не достигалась, что не отражалось заметным образом на итогах измерений, но, конечно, являлось некоторым затруднением для наблюдателей при световых измерениях.

7. Надежность и точность измерений хорошо подтверждается такими измерениями. Лампы 2-я и 4-я, будучи одного цвета, сначала сравнивались между собой через 1-ю лампу.

Затем они сравнивались порознь через лампы 1-ю и 3-ю, когда свет от них уже проходил через цветные стекла. Итоги оказались одинаковыми. Это позволяет считать, что перевод разноцветных измерений в одноцветные не сопровождается заметным снижением точности измерений.

8. Измерения силы света оказываются более точными, чем коэффициентов пропускания, так как на первые менее влияет погрешность в подборе цвета, чем на вторые. Для точного определения коэффициентов пропускания стекол подбор цвета должен быть вполне совпадающим. Конечно, точнее определяются силы света промежуточных цветов, чем конечных.

9. Для повышения точности измерений следует брать яркости конечных цветов возможно более близкими друг к другу.

Измерения общего коэффициента пропускания цветных стекол при отсутствии одноцветности

В предыдущих исследованиях, если в немногих случаях и не было полной одноцветности полей сравнения в светомерной головке, то разница в цветах все же не была такой, чтобы затруднять измерения. Однако были поставлены и такие измерения, в которых не удавалось получать достаточной близости цветов. Но, конечно, все же происходило очень значительное сближение цветов полей сравнения по отношению к цветам измерявшихся стекол (рис. 14). Хотя условия измерений и были неблагоприятны, тем не менее они оказались достаточно удовлетворительными (табл. 4) для трех стекол. Измерения с синим стеклом оказались мало удовлетворительными из-за того, что оно имеет коэффициент пропускания почти в 100 раз меньший, чем желтое, для которого, наоборот, измерения оказались очень хорошими. Во всяком случае другими способами разноцветных измерений такие итоги не могли бы быть получены.

Необходимо вместе с тем обратить внимание, что для сравнения приводились расчетные коэффициенты, полученные на основании международной относительной видности

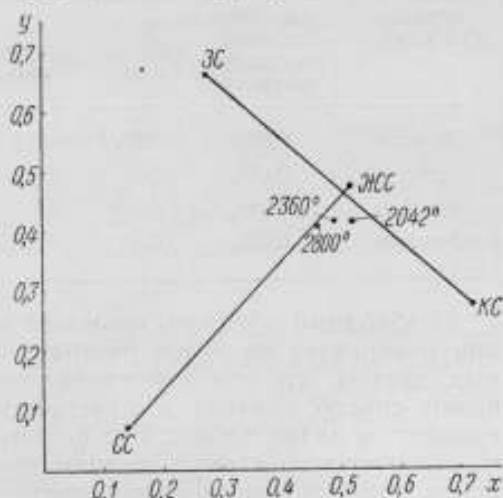


Рис. 14. Цветовые координаты цветных стекол, измерявшихся в условиях отсутствия одноцветности.

(ОСТ 8485). Между тем ее значения для обоих концов спектра, и особенно для синего, ненадежны¹.

Таблица 4

Измерения общих коэффициентов пропускания цветных стекол (2-го набора) при неполной одноцветности полей сравнения в сфотомерной головке

Обозначение стекол (2-й набор)	Общие коэффициенты пропускания цветных стекол					
	расчетные данные по средней видности	1-й наблюдатель	2-й наблюдатель	3-й наблюдатель	4-й наблюдатель	среднее
Желтое	0,88 ₀	0,89 ₆	0,83 ₅	0,90 ₂	0,94 ₈	0,89 ₆
Синее	0,017 ₆	—	0,04 ₈	0,00 ₂	—	0,02 ₅
Красное	0,054 ₉	0,038	0,039	0,039	0,038	0,038
Зеленое	0,091 ₄	0,10 ₀	0,10 ₄	0,10 ₀	0,11 ₀	0,10 ₂

Необходимо обратить внимание на то, что если исходить при измерениях из малой цветовой разницы для двух основных цветов, то при измерениях насыщенных цветов, и особенно синего, разница в измерениях между наблюдателями становится значительной. Вот почему решено было для исходных поверочных стекол, помимо других соображений, прежде всего выбрать насыщенные цвета (о которых говорилось ранее) с тем, чтобы впоследствии употреблять и менее насыщенные.

Участники работы. В опытной части работ, описанных в настоящем дополнении, автору помогали: З. Н. Энно, участвовавшая в спектральных измерениях стекол, А. М. Сабуренков (в деле сборки опытной измерительной установки) и В. Е. Карташевская. Перечисленные лица участвовали в разноцветных измерениях и в обработке наблюдений.

¹ См. статью В. Е. Карташевской.

А. М. САБУРЕНКОВ

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЯРКОСТИ И ОТРАЖЕНИЯ

При большинстве световых измерений, производимых с помощью глаза, обычно приходится иметь дело с рассеивающими свет поверхностями преимущественно белого цвета. Для суждения о качестве отражающей поверхности в отношении ее яркости при вполне определенных условиях освещения и наблюдения необходимо, чтобы это качество характеризовалось определенной величиной.

Отражающие свойства рассеивающих свет поверхностей, как известно, можно определять некоторой условно принятой величиной. Такой величиной может быть коэффициент яркости, который представляет собой отношение яркости данной (рассеивающей свет) поверхности к яркости идеально матовой поверхности при одинаковых условиях освещения и наблюдения.

Значение коэффициента яркости может изменяться в зависимости от направления падающего на поверхность светового потока и от угла, под которым эти поверхности наблюдаются.

В ряде случаев качество отражающих поверхностей требуется определять и другой величиной, а именно общим коэффициентом отражения (общий коэффициент отражения идеально матовой поверхности равняется единице).

В 1932 г. во ВНИИМ была установлена образцовая группа пластин для воспроизведения значений коэффициента яркости (впервые в метрологической практике) и общего коэффициента отражения (впервые в СССР). Все материалы по данному вопросу с исчерпывающей полнотой приведены в 1934 г. в сборнике № 133 „Работы Всесоюзного института метрологии и стандартизации по световым эталонам в 1930—1932 гг.“.

На протяжении всех последующих лет указанные значения коэффициентов с помощью этих, а также пластин рабочей группы сохранялись и передавались в промышленность и в различные научно-исследовательские учреждения.

Разработанный в свое время порядок хранения пластин и использования их для сличений (поверок) давал основание считать, что воспроизводимые пластинами значения существенно не изменились и к настоящему времени. Однако общие метрологические соображения, с одной стороны, и необходимость увеличения числа пластин в группе, с другой, настоятельно требовали возобновления образцовой группы пластин и сличения их с прежними. Многолетняя практика показала, что нет оснований вносить какие-либо существенные изменения в способы изготовления пластин и последующего их измерения. Тем не менее предполагалось добиться некоторых лучших результатов. В частности, намечалось несколько усовершенствовать самый способ изготовления пластин и повысить точность измерений.

Сравнительно ограниченная точность световых измерений в работе 1932 г. находилась в непосредственной связи с тем, что измерения тогда производились при относительно умеренном уровне яркости полей сравнения, как это и в то время считалось. По ряду причин избежать этого тогда было трудно. Для настоящей работы намечалось создать более благоприятные условия для измерений.

Сернобариевая соль (сернистый барий), как материал для изготовления пластин, вполне себя оправдала в различных случаях применения для световых измерений, а потому не подлежала замене чем-либо иным. В равной мере удовлетворительной оказалась и конструкция ранее принятой металлической оправы для удержания запрессованной в нее сернобариевой соли, что также позволило оставить оправку без изменений.

Прежде чем начать изготовление пластин, потребовалось надлежащим образом подготовить материал для прессования. Поэтому сернобариевая соль, по маркировке з-да им. Карпова „для анализа“, подвергалась тщательному размолу в шаровой мельнице. Ранее было твердо установлено по опыту работы ряда лет, что успех прессования пластин в большой степени зависит от навыка изготовителя, а сам процесс изготовления оказывается операцией довольно напряженной и трудоемкой. Результат прежде всего зависит от удачного распределения порошкообразного материала в объеме оправы и от выбора количества материала, а все это, естественно, приводило к тому, что имел место известный элемент случайности.

После ряда опытов выяснилось, что изготовление пластин значительно упрощается, если применять совсем простые приспособления, облегчающие засыпку материала в нужном количестве и его распределение по площади. Изготовление пластины при этом сводится к следующему. На хорошо шлифованную стальную пластину (достаточно прочную) кладется небольшой кусок специально подобранной тонкой бумаги, поверх которой накладывается, лицевой стороной к бумаге,

металлическая оправа со снятой задней стенкой. На оправу затем кладется равная ей по площади тонкая (около 1,5 мм — 0,3 толщины оправы) пластинка с отверстием, которое по величине равно отверстию в оправе, но несколько меньше отверстия устанавливаемой на него широкой воронки. Воронка служит для заполнения полости оправы материалом, просеиваемым сквозь мелкое металлическое сито. Вспомогательная тонкая пластинка, которая перед прессованием убирается, дает возможность отмеривать, после некоторого уплотнения материала, то количество его, которого вполне достаточно для нормального заполнения полости оправы при сдавливании материала под прессом.

Изготовленные таким путем пластины по своим свойствам вполне одинаковы и прочны, а их рабочая (лицевая) поверхность — равномерно матовая и не имеет признаков блеска даже при очень больших углах, под которыми эта поверхность освещается и наблюдается.

Всего было изготовлено десять пластин, обозначенных номерами 1—10, для основной образцовой группы 1-го разряда, и пять (на первое время) пластин, обозначенных номерами P1—P5, для образцовой группы 2-го разряда.

Неизменность воспроизводимых пластинами численных значений коэффициентов в течение длительного периода времени, вполне очевидно, зависит от условий хранения пластин. Принятый ранее способ хранения пластин в круто наклонном их положении под стеклянным колпаком не был признан наиболее удовлетворительным, хотя практически и оказался достаточным в прошлом. Некоторый его недостаток заключается в том, что трудно устранить известное запыление наклонно расположенных пластин при периодических подниманиях стеклянного колпака, неизбежных во всех случаях применения пластин для их измерения. Чтобы иметь возможность хранить пластины более надежно и при том в вертикальном положении, были сконструированы и изготовлены специальные коробки, каждая на пять пластин. Внутри коробки размещены пружинящие держатели для пластин, а на внутреннем краю съемной крышки сделаны пазы, создающие при закрытой коробке подобие лабиринтного уплотнения, затрудняющего проникновение пыли внутрь.

Устройство коробки и расположение в ней пластин вполне поясняется рис. 1.

Следует добавить, что в дальнейшем решено такую коробку с пластинами при длительном хранении помещать под стеклянный колпак, как дополнительное средство для защиты от пыли.

Необходимые основные световые измерения пластин предполагалось провести на специально для этого собранной установке и на имеющемся яркомере. Последний, с целью получения большей точности, потребовалось несколько усо-

вершенствовать и, в частности, заменить два малых лимба (с пятиградусными делениями) лимбами большего размера. Вместе с тем намечалось некоторые измерения провести

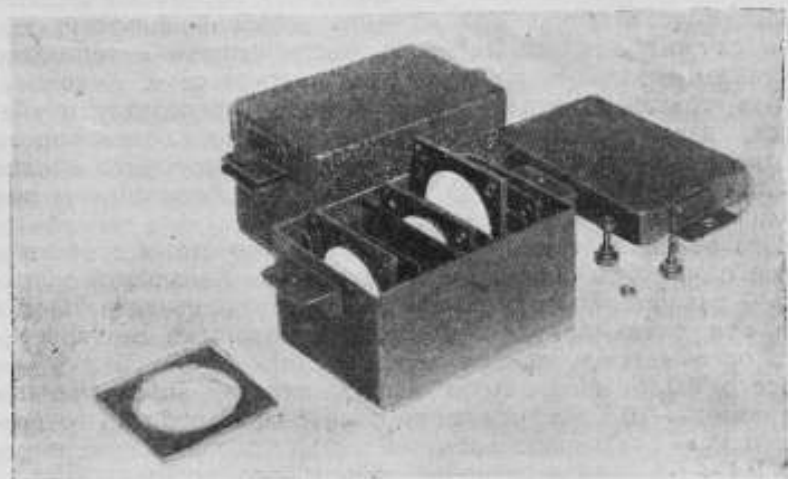


Рис. 1. Образцы для коэффициентов яркости и отражения.

также с помощью фотоэлементов, чтобы установить степень пригодности объективного способа измерений пластин для поверочных работ. С этой целью была собрана измерительная установка, включавшая в себе приспособление для освещения пластины и для последовательной установки ее под нужными

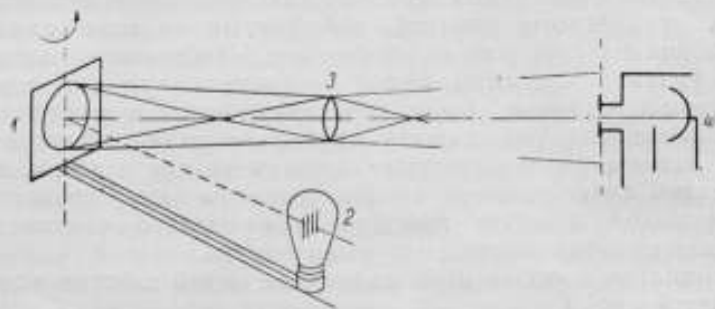


Рис. 2. Схема измерений пластины с помощью фотоэлемента.

углами освещения и измерения, а также фотоусилительное устройство (рис. 2). Между измеряемой пластиной 1, освещаемой лампой 2, и находящимся от пластины на расстоянии около 3 м фотоэлементом 4 помещалась линза 3, дававшая сильно увеличенное изображение пластины в плоскости фото-

элемента. Фотоэлемент, находясь внутри камеры фотоусилителя, имел перед собой патрубок с относительно малым отверстием. Его светочувствительной поверхности достигал световой поток лишь от центральной части изображения пластины. При диаметре изображения пластины, равном около 20 см, диаметр отверстия перед фотоэлементом был равен лишь 2 см. Значительная чувствительность усилительно-измерительной схемы и фотоэлемента потребовала принять особые меры борьбы со всякого рода рассеянным и вообще посторонним светом в помещении, где производились измерения.

Хотя принятые условия измерений принципиально исключали влияние на результаты не устранимого практически освещения окружающей пластинку оправы, однако, в порядке исследования установки, были проведены некоторые контрольные измерения. Металлическая черненная оправка пластины для этой цели перед измерениями закрывалась поочередно черной и белой бумагой. Как выяснилось, результаты измерений полностью подтвердили делавшееся предположение, а именно, что величина яркости оправы не влияет на результат.

Из этих же соображений исследования пришлось остановиться на вопросе влияния точности установки углов на лимбах и на вопросе устойчивости результата вообще при повторных измерениях и при повторных установках одной и той же пластины. Оказалось, что обнаруженные при многих измерениях колебания результатов не выходят за пределы точности измерений.

После надлежащего изучения установки последняя была использована для измерения относительных световых величин у ряда пластин при определенных условиях освещения и наблюдения. Измерения производились при различных углах освещения пластины и различных углах наблюдения (измерения). Результаты измерений не были использованы для дальнейшего по двум причинам:

1) измерительная установка с фотоэлементом не обеспечивала получения всей необходимой точности;

2) обнаружилось заметное различие по абсолютной величине между данными выполненных измерений и результатами измерений на яркомере. Необходимо было бы значительно усовершенствовать фотоэлементную измерительную установку без какой-либо уверенности в достижении той же точности, которая без труда получается на яркомере и на скамье.

Определение коэффициента яркости пластины на светомерной скамье является пока, по существу, единственно надежным решением. Другие возможные способы должны считаться скорее как вспомогательные и контрольные, ибо точность их несколько ниже.

Измерение коэффициента яркости пластины на скамье связано с необходимостью измерять сравнительно малую

яркость пластины, освещаемой подходящим источником. Непосредственно яркость при этом не измеряется, а определяется через силу света пластины при известной площади последней.

Практически очень трудно создать на поверхности пластины достаточную яркость, равномерную по всей площади, а поэтому обычно приходится отказываться от осуществления больших яркостей и принимать то, что величина этой яркости при подобных измерениях (в частности и в работе 1932 г.) оказывается небольшой. По этой причине уровень яркости полей сравнения в светомерной головке такой, что точность световых измерений получается несколько ниже нормальной,

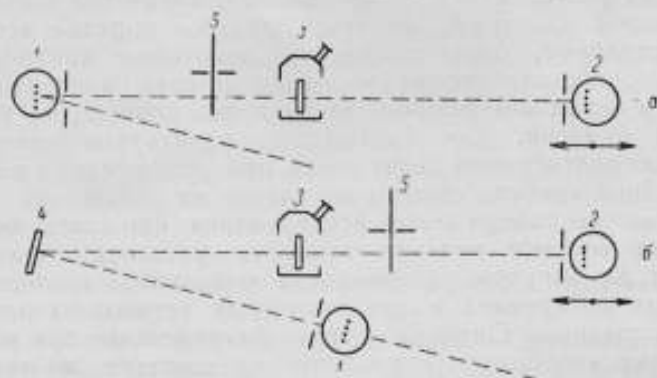


Рис. 3. Схема измерений силы света лампы и яркости пластины.

В настоящей работе, стремясь повысить точность измерений, прежде всего пришлось пойти на возможное увеличение мощности электрической лампы накаливания, освещающей пластину. Была применена для этой цели лампа накаливания прожекторного типа мощностью 1000 *вт* (110 *в*), предварительно отожженная и использовавшаяся при пониженном напряжении (100,0 *в*).

Кроме того, расстояние между лампой и пластиной, которое равнялось расстоянию между пластиной и светомерной головкой, было предельно уменьшено. При вычислениях освещенности от неточечных источников света поправки к закону квадратов расстояний составляли менее 0,1% и ими можно было пренебречь.

Измерительная установка включала в себя две светомерных скамьи, оси которых составляли между собой угол в 15° (рис. 3, *а* и *б*). На основной скамье (длиной 4,5 м), у ее конца, располагалась неподвижно светомерная головка 3 и лампа сравнения 2, подвижная вдоль скамьи. Лампой сравнения служила светоизмерительная лампа типа № 5 при напря-

жени 105,0 в. На короткой вспомогательной скамье, в месте пересечения ее оси с осью основной скамьи, в одном случае помещалась лампа *I* прожекторного типа. В другом случае на том же месте помещалась измеряемая пластина *4*, а на расстоянии 80,0 см от нее — лампа *I*, предварительно повернутая около своей оси на угол 165°. Плоскость пластины *4* располагалась перпендикулярно к оси вспомогательной скамьи, благодаря чему она освещалась нормально, а измерялась под углом 15° с нормалью. На рис. 3, *а* и *б*, представляющем схему расположения деталей установки в двух случаях измерений, указаны, кроме того, места нахождения вращающихся поглотителей *б*, обойтись без которых при данных измерениях было нельзя.

При подсчете яркости пластины необходимо точно знать площадь ее светящейся поверхности. Для этого пластина своей рабочей поверхностью плотно прижималась к надлежащему металлическому щитку с круглым отверстием известной площади. Диаметр отверстия, имеющего острый край, был предварительно тщательно измерен в лаборатории концевых мер ВНИИМ и равен 52,08 мм. Площадь отверстия, следовательно, равна 21,30 см².

Практически невозможно было наложить щиток с отверстием непосредственно на поверхность спрессованной из сернобаритовой соли пластины, так как это приводило бы к порче последней, а потому между последней и плоскостью отверстия оставался промежуток в 0,3 мм.

Весьма тщательная защита от постороннего и рассеянного света с помощью занавесок из хорошего черного бархата не могла исключить необходимость все же учитывать величину мешающего постороннего освещения. Для этого потребовалось при неизменных (с основными измерениями) условиях освещения производить дополнительные измерения. При этом в одном случае отверстие щитка (покрытого бархатом) перекрывало белой пластиной, в другом же пластина отсутствует. В последнем случае отверстие кажется совершенно черным, так как за отверстием находится большого размера полость с черными бархатными стенками, хорошо поглощающая весь проходящий через отверстие световой поток, причем к светомерной головке была обращена неосвещенная часть стенки.

Результаты многих измерений показали, что учтенная таким образом поправка составляет около 5% от основной измеряемой величины. Поправка эта очень значительная и потому может сильно влиять на конечный результат измерения.

Все световые измерения на скамье производились четырьмя опытными лицами в два приема (с промежутком в 3 дня). В целях большей надежности, в том и другом случае некоторые более сложные измерения выполнялись многократно. По той же причине в обоих случаях, при измерении силы

света прожекторной лампы, использовались разные вращающиеся поглотители. Коэффициенты пропускания этих поглотителей предварительно были вновь поверены измерением на угловой измерительной машине (в лаборатории мер длины).

Нет необходимости останавливаться на отдельных моментах измерений и подсчетов каждой из величин, нужных для определения конечного результата, по той простой причине, что все основное по этому вопросу довольно подробно освещено в работе 1932 г.

Как окончательные результаты выполненных измерений в табл. 1 приводятся значения коэффициента яркости для десяти основных пластин, действительные при условии перпендикулярного падения света на пластину и наблюдения последней под углом в 15° .

Таблица 1

Коэффициенты яркости пластины при перпендикулярном падении света на них и наблюдении под углом 15°

Номер пластины	Коэффициент яркости		
	первое измерение	второе измерение	среднее
1	1,02 ₄	1,02 ₆	1,02 ₅
2	1,02 ₄	1,02 ₅	1,02 ₄
3	1,02 ₆	1,02 ₂	1,02 ₄
4	1,01 ₆	1,01 ₄	1,01 ₆
5	1,02 ₂	1,02 ₆	1,02 ₁
6	1,02 ₅	1,01 ₆	1,01 ₈
7	1,01 ₈	1,02 ₅	1,01 ₈
8	1,02 ₁	1,02 ₁	1,02 ₁
9	1,02 ₆	1,02 ₅	1,02 ₆
10	1,01 ₇	1,01 ₇	1,01 ₇
Среднее .	1,02 ₂	1,02 ₁	1,02 ₁

Коэффициенты яркости у всех пластин оказались сравнительно близкими, а воспроизводимое всей группой значение равняется 1,02. Естественным будет сопоставление полученной величины с таковой, полученной в работе 1932 г. Оказывается, что полученное теперь значение несколько выше полученного тогда при измерении на светомерной скамье и равного 1,007. Тогда, наряду с измерениями на скамье, производились измерения и на яркомере и при этом коэффициент яркости, средний по пяти пластинам, был получен 1,02₉, т. е.

величина, близкая к полученной в настоящее время. Надо при этом учитывать, что сернобариевая соль и способ изготовления прежних пластин были иными.

Чтобы судить о точности, с которой выполнялись измерения, для первых пяти пластин группы были подсчитаны погрешности измерений. Значения средней квадратичной погрешности ряда измерений (для одной пластины) и средняя квадратичная погрешность для пластины как среднее по всем пяти пластинам оказались равными соответственно $\pm 0,53$ и $\pm 0,19$. Простое сопоставление приведенных величин погрешности с имевшими место в работе 1932 г. и равными соответственно $\pm 1,2$, и $\pm 0,58$ показывает, что установление новой группы пластин коэффициента яркости выполнено с точностью в 2,5–3,0 раза большей.

Общий коэффициент отражения пластины, как известно, определяется чисто расчетным путем на основании данных соответствующего измерения пластины под различными углами. Для этой цели каждая из пяти первых пластин группы измерялась на яркомере.

Пластина устанавливалась на поворотном устройстве, позволявшем измерять у нее относительную яркость под различными углами при тех или иных условиях освещения пластины.

Приведенные в табл. 2 значения относительной яркости отвечают условию освещения пластины светом, падающим на нее перпендикулярно.

Практически нельзя было произвести измерений при углах, меньших 15° и больших 80° , а потому значения для них, необходимые для подсчетов, были получены путем графической экстраполяции. Возможная погрешность в последней незначительно отражается на конечных итогах. От полученных измерением значений относительной яркости легко осуществляется переход к значениям относительной удельной силы света, а вводя значения телесных углов для соответствующих зон полусферы, делают переход к световым потокам.

Путем простых, по указанной выше причине здесь не приводящихся, расчетов для каждой из пластин подсчитывался общий коэффициент отражения для случая нормального падения света на пластину.

Общие коэффициенты отражения для пластин оказались различающимися лишь в третьем десятичном знаке, что практически лежит за пределами точности. Общий коэффициент отражения равен по всем пяти пластинам 0,96₄.

Следует отметить, что вновь изготовленные пластины (1–5) имеют и общий коэффициент отражения, больший, чем у пластин ранее установленной группы, когда он был около 0,95. Новые пластины изготовлены из сернобариевой соли иного происхождения, что существенно иметь в виду.

Таблица 2

Результаты измерений пластики 1-5 на яркомере при перпендикулярном падении света на них и результаты вычислений общего коэффициента отражения

Угол наблюдения (в градусах)	Относительная яркость пластины (в процентах)					
	1	2	3	4	5	среднее
0	—	—	—	—	—	101,00 ¹
10	—	—	—	—	—	100,50 ¹
15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
20	99,62	100,20	99,62	100,32	100,15	99,98
30	98,48	98,48	98,78	98,53	98,65	98,58
40	96,70	96,92	97,02	96,92	96,77	96,87
50	94,57	95,00	94,88	95,29	95,16	94,98
60	91,74	91,99	92,28	92,65	91,83	92,10
65	89,70	90,07	90,41	90,57	90,86	90,32
70	87,54	88,16	88,47	88,69	87,87	88,15
75	85,05	85,29	84,77	85,96	85,10	85,23
80	81,25	81,08	81,17	81,80	81,12	81,28
85	—	—	—	—	—	75,50 ¹
90	—	—	—	—	—	0,00 ¹
Общий коэффициент отражения	0,96 ₄	0,9 ₆	0,96 ₈	0,96 ₁	0,96 ₄	—

¹ Значения получены путем графической экстраполяции.

Исходные данные для вычисления общего коэффициента отражения пластины, при надлежащем графическом их выражении, могут достаточно наглядно характеризовать некоторые световые свойства пластины. Поэтому на рис. 4 для одной из пласти (1) приведены в полярных координатах зависимости удельной силы света I_n и относительной яркости B_n от угла, под которым пластина рассматривается. Там же показаны пунктирными линиями соответствующие кривые для идеальной матовой пластины. Расхождения между парами этих кривых показывают отступление рассеивающей способности у поверхности пластины от теоретического косинусного рассеяния.

Работу по установлению новой группы пластин, которые впредь должны воспроизводить значение коэффициента яркости, нельзя считать полностью завершенной, если не произвести надлежащего сличения новых пластин со старыми. Такое сличение и было произведено на яркомере.

Из пяти основных пластин, установленных в 1932 г. в качестве образцовых, три пластины были выведены ранее из употребления и для сличения непригодны, а потому лишь две из них (I—2 и I—4) были использованы для сравнения с пластинами новой группы. Эти две пластины были измерены в тех же условиях, что и пять первых пластин новой группы, когда находилась зависимость относительной яркости от угла измерения при перпендикулярном падении света на пластину.

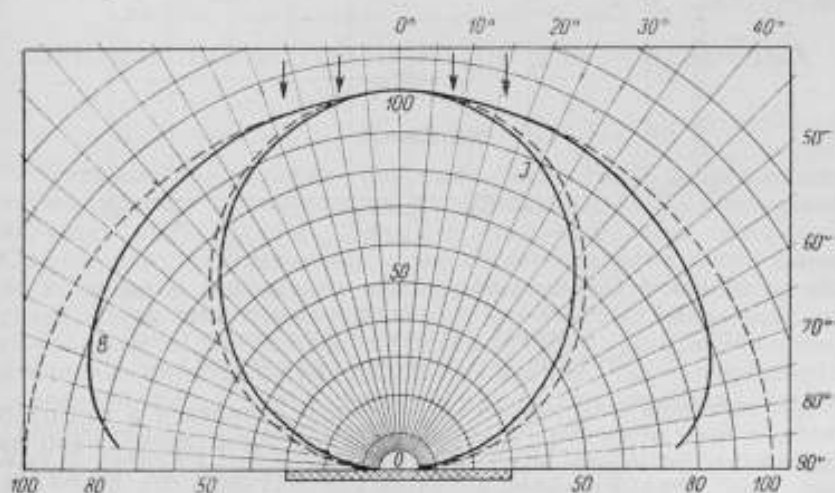


Рис. 4. Удельная сила света (I_s) и яркость (B_s) пластины № 1 при перпендикулярном падении света на нее.

Графически такие зависимости для пластин обоих видов показаны на рис. 5, причем для пластин 1—5 построена одна общая кривая по средним значениям. Кривые для старых (прежних) пластин лежат ниже и не совпадают между собой. Анализ данных для пластин I—2 и I—4, полученных в 1932 г., показывает, что обнаруженное теперь расхождение можно объяснить как бы естественным старением (некоторым загрязнением пластин). Значение коэффициента яркости в последние годы воспроизводилось другой группой пластин, сличенных с основными, по которым значения коэффициентов определены для других условий освещения и наблюдения их. Эти другие условия, а именно — наблюдение нормальное, а освещение под углом 45° , являются теми, при которых обычно производятся проверки пластин. Сравнение вновь изготовленных пластин с указанными выше пластинами в таких условиях показало совпадение в пределах около $\pm 0,3\%$.

Характер изменения относительной яркости пластины, освещаемой под углом 45° , в зависимости от угла наблюде-

ния, — несколько отличный от того, что изображено на рис. 5. Такая зависимость дана на рис. 6 для одной вновь

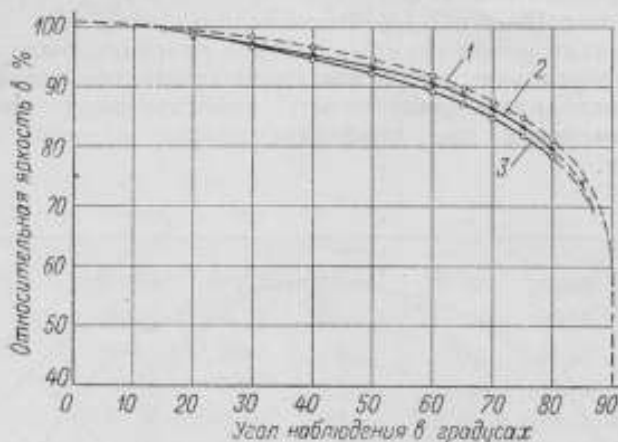


Рис. 5. Относительная яркость пластин № 1-5 (новых) и пластин 1-2 и 1-4 (старых) при перпендикулярном падении света на них:

1 — пластины № 1-5; 2 — пластина 1-2; 3 — пластина 1-4.

изготовленной пластины 5. Ход кривой интересен в том отношении, что относительная яркость пластины очень мало изменяется при углах наблюдения ее, примерно от 40 до 80°.

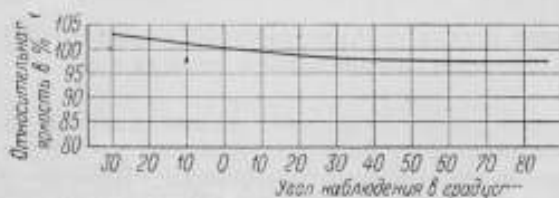


Рис. 6. Относительная яркость пластины № 5 при падении света на нее под углом 45° (с нормалью).

Участники работы. Работа выполнена при некотором участии проф. П. М. Тиходеева, в измерениях принимали участие также В. Е. Карташевская и З. Н. Энно.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ

Введение

Большинство точных световых измерений в настоящее время обычно производится с помощью глаза. Последний является сравнительно точным и чувствительным прибором. Однако его чувствительность не остается вполне устойчивой во времени и зависит от ряда причин. Вследствие того, что глаза по их свойствам у людей не одинаковы, оказалось необходимым в свое время поставить работы по установлению значений спектральной чувствительности так называемого „среднего глаза“. Это последнее понятие, вообще говоря, самоочевидно, международно принятые же для него численные значения (1924 г.) отнюдь не бесспорны. Пересмотр этих значений ныне достаточно назрел и видимо должен быть произведен в ближайшем будущем. Понятие о среднем глазе вместе с тем обязывает к тому, что в стремлении быть близким к истине (к среднему глазу) приходится обычно увеличивать число наблюдателей при световых измерениях. Поэтому наличие 2—3—5 достаточно опытных наблюдателей с глазами, сравнительно близкими по свойствам к среднему глазу, остается основным требованием для получения надежных результатов при световых измерениях с помощью глаза. Известно, что такое требование в большинстве случаев создает некоторые трудности, в силу которых всегда возникает вопрос о замене глаза иным объективным элементом, способным оценивать световые величины с меньшей точностью.

Принципиально вопрос может просто решаться заменой глаза фотоэлементом. Тем не менее, не всякий фотоэлемент пригоден для этой цели, так как в одном случае, например, спектральная чувствительность фотоэлемента оказывается неудовлетворительной, а в другом — получается сложной электрической схема включения фотоэлемента и т. д. Из всех известных в настоящее время фотоэлементов лишь селеновый фотоэлемент с запирающим слоем представляет определенный интерес с точки зрения замены им глаза при точных световых измерениях.

Селеновые фотоэлементы

Именно селеновый фотоэлемент, в отличие от прочих видов фотоэлементов, обладает двумя качествами, благодаря которым он оказывается пригодным для использования при световых измерениях. Прежде всего селеновый фотоэлемент не нуждается в электрическом источнике питания, который необходим для всех фотоэлементов с внешним фотоэффектом, поэтому электрическая схема его включения чрезвычайно проста. С другой стороны, спектральная чувствительность селенового (и только такого) фотоэлемента по всему видимому спектру такова, что от нее вполне можно переходить к чувствительности для среднего глаза. Так как максимумы чувствительности фотоэлемента и глаза находятся в близких между собой участках спектра, подбор исправляющего поглотителя не сопровождается значительным снижением общей чувствительности фотоэлемента (не более чем в 3—4 раза).

Свойства селеновых фотоэлементов заметно зависят от способа их изготовления, а потому в большинстве случаев фотоэлементы друг от друга несколько отличаются. Из этих соображений приходится каждый селеновый фотоэлемент в отдельности исследовать и получить для него необходимые зависимости, прежде нежели пытаться использовать его для дальнейших работ. Наблюдающиеся различия в спектральной чувствительности обязывают, строго говоря, производить подбор исправляющего поглотителя для каждого фотоэлемента в отдельности.

Использование селеновых фотоэлементов для световых измерений того или иного рода известно сравнительно давно и поэтому нашло себе отражение в специальной литературе. Несколько в меньшей степени это известно в отношении более точных световых измерений.

Один из видов использования селеновых фотоэлементов применительно к точным световым измерениям для поверочных целей составляет предмет настоящей работы.

По указанным выше причинам были выполнены некоторые исследования ряда селеновых фотоэлементов, а также произведен подбор исправляющего поглотителя к некоторым из них. Как конечный результат работы приводится описание новой конструкции фотоэлементной светомерной головки и даются некоторые итоги испытания первого пробного образца ее.

Прежде всего были подвергнуты частичному изучению четыре селеновых фотоэлемента трех имевшихся в распоряжении видов. А именно фотоэлементы ГОИ с диаметром действующей поверхности около 5,7 см (площадью около 25,5 см²) и с диаметром — 3,7 см (площадью около 10,8 см²) и фотоэлементы Ланге (S—60) с диаметром около 3,8 см (площадью около 11,3 см²). Поставленная работой задача не выставляла необходимости полного исследования фотоэлементов,

а потому было обращено внимание лишь на основные характеристики фотоэлементов, значение которых требовалось для решения задачи.

К селеновому фотоэлементу, используемому в качестве светоизмерительного прибора, чаще всего предъявляется требование наличия у него в известных пределах линейной зависимости между фототоком и освещенностью. Желательно также знать для него зависимость фототока от угла падения света. Исходя из этого, только такие зависимости и были получены для четырех взятых фотоэлементов. В дальнейшем намечалось использовать для работ фотоэлементы с лучшими зависимостями. Наиболее важным представлялось определить у указанных выше фотоэлементов их относительные кривые чувствительности по спектру, которые должны послужить основой для дальнейших расчетов исправляющего поглотителя. Для этого потребовалось произвести несколько измерений при использовании монохроматора и термостолбика.

Термостолбик работает с достаточной чувствительностью лишь в определенных условиях, для которых нужно подобрать соответствующий гальванометр, обладающий повышенной чувствительностью и надлежащим внутренним сопротивлением. В данном случае был взят гальванометр с малым сопротивлением рамки, наимыгоднейший режим работы которого определился из ряда опытных измерений при различных положениях магнитного шунта у него. Внутреннее сопротивление гальванометра оказалось около 14 ом, а критическое сопротивление около 100 ом. Гальванометр имел при этом токовую чувствительность около $1,2 \cdot 10^{-9}$ а/мм и вольтовую — около $1,7 \cdot 10^{-8}$ в/мм; гальванометр использовался при работе со шкалой, отстоящей от него на расстоянии 4 м и наблюдаемой через отсчетную трубу. У выходной щели двойного монохроматора, на некотором от нее расстоянии, помещалась линза, создававшая изображение щели в плоскости спаев термостолбика или же, когда последний заменялся фотоэлементом, на светочувствительной поверхности фотоэлемента. Фотоэлемент, как легко понять, устанавливался в нем, нежели термостолбик, месте по отношению к линзе, ибо достигалось условие, что освещалась вся светочувствительная поверхность фотоэлемента. Линза, неизменно установленная по отношению к выходной щели монохроматора и участвующая в измерениях в обоих случаях, не оказывала влияния на конечный результат.

Освещавшая входную щель монохроматора лампа накаливания (500 вт) являлась одновременно относительно мощным генератором тепловых излучений, которые делали совершенно невозможным получение надежных и устойчивых результатов измерений, если не принимать надлежащих мер предосторожности. С этой целью лампа накаливания поме-

щались внутрь цилиндрического металлического кожуха с небольшим отверстием для пропуска света в боковой части, выполненного двухстенным и охлаждаемого проточной водой. Хотя одна такая тепловая защита оказывается достаточно сильной, все же был применен, кроме того, ряд последовательно размещенных в надлежащих местах металлических теплоотражающих экранов.

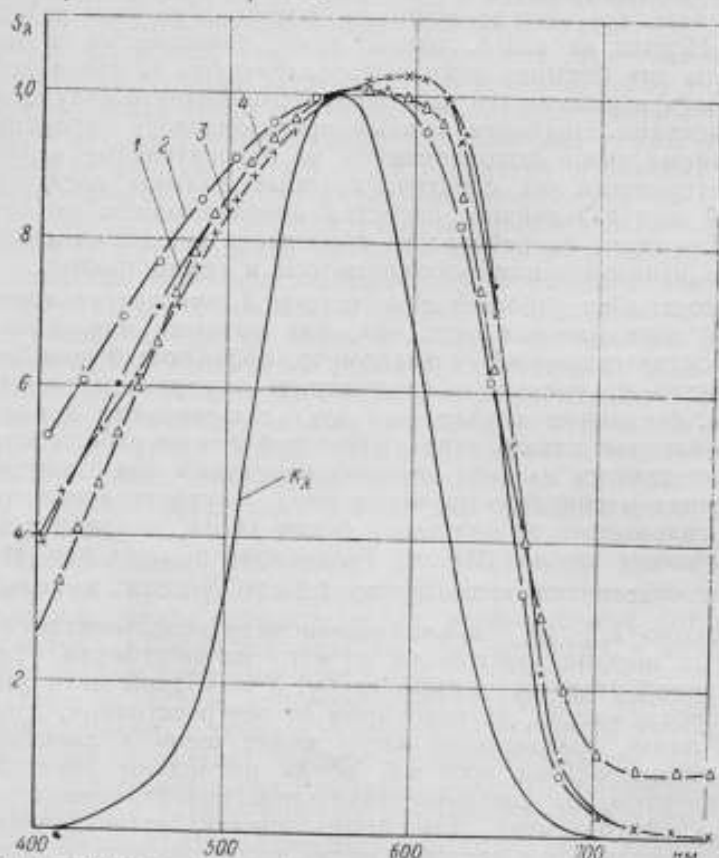


Рис. 1. Спектральная чувствительность селеновых фотозащитных элементов: 1 — № 415; 2 — № 1334; 3 — № 1-27; 4 — № 1 (Ланге).

Влияние на устойчивость термоэлектрических измерений (часто обнаруживавшееся) воздушной среды и окружающих предметов заметно ослаблялось тем, что термостолбик снабжался кожухом подходящих размеров, благодаря которому этот кожух, охватывая одновременно линзу и выходную часть монохроматора, являлся также и светозащитным приспособлением.

Результаты измерений и подсчетов показаны на рис. 1. Как и следовало ожидать, обнаруживается известное разли-

чие в спектральной чувствительности у фотоэлементов. Вместе с тем наблюдается значительное отличие от кривой видности для среднего глаза K_2 .

У фотоэлемента Ланге отмечается повышенная чувствительность в красной области спектра, чего нет у других фотоэлементов. Это может частично объяснить большую общую чувствительность фотоэлемента данного типа.

Еще нет полной ясности в вопросе о выборе значений силы тока в селеновых фотоэлементах при определении спектральной чувствительности. Осторожность требует отдельно исследовать зависимость последней от освещенности (или силы тока) по отдельным участкам спектра.

Исправляющий поглотитель и его выбор

Если селеновый фотоэлемент использовать совместно с цветным поглотителем того или иного вида, то его спектральная чувствительность может быть изменена. По понятной причине приходится обычно исправлять кривую спектральной чувствительности селенового фотоэлемента в сторону возможно большего приближения ее к кривой видности для среднего человеческого глаза.

Решение такого, казалось бы, достаточно простого вопроса сопряжено обычно с известными трудностями, которые по-разному преодолеваются и при том несколько отличными одно от другого средствами.

Поглотитель может быть любого вида, т. е. стеклянный, желатиновый или, наконец, жидкий. Конечно, каждый из них допустимо выполнять и составным из двух или более слоев. Ограниченность подходящих наборов цветных стекол для практики служит препятствием к распространению стеклянных, и, следовательно, вполне стойких поглотителей. Бóльшее распространение поэтому получили желатиновые исправляющие поглотители, имеющие иногда в качестве обкладки не простое, а специальное стекло, например, поглощающее инфракрасные излучения.

Жидкий исправляющий поглотитель при фотоэлементе для широкой практики, очевидно, менее удобен, но в условиях лаборатории и надлежащего хорошего его содержания с этим можно не считаться. Изготовление же такого поглотителя сравнительно просто.

Во всех случаях расчет исправляющего поглотителя принципиально остается одним и тем же.

Так как сам расчет достаточно известен, то здесь приводятся лишь основные принципы соответствующего расчета и достигнутые конечные результаты.

На основании накопленного фотометрической лабораторией ВНИИМ опыта по использованию водных растворов некоторых красителей в качестве поглотителей было решено

воспользоваться для изготовления исправляющего поглотителя к фотоэлементу двумя веществами, а именно хлорной медью ($\text{Cu Cl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) и двуххромовокислым калием ($\text{K}_2 \text{Cr}_2\text{O}_7$). Водные растворы этих веществ обладают избирательным поглощением для крайних участков видимого спектра, а потому вполне пригодны для надлежащего ограничения излишней спектральной чувствительности селенового фотоэлемента в упомянутых участках.

В основу расчета исправляющего поглотителя кладутся кривая спектральной чувствительности фотоэлемента и кривая видности для среднего глаза. Первая становится известной после опытного ее определения, вторая же известна и принята в ОСТ 8485. При этом значение коэффициента пропускания τ_λ поглотителя (теоретического), вполне исправляющего чувствительность фотоэлемента для любой длины волны, определяется из соотношения

$$\tau_\lambda = \frac{K_\lambda}{S_\lambda},$$

где K_λ — значение видности для среднего глаза;
 S_λ — чувствительность фотоэлемента.

Выполненные таким путем подсчеты на основании полученных ранее кривых спектральной чувствительности фотоэлементов, следовательно, позволяют иметь для видимой области спектра значения пропускания для теоретически нужного исправляющего поглотителя, к которому должен быть близким подбираемый. Были использованы частично литературные данные, касающиеся спектральной плотности чистых растворов ранее названных красителей (того и другого). Опытным путем первоначально был подобран раствор для поглотителя, составленный из 0,07 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и 3,4 г $\text{Cu Cl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ на 100 мл дистиллированной воды. Этим раствором затем была заполнена кювета с плоско-параллельными стенками, позволяющая иметь поглотитель с толщиной слоя в 10 мм. Спектральные измерения поглотителя показали, что взятое соотношение красителей в растворе не вполне удовлетворительное, а потому в дальнейшем были исследованы другие (четыре) раствора с несколько измененными соотношениями красителей.

В прилагаемой табл. 1 приведены результаты измерений спектральных коэффициентов пропускания для пяти исследованных растворов, а на рис. 2 даны соответствующие им кривые. Там же приведена изображенная пунктирной линией кривая, отвечающая теоретическому поглотителю, значения для которого были подсчитаны.

Кривые рис. 2 показывают, что поглотитель с каждым из применявшихся растворов отличается от действительно необходимого, однако это отличие относительно не столь

Таблица 1

Относительные спектральные коэффициенты пропускания растворов для исправляющего поглотителя

Длина волны (в нанометрах)	Относительный коэффициент пропускания (τ) растворов				
	1	2	3	4	5
400	0,0006	—	—	—	—
20	0,0006	0,0510	0,0310	0,0218	0,0585
40	0,0025	0,0818	0,0498	0,0365	0,0772
60	0,0067	0,147	0,102	0,0708	0,138
80	0,0422	0,320	0,264	0,211	0,315
500	0,264	0,656	0,608	0,522	0,639
20	0,689	0,955	0,946	0,847	0,916
40	0,981	1,030	1,049	0,995	1,016
50	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
60	0,988	0,988	0,959	0,971	0,971
80	0,905	0,853	0,785	0,871	0,839
600	0,768	0,659	0,569	0,711	0,649
20	0,570	0,459	0,321	0,508	0,447
40	0,388	0,248	0,132	0,322	0,259
60	0,215	0,0621	0,0321	0,153	0,0959
80	0,0998	0,0270	0,0051	0,0607	0,0324
700	0,0532	0,0059	0,0007	0,0211	0,0087
20	0,0262	—	—	0,0070	—
40	0,0127	—	—	0,0017	—
60	0,0057	—	—	0,0011	—

велико, тогда как спектральная чувствительность селенового фотоэлемента оказывается заметно исправленной. Для целого ряда случаев измерительной практики полученные результаты можно считать вполне достаточными.

К результату можно не предъявлять повышенных требований еще и потому, что этот вопрос в данном случае не является решающим по двум причинам: в поверочной практике образцовая и поверяемая лампы имеют обычно одинаковые цветовые температуры, а если температуры их разные, то эта разность не столь значительна. Тот и другой случай допускает работу с фотоэлементом, даже не имеющим при себе исправляющего поглотителя.

Необходимо учитывать еще следующее важное обстоятельство. При определении спектральной чувствительности

фотоэлемента практически невозможно освещать его однородной лучистой энергией с одинаковой мощностью или с наперед заданным ее распределением. Напротив, мощность однородного света сильно различается и оказывается, например, очень ослабленной в фиолетовой части и усиленной

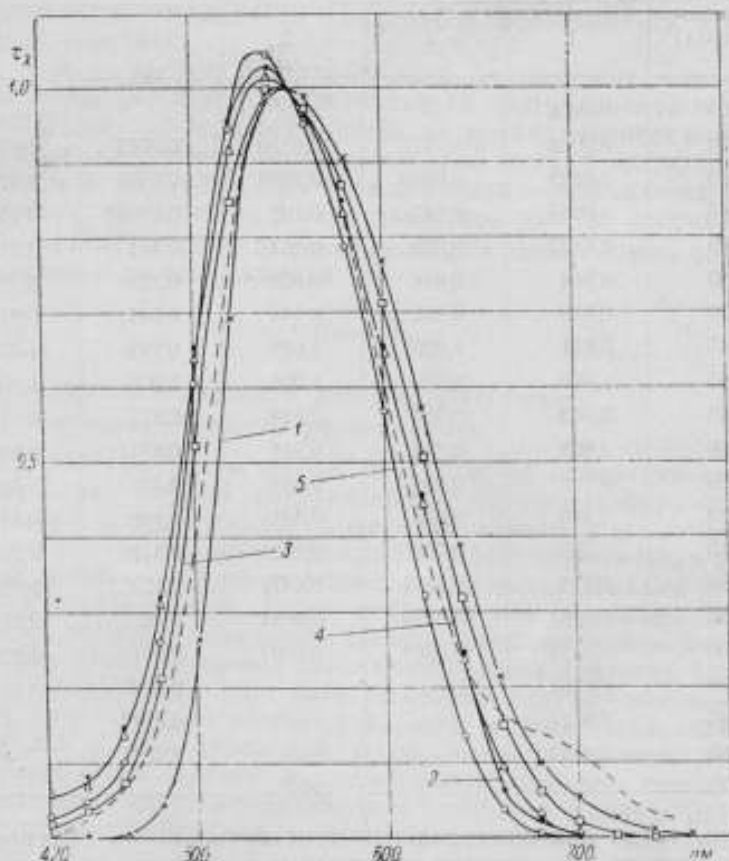


Рис. 2. Спектральные характеристики жидких фильтров:

	K_2CrO_4	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$
1	0,07 г	3,4 г
2	0,06 г	5,0 г
3	0,06 г	7,0 г
4	0,07 г	4,0 г
5	0,07 г	5,0 г

в красной. Вместе с тем чувствительность по краям спектра мала. Поэтому электрические токи при таких измерениях оказываются сравнительно значительными в средней части спектра и малыми по краям. При таких условиях пропорциональность между освещенностью и силой тока нарушается. Определение

спектральной чувствительности, следовательно, производится с ограниченной точностью, выявить которую в числах довольно трудно. Отсюда вытекает, что и подгонка исправляющего поглотителя по краям спектра не может быть произведена с достаточной точностью.

В итоге фотометрическая лаборатория пришла к выводу, что подгонка поглотителя по спектральным данным применима для случаев последующего измерения источников света, не сильно различающихся по спектральному составу. В случае же наличия значительной разницы необходимо проверять фотоэлемент с поглотителем по подходящим разноцветным источникам, силы света которых заранее определены другими способами (например, в соответствии с принятым в лаборатории способом разноцветных световых измерений.)

Выбранный в дальнейшем способ световых измерений, пригодный для ряда случаев, не требовал обязательного применения фотоэлемента с поглотителем. Поэтому последний несколько утратил свое значение в пределах настоящей работы, но, конечно, поглотитель указанных выше составов не потерял своей ценности при других работах.

Световые измерения с селеновыми фотоэлементами

В простейшем случае селеновый фотоэлемент, замкнутый на соответствующий электронизмерительный прибор, представляет собой устройство, которое может непосредственно использоваться для некоторых световых измерений. Показания прибора при этом, очевидно, будут зависеть от величины светового потока, падающего на светочувствительную поверхность фотоэлемента. Однако, за редким исключением, такое упрощенное решение вопроса не позволяет получить удовлетворительные результаты и обычно не дает должной точности. Чтобы иметь надежные результаты измерений требуется так выбрать электронизмерительный прибор, чтобы создать для фотоэлемента режим его работы, обеспечивающий условия прямой пропорциональности между фототоком и освещенностью. Обыкновенно прибор должен иметь такое малое внутреннее сопротивление, чтобы фотоэлемент находился в режиме работы, близком к короткому замыканию. Лишь в этом, последнем, случае зависимость фототок — освещенность будет выражаться прямой линией, наклон которой относительно координатных осей, естественно, зависит от общей чувствительности фотоэлемента.

Индивидуальные свойства селеновых фотоэлементов порой делают затруднительным (а иногда вообще невозможным) надлежащий подбор режима работы фотоэлемента.

Полученные в процессе изучения и исследования некоторых взятых для работы фотоэлементов зависимости фототок — освещенность, приведенные на рис. 3, показывают степень

наличия пропорциональности в каждом случае. Один и тот же чувствительный микроамперметр с внутренним сопротивлением 18,1 ом при указанном на рис. 3 диапазоне освещенностей в трех случаях обеспечивает нужный режим, тогда как в одном случае режим работы фотоэлемента явно не удовлетворителен.

Уместно остановиться еще на одном свойстве фотоэлемента, учет которого необходим в любых случаях работы с селеновым фотоэлементом. Имеется в виду присущее светочувствительной поверхности селенового фотоэлемента отсту-

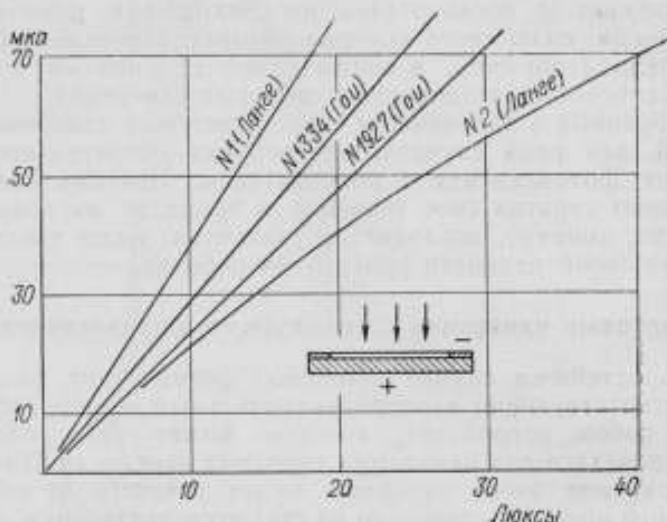


Рис. 3. Зависимость фототок — освещенность.

пление от косинусной зависимости, обусловленное как физической структурой этой поверхности, так и экранирующим действием контактного кольца, положенного на край светочувствительного слоя. Приведенные на рис. 4 кривые построены по данным измерений для трех фотоэлементов, причем там же приведена теоретическая кривая. Из этих кривых можно видеть, что у исследованных фотоэлементов отступление от теоретической зависимости становится заметным при падении света на фотоэлемент примерно под углами к нормали, большими 40° , и это отступление достигает $35-45\%$ при углах порядка $75-80^\circ$. Однако нужно помнить, что столь удовлетворительные результаты получаются сравнительно редко. Чаще бывает большее отступление. Поэтому необходимо приемную поверхность фотоэлемента располагать по возможности нормально к направлению падающего на него света или же, в отдельных случаях, под определенным одним и тем же углом.

В соответствии с наперед поставленной задачей использования селенового фотоэлемента для измерения силы света (или светового потока) источников по методу замещения, считалось правильным выбрать такой путь его использования, чтобы фотоэлемент позволял непосредственно находить равенство сравниваемых световых величин.

Хорошо известно, что селеновые фотоэлементы обладают свойством утомляемости; показания их меняются с течением времени (например, в течение первых 0,5—2 мин.) и сильно зависят от предшествующих условий освещения и отдыха.

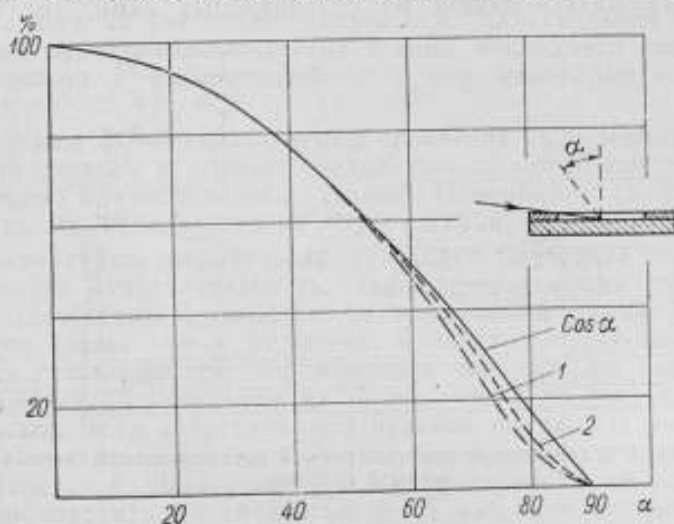


Рис. 4. Подчинение закону косинуса для фотоэлементов:
1 — № 1234 ГОИ; 2 — № 1927 ГОИ и № 1 Ланге.

Как правило, для сколько-нибудь точных работ селеновые фотоэлементы непригодны, если не применить их в таких условиях, в которых отмеченные выше недостатки могут утратить свое влияние на конечный итог: в условиях способа замещения. Вот почему последний и положен в основу.

Было бы излишним останавливаться здесь на разборе всех мыслимых и сравнительно известных методов и схем включения фотоэлементов. Поэтому укажем лишь на одну из схем, которая, после предварительных исследований, была положена в основу дальнейшей работы.

Если два фотоэлемента соединить последовательно и между соединяющими их проводниками включить гальванометр, то при равенстве фототоков, создаваемых освещенными фотоэлементами, разность потенциалов на зажимах гальванометра окажется равной нулю. Каждый из фотоэлементов в этом случае будет являться коротко замкнутым, что, как указывалось, наиболее желательно. Равенство фототоков, на-

пример, может быть при одинаковой освещенности фотоэлементов и одинаковой их суммарной чувствительности. Такой случай на практике фактически никогда не бывает. Практически, однако, такое равенство можно получить за счет изменения величины освещенности на одном или обоих фотоэлементах (теми или иными известными средствами).

Был изготовлен пробный образец фотоэлектрического фотометра, в котором два фотоэлемента электрически соединены между собой и с гальванометром по только что указанному принципу. Один из фотоэлементов (рабочий) может поочередно освещаться любой из сравниваемых ламп, тогда как

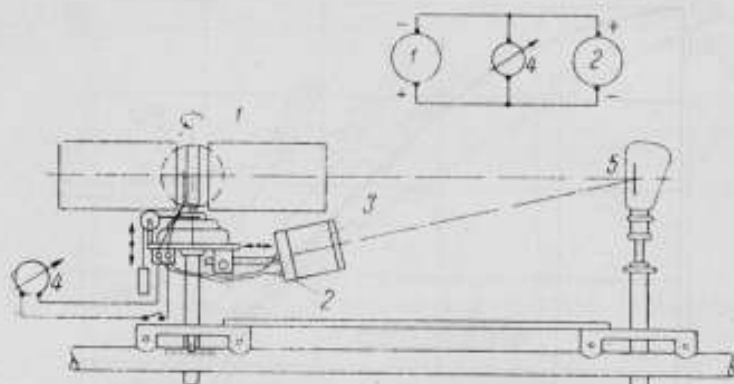


Рис. 5. Упрощенный чертеж пробной фотоэлементной светомерной головки.

другой (компенсирующий) все время освещается только одной из ламп. На обычной тележке светомерной скамьи установлено особое механическое приспособление, позволяющее поворачивать на 180° укрепленный на оси этого приспособления фотоэлемент 1 (рис. 5). Для поворота предусмотрена гибкая тяга, находящаяся под воздействием взаимно уравновешивающих друг друга пружины и грузов. При поднятом вверх грузе пружина обеспечивает установку светочувствительной поверхности фотоэлемента в направлении одной лампы (лампы сравнения 5), тогда как опускание этого груза переводит фотоэлемент в другое положение. Для защиты фотоэлемента от постороннего рассеянного света имеются два патрубка, покрытые изнутри черным бархатом и обращенные в противоположные стороны. На той же тележке, под патрубком, обращенным к лампе сравнения, помещен второй фотоэлемент 2, скрепленный с кремальерным приспособлением, предназначенным для плавного изменения (в известных пределах) расстояния между фотоэлементом и лампой сравнения. Последний фотоэлемент имеет трубчатую насадку, защищающую его от рассеянного света и перекрытую серым поглотителем 3.

Последовательно включенные между собой фотоэлементы электрически соединены с гальванометром 4 так, что его показание равно нулю при равенстве фототоков в цепях фотоэлемента.

Совершенно очевидно, что выбор гальванометра для работы в данных условиях не связан с особыми требованиями, но гальванометр должен быть, конечно, достаточно чувствительным. Был применен зеркальный гальванометр з-да „Эталон“ с внутренним сопротивлением около 50 ом, с токовой чувствительностью около $5 \cdot 10^{-9}$ а/мм, со шкалой, удаленной от него на расстояние около 6 м. Для создания лучших условий работы гальванометра в цепь последнего вводились параллельно и последовательно с ним некоторые сопротивления.

Тележки фотометра и лампы сравнения были между собой жестко связаны и потому, следовательно, могли вместе перемещаться по светомерной скамье. Измеряемая лампа устанавливалась неподвижно на конце скамьи.

Такая светоизмерительная установка позволяла иметь достаточную чувствительность, характеризующуюся тем, что при нахождении фотометра от измеряемой лампы на расстоянии около 1 м и условиях, близких к отсутствию тока в цепи гальванометра, перемещению тележки по скамье на 1 мм отвечало смещение на 20 мм указателя гальванометра по шкале. Если допустить, что нулевое положение указателя гальванометра по шкале в момент равенства фототоков устанавливается с точностью ± 1 мм (фактически же возможно это производить и с точностью $\pm 0,5$ мм), точность установки расстояний на светомерной скамье оказывается порядка $\pm 0,005\%$.

Уместно подчеркнуть, что такая повышенная чувствительность создавала и известную трудность, а именно, при всей тщательности юстировки установки нельзя было полностью обеспечить устойчивость нуля при перемещении тележек по скамье. Ничтожные взаимные смещения фотоэлемента и лампы сравнения, происходящие за счет несовершенной обработки основных подвижных и иных деталей светомерной скамьи, и отступления вследствие этого от прямолинейности и поступательности перемещения источника света (в данном случае — на пробной установке — неустрашимых) вызывают появление тока в цепи гальванометра, т. е. взаимная компенсация фототоков нарушается.

Надлежащим образом выбранный порядок выполнения измерений, однако, дал возможность свести до минимума влияние этого нежелательного обстоятельства. Шкала гальванометра помещена непосредственно у светомерной скамьи таким образом, что наблюдатель видит ее перед собой и поэтому в состоянии сам следить за перемещением по ней указателя

(зайчика) гальванометра. Чтобы устранить большие отклонения гальванометра в моменты значительного нарушения равновесия фототоков (например, при поворачивании фотоэлемента из одного его положения в другое), в цепи гальванометра предусмотрен размыкающий эту цепь выключатель, также укрепленный на тележке фотометра.

При измерениях наблюдатель, прежде чем повернуть фотоэлемент, всякий раз предварительно размыкает цепь гальванометра, а затем вновь замыкает ее и добивается отсутствия тока в гальванометре.

Порядок измерений следующий. При обращенном к лампе сравнения рабочем фотоэлементе добиваются отсутствия отклонения гальванометра, для чего устанавливают с помощью кремальберного приспособления компенсирующий фотоэлемент в нужное положение. После этого, не трогая компенсирующий фотоэлемент, возможно быстро поворачивают рабочий фотоэлемент в сторону измеряемой лампы и вновь добиваются отсутствия отклонения гальванометра, на этот раз за счет перемещения всего устройства по светомерной скамье. Наблюдения повторяются в том же порядке несколько раз. Строго говоря, достигнутую чувствительность в измерениях трудно использовать в полной мере, ибо имеющиеся обычно на светомерных скамьях шкалы дают возможность производить отсчеты с точностью лишь $\pm 0,2$ мм. Положение в известной мере могут улучшить нониусный и оптический отсчеты. В настоящей работе, когда использовалось только пробное устройство, пришлось ограничиться лишь отсчетом с помощью лупы, ибо иначе потребовалось бы произвести заметные конструктивные переделки в имеющемся оборудовании. Последнее имеется в виду сделать в дальнейшем при использовании конструктивно вполне оформленной установки для некоторых текущих поверок.

После ряда многих предварительных испытаний установка была проверена в условиях, обычных для поверочных световых измерений. При этом ставилась задача выяснить точность световых измерений фотоэлектрическим фотометром и устойчивость результатов при повторных измерениях.

В соответствии с имевшимся в лаборатории запасом поверенных (несколько месяцев назад) ламп были взяты для последующих измерений фотоэлементами лампы типа № 5 (107 в, 100 св) с цветовой температурой 2360° К. Упомянутые лампы сличались с двумя группами образцовых ламп силы света типов №№ 3 и 5, имеющих также цветовую температуру 2360° К. Стремление получить больше материалов для обоснования итоговых выводов и учета некоторых присущих установке особенностей побудило некоторые лампы измерять по два и три раза. В частности, чтобы исключить возможное влияние времени между моментами измерений образцовых и поверяемых ламп, упомянутые лампы измерялись попеременно.

Поглотитель не применялся. Измерение каждой из ламп фотоэлементами производилось как одним, так и двумя лицами, причем каждым делалось по несколько (6—10) отсчетов. Установлено при этом, что расхождение между наблюдениями было или ничтожно мало (0,01%) или отсутствовало совсем, поэтому признается допустимым вести измерения вообще только одним человеком.

Отсчеты расстояний в каждой серии наблюдений отличались друг от друга лишь в десятых долях миллиметра, а именно на 0,1—0,2 мм или примерно на $\pm 0,01\%$. Небольшая часть результатов взаимных измерений и соответствующих промежуточных подсчетов приведена в прилагаемой табл. 2.

На основании полученных в данном случае материалов можно считать, что в пределах любой из групп одного и того же типа измеренных ламп (образцовых и поверяемых) среднее расхождение между значениями силы света, измеренной глазом и фотоэлементом, не превышает $\pm 0,1—0,15\%$, что нужно признать лежащим в пределах точности измерений и вполне удовлетворительным.

Вместе с тем, однако, обнаружилось расхождение около 0,4% (см. табл. 2) между результатами измерений силы света (глазом и фотоэлементом) для ламп типа № 5, сличенных с образцовыми лампами того же типа.

Такое расхождение могло произойти из-за некоторой разницы в условиях измерений глазом и фотоэлементами. Оно могло быть и случайным или же, в той или иной части, оно может быть отнесено и за счет погрешности измерений с помощью глаза. В равной мере можно думать, что цветовая температура поверяемых ламп была отлична несколько от таковой образцовых ламп, так как стекло колб разное.

Более определенное объяснение этому будет дано в процессе дальнейшего (больше конструктивного) усовершенствования светоизмерительной установки перед окончательным вводом ее в эксплуатацию для поверочных работ. Имеется в виду установка с разработанной на основе пробного образца фотоэлементной светомерной головкой, изготовленной на з-де „Эталон“ (с участием конструкторов инж. В. А. Селютин и инж. Д. И. Захарова). Общий вид такой головки изображен на рис. 6. Фотоэлементная светомерная головка со снятым кожухом показана на рис. 7.

При вполне удовлетворительной точности световых измерений разработанный способ для поверочных работ дает заметное сокращение затрат рабочего времени на измерения и обработку результатов.

Ясно, что без принятия особенных предосторожностей, как в данной части опыта, можно получить ощутимую погрешность.

Факт пригодности разработанного способа измерений силы света электрических ламп накаливания сам по себе уже опре-

Таблица 2

Результаты измерений силы света электрических ламп накаливания фотоэлементным фотометром

Тип лампы	Номер лампы	Освещенность на фотоэлементе (в люксах)	Сила света (в свечах)		Разность	
			по измерениям глазом	по средней освещенности фотоэлемента	сила света	проценты
3	П-3-11	54,16 ₈	31,79	31,72	-0,07	-0,2 ₂
3	П-3-12	53,96 ₂	31,58	31,63	+0,05	+0,1 ₅
3	П-3-13	54,00 ₇	31,78	31,80	+0,02	+0,0 ₇
	Среднее	54,04 ₅	—	—	—	±0,1 ₀ ¹
5	П-4-10	54,83 ₉	93,64	93,60	-0,04	-0,0 ₄
5	П-4-9	54,89 ₂	93,31	93,17	-0,14	-0,1 ₅
5	П-4-8	54,78 ₁	93,48	93,53	+0,05	+0,0 ₀
5	П-4-10	54,73 ₃	93,64	93,77	+0,13	+0,1 ₄
	Среднее	54,81 ₀	—	—	—	±0,01 ₀ ¹
5	11	55,11 ₈	86,45	86,33	-0,12	-0,1 ₄
5	12	54,98 ₂	89,64	89,72	+0,08	+0,0 ₀
5	13	55,16 ₇	87,53	87,32	-0,21	-0,2 ₂
5	14	54,95 ₂	92,26	92,40	+0,14	+0,1 ₀
5	11	55,11 ₀	86,45	86,33	-0,12	-0,1 ₄
5	12	54,97 ₂	89,64	89,75	+0,11	+0,1 ₂
5	12	54,97 ₂	89,64	89,75	+0,11	+0,1 ₂
5	11	55,02 ₇	86,45	86,48	+0,03	+0,0 ₃
	Среднее	55,03 ₈	—	—	—	±0,01 ₀ ¹
5	11	54,81 ₀	86,45	85,97	-0,48	-0,5 ₀
5	12	54,81 ₀	89,64	89,35	-0,29	-0,3 ₀
5	13	54,81 ₀	87,53	86,96	-0,57	-0,6 ₀
5	14	54,81 ₀	92,26	92,02	-0,24	-0,2 ₀
5	11	54,81 ₀	86,45	85,97	-0,48	-0,5 ₀
5	12	54,81 ₀	89,64	89,38	-0,26	-0,2 ₀
5	12	54,81 ₀	89,64	89,38	-0,26	-0,2 ₀
5	11	54,81 ₀	86,45	86,12	-0,33	-0,3 ₀
	Среднее	—	—	—	—	-0,4 ₂ ²

¹ Разность при измерениях ламп одной группы.

² Расхождение между двумя разными группами ламп.

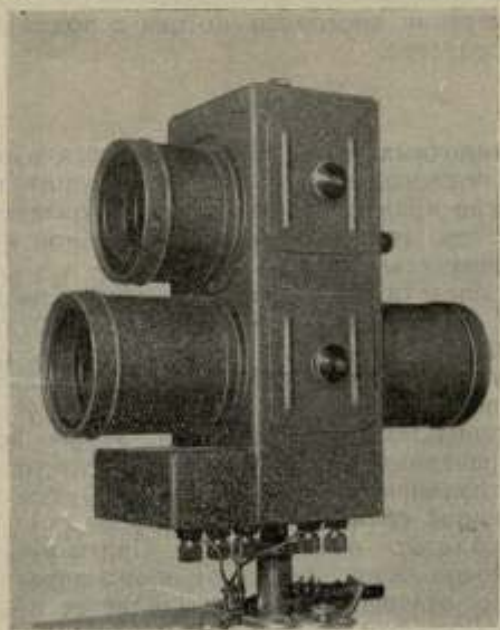


Рис. 6. Фотоэлементная светомерная головка.
Общий вид.

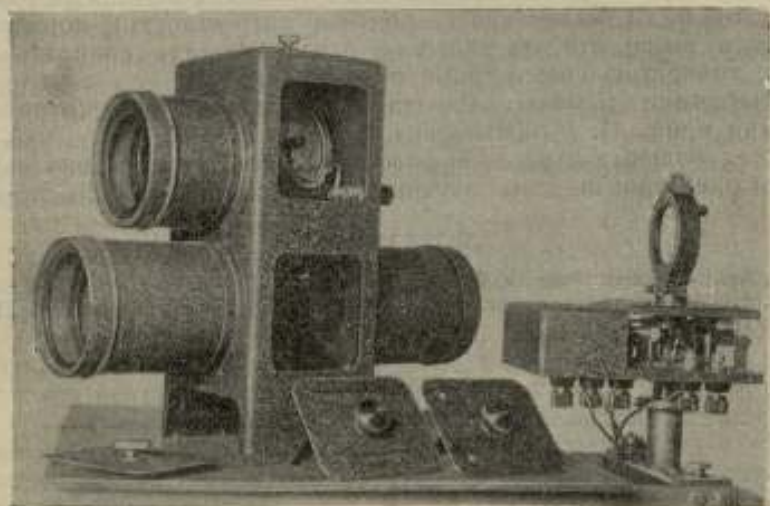


Рис. 7. Фотоэлементная светомерная головка. Кожух головки снят.

делает полную возможность использования способа и прибора также для измерения светового потока в подходящем измерительном устройстве.

Выводы

1. Для поверочных работ, заключающихся в определении силы света или светового потока светоизмерительных ламп, вполне возможно применять селеновые фотоэлементы с жидким поглотителем для подгонки спектральной чувствительности к среднему глазу.

2. Жидкий поглотитель состоит из водного раствора хлорной меди 5—7 г и двуххромовокислого калия 0,05—0,07 г на 100 мл дистиллированной воды при толщине слоя 10 мм.

3. Чтобы устранить неустойчивость селеновых фотоэлементов, влияние предшествующего освещения, утомляемость, влияние изменения температуры и т. д., лучше всего применять распространенный в поверочном деле способ замещения: селеновый фотоэлемент поочередно освещается измеряемой лампой или лампой сравнения. Перемена света от обеих ламп должна производиться очень быстро. При измерениях добиваются одинаковой освещенности от обоих источников света.

4. Равенство освещенностей определяется по показаниям гальванометра (нулевым во время равенства). Для этого измерительный фотоэлемент включается последовательно с вспомогательным, освещаемым от некоторого постоянного источника света.

5. При некоторых благоприятных условиях можно достигнуть точности измерений (вероятная погрешность) порядка 0,03% и выше, что, однако, уже ограничивается свойствами ламп, точностью светомерной скамьи и т. д.

Участники работы. Работа выполнена при некотором участии проф. П. М. Тиходеева.

Спектральные измерения коэффициентов пропускания поглотителей произведены научным сотрудником З. Н. Энно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jour. of Scient. Instr., т. 23, № 9, 1946, стр. 211—216.
2. Procés—Verbaux d. Séan. Com. Intern. d. Poids et Mesures, т. XX, 1946, стр. 74—75.

ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОТНОШЕНИИ ДОСТИЖЕНИЯ ИХ ЕДИНООБРАЗИЯ (ЕДИНСТВА)¹

(Метрологическая и поверочная сторона цветовых измерений)

Общая и прикладная метрология отмечают две особенности цветовых измерений:

1) отсутствуют единицы цвета для количественных измерений, подобные существующим для физических величин, включая световые; применяемые в цветовых измерениях „единичные количества цвета“ не одинаковы по назначению и по содержанию понятия с обычными единицами измерений;

2) если измерения производятся с помощью глаза (как это пока чаще всего бывает), то собственная цветная чувствительность, свойственная каждому наблюдателю, производящему измерения, неизбежно приносит и собственное количественное влияние.

Общая и прикладная метрология должны дать ответ: каким образом может быть обеспечено наибольшее возможное единообразие (или единство) цветовых измерений.

Под этим понимаются, как известно, одинаковые определения или оценки одних и тех же цветов, что в цветовых измерениях называется одинаковыми количественными измерениями цветов.

Международная комиссия по освещению в 1931 г. пришла к соглашению относительно единообразного обозначения цветов, исходя из трех основных долей цветовых восприятий, взятых как среднее для нескольких наблюдателей.

Эти исходные данные не были получены в возможно более совершенных условиях, они пересматриваются и ожидаются некоторые изменения².

Надо указать вместе с тем, что решение Международной комиссии по освещению уже получило распространение по всем странам (включая СССР), где производятся цветовые измерения и расчеты.

¹ Имеются в виду только измерения помощью трехцветных колориметров (как более распространенные), притом с участием глаза.

² См. статью В. Е. Карташевской в данном сборнике.

Три доли основных цветовых восприятий даются, и это общепринято, для чистых спектральных цветов и для них же получены из опыта. Эти данные являются, таким образом, первоисточником для единообразного обозначения цветов. Естественно поэтому чистые спектральные цвета, как вполне определенные цвета и при том точно определяемые длинами волн света, принять за основу для поверки (и градуировки) колориметров.

Однако из опыта известно, что помощью колориметров — тем более трехцветных — обыкновенно не приходится измерять не только спектральные, но и близкие к ним цвета.

Между тем основное правило поверочного дела гласит, что надо верить прибор на тех его показаниях, которые чаще всего встречаются при работе с ним, или же возможно близки к таким показаниям. На этом основании надо считать, что поверка колориметров по чистым спектральным цветам применима в ограниченном числе случаев и не всегда является наиболее подходящей по условиям использования колориметров и по наличию требующихся приборов (например, двойных монохроматоров).

Для осуществления единообразия нужны и другие средства поверок. Вполне естественно применять цветовые поверочные образцы, цвета которых подбираются возможно ближе к действительно измеряемым.

Поверочные образцы — это цветные стекла или сжатые цветные порошки или выкраски из прочных красителей. Стекла наиболее подходят, так как более стойки. Поверочным цветом является также и цвет источника света, применяемого при цветовых измерениях.

Цвета поверочных образцов определяются во ВНИИМ на основании измерения их спектральных коэффициентов отражения или пропускания. Такой способ измерения цвета гораздо более трудоемок, чем на образцовом колориметре. Но пока надобность в поверочных образцах невелика, а вместе с тем спектральные измерения теперь производятся с большой точностью, и потому международное обозначение цвета с помощью спектральных измерений и необходимых вычислений может быть дано с большой точностью — большей, чем на образцовом трехцветном колориметре несколькими наблюдателями. Однако надобно сказать, что данное положение ныне пересматривается. Возможно, что кроме расчетных значений для поверочных образцов впоследствии будут определяться цвета и опытным путем (например, на шестиконечной скамье для разноцветных световых измерений)¹.

При поверке по немногим (3—5) чистым спектральным цветам личная особенность цветовой чувствительности наблю-

¹ См. статью П. М. Тиходеева „Разноцветные световые измерения“, стр. 17.

дателя сказывается сильнее, чем по поверочным образцам, отражающим или пропускающим относительно широкие участки видимого спектра.

Хотя обычно и градуируется трехцветный колориметр только по трем (и иногда четырем) цветам, однако, с точки зрения метрологического дела это допустимо лишь, если поверочные цвета очень близки друг к другу и если, равным образом, измеряемые прибором цвета близки к ним.

Число и цвет поверочных образцов должны устанавливаться применительно к особенностям поверяемого колориметра, а равно и сообразно потребностям в точности измерений; последняя же устанавливается соответственно тому, что обслуживает колориметр. Следовательно, если некоторый стандарт (правила и инструкции) предусматривает измерение или определение цвета, то он должен содержать и точность измерений.

Можно считать, что лабораторный колориметр для широкой области цветов следует поверять и градуировать по 7—12 поверочным образцам. В таком случае один-два наблюдателя при цветовой чувствительности, даже несколько отличающейся от среднего глаза, будут давать измерения достаточно близкие к среднему глазу. Если глаза наблюдателей не исследованы на цветовую чувствительность, то тем более необходимо увеличивать число поверочных образцов. Смысл их применения прежде всего и заключается в уменьшении влияния на измерения особенностей глаз наблюдателей. Но, конечно, остается и другое назначение их: определять и устранять погрешности самого прибора, не зависящие от наблюдателя.

При наличии многих поверочных образцов должно быть и соответственное число градуировок. Определение любого цвета производится на основании градуировки колориметра по трем наиболее близким поверочным образцам. В таком случае измерение на колориметре сводится к интерполированию между близко расположенными цветами поверочных образцов, более точно измеренных (по спектральным коэффициентам или иначе). Чем меньше область для интерполирования, тем ближе окажется измерение цвета данным наблюдателем к измерениям „средним глазом“.

Если бы градуировка по одним поверочным образцам мало отличалась (по сравнению с требуемой точностью измерений) от градуировки по другим или если бы применялось малое число поверочных образцов, например 4—5, то можно было бы ограничиться единственной градуировкой прибора. Такая градуировка отличается от разработанной способами Айвса и Гилда тем, что производится уравнивание для вычисленных цветов прибора, как это принято при избыточном числе уравнений на основе способа наименьших квадратов.

Содержание поверки колориметров

Обыкновенно колориметры не дают отсчетов цвета непосредственно в международных или иных обозначениях. Поэтому поверка их равнозначна градуировке, повторной, если перед ней была заводская. Поэтому, а также в связи с тем, что градуировка и сами измерения на колориметре зависят от личных особенностей наблюдателя, поверка его несколько отличается от обычных. Такая поверка, выполняемая в порядке ведомственном или государственной службы мер и весов, должна заключаться в следующем.

1. а) Путем наружного осмотра и опробования перемещения движущихся частей прибора устанавливаются его исправность, чистота и готовность к длительному пользованию.

Требования к колориметрам в этом отношении сходны с обычными для оптико-механических и фотометрических приборов.

б) Источник света должен иметь отдельное удостоверение о поверке во ВНИИМ.

2. Определяется зависимость между несколькими показаниями шкалы прибора для каждого цвета (при раскрытии, например, отверстий перед ними) и количеством проходящего светового потока.

Пусть, например, количество красного цвета указывается одной шкалой. Тогда перед наружным источником света ставят такое же или возможно более похожее стекло, чтобы отсчеты по шкалам зеленого и синего цветов были возможно меньшими. Затем перемещают источник света на разные расстояния от поля сравнения, одновременно меняя показания прибора для достижения равенства яркости полей сравнения в приборе. Это позволяет сопоставить измерения освещенности от наружного источника света и внутреннего света, проходящего сквозь устройство для изменения количества цвета. Таким путем могут быть выявлены погрешности прибора, зависящие от его устройства.

Подобные погрешности могут быть ограничены теми или иными пределами в стандартах или технических условиях (как на приборы, так и на пользование колориметрами в частных случаях испытания сырья или изделий и т. д.).

3. Наконец, устанавливается наличие при приборе поверочных образцов (выверенных во ВНИИМ) в достаточном (4—12) количестве, различных по цвету. Они должны быть в исправном состоянии.

4. Глаза наблюдателей, казалось бы, также следовало проверить в отношении близости цветовой восприимчивости к среднему глазу. Однако в настоящее время не все стороны этого дела обстоятельно выяснены, в частности мало данных для установления пределов допустимых отклонений. При наличии у колориметра нескольких, притом разных пове-

рочных стекол, проверка глаз легко может быть произведена по взаимному согласию определений цвета одних и тех же стекол при градуировках колориметра по различным стеклам. Допустимые расхождения могут указываться в соответственных стандартах, правилах, инструкциях.

Правила для единообразия цветовых измерений

До настоящего времени правительственными учреждениями еще не издано каких-либо документов, относящихся к правилам для единообразия цветовых измерений. Это объясняется как отсутствием единиц в этой области измерений, так и пока еще относительно малой распространенностью трехцветного определения цвета в производственных условиях.

Тем не менее есть надобность, преимущественно для нужд научных и научно-технических, наметить возможное содержание таких правил о цветовых измерениях, которые могли бы способствовать их единообразию. В 1948 г. ВНИИМ наметил содержание этих правил. Однако дальнейшее их продвижение было приостановлено вследствие двух причин. Первая, главная, заключается в том, что международно принятые доли цветовых восприятий, как указывалось, в настоящее время пересматриваются. Вторая причина заключается в некоторой неопределенности в установлении источников света белого цвета. Те источники, которые приняты в условиях лабораторных цветовых измерений, например, с цветовой температурой 4800° или даже 6500°K часто не удовлетворяют производственные запросы. На производстве часто предпочитают пользоваться, правда довольно неопределенным, естественным „рассеянным дневным светом“ при более высокой цветовой температуре $7000\text{--}10000^\circ\text{K}$ и при большой освещенности $2000\text{--}3000\text{ лк}$. Однако довольно трудно осуществить искусственные источники света, которые могли бы воспроизводить подобный дневной свет. Пока общепринятым является лишь источник искусственного света в виде лампы накаливания с цветовой температурой в 2854°K (при $C_2 = 1,438$; значение последней постоянно время от времени принимается иным, соответственно чему меняется и число, указывающее цветovou температуру; ранее та же цветová температура указывалась как 2848°K при $C_2 = 1,435$, а позже — 2842°K при $C_2 = 1,432$).

Вместе с тем возможное основное содержание правил для единообразия цветовых измерений, кроме двух вышеуказанных вопросов, достаточно определилось. Дабы положить начало этому единообразию, ниже излагается существо возможных правил.

1. Точное определение цвета образца, если в том есть надобность, дается на основании спектральных коэффициен-

тов отражения или пропускания, с надлежащей точностью измеренных, и данных о составляющих цветовых восприятий (прежде называемых „кривых смещения“) для условного среднего наблюдателя.

2. Для практических измерений цветов применяются те виды колориметров, которые предусматриваются (или допускаются) в стандартах, правилах и инструкциях, содержащих те или иные требования к определению цветов.

3. Колориметры, на которых производятся измерения, выходящие за пределы выполняющей их лаборатории, должны быть снабжены набором поверочных цветных стекол, поверенных во ВНИИМ (в соответствии с п. 1), для возможности проверки (и градуировки) самого колориметра.

Примечание. Впредь до выпуска достаточного количества поверочных наборов цветных стекол допускается применение одного набора для обслуживания нескольких колориметров.

4. Поверочный набор образцов цветных стекол должен содержать такие образцы цветов, которые достаточно близки к цветам, обычно измеряемым на данном приборе. Более точные указания о наборе должны содержаться в соответственных (см. п. 2) стандартах, правилах и инструкциях.

5. К цветовым измерениям помощью глаза допускаются наблюдатели, у которых восприятие цветов достаточно близко к такому у условного среднего наблюдателя. Степень близости определяется на данном колориметре по поверочному набору цветных стекол, поверенному во ВНИИМ. Допускаемые отклонения в показаниях наблюдателя должны указываться в соответственных стандартах, правилах и инструкциях (п. 2).

6. Поверочный набор цветных стекол дает исходные данные для показаний колориметра. На колориметре при измерениях (соответственно пп. 3 и 4) определяют искомый цвет путем интерполяции между достаточно близко расположенными (в цветовом поле) поверочными образцами цветов. Соответственно этому, если свойства цветового восприятия данного наблюдателя несколько отличаются от условного среднего наблюдателя, — градуировка колориметра производится по трем поверочным образцам, которые наиболее близко расположены (в цветовом поле) к определяемому цвету.

Примечание. Для условного среднего наблюдателя достаточно градуировки колориметра по трем цветам. Для наблюдателя с отличающимся восприятием цвета отдельные градуировки делаются для цветов, заключенных внутри (в цветовом поле) каждого трех поверочных образцов, замыкающих измеряемые цвета. Таким образом, колориметр имеет несколько градуировок для всего цветового поля, разные для отдельных участков этого поля.

Источник света с известной цветовой температурой также служит для проверки показаний колориметра.

7. Спектрофотометры, применяемые для определения цвета, должны иметь набор поверочных стекол, цветных и серых, поверенных во ВНИИМ. И те и другие должны иметь спектральные коэффициенты пропускания в пределах (для всего набора) от 0,01 до 0,80. Содержание набора может устанавливаться теми стандартами, правилами и инструкциями, которые предусматривают выполнение спектрофотометрических измерений.

Эти правила могут содержать и указание точности спектрофотометрических измерений; в таком случае набор стекол должен обеспечивать возможность проверки спектрофотометра при заданных условиях.

8. Колориметр должен снабжаться запасным источником света (с известной цветовой температурой) для освещения измеряемых образцов цвета. Обычно применяемый (рабочий) источник света должен время от времени (через 30—100 часов работы) поверяться по запасному. Этот последний предназначен лишь для проверки рабочего источника.

9. Образцом белого цвета (при освещении его источником белого света) является сжатый порошок окиси магния или сернобариевой соли, в виде пластинки¹.

¹ Труды ВНИИМ, вып. 23 (39), 1939, стр. 111—114.

О ТОЧНОСТИ ОБЫЧНЫХ ГРАДУИРОВОК ТРЕХЦВЕТНОГО КОЛОРИМЕТРА ПО ТРЕМ ЦВЕТАМ И ПО ЧЕТЫРЕМ ЦВЕТНОСТЯМ

Введение

Измерение цвета на трехцветном колориметре предполагает возможность перехода от показаний прибора к международно принятой системе цветов. Для этого колориметры градуируются.

В связи с разработкой фотометрической лабораторией ВНИИМ правил поверки трехцветных колориметров представлялось полезным оценить обычные в неметрологических лабораториях способы градуировки по трем цветам или по четырем цветностям с точки зрения даваемой ими точности в определении координат цвета.

Колориметры бывают различных конструкций, но по принципу смешения цветов делятся на два основных класса: аддитивные и субтрактивные. В аддитивных колориметрах измеряемый цвет уравнивается цветом, полученным в результате сложения трех основных цветов прибора, взятых в надлежащих количествах, например, путем наложения трех потоков света, прошедших через три светофильтра. В субтрактивных колориметрах поле сравнения получается в результате последовательного прохождения потока света через цветные светофильтры.

Все трехцветные аддитивные колориметры градуируются единообразно, в то время как для градуировки субтрактивных колориметров, в силу сложности законов субтрактивного смешения цветов, не может быть указано общего способа. Поэтому общие исследования имеют в виду только аддитивные колориметры. Таковыми являются колориметры системы Л. И. Демкиной (лабораторного и заводского типа), системы М. М. Гуревича, системы Н. Т. Федорова, колориметр ВЭИ и из иностранных — Айвса, Гилда, Дональдсона, Рихтера и др.

Известны три способа градуировки колориметров, применяемые на практике. Самым простым способом является

определение координат цветов прибора на основании непосредственного измерения соответствующих светофильтров прибора на спектрофотометре. Этот способ считается неточным, потому что не учитывает возможного селективного поглощения оптической системой прибора и селективности отражений белыми экранами.

В инструкции [1, 2] к колориметру системы Л. И. Демкиной описан способ градуировки по трем известным цветам. Координаты этих цветов, выраженные в международной системе X, Y, Z для среднего наблюдателя, измеряются в системе цветов прибора, и таким образом устанавливается связь между двумя координатными системами в виде уравнений градуировки.

Смитом и Гиллом [4, 5] описан несколько иной способ градуировки. В этом способе связь между координатными системами прибора и международной устанавливается через измерение цветностей четырех заданных цветов. Обычно четвертая цветность выбирается белой, но в принципе можно брать любые четыре цветности, такие, чтобы никакие три из них не были линейно зависимы.

Оба последние способа градуировки должны дать одинаковый результат только в том случае, если свойства зрения реального наблюдателя, выполняющего градуировку, не отличаются от свойств среднего „стандартного“ наблюдателя. В противном случае эти способы дают несколько различные результаты.

Рассмотрим самый процесс градуировки и те причины, которыми определяется возникающее различие.

В способе градуировки по трем цветам отношение масштабов по осям X, Y, Z установлено для среднего наблюдателя, масштабы же по осям K, Z, C цветов прибора устанавливаются реальным наблюдателем, производящим градуировку.

Если основные цвета колориметра осуществляются светофильтрами и цвета поверочных цветных образцов по спектральному составу близки к цветам прибора, то измерения сводятся к уравнению двух полей, почти одинакового спектрального состава. При этих условиях индивидуальные особенности цветного зрения наблюдателя не могут заметно сказаться на градуировке.

В способе четырех цветностей установление масштаба по осям производится в менее благоприятных для реального наблюдателя условиях. Он должен нормировать основные цвета прибора путем измерения источника белого цвета, имея одну половину поля колориметра, образованную сплошным спектром, а другую, образованную смешением трех довольно узких участков спектра — цветов колориметра. Следствием этого различия спектральных составов может возникнуть систематическая ошибка, которая в дальнейшем скажется на результатах градуировки.

Из этих общих соображений следует, во-первых, что индивидуальные особенности наблюдателя проявляются резче в способе градуировки по четырем цветностям; и, во-вторых, наиболее благоприятным является выбор поверочных образцов цвета, близких к основным цветам прибора.

С другой стороны, необходимо учитывать обстоятельства практического характера. Цветности поверочных светофильтров не должны приближаться к границам треугольника, образованного основными цветами прибора, ближе, чем на расстояние порога. В противном случае уравнивание только цветами прибора приведет к одностороннему разбросу погрешностей или же потребует разбавления цвета поверочных образцов, что вносит добавочную погрешность.

Настоящая работа ставила своей целью подробно исследовать зависимость результатов градуировки от применяемого способа.

Работа проводилась во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии на лабораторном колориметре системы Л. И. Демкиной.

Влияние неточности спектрофотометрических измерений поверочных светофильтров на результаты градуировки колориметра

Определение координат цвета на основании спектрофотометрических коэффициентов пропускания (или отражения) света образца имеет преимущества перед непосредственными измерениями цвета на колориметре в смысле независимости результатов от особенностей цветного зрения наблюдателей. Поэтому цвета поверочных светофильтров обычно определяются расчетным путем по спектральным коэффициентам пропускания. В этом случае источником ошибок может явиться погрешность спектрофотометрических измерений.

По ряду причин (например, особенностей оптических систем спектрофотометров, различия в условиях освещения образцов и методов измерения) спектрофотометры в обычных (неметрологических) лабораториях могут давать несколько не совпадающие результаты [3].

Представляется интересным оценить влияние этих расхождений на результаты расчета координат цвета, в частности для поверочных светофильтров колориметра. Для этого спектральные коэффициенты пропускания трех поверочных светофильтров — красного, зеленого и синего — определялись на двух спектрофотометрах различных систем: зрительном системе ГОИ с линзовой оптикой и объективном (с селеновым фотоэлементом) с зеркальной оптикой фирмы Халле. Приборы были поверены на длины волн, но не на правильность показаний ослабления света, что для данной работы не имело особенного значения, как видно из дальнейшего.

Значения коэффициентов пропускания, полученные на спектрофотометре Халле, оказались выше почти по всему видимому спектру по сравнению со значениями, полученными на спектрофотометре системы ГОИ. Расхождения для некоторых длин волны достигали 5%.

Результаты расчета цвета, полученные по этим данным, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Координаты цвета поверочных светофильтров, полученные расчетным путем по данным измерений на спектрофотометрах ГОИ и Халле для источника света А (2854° К)

Цвет светофильтра	Спектрофотометры	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}	x	y
Красный КС-5	ГОИ	18,96	7,68	0,0012	0,712	0,288
	Халле	17,96	7,18	0	0,714	0,286
Зеленый ЗС-2	ГОИ	3,56	8,07	0,69 ₀	0,289	0,655
	Халле	3,88	8,40	0,70 ₁	0,299	0,647
Синий СС-5	ГОИ	2,85	1,78	15,2 ₅	0,143	0,089
	Халле	3,20	2,05	16,9 ₈	0,144	0,092

Данные таблицы показывают, что различные спектральные измерения приводят к заметному расхождению величины общего коэффициента пропускания (значения y), доходящему до 10%. В то же время из табл. 1 видно, что эти расхождения мало сказываются на результатах расчета цветностей.

Соответствующие различия в цветности практически лежат в пределах случайных погрешностей колориметрических измерений отдельного наблюдателя, и, кроме того, они значительно меньше расхождений результатов измерений разными наблюдателями. Таким образом, расхождения результатов спектрофотометрических измерений практически не столь заметно сказываются на результатах расчета цветностей.

Очевидно, условия спектрофотометрических измерений любых образцов должны быть строго согласованы с условиями колориметрических (в отношении хода лучей света и т. д.).

Совершенно очевидно, что неточности в спектрофотометрических данных поверочных светофильтров, не сказывающиеся на их цветности, не скажутся и на результатах градуировки колориметра по способу четырех цветностей, который не включает яркостных характеристик поверочных свето-

фильтров. В способе градуировки по трем цветам неточность в определении коэффициента пропускания также не повлияла бы на результат, если бы отношение общих коэффициентов пропускания трех образцов для обоих случаев спектрофотометрических измерений оставалось одинаковым, так как это различие исключалось бы градуировкой, как несколько иное положение источника света. Из табл. 1, например, видно, что эти отношения не сохраняются постоянными и, следовательно, различие спектрофотометрических данных может сказаться на результатах градуировки по способу трех цветов.

Для выяснения этого влияния была выполнена градуировка колориметра по трем поверочным светофильтрам с двумя рядами значений x , y , z , полученными из спектрофотометрических измерений соответственно на том и другом спектрофотометре. Градуировка была выполнена двумя наблюдателями, и расчет производился на основании средних значений. Впрочем, показания обоих наблюдателей расходились мало.

Таким образом были получены две несколько отличающиеся между собой градуировки колориметра:

По данным спектрофотометра ГОИ	{	$K = 0,922 X + 0,340 Y - 0,009 Z$
		$Z = 0,185 X + 0,575 Y + 0,058 Z$
		$C = 0,196 X + 0,035 Y + 1,138 Z$
По данным спектрофотометра Халле	{	$K = 0,857 X + 0,308 Y - 0,010 Z$
		$Z = 0,211 X + 0,593 Y + 0,058 Z$
		$C = 0,216 X + 0,099 Y + 1,248 Z$

Чтобы иметь представление о том, как это различие градуировок проявляется в различных областях цветной плоскости, был измерен ряд образцов и рассчитаны их цветности в системе x , y по обеим градуировкам. Результаты приведены в табл. 2.

Эти расхождения остаются того же порядка, как расхождения в цветности поверочных светофильтров. Таким образом, можно установить, что погрешности в определении цветных характеристик поверочных образцов также заметно не сказываются на результатах определения цветности при градуировке по способу трех цветов. (Влияние неточности в определении яркостных характеристик поверочных светофильтров на результаты определения на колориметре коэффициентов пропускания образцов пока не рассматривалось).

Можно сравнить измеренные на колориметре значения также с расчетными значениями, т. е. с результатами для среднего „стандартного“ наблюдателя, приведенными в последней строке табл. 2 для трех цветов. Это сравнение указывает на большее расхождение значений, измеренных на колориметре, от рассчитанных.

Причиной этих расхождений, наряду с естественным отклонением результатов отдельных наблюдателей от результатов среднего, стандартного глаза, можно предполагать ошибки

Таблица 2

Влияние неточности спектрофотометрических измерений поверочных светофильтров на определение координат цветности с помощью колориметра

Способ градуировки	Спектрофотометрические данные на приборе	Измеренные образцы									
		Источник А		СС-4		ЗС-3		RG-6		ЖЗС-5	
		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Три цвета	ГОИ Халле	0,451	0,428	0,170	0,092	0,253	0,502	0,566	0,343	0,468	0,471
		0,444	0,427	0,169	0,095	0,258	0,489	0,562	0,346	0,463	0,473
Стандартный наблюдатель (средние значения обоих спектрофотометров)		0,448	0,407	—	—	0,238	0,531	0,577	0,338	—	—

спектрофотометрирования на границах поглощения светофильтров.

Для выяснения этой последней возможности была произведена градуировка колориметра одним наблюдателем по способу четырех цветностей: по спектральным линиям ртути $\lambda = 541$ нм, $\lambda = 432$ нм, красному светофильтру, воспроизводящему цветовой тон $\lambda = 700$ нм и цветности источника А. Наряду с этим также были обработаны средние результаты, используемые в предыдущей градуировке по трем поверочным светофильтрам. В методе четырех цветностей была опущена их яркостная характеристика и привлечена в качестве четвертой цветности источника А. Приводим результаты этих градуировок:

$$\begin{array}{l} \text{По спектральным} \\ \text{линиям} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} K = 0,909 X + 0,328 Y + 0,000 Z \\ Z = 0,187 X + 0,590 Y + 0,073 Z \\ C = 0,301 X + 0,082 Y + 1,639 Z \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} \text{По насыщенным цветам} \\ \text{светофильтров} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} K = 0,868 X + 0,320 Y - 0,013 Z \\ Z = 0,163 X + 0,530 Y + 0,042 Z \\ C = 0,295 X + 0,149 Y + 1,661 Z \end{array} \right.$$

Оказалось, что обе эти градуировки практически совпадают между собой, но сильно отличаются от градуировки по способу трех цветов, основанной на измерениях тех же поверочных образцов с добавлением яркостной характеристики. Это проявилось на результатах колориметрических

измерений двух голубых стекол сорта СС-2, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Результаты колориметрических измерений двух голубых стекол сорта СС-2

Способ градуировки	Поверочные цвета	Образец 1		Образец 2	
		x	y	x	y
4 цветности	Поверочные светофильтры	0,390	0,373	0,309	0,307
	Линии ртути	0,389	0,372	0,311	0,305
3 цвета	Поверочные светофильтры	0,414	0,404	0,341	0,352
Расчетные значения		0,404	0,389	0,332	0,341

Эти данные показывают, что заметное расхождение результатов определения цветности получается от различия методов градуировки.

Совпадение результатов определения цветности образцов 1 и 2 на основании градуировки по методу четырех цветностей, выполненных один раз с фильтрами, а другой раз со спектральными линиями, указывает на отсутствие заметного влияния неточности спектрофотометрирования на границах областей поглощения в светофильтрах.

Следовательно, остается считать вероятной причиной упомянутых выше расхождений индивидуальные особенности цветного зрения наблюдателей. Обнаруженные заметные расхождения двух способов градуировки, повидному, объясняются этой же причиной, как отмечено в самом начале.

Устранение индивидуальных особенностей цветного зрения наблюдателей при градуировке и сравнение различных способов градуировки

В результате всего предыдущего представляется возможным сформулировать следующие два положения.

1. Небольшие погрешности спектрофотометрических измерений поверочных светофильтров заметно не сказываются в конечных результатах измерения цветностей колориметрами при обоих способах градуировки.

2. Различия результатов градуировки по различным способам вызываются индивидуальными особенностями зрения наблюдателя, производящего градуировку.

Если это действительно так, то привлечение большого числа наблюдателей при градуировке должно сгладить индивидуальные особенности и дать совпадение градуировок по обоим методам.

Шесть наблюдателей измерили на колориметре цвета десяти образцов стекол в сочетании с источником А. Эти результаты, с одной стороны, служили наглядной иллюстрацией порядка возможных расхождений результатов самих колориметрических измерений в силу особенностей цветного зрения реальных наблюдателей.

Результаты этих измерений представлены в табл. 4 в системе цветов прибора и на рис. 1. Они выражают собой средние из пяти последовательных уравниваний.

В качестве спектрофотометрических данных для расчета координат цвета поверочных светофильтров были приняты средние значения измерений на двух вышеуказанных спектрофотометрах.

Был произведен расчет градуировки по поверочным светофильтрам обоими способами, при этом в случае способа четырех цветностей дополнительно бралась цветность источника А.

Результаты этих градуировок следующие:

$$\begin{array}{l} \text{По способу 3-х цветов} \\ \text{По способу} \\ \text{4-х цветностей} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} K = 0,955 X + 0,350 Y + 0,004 Z \\ Z = 0,176 X + 0,541 Y + 0,076 Z \\ C = 0,215 X + 0,109 Y + 1,23 Z \\ \\ K = 0,926 X + 0,334 Y + 0,002 Z \\ Z = 0,200 X + 0,578 Y + 0,175 Z \\ C = 0,180 X + 0,088 Y + 1,044 Z \end{array} \right.$$

Таблица 4

Особенности цветного зрения наблюдателей

Наблюдатели	Образцы									
	Источник А		ПС-3		СС-3		СЗС-2		ЗС-3	
	к	з	к	з	к	з	к	з	к	з
НВЛ	0,382	0,527	0,362	0,154	0,085	0,345	0,080	0,643	0,057	0,814
ЕНЮ	0,402	0,510	0,380	0,185	0,090	0,324	0,083	0,650	0,069	0,800
ЗНЭ	0,367	0,535	0,331	0,141	0,073	0,310	0,078	0,676	0,042	0,915
ВЕК	0,361	0,543	0,383	0,211	0,076	0,353	0,083	0,686	0,069	0,814
ААД	0,365	0,550	0,356	0,171	0,074	0,332	0,073	0,721	0,037	0,880
ВСЗ	0,376	0,522	0,383	0,161	0,100	0,304	0,079	0,613	0,072	0,830
Среднее	0,376	0,531	0,366	0,170	0,083	0,328	0,079	0,664	0,058	0,842

Наблю- датели	Образцы											
	ЗС-2		ЖЗС-5		ПС-2		RG-6		КС-5		СС-5	
	к	з	к	з	к	з	к	з	к	з	к	з
НВЛ	0,077	0,948	0,388	0,595	0,503	0,327	0,639	0,296	0,946	0,054	—	0,049
ЕНЮ	0,081	0,948	0,395	0,601	0,534	0,322	0,662	0,283	0,940	0,060	—	0,087
ЗНЭ	(0,041)	(1,046)	0,376	0,602	0,448	0,294	0,624	0,330	0,923	0,080	0,009	0,028
ВЕК	0,069	0,926	0,372	0,614	0,483	0,336	0,628	0,307	0,923	0,067	0,002	0,058
ААД	0,088	0,914	0,381	0,607	0,491	0,364	0,648	0,297	0,894	0,057	0,013	0,033
ВСЗ	0,095	0,931	0,381	0,590	0,512	0,295	0,629	0,274	0,952	0,081	(0,003)	(0,136)
Среднее	0,073	0,943	0,382	0,602	0,496	0,323	0,638	0,297	0,934	0,073	—	—

Примечание. Результаты, поставленные в скобки, взяты при усреднении с весом 1/2, как сомнительные.

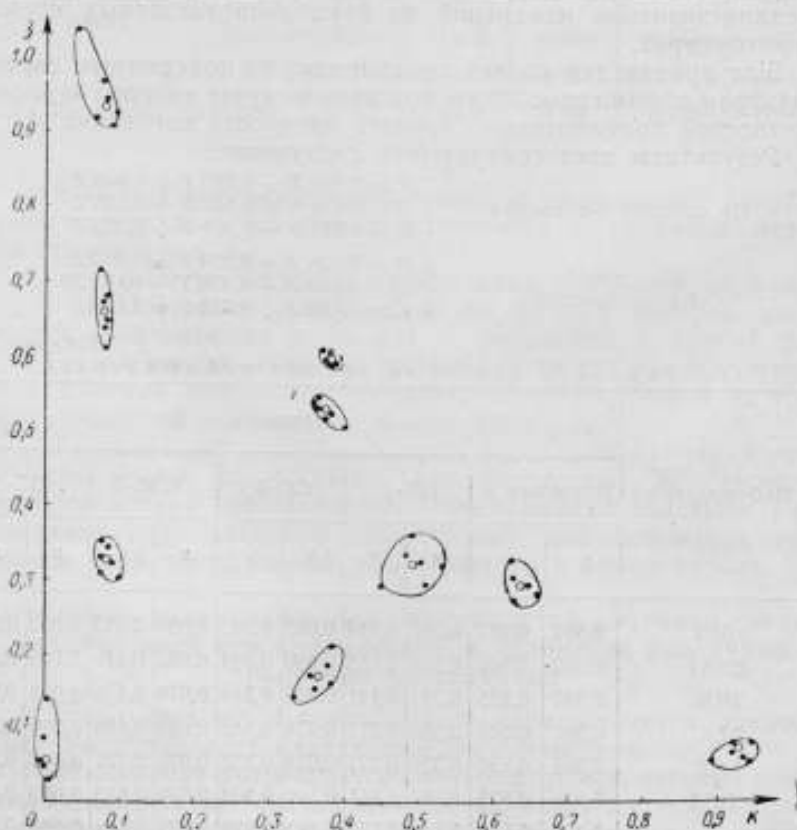


Рис. 1.

Для сравнения обеих градуировок средние результаты шести наблюдателей для шести измеренных образцов и источника А были пересчитаны в систему x, y по обеим градуировкам. Результаты пересчета представлены в табл. 5 и нанесены на рис. 2 наряду с результатами среднего наблюдателя.

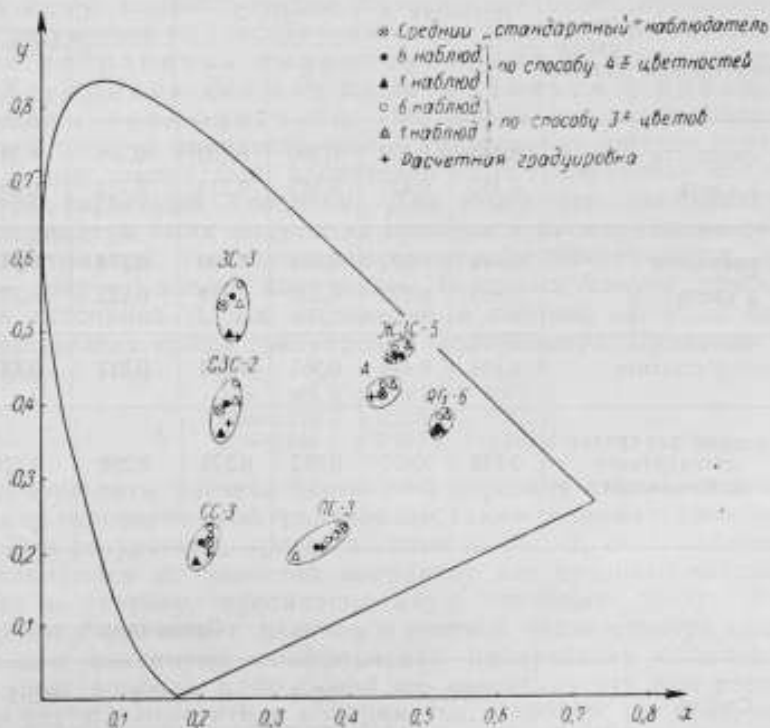


Рис. 2.

В этой же таблице и на этом же рисунке приведены результаты измерения цветов, выполненные одним из наблюдателей и пересчитанные в систему x, y на основании рассмотренных ранее градуировок.

Средние результаты шести наблюдателей, пересчитанные в систему x, y на основании обеих способов градуировки, дают близкие друг к другу значения.

Это различие во всяком случае много меньше, чем различие между результатами одного наблюдателя. Кроме того, на рис. 2 видно, что для одного наблюдателя градуировка, выполненная по способу трех цветов, близка к такой же градуировке, основанной на результатах шести наблюдателей. В то же время градуировка, выполненная на основании четырех цветностей для одного наблюдателя, приводит к заметно отклоняющимся результатам. Точки, отмеченные знаком тре-

Таблица 5

Координаты цвета образцов стекол при источнике А, полученные на основании различных градуировок колориметра

Способ градуировки	Число наблюдателей	Источник А		ПС-3		СС-3	
		x	y	x	y	x	y
4 цветности 3 цвета	6	0,448	0,407	0,360	0,203	0,206	0,211
		0,450	0,421	0,375	0,215	0,214	0,232
4 цветности 3 цвета	1	0,448	0,407	0,326	0,190	0,194	0,183
		0,463	0,422	0,378	0,219	0,213	0,222
Расчетная		0,434	0,404	0,361	0,204	0,212	0,197
Значения для среднего стандартного наблюдателя		0,448	0,407	0,392	0,228	0,208	0,210

Продолжение табл. 5

Способ градуировки	Число наблюдателей	СЗС-2		ЗС-3		ЖЗС-5		RG-6	
		x	y	x	y	x	y	x	y
4 цветности 3 цвета	6	0,238	0,398	0,251	0,546	0,473	0,460	0,524	0,363
		0,250	0,426	0,261	0,562	0,468	0,468	0,526	0,373
4 цветности 3 цвета	1	0,228	0,361	0,246	0,492	—	—	0,520	0,357
		0,252	0,402	0,259	0,536	0,486	0,475	0,539	0,373
Расчетная		0,241	0,378	0,251	0,489	0,469	0,464	0,524	0,359
Значения для среднего стандартного наблюдателя		0,230	0,390	0,236	0,532	0,462	0,460	0,520	0,363

угольника, сильно отходят от остальных точек, лежащих более кучно.

Таким образом, подтверждаются ранее высказанные предположения о том, что различие градуировок объясняется индивидуальными особенностями цветного зрения наблюдателей и что индивидуальные особенности резче проявляются в градуировке по способу четырех цветностей. Следовательно, для устранения индивидуальных особенностей градуировка должна производиться с большим числом наблюдателей. При малом же числе наблюдателей следует применять способ градуировки по трем цветам.

В дополнение был произведен опыт градуировки колориметра расчетным способом. Для этого три светофильтра колориметра были вынуты из прибора и промерены на спектрофотометре. На основании спектрофотометрических данных рассчитывались координаты основных цветов прибора для источника А. Их выражение в системе X, Y, Z тоже представляет собою градуировку колориметра. Приводим ее ниже:

$$\begin{aligned}K &= 0,915 X + 0,347 Y + 0,000 Z \\Z &= 0,190 X + 0,556 Y + 0,106 Z \\C &= 0,246 X + 0,097 Y + 1,310 Z\end{aligned}$$

Результаты расчета цветностей образцов стекол, полученные на основании этой градуировки, также содержатся в табл. 5.

Эти результаты, представленные на рис. 2, систематически отклоняются от значений координат для среднего наблюдателя в сторону, противоположную зеленому цвету. Этот характер указывает наличие в зеленой части спектра селективного максимума коэффициента пропускания оптической системы прибора и подобной же селективности при рассеянии света в осветителе колориметра. Впрочем, на основании сравнения отклонений в разных способах градуировки можно утверждать, что этот сравнительно простой способ градуировки должен быть предпочтен способу градуировки одним наблюдателем по четырем цветностям. В колориметрах с отсутствием селективности пропускания оптических систем он может дать хорошие результаты и по сравнению со всеми другими способами градуировки по той причине, что он основан лишь на свойствах глаза среднего наблюдателя.

Заключение

На основании полученных результатов можно получить определенное представление о преимуществах и недостатках каждого из способов градуировки и их применимости в тех или иных условиях работы. Представляется совершенно очевидной сильная зависимость результатов колориметрических измерений от способа градуировки. Причина этих расхождений заключается, главным образом, в отклонениях цветного

зрения реального наблюдателя от среднего, которые проявляются в различных способах градуировки по разному.

При достаточно большом числе наблюдателей индивидуальные особенности цветного зрения сглаживаются, и оба способа градуировки (по трем цветам или по четырем цветностям) приводят к близким результатам. При малом числе наблюдателей следует предпочесть способ трех цветов, так как индивидуальные особенности цветного зрения сказываются здесь в меньшей мере. При наличии достаточно большого числа наблюдателей следует предпочесть градуировку по способу четырех цветностей, так как в этом способе не проявляются ошибки спектрофотометрического определения яркостных соотношений стандартных светофильтров.

Вследствие того, что источником самых грубых ошибок, как можно было убедиться, являются индивидуальные особенности цветного зрения, — для устранения этих ошибок необходим тщательный отбор наблюдателей.

Способ градуировки колориметров, основанный на непосредственном спектрофотометрировании светофильтров прибора даже для колориметра, обладающего заметным селективным поглощением системы, дает значительно лучшие результаты, нежели способ градуировки по четырем цветностям при малом числе наблюдателей. Для более нейтральных колориметрических систем этот способ может оказаться наилучшим, так как он свободен от влияния индивидуальных особенностей цветного зрения наблюдателей.

Кроме автора в измерениях на колориметре принимали участие В. Е. Карташевская, З. Н. Энню, А. А. Долинская, В. С. Земляная и Н. В. Лобанова. Последняя также участвовала в обработке результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демкина Л. И., Инструкция к трехцветному колориметру.
2. Майзель С. О. и Ратнер Е. С., Цветовые измерения и расчеты, 1941.
3. Савостьянова М. В., Изв. А. Н., т. XI, 1947, стр. 425—435.
4. Федоров Н. Т., Курс цветоведения, 1936.
5. Smith and Guild J. Trans. Opt. Soc., т. 32, 1931—32, стр. 73—130.

ПРИМЕЧАНИЕ РЕДАКТОРА

Не следует видеть расхождения мнений в данной статье и в предшествующей «Особенности цветных измерений в отношении достижения их единообразия» (И. М. Тиходеев). Статья Е. Н. Юсовой рассматривает обычные способы градуировки трехцветного колориметра, применяющиеся в лабораториях (не метрологических). При этих способах вся шкала цветов прибора устанавливается лишь по трем или четырем точкам. Повторное дело едва ли знает столь ограниченный объем градуировки какого-либо прибора при весьма широкой шкале его показаний.

Если учесть, что восприимчивость цветов у разных людей неодинакова в широких пределах, станет неудивительным, что определение

одного и того же цвета производится разными лабораториями со значительными расхождениями. Некоторое время назад фотометрическая лаборатория ВНИИМ предприняла попытку проверить согласованность в цветовых определениях лабораторий ряда институтов. Последние, однако, к этому не были подготовлены. Кроме ВНИИМ, в междулабораторных сравнениях приняли участие лишь два крупных института. Требовалось определить цвета трех цветных стекол. Институты предпочли определить цвета расчетным путем на основании спектральных коэффициентов пропускания, хотя и располагали трехцветными колориметрами. Точность цветовых определений (и измерений) можно значительно поднять, если придерживаться положений, изложенных в предшествующей статье. Эти положения особенно существенны, если стремиться к единообразию цветовых измерений.

Надо считать, что заключение Е. Н. Юстовой о разобранных ею способах градуировки трехцветных колориметров применимо прежде всего для случаев, когда итоги определений (и измерений) цветов имеют лишь внутрिलाбораторное значение (т. е. не выходят за пределы одной лаборатории), или когда колориметр не только градуируется многими наблюдателями, но и последующие измерения цветов также ведутся многими наблюдателями с проверенным восприятием цветов. Но участие многих наблюдателей в обычных лабораториях имеет место лишь как редкое исключение. Применение трехцветных колориметров оправдывается простотой измерений и сравнительной быстротой; привлечение многих наблюдателей является уже нежелательным осложнением.

Следует также отметить необычную для измерительной техники, но обычную для колориметрии, особенность описанного в статье способа градуировки по трем цветам. При такой градуировке в распоряжении измерителя обязательно имеется еще и четвертый цвет — источника света. Между тем он не используется для участия в градуировке (например, чтобы использовать избыточное число уравнений).

П. ТИХОДЕЕВ

ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБКИ В ПОПРАВКАХ НА ОТСТУПЛЕНИЕ ОТ ЗАКОНА КВАДРАТОВ РАССТОЯНИИ ДЛЯ СВЕТОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЛАМП

(типов № 3 и 5)

В статье „Установление первичного эталона люмена...“, Временник ГПМВ, 1930 г., вып. 4 (16) на стр. 41 были даны числовые значения поправок для учета отступления от закона квадратов расстояний светоизмерительных ламп типа № 3, если бы к ним этот закон применялся, как к светящейся точке. Такого же рода поправки для светоизмерительных ламп типа № 5 даны в книжке: „Новый государственный световой эталон СССР“ (издание Академии наук СССР, 1949 г., стр. 56).

Обыкновенно указанного вида лампы применялись во ВНИИМ на таких расстояниях, притом мало меняющихся, что не было надобности пользоваться соответствующими поправками. Но, например, ими пользовались при образовании рабочих световых эталонов. В недавней переписке с Международным бюро мер и весов Ж. Терье выразил сомнение (в письме от 21.3.50) в числовом значении поправок и обратил на это мое внимание. Проверка показала, что по моему недосмотру в вычислениях была пропущена досадная арифметическая ошибка. Обыкновенно в Фотометрической лаборатории ВНИИМ вычисления повторяются другим лицом.

К несчастью, в данном случае это правило не было полностью соблюдено.

В значения рабочих эталонов единицы силы света (и освещенности) и светового потока вследствие изложенного потребовалось внести соответствующие небольшие, впрочем, изменения. Они определяются следующими множителями, на которые нужно было умножить ранее полученные значения эталонов, чтобы получить исправленные значения:

Для эталонов:

единицы силы света
при температуре:

2042° K 2360° K
0,997₅ 1,001₄

единицы светового
потока при температуре:

2360° K 2800° K
1,001₅ 1,002₆

Действительные значения поправок такие:

Поправки к закону квадратов расстояний при вычислении освещенности от светоизмерительных ламп типов № 3 и 5

Расстояние от плоскости нитей до пластинки светомерной головки (в метрах)	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Отрицательные поправки (в процентах)									
для ламп типа № 3	0,17	—	0,098	—	0,062	0,043	0,032	0,024	0,019
для ламп типа № 5	—	0,14	0,11	0,086	0,070	0,048	0,036	0,027	0,021

Необходимо упомянуть, что отмеченное изменение значений рабочих световых эталонов, как лежащее на границе точности световых измерений, не отразилось заметным образом на значениях светоизмерительных ламп, проходивших поверку во ВНИИМ в 1948 и 1949 гг., так что поправок к значениям таких ламп вводить нет надобности.

П. М. ТИХОДЕЕВ

Фотометрическая лаборатория ВНИИМ

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
1. В. Е. Карташевская. Определение спектральной чувствительности глаза	3
2. П. М. Тиходеев. Основной способ разноцветных световых измерений	17
3. А. М. Сабуренков. Возобновление образцов для коэффициентов яркости и отражения	47
4. А. М. Сабуренков. Применение фотоэлементов для поверочных работ	59
5. П. М. Тиходеев. Особенности цветковых измерений в отношении достижения их единообразия (единства). (Метрологическая и поверочная сторона цветковых измерений)	77
6. Е. Н. Юстова. О точности обычных градуировок трехцветного колориметра по трем цветам и по четырем цветностям	84
7. П. М. Тиходеев. Исправление ошибки в поправках на отступление от закона квадратов расстояний для светоизмерительных ламп (типов № 3 и № 5)	98

Технический редактор *Р. Г. Польская*. Корректор *В. М. Хорошкевич*.

Подписано к печати 16/XI 1951 г. М-34548. Формат бумаги 60x92¹/₁₆
 Печ. л. 6¹/₄ Уч.-изд. лист 6,3 Тираж 600 экз. Заказ 753

2-я фабрика детской книги Детгиза Министерства просвещения РСФСР,
 Ленинград, 2-я Советская, 7.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
88	19-я сверху	колориметра:	колориметра (буквы к, з, с, х, у, г означают орты в уравнениях этой статьи).	Авт.
91	10-я сверху	одной	другой	Авт.
96	9-я снизу	цветных	цветовых	Корр.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

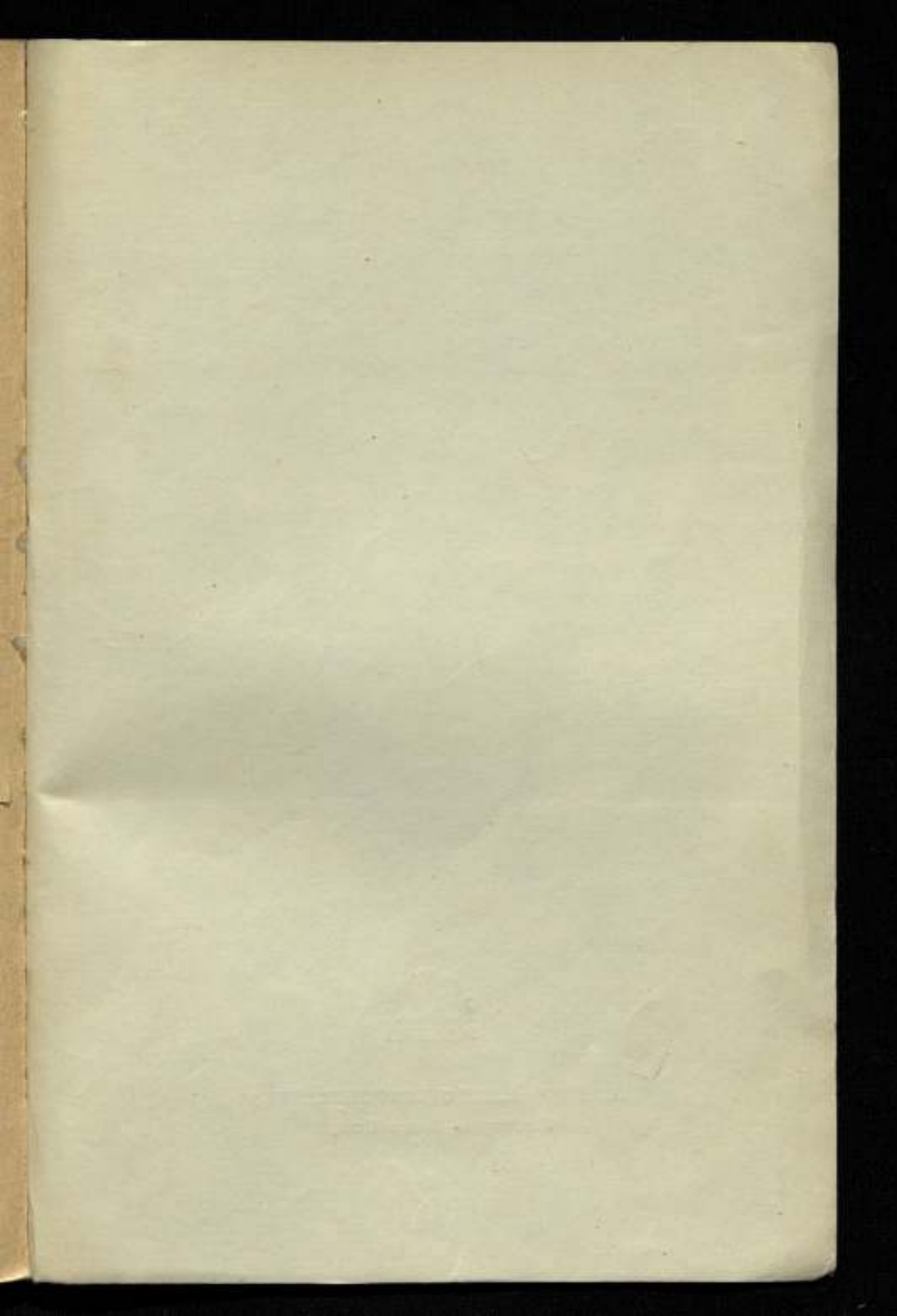
	ИЗДАТЕЛЬСТВО			
1	ВВЕДЕНИЕ	1	1	1
2	1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	2	2	2
3	2. ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ	3	3	3
4	3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	4	4	4
5	4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ	5	5	5
6	5. ПРИЛОЖЕНИЯ	6	6	6
7	6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	7	7	7
8	7. ПОСЛЕСЛОВИЕ	8	8	8
9	8. ЗАКОНЧИТЕЛЬНО	9	9	9

Технический редактор *Р. Г. Польская*. Корректор *В. М. Хорошкевич*.

Подписано к печати 16/XI 1951 г. М-34548. Формат бумаги 60x92¹/₁₆

Печ. л. 6¹/₄ Уч.-изд. лист 6,3 Тираж 600 экз. Заказ 753

2-я фабрика детской книги Детгиза Министерства просвещения РСФСР,
Ленинград, 2-я Советская, 7.



3 р. 80 к.



ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА

Ленинград, Невский пр., 58