

**МОСКОВСКИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ)**

**КАФЕДРА "АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА"**

**ДИСЦИПЛИНА  
"АРХИТЕКТУРНАЯ  
ФИЗИКА"**

**Раздел  
"АРХИТЕКТУРНАЯ  
СВЕТОЛОГИЯ"**

**УЧЕБНО-  
МЕТОДИЧЕСКИЕ  
УКАЗАНИЯ  
к курсовой  
РАСЧЕТНО-  
ГРАФИЧЕСКОЙ  
РАБОТЕ**

**РАСЧЕТ ЦВЕТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**МИГАЛИНА И.В.**

**МОСКВА • МАРХИ • 2011**



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт  
(государственная академия)»

**И.В. Мигалина**

## **Расчет цветности излучения**

*Учебно-методические указания к курсовой  
расчетно-графической работе*

Москва  
МАРХИ  
2011

**УДК 535.6**  
**ББК 38.113**  
**М 57**

**Мигалина И.В.**

Расчет цветности излучения: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе / И.В. Мигалина. — М.: МАРХИ, 2011. — 36 с.

Учебно-методические указания по разделу «Цвет в архитектуре. Архитектурная светология» дисциплины «Архитектурная физика» дают методику расчета параметров цветности излучения первоисточников света независимо от их происхождения (естественных или искусственных) с заданными параметрами спектра для выполнения курсовой расчетно-графической работы (РГР) на 4-м курсе, для НИРС или раздела дипломного проекта по архитектурной физике при соответствующей тематике и концептуальном решении, требующем обоснования и расчета цветовых параметров. Выполнение РГР или раздела дипломного проекта сопровождается консультациями преподавателей кафедры «Архитектурная физика».

Учебно-методические указания являются необходимым актуализированным дополнением к подразделу «Архитектурное цветоведение» раздела «Архитектурная светология» в учебнике «Архитектурная физика» при подготовке к экзамену по одноименной дисциплине.

© МАРХИ, 2011  
© Мигалина И.В. 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цвет и зрение.....	04
2. Основы колориметрии.....	07
3. Международная колориметрическая система МКО XYZ.....	09
4. Основные стандарты в колориметрии.....	12
5. Определение доминирующей длины волны (цветового тона) и чистоты цвета излучения (насыщенности) по цветовому треугольнику.....	15
6. Содержание и порядок выполнения расчетно-графической работы.....	17
7. Приложения.	
Приложение 1. Ординаты кривых сложения для стандартного колориметрического наблюдателя МКО.....	22
Приложение 2. Диаграммы цветности $x_u$ с линиями равной чистоты цвета по отношению к стандартным источникам белого света А, В, С, Е.....	23
Приложение 3. Примеры расчета.....	27
Литература.....	33

## 1. Цвет и зрение

Восприятие цвета – одно из важнейших особенностей зрения человека, позволяющая лучше ориентироваться в окружающем мире и познавать его закономерности. Восприятие цвета представляет собой весьма сложный процесс. Например, для того чтобы объект воспринимался как красный с синим верхом, обычно необходимо: источник белого света (“ночью все кошки серы”), наблюдатель, сам объект в пространстве. Источник должен излучать энергию, распределенную в видимой области спектра в диапазоне длин волн  $\lambda$  от 380 до 760 нм.\* (табл. 1). У наблюдателя должно быть по крайней мере приблизительно нормальное цветовое зрение. Объект должен быть окрашен синим и красным красителями, один из которых – синий, поглощает преимущественно длинноволновую и средневолновую часть падающей на него энергии, отражая коротковолновую, в то время как другой (красный краситель) отражает длинноволновую энергию и поглощает остальную.

Таблица 1

Участки спектральных и пурпурных цветов.

Цвет	Границы участков спектра и пурпурных цветов, $\lambda$ нм **
красный	760 – 620
красно-оранжевый	620 – 600
оранжевый	600 – 590
оранжево-желтый	590 – 580
желтый	580 – 570
желто-зеленый	570 – 550
зеленый	550 – 520
зелено-голубой	520 – 500
голубой	500 – 485
синий	485 – 470
сине-фиолетовый	470 – 440
фиолетовый	440 – 380
фиолетово-пурпурный	380 – 520'
пурпурный	520' – 560'
пурпурно-красный	560' – 760

\* Длина волны  $\lambda$  измеряется в нанометрах. 1 нм =  $10^{-9}$  м, что составляет 1 миллионную долю мм.

\*\* В таблице приведены условные границы участков спектральных и пурпурных цветов, отсутствующих в спектре дневного света и получаемых смешением сине-фиолетовых и красных цветов, величина которых

указывается со знаком штрих.

Поскольку сам по себе феномен цвета включает объективное физическое (источник света и наблюдаемый объект) и субъективное (зрение) начала, то для однозначного определения цвета достаточно условно предлагают пользоваться объективными и субъективными характеристиками цвета (табл. 2).

Таблица 2

Параметры цвета	Длина волны $\lambda$ , нм	Чистота Р, %	Яркость L, кд/м <sup>2</sup>
Ощущения	Цветовой тон	Насыщенность Н, порог	Светлота В, порог
	ЦВЕТНОСТЬ		ЯРКОСТЬ (СВЕТЛОТА)

Когда мы рассматриваем два цветных объекта, то мы не только замечаем, что их цвета различны, но и в каком именно отношении они отличаются друг от друга. Так, с одной стороны, мы различаем цвета красные, зеленые, синие и их оттенки: желто-зеленый, сине-зеленый и т.д. В таких случаях говорят, цвета различаются по цветовому тону. Для определенности обозначения цветового тона указывают длину волны (табл. 2), т.е. говорят о цветовом тоне такой-то длины волны  $\lambda$ , нм, которую, таким образом, принято считать объективной измеряемой величиной, цветовой тон – свойством зрительного ощущения, т.е. субъективной характеристикой.

Два цвета, одинаковые по цветовому тону, могут различаться и по другим признакам. Среди цветов особое место принадлежит «бесцветным» /тавтология/ или ахроматическим. Это белые и все серые вплоть до черного. Ахроматические цвета те, которые не имеют цветового тона. В противоположность им - хроматические цвета, т.е. цвета с наиболее выраженной хроматической составляющей (с сильно выраженным цветовым тоном). Такие цвета принято относить к насыщенным цветам. Напротив, чем слабее выражен цветовой тон, тем ближе цвет к ахроматическому, тем насыщенность меньше. Насыщенность – субъективная характеристика, может быть оценена количественно, определяется чистотой. Чистота цвета является объективной характеристикой и выражается в %. Таким образом, насыщенность -характеристика, позволяющая оценить долю чистой хроматической составляющей в общем цветовом ощущении. Насыщенность оценивается числом порогов цветоразличения. /Н, пор./ Чистота - степень приближения цвета к чистому спектральному /Р, %/.

Цветовой тон и насыщенность, или длина волны и чистота, называемые цветностью, считают качественной характеристикой цвета. Количественная характеристика определяется его яркостью (L, кд/м<sup>2</sup>). Количественное выражение уровня зрительного ощущения, производимого

яркостью, как известно называют светлотой, измеряемой в порогах /В, пор./

Подавляющее большинство окружающих нас предметов одновременно и поглощают, и отражают (а светопроницаемые и пропускают) свет в широком диапазоне длин волн видимой области спектра (380 – 760 нм), т.е. поверхности избирательно реагируют на падающий на них свет, однако степень отражения ими (и по аналогии – пропускания) излучения разных длин волн различна (рис. 1).

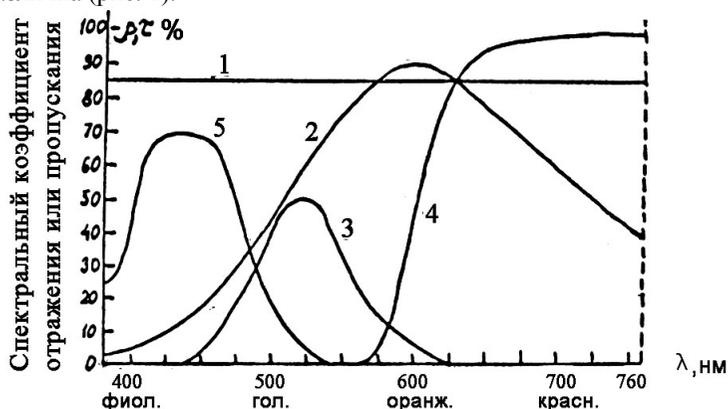


Рис. 1. Кривые спектрального отражения поверхности свежевывапавшего снега (1), желтой бумаги (2) и кривые спектрального пропускания зеленого (3), красного (4) и синего (5) стекол.

При освещении любого тела часть монохроматического света\* (красный, синий и т.д.) отразится, часть возможно пройдет через него и часть поглотится им. Отношение монохроматического светового излучения данной длины волны  $\lambda$ , отраженного поверхностью, к падающему на эту поверхность монохроматическому свету, носит название спектрального коэффициента отражения  $\rho_\lambda$ :

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{\rho\lambda}}{\Phi_\lambda}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{\rho\lambda}$  - отраженное монохроматическое излучение данной длины волны  $\lambda$ ;  $\Phi_\lambda$  - монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ , падающий на объект.

Соответственно, отношение монохроматического света, прошедшего через среду (например, цветное стекло), к падающему монохроматическому, называется спектральным коэффициентом пропускания  $\tau_\lambda$ :

---

\* Моно – по-гречески “одно”, хрома – “цвет”; монохроматический -

одноцветный.

$$\tau_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{\lambda}}, \quad (2)$$

где  $\Phi_{\lambda}$  - монохроматический свет, прошедший через среду;  $\Phi_{\lambda}$  - падающий монохроматический свет.

Кривые спектральных коэффициентов отражения и пропускания, приведенные на рис. 1, показывают, что поверхность свежеснеженного снега одинаково отражает излучения всех длин волн падающего на него света, желтая бумага хорошо отражает желтые и оранжевые лучи, несколько хуже зеленые и красные и совсем мало синие и фиолетовые. Зеленое стекло хорошо пропускает только зеленые излучения, хуже голубые и желтые и почти не пропускает остальные. Красное стекло хорошо пропускает красные лучи, несколько хуже оранжевые и желтые и не пропускает остальные. Синее - хорошо пропускает синие и фиолетовые, хуже голубые и не пропускает остальные лучи.

При отражении и пропускании избирательно отражающих и пропускающих тел спектральный состав светового потока меняется. Поэтому цвет этих поверхностей зависит как от спектрального состава падающего на них светового потока, так и от отражательной или пропускающей способности поверхности, характеризуемой  $\rho_{\lambda}$  и  $\tau_{\lambda}$ .

Таким образом, зрение судит о цвете поверхности по отраженному от нее свету, попавшему в глаз. Архитекторы и дизайнеры рано или поздно сталкиваются с той или иной проблемой оценки цвета строительных и декоративно-отделочных материалов, покрытий, красителей и т.д. в разных условиях освещения. При этом целесообразно дополнить опытный глаз современными средствами и методами цветовых измерений.

## 2. Основы колориметрии.

Наука, занимающаяся количественным выражением цветов, расчетами и измерением цвета, носит название «колориметрия».

Колориметрия включает:

- а) измерение цветовых параметров с помощью спектрофотометров и колориметров;
- б) расчет цвета по заданным характеристикам и справочным таблицам;
- в) определение количественных характеристик цвета с использованием атласа цветов.

Цвет в колориметрии есть трехмерная векторная величина, характеризующая группу световых визуально неразличимых излучений.

Измерить цвет – значит обозначить его через какие-то объективные величины и субъективные ощущения и тем самым определить его место в

рамках некой теоретической колориметрической системы их выражения и математического описания.

Возможность описывать любой цвет тремя параметрами, исходя из трехкомпонентной природы цветового зрения, позволяет систематизировать и определять их в колориметрии. В чем заключается трехкомпонентность цветового зрения? Сетчатка глаза по-разному реагирует на излучения различных длин волн и посылает соответствующие сигналы в мозг. Очевидно, что для этого должен иметься аппарат, тем или иным способом анализирующий спектральный состав падающего света на светочувствительные рецепторы – колбочки.

В соответствии с физиологической трехкомпонентностью цветового зрения имеются колбочки световоспринимающего (дневного и сумеречного) аппарата глаза трех видов: красноощущающие (К – рецепторы), зеленоощущающие (З – рецепторы) и синеощущающие (С – рецепторы) (рис. 2).

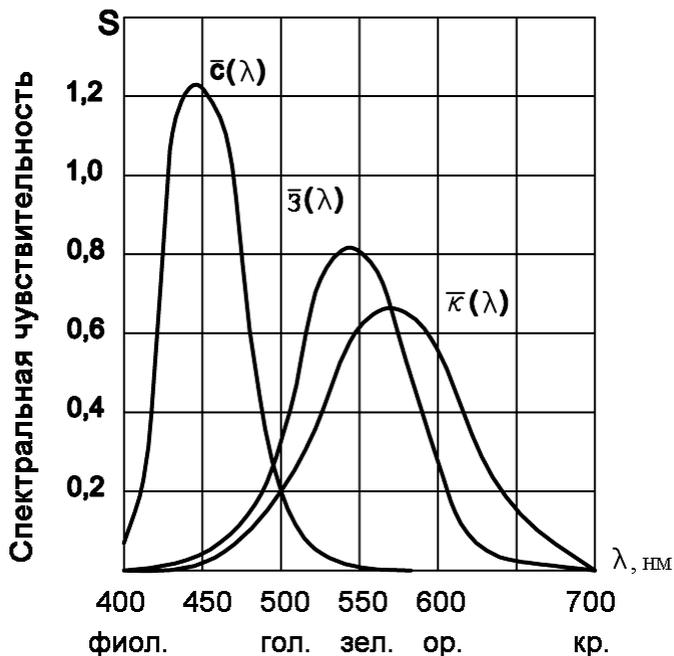


Рис. 2. Спектральная чувствительность цветовоспринимающих КЗС – рецепторов глаза.

Зрительные ощущения, определяемые общим уровнем возбуждения КЗС – рецепторов, принято называть ощущением цвета. Ощущение цвета

можно условно разделить на составляющие: количественную – светлоту (ощущение яркости) и качественную – цветность. Условность этого деления заключается в том, что в действительности глаз не делает подобных различий, ощущение цвета – единый процесс. Деление на качественную и количественную характеристики цвета лежит в основе современной колориметрии.

В условно-формализованном геометрическом представлении все реально воспринимаемые глазом цвета занимают некоторую область в так называемом (теоретически созданном) цветовом пространстве, ограниченную и локализованную в определенном объеме – цветовом теле.

Для упорядочения и возможности выполнения математических действий в цветовом пространстве вводится координатная система, в которой каждый цвет выражается через основные цвета системы. Основные цвета системы должны быть независимыми друг от друга. Иными словами, принципиальное требование, которому должны удовлетворять основные цвета, состоит в том, что ни один из них не может быть получен смешением двух других. Это условие вытекает из физиологии колбочкового КЗС – зрения. Все другие цвета могут быть получены смешением этих трех основных цветов в разных количествах и сочетаниях.

Соответствие каждой точки цветового пространства вполне определенному цвету ведет к наличию в цветовом пространстве точки нулевой яркости – точки черного, являющегося началом координат для любой колориметрической системы. Одним из множества векторов цвета, выходящего из начала координат, является вектор яркости ахроматического белого цвета.

Цветовая метрика в колориметрии основывается на законах аддитивного смешения\* цветов (сложения, т.е. энергетического суммирования цветных световых потоков).

### **3. Международная колориметрическая система МКО XYZ.**

Любая колориметрическая система определения цвета основана на возможности воспроизведения данного цвета путем аддитивного смешения трех соответственно выбранных основных цветов.

Всеобщим признанием сегодня пользуется система координат, основными цветами которой являются три нереальных теоретических невозпроизводимых цвета, обозначенных через XYZ, играющих роль математически удобных символов. Эта колориметрическая система МКО (Международная комиссия по освещению) XYZ принята как стандартная Международная система для количественной оценки цвета.

На рис. 3 приведена схема получения цвета излучения  $\Phi$  смешением трех основных цветов XYZ на белой гипсовой призме, одна грань которой освещена светом  $\Phi$ , а другая – совокупностью излучений трех основных цветов XYZ, взятых в определенных пропорциях  $x'y'z'$  так, чтобы выполнялось условие зрительного уравнивания по цвету полей сравнения – граней призмы.

\* Аддитивное смешение – сложение цветных световых потоков.

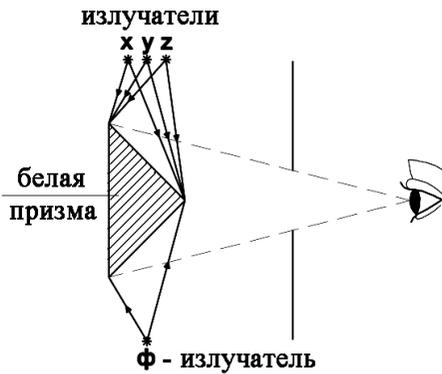


Рис. 3. Схема воспроизведения цвета  $\Phi$  смешением трех основных цветов XYZ.

$$\Phi = x'X + y'Y + z'Z,$$

(3)

где  $\Phi$  – цвет исследуемого излучения,

XYZ – основные цвета системы,

$x' y' z'$  – координаты цвета.

Координаты цвета – количества трех основных цветов, необходимых для получения цветового равенства с сопоставляемым (измеряемым) цветом.

Такое уравнение называют цветовым уравнением, причем координаты цвета однозначно характеризуют цвет, т.е. определяют его яркость и цветность (табл. 2).

По условию построения колориметрической системы XYZ яркость цвета в ней определяется координатой  $y'$ .

Для характеристики цветности излучения пользуются относительными значениями координат цвета, называемыми координатами цветности  $X$  и  $Y$

:

$$(4) \quad x = \frac{x'}{x'+y'+z'}; \quad y = \frac{y'}{x'+y'+z'}; \quad z = \frac{z'}{x'+y'+z'}$$

Из уравнений (4) следует, что

$$X + Y + Z = 1 \quad (5)$$

Следовательно, для характеристики цветности излучения достаточно двух координат  $X, Y$ , что позволяет графически изображать цветность излучения точкой в прямоугольной системе координат.

По условиям построения этой системы поле реальных цветностей, включая белый, расположено внутри цветового треугольника, построенного в прямоугольной сетке координат  $X, Y$ .

На рис. 4 приведена диаграмма цветности, построенная в международной системе  $X, Y, Z$ . По оси ординат графика отложены координаты цветности  $Y$ , по оси абсцисс – координаты цветности  $X$ . В координатах  $X, Y$  нанесена кривая цветности однородных излучений с длинами волн  $\lambda$  от 400 до 700 нм. Вдоль кривой указаны длины волн в нанометрах, соответствующие монохромным излучениям.

Прямая линия, соединяющая концы кривой цветности однородных излучений (400 и 700 нм), характеризует цветности пурпурных цветов (малиновый, вишневый, сиреневый и др.), отсутствующих в спектре, но существующих в природе, как результат смешения спектральных цветов красного с сине-фиолетовым. В середине графика расположен белый цвет.

Таким образом, цветовой треугольник (иначе именуемый “диаграмма” или “локус” цветностей) ограничивается кривой спектральных цветов и прямой пурпурных цветов, соединяющей красный с фиолетовым (табл. 1, рис. 4).

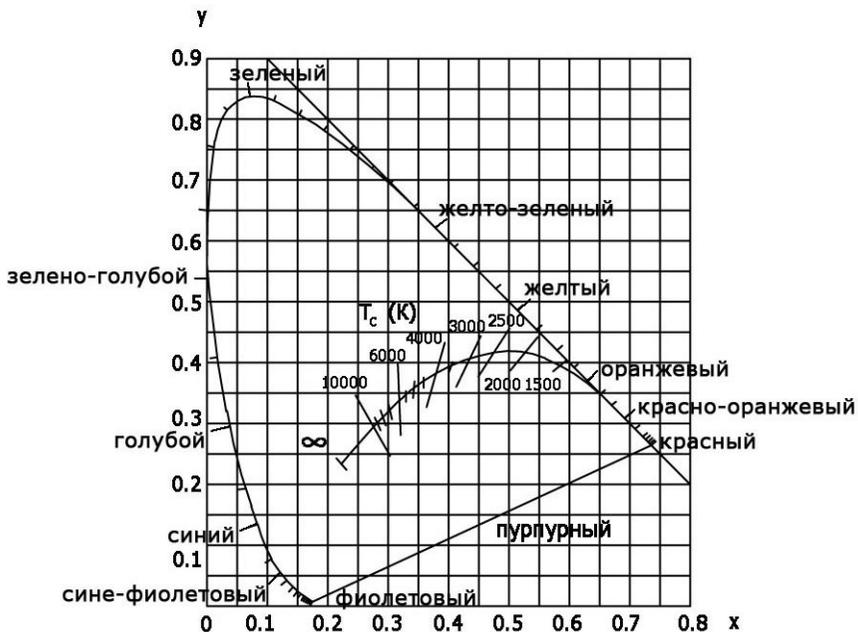


Рис. 4. Цветовой график координат цветности  $X$ ,  $Y$  с линией излучений черного тела и стандартными источниками белого света (A, B, C и  $D_{65}$ )

На рис. 4 внутри «локуса» приведена кривая цветностей излучений абсолютно черного тела с коррелированными цветовыми температурами (см. ниже стр.12). Абсолютно черное тело – тело, поглощающее все падающие на него излучения независимо от длины волны, интенсивности и направления. Если цветность излучения лампы искусственного света не совпадает ни с одной точкой линии черного тела, выбирается ближайшая точка линии и по ней определяется так называемая коррелированной цветовой температура излучения данной лампы. В современной жизни очень большое значение имеет точное определение цвета. На этот вопрос можно дать, в значительной мере, лишь условный ответ. МКО в качестве эталонов белого цвета предлагает излучения абсолютно черного тела и дневного света.

#### 4. Основные стандарты в колориметрии.

а) Стандартный колориметрический наблюдатель МКО в системе  $XYZ$ , характеризующийся приемником излучения (глаза), колориметрические параметры которого соответствуют относительным

ординатам кривых сложения  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ , называемых удельными координатами. Удельные координаты – компоненты одного ватта видимого излучения данной длины волны  $\lambda$ .

Кривые сложения  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  и  $\bar{z}(\lambda)$  (удельные координаты) для стандартного колориметрического наблюдателя МКО представлены графически на рис. 5; ординаты кривых сложения приведены в табл. 3 (Приложение 1).

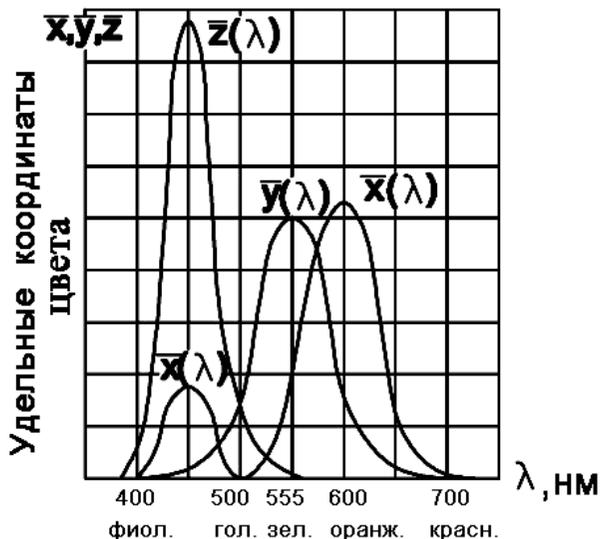


Рис. 5. Кривые сложения стандартного колориметрического наблюдателя МКО в системе  $xyz$ .

б) Стандартные излучения белого света, относительное спектральное распределение энергии которых стандартизовано МКО, приведены на рис. 6.

В качестве стандартных, как указывалось выше, приняты излучения абсолютно черного тела при различных температурах его нагрева и дневное излучение при разных погодных условиях (пасмурный или солнечный день).

Стандартизованное распределение энергии некоторых эталонов отличается от спектра излучения абсолютно черного тела, однако по цветности соответствует излучению абсолютно черного тела с соответствующей температурой нагрева. В таком случае эту температуру, применительно к эталону белого, называют коррелированной цветовой температурой (рис. 4).

Стандартное излучение А представляет собой излучение абсолютно черного тела при температуре 2856 К. Спектр излучения соответствует

излучению лампы накаливания.

Стандартное излучение В – излучение с коррелированной цветовой температурой 4874 К\*, что соответствует прямому солнечному свету при высоте стояния солнца меньше 30°.

Стандартное излучение С – рассеянный свет дневного неба, затянутого облаками при высоте стояния солнца менее 30°, с коррелированной цветовой температурой 6774 К.

Стандартное излучение D<sub>65</sub> – усредненная фаза дневного света – суммарное излучение неба и солнца в ясный день с коррелированной цветовой температурой 6504 К\*\*.

Стандартное излучение Е – идеально белый теоретический равноэнергетический источник.

В нашей стране стандартизованы источники В и С в виде излучений черного тела с цветовыми температурами 4800 К (излучение В) и 6500 К (излучение С).

На рис 6 приведены кривые относительного спектрального распределения энергии стандартных источников белого света А, В, С, Е, D<sub>65</sub>.

---

\* Цветовая температура  $T_{цв}$  измеряется по шкале, которая носит имя разработавшего ее английского ученого лорда Кельвина (1824 – 1907). Кельвин установил соответствие между температурой излучения черного тела и цветом излучаемого им света. Нулевое значение в шкале Кельвина соответствует температуре -273° С (Цельсия).

\*\* Изменение высоты солнца в период между двумя часами после восхода и за два часа до заката мало влияет на относительное спектральное распределение энергии суммарного дневного света, падающего на горизонтальную поверхность земли во всем видимом диапазоне.

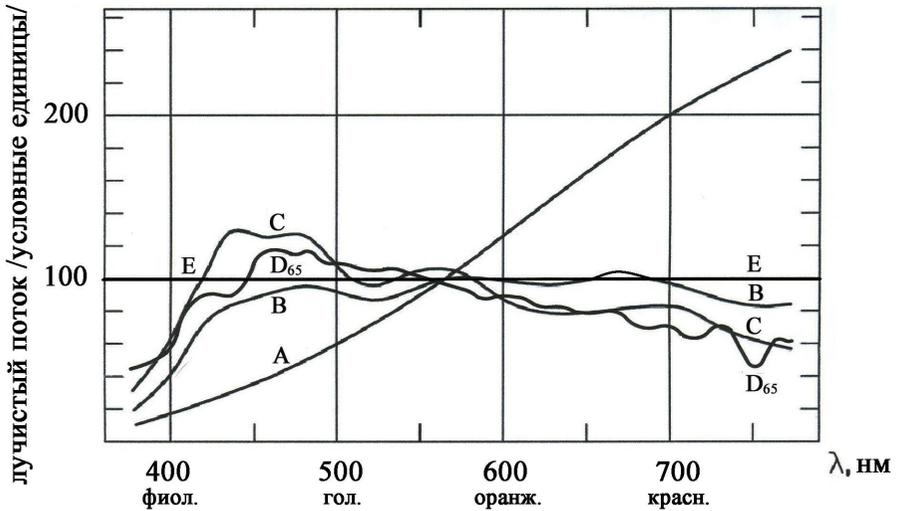


Рис. 6. Относительное спектральное распределение энергии стандартных источников белого света А, В, С, Е, D<sub>65</sub>.

В таблице 4 приведены цветовые параметры стандартных источников белого света. Для идеально-белого теоретического источника Е все три координаты равны, его цветность располагается в центре цветового треугольника.

Таблица 4.

Цветовые параметры стандартных источников белого света.

Источник	Координаты цветности		Цветовая температура, К
	x	y	
А	0,448	0,407	2856
В	0,348	0,352	4874
С	0,310	0,316	6774
D <sub>65</sub>	0,313	0,329	6504
Е	0,330	0,330	5460

## 5. Определение доминирующей длины волны (цветового тона) и чистоты цвета излучения (насыщенности) по цветовому треугольнику.

Цветовой тон и насыщенность (длина волны и чистота) однозначно определяют цветность любого излучения (т.е. координаты цветности  $x, y$ ), определяемую по диаграммам цветности. При этом результат будет зависеть от того, относительно какого белого стандартного он определен.

На рис. 7 – 10 (Приложение 2) представлены цветовые диаграммы для источников А, В, С, Е.

Для определения цветового тона излучения на график наносится точка, соответствующая координатам цветности исследуемого излучения. Соединяя точку белого цвета с заданной точкой и продолжая линию до пересечения с граничной кривой цветности спектральных излучений, получаем цветовой тон излучения. Чистота цвета  $P$  определяется по концентрическим кривым равных значений чистоты цвета, нанесенным на цветовой график, в зависимости от положения точки, характеризующей цветность исследуемого излучения.

Возможность воспроизведения любой реальной цветности смесью белого с монохроматическим наглядно видна из диаграммы (рис. 11). Проводя прямую через точку белого, например, Е и точку заданной цветности М ( $x = 0,2$ ;  $y = 0,6$ ) до пересечения с граничной кривой монохроматических излучений, получим точку Н. В соответствии с правилом аддитивного смешения цветов эта точка определяет цветность излучения некоторого монохроматического (зеленого) излучения с длиной волны  $\lambda_H = 520$  нм, смесь которого с белым излучением Е одинакова по цветности с заданным излучением, указанным точкой М с вышеуказанными координатами цветности ( $x = 0,2$ ;  $y = 0,6$ ).

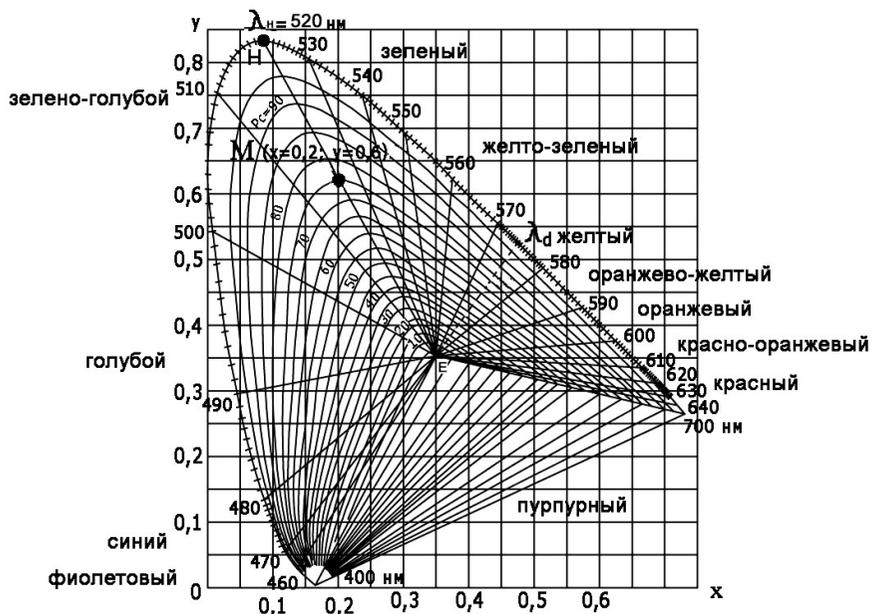


Рис. 11. Определение длины волны и чистоты цвета по диаграмме цветности по отношению к источнику E.

Из приведенного примера можно видеть, что доминирующая длина волны  $\lambda^*$  любого излучения находится точкой пересечения локуса с прямой, проходящей через точку белого и точку заданной цветности.

На диаграмме цветности нанесены линии равной чистоты, являющиеся замкнутыми, с уменьшающимися значениями по мере приближения к точке белого. Из определения понятия чистоты цвета следует, что кривой  $P = 100\%$  является locus спектральных цветов и замыкающая его прямая пурпурных цветов.

В результате по табл. 1 для полученной длины волны  $\lambda$  определяем цветовой тон, а по концентрическим кривым – чистоту  $P$  [%], т.е. оцениваем насыщенность цвета излучения.

---

\* Доминирующая длина волны – длина волны монохроматического излучения, сложение которого в определенных пропорциях со стандартным ахроматическим излучением дает цветное равенство с рассматриваемым излучением  $\lambda$ , нм.

## 6. Содержание и порядок выполнения расчетно-графической работы.

- I. Рассчитать цветность излучения источника света по заданному преподавателем спектральному распределению энергии этого источника  $\Phi(\lambda)$ .
- II. Рассчитать цветность излучения, отраженного от цветной поверхности по заданному преподавателем распределению спектрального коэффициента отражения цветной поверхности  $\rho_\lambda$ .
- III. Рассчитать цветность излучения, прошедшего через цветное стекло по заданному преподавателем распределению спектрального коэффициента пропускания цветного стекла  $\tau_\lambda$ .

Порядок выполнения работы.

I. Расчет цветности излучения источника света (определить цветовой тон и насыщенность) (Примеры решения №1 и №2 см. стр. 26, 27).

1) Составить таблицы распределения энергии излучения заданного источника света  $\Phi(\lambda)$ . Заполнить графы 1 и 2 в табл. 5.

2) Внести в графы 3, 4, 5 табл. 5 удельные координаты цвета  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  из табл. 3 (Приложение 1).

3) Рассчитать координаты цвета монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda$  -  $x'_\lambda$ ,  $y'_\lambda$ ,  $z'_\lambda$  по формуле (6) и результаты внести в графы 6, 7, 8 табл. 5.

Координаты цвета могут быть получены умножением ординат кривой относительного спектрального распределения излучения  $\Phi(\lambda)$  на ординаты кривых сложения  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ :

$$x'_\lambda = \bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda, \quad y'_\lambda = \bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda, \quad z'_\lambda = \bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda \quad (6)$$

4) Рассчитать координаты цвета излучения заданного источника света  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  суммированием произведений  $\bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ ,  $\bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$  и  $\bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$  по всей области видимого спектра излучений (от  $\lambda=380$  нм до  $\lambda=760$  нм).

$$\begin{aligned} x' &= \sum \Phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \\ y' &= \sum \Phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \end{aligned} \quad (7)$$

$$z' = \sum \Phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda)$$

Результаты занести в табл. 5.

5) Рассчитать координаты цветности излучения заданного источника света  $x, y$  по формуле (4) и занести результаты в графы 9, 10 табл. 5.

$$x = \frac{x'}{x' + y' + z'}, \quad y = \frac{y'}{x' + y' + z'}$$

6) Нанести точку с координатами цветности  $x, y$  на цветовую диаграмму по отношению к соответствующему белому источнику и определить доминирующую длину волны  $\lambda$  [нм] и чистоту цвета  $P$  [%] излучения.

По таблице 1 определить цветовой тон излучения.

7) Сделать вывод о цветности излучения заданного источника света, т.е. оценить его цветовой тон и насыщенность.

**II.** Расчет цветности излучения, отраженного от заданной цветной поверхности  $\rho(\lambda)$  (Пример решения №3 см. стр. 28).

1) Внести в табл. 6 заданные преподавателем данные спектрального отражения цветной поверхности  $\rho(\lambda)$  (в графы 1, 2).

2) Рассчитать координаты цвета  $x'_{\lambda_p}, y'_{\lambda_p}, z'_{\lambda_p}$  излучения, отраженного от цветной поверхности и занести полученные данные в графы 3, 4, 5 табл. 6.

$$x'_{\lambda_p} = \rho_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda}$$

$$y'_{\lambda_p} = \rho_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda}$$

(8)

$$z'_{\lambda_p} = \rho_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda}$$

3) Рассчитать координаты цвета  $x'_{\rho}, y'_{\rho}, z'_{\rho}$  излучения, отраженного от цветной поверхности и занести результаты в табл. 6.

$$x'_{\rho} = \sum \rho(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda)$$

$$y'_{\rho} = \sum \rho(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)$$

(9)

$$z'_{\rho} = \sum \rho(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda)$$

4) Рассчитать координаты цветности излучения  $x_{\rho}$  и  $y_{\rho}$ , отраженного от цветной поверхности и занести результаты в табл. 6.

$$x_{\rho} = \frac{x'_{\rho}}{x'_{\rho} + y'_{\rho} + z'_{\rho}};$$

$$y_{\rho} = \frac{y'_{\rho}}{x'_{\rho} + y'_{\rho} + z'_{\rho}}$$

(10)

5) Нанести точку с координатами цветности  $x_P$  и  $y_P$  на цветовой треугольник и определить доминирующую длину волны  $\lambda$  [нм] и чистоту цвета  $P$  [%] отраженного излучения.

По таблице 1 определить цветовой тон излучения.

6) Сделать вывод о цветности отраженного от цветной поверхности излучения, т.е. оценить его цветовой тон и насыщенность.

**III.** Расчет цветности излучения, прошедшего через заданное цветное стекло  $\tau(\lambda)$  (в графы 1, 2).

1) Внести в табл. 7 в графы 1 и 2 данные спектрального пропускания цветного стекла  $\tau(\lambda)$ .

2) Рассчитать координаты цвета  $x'_{\lambda}$ ,  $y'_{\lambda}$ ,  $z'_{\lambda}$  хроматического излучения ( $\Phi_{\lambda}$ ), прошедшего через цветное стекло и занести их в графы 3, 4, 5 табл. 7.

$$\begin{aligned}x'_{\lambda} &= \tau_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda} \\y'_{\lambda} &= \tau_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda} \\z'_{\lambda} &= \tau_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda}\end{aligned}\tag{11}$$

3) Рассчитать координаты цвета  $x'_{\tau}$ ,  $y'_{\tau}$ ,  $z'_{\tau}$  излучения, прошедшего через цветное стекло и занести в табл. 7.

$$\begin{aligned}x'_{\tau} &= \sum \tau(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \\y'_{\tau} &= \sum \tau(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \\z'_{\tau} &= \sum \tau(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda)\end{aligned}\tag{12}$$

4) Рассчитать координаты цветности  $x_{\tau}$ ,  $y_{\tau}$  излучения после прохождения его через цветное стекло.

$$x_{\tau} = \frac{x'_{\tau}}{x'_{\tau} + y'_{\tau} + z'_{\tau}}; \quad y_{\tau} = \frac{y'_{\tau}}{x'_{\tau} + y'_{\tau} + z'_{\tau}}\tag{13}$$

Таблица 5

Расчет цветности излучения заданного источника света.

$\lambda$	$\Phi$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x$	$y$	домин. $\lambda$ , нм.	Чисто- та цвета P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
380											
400											
440											
480											
500											
520											
540											
560											
580											
600											
620											
640											
660											
680											
700											
720											
740											
760											
$\Sigma$					$x' = \Sigma \Phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda)$	$y' = \Sigma \Phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)$	$z' = \Sigma \Phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda)$				

Таблица 6

Расчет цветности излучения, отраженного от заданной цветной поверхности

$\lambda$	$\rho_\lambda$	$\rho_\lambda \cdot \bar{x}(\lambda)$	$\rho_\lambda \cdot \bar{y}(\lambda)$	$\rho_\lambda \cdot \bar{z}(\lambda)$	$x_F$	$y_F$	домин. дл. волны $\lambda$ , нм.	Чистота цвета P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
380								
400								
440								
480								
500								
520								
540								
560								
580								
600								
620								
640								
660								
680								
700								
720								
740								
760								

$\mathbb{M}$	$x_p' = \sum \rho(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot x \square(\lambda)$	$y_p' = \sum \rho(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot y \square(\lambda)$	$z_p' = \sum \rho(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot z \square(\lambda)$				

5) Нанести точку с координатами цветности  $x_\tau$  и  $y_\tau$  на цветовой треугольник и определить доминирующую длину волны  $\lambda$  [нм] и чистоту цвета P [%] излучения, прошедшего через цветное стекло.

По таблице 1 определить цветовой тон излучения.

6) Сделать вывод о цветности излучения после прохождения через цветное стекло, т.е. оценить его цветовой тон и насыщенность.

Таблица 7

Расчет цветности излучения, после прохождения его через заданное цветное стекло

$\lambda$	$\tau_\lambda$	$\tau_\lambda \cdot \bar{x}(\lambda)$	$\tau_\lambda \cdot \bar{y}(\lambda)$	$\tau_\lambda \cdot \bar{z}(\lambda)$	$x_\tau$	$y_\tau$	домин. дл. волны $\lambda$ , нм.	Чистота цвета P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
380								
400								
740								
760								
$\mathbb{M}$	$x_\tau' = \sum \tau(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot x \square(\lambda)$	$y_\tau' = \sum \tau(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot y \square(\lambda)$	$z_\tau' = \sum \tau(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot z \square(\lambda)$					



Таблица 3. Ординаты кривых сложения для стандартного колориметрического наблюдателя МКО.

$\lambda$ (нм)		$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
380	фиол.	0,001 4	0,000 0	0,006 5
390		0,004 2	0,000 1	0,020 1
400		0,014 3	0,000 4	0,067 9
410		0,043 5	0,001 2	0,207 4
420		0,134 4	0,004 0	0,645 6
430		0,283 9	0,011 6	1,385 6
440		0,348 3	0,023 0	1,747 1
450		и син.-фиол.	0,336 2	0,038 0
460	0,290 8		0,060 0	1,669 2
470	0,195 4		0,091 0	1,287 6
480	0,095 6		0,139 0	0,813 0
490	0,032 0		0,208 0	0,465 2
500	и син.-гол.		0,004 9	0,323 0
510		0,009 3	0,503 0	0,158 2
520		0,063 3	0,710 0	0,078 2
530	гол.зел.-гол.	0,165 5	0,862 0	0,042 2
540		0,290 4	0,954 0	0,020 3
550		0,433 4	0,995 0	0,008 7
560		0,594 5	0,995 0	0,003 9
570		0,762 1	0,952 0	0,002 1
580	и зел.жел-зел.	0,916 3	0,870 0	0,001 1
590		1,026 3	0,757 0	0,001 1
600	ор. и жел.ор.-жел.	1,062 2	0,631 0	0,000 8
610		1,002 6	0,503 0	0,000 3
620		0,854 4	0,381 0	0,000 2
630		0,642 4	0,265 0	0,000 0
640		0,447 9	0,175 0	0,000 0

650	красн.	0,283 5	0,107 0	0,000 0
660		0,164 9	0,061 0	0,000 0
670		0,087 4	0,032 0	0,000 0
680		0,046 8	0,017 0	0,000 0
690		0,022 7	0,008 2	0,000 0
700		0,011 4	0,004 1	0,000 0
710		0,005 8	0,002 1	0,000 0
720		0,002 9	0,001 0	0,000 0
730		0,001 4	0,000 5	0,000 0
740		0,000 7	0,000 2	0,000 0
750		0,000 3	0,000 1	0,000 0
760		0,000 2	0,000 1	0,000 0
770		0,000 1	0,000 0	0,000 0
780		0,000 0	0,000 0	0,000 0

Приложение 2.

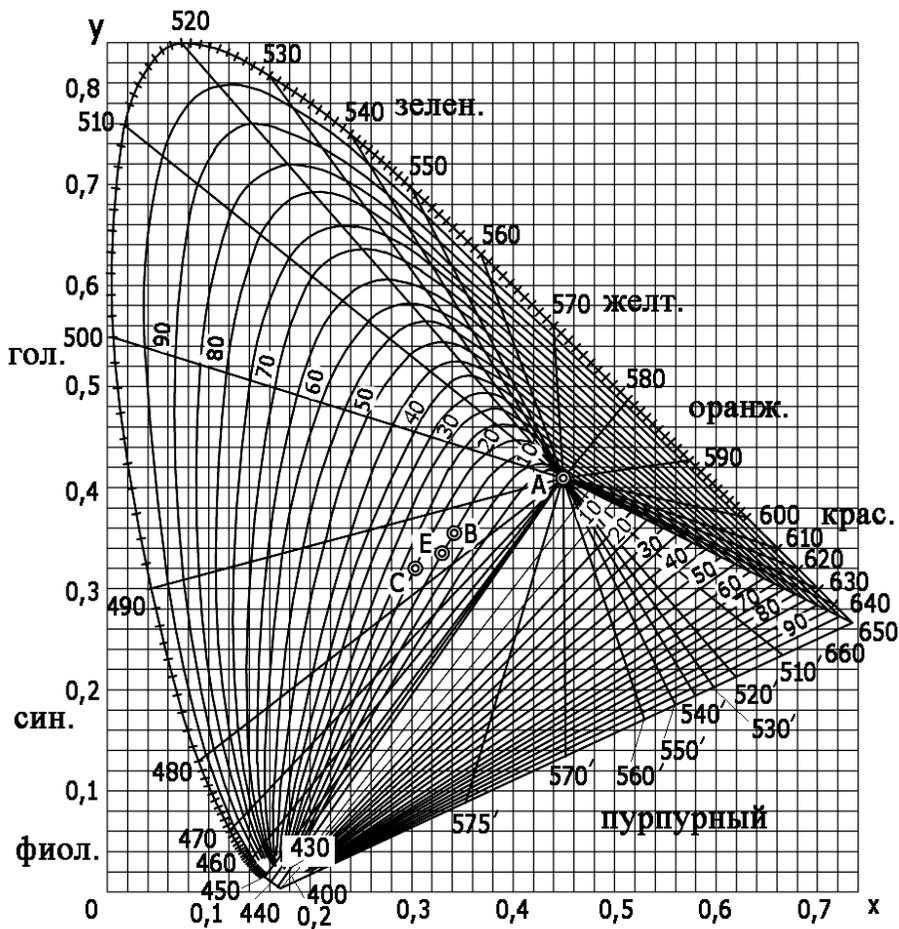


Рис. 7. Диаграмма цветности  $xу$  с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику А.

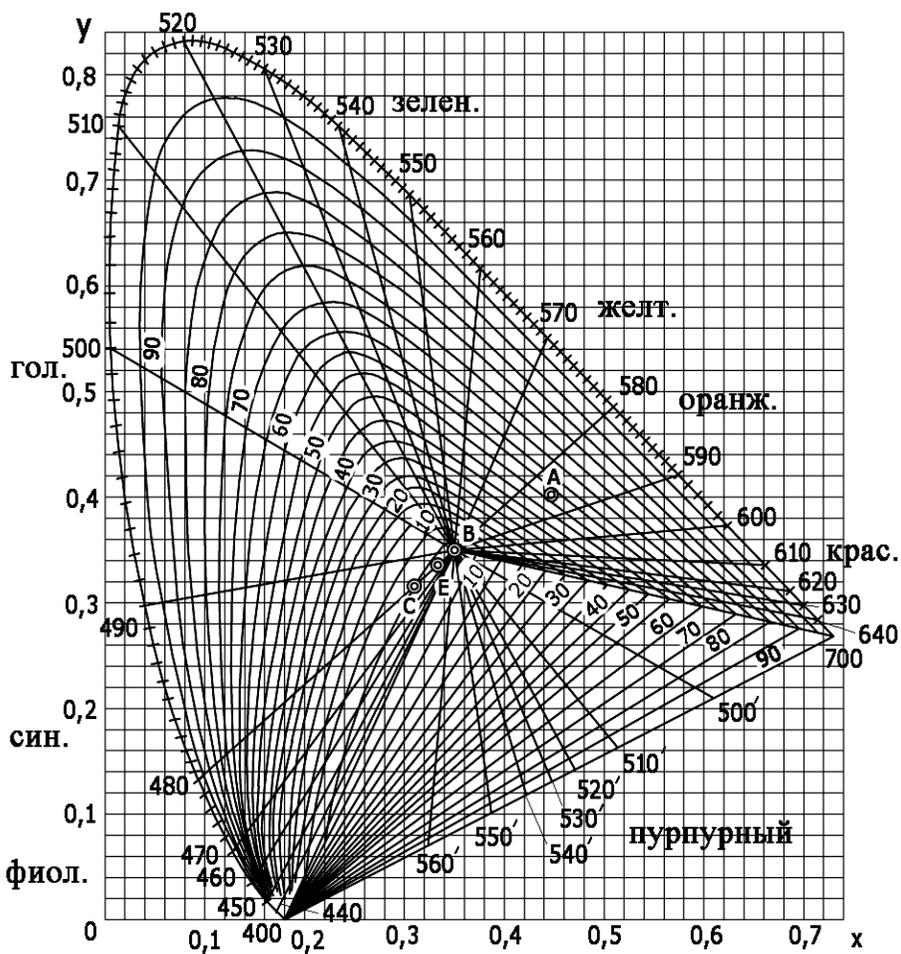


Рис. 8. Диаграмма цветности  $xу$  с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику В.

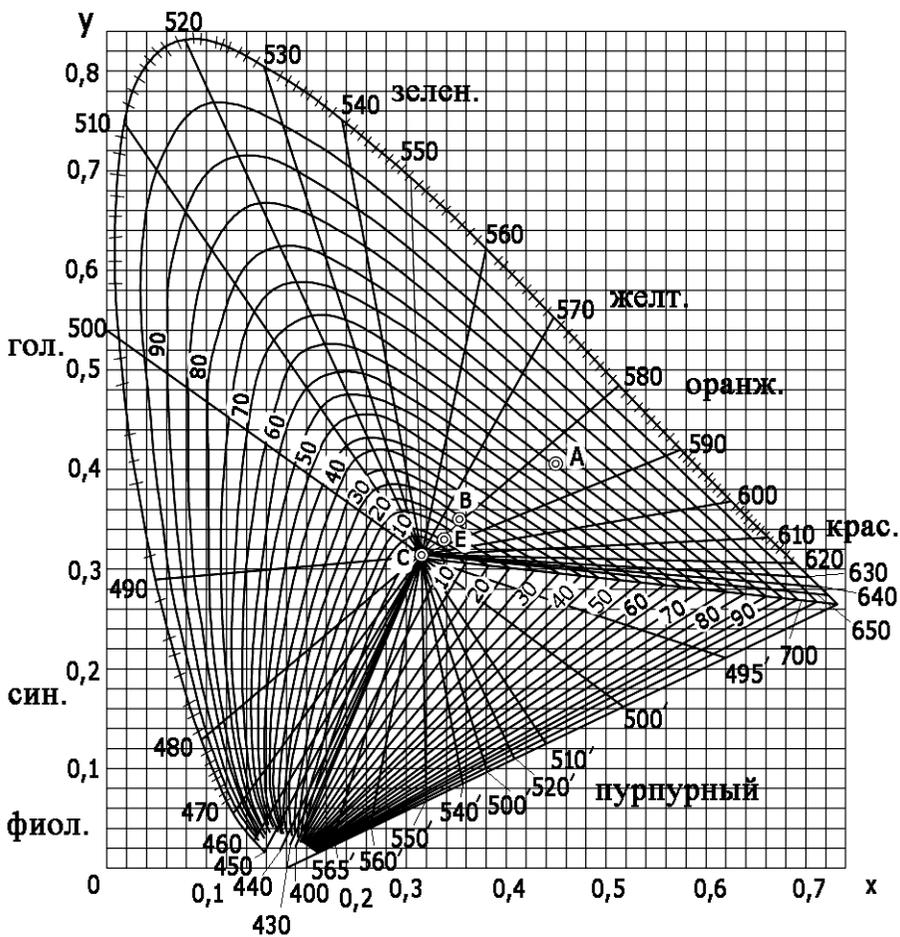


Рис. 9. Диаграмма цветности  $xу$  с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику С.

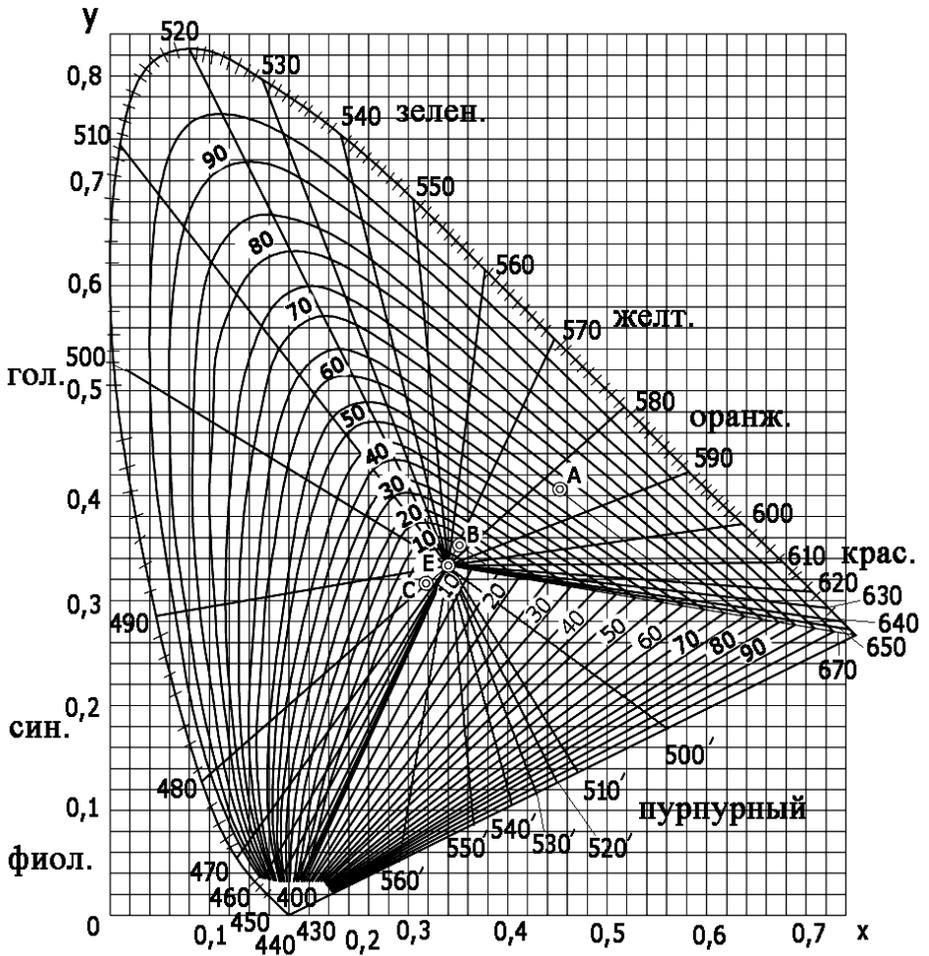


Рис. 10. Диаграмма цветности  $xу$  с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику E.

Примеры расчета

Пример №1.

Определить цветовой тон и чистоту цвета излучения ртутной лампы высокого давления ПРК-2 мощностью 375 Вт, распределение лучистого потока которой приведено в табл. 8.

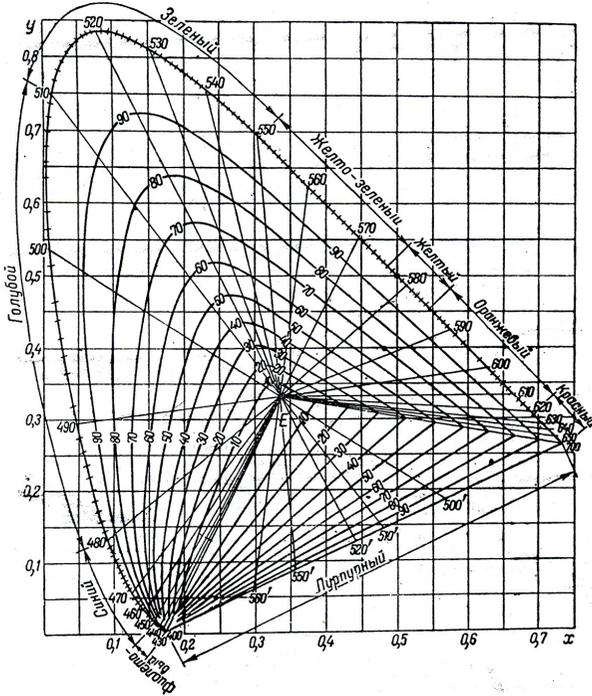


Рис. 11. Цветовой график в международной колориметрической системе.

Расчет координат цвета ведем по формулам, пользуясь значениями удельных координат цвета, приведенными в таблице. Для удобства расчет сведен в нижеследующую таблицу:

Таблица 8

Длина волны основных линий, нм	Лучистый поток линий, Вт	Удельные координаты цвета			Координаты цвета излучения		
		$\bar{x}_i$	$\bar{y}_i$	$\bar{z}_i$	$x'_i$	$y'_i$	$z'_i$
405	5,2	0,023	0,0006	0,110	0,12	-	0,57
436	9,1	0,334	0,018	0,018	3,07	0,16	15,0
546	10,5	0,377	0,981	0,013	3,96	10,3	0,14
577-579	10,2	0,890	0,890	0,0017	9,09	9,09	0,02

	35,0	-	-	-	16,24	19,55	15,73
--	------	---	---	---	-------	-------	-------

Для определения координат цветности найдем предварительно сумму координат цвета:

$$m = x' + y' + z' = 51,5$$

Координаты цветности будут равны:

$$x = \frac{x'}{m} = 16,24/51,5 = 0,315;$$

$$y = \frac{y'}{m} = 19,55/51,5 = 0,38.$$

Нанося точку с координатами  $X = 0,315$  и  $Y = 0,38$  на график (рис.), определяем цветовой тон и чистоту цвета:

$$\lambda = 530 \text{ нм (зеленый); } P = 22 \text{ \%}.$$

### Пример №2.

Определить цветность излучения абсолютно черного тела при температуре нагрева его  $T = 2600 \text{ К}$ .

Воспользуемся заданным преподавателем спектральным распределением энергии излучения абсолютно черного тела при  $T = 2600 \text{ К}$ , мощность излучения  $\Phi_\lambda$  которого по зонам в  $10 \text{ нм}$  приведен в столбце 2 табл. 9.

Таблица 9

Расчет цветности излучения абсолютно черного тела при  $T = 2600 \text{ К}$ .

$\lambda$	$\Phi_\lambda$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x$	$y$	дом. ин. $\lambda$ , нм.	Чистота цвета P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
410	4,639	0,0435	0,0012	0,2074	0,20	0,0056	0,93				
420	5,670	0,1344	0,0046	0,6456	0,76	0,0226	3,66				
430	6,837	0,2839	0,0116	1,3856	1,94	0,80	9,47				
440	8,16	0,3483	0,0230	1,7471	2,84	0,19	14,26				
450	9,64	0,3362	0,0380	1,7721	3,24	0,37	17,08				
460	11,27	0,2908	0,0600	1,6692	3,28	0,68	18,81				
470	13,07	0,1954	0,0910	1,2875	2,55	1,19	16,83				
480	15,02	0,0956	0,1390	0,8130	1,44	2,09	12,21				
490	17,13	0,0320	0,2080	0,4652	0,55	3,56	7,97				
500	19,40	0,0049	0,3230	0,2720	0,09	6,27	5,27				
510	21,82	0,0093	0,5030	0,1582	0,20	10,98	3,45				
520	24,39	0,0633	0,7100	0,0782	1,54	17,31	1,91				
530	27,08	0,1655	0,8620	0,0422	4,48	23,34	1,14				
540	29,92	0,2904	0,9540	0,0203	8,69	28,54	0,61				
550	32,87	0,4334	0,9950	0,0087	14,25	32,71	0,29				
560	35,93	0,5945	0,9950	0,0039	21,36	35,75	0,14				
570	39,03	0,7621	0,9520	0,0021	29,79	37,20	0,08				
580	42,36	0,9163	0,8700	0,0017	38,81	36,85	0,07				
590	45,67	1,0263	0,7570	0,0011	46,86	34,57	0,05				
600	49,08	1,0622	0,6310	0,0008	52,12	30,97	0,04				
610	52,57	1,0026	0,5030	0,0003	52,69	26,41	0,016				

620	59,09	0,8544	0,3810	0,0002	47,91	21,37	0,011				
630	59,61	0,6424	0,2650	0,0000	38,28	15,79	-				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
640	63,20	0,4479	0,1750	0,0000	28,30	11,06	-				
650	70,32	0,2835	0,1070	0,0000	11,59	4,29	-				
660		0,1649	0,0610	0,0000			-				
670	73,92	0,0974	0,0320	0,0000	6,46	2,36	-				
680	77,47	0,0468	0,0170	0,0000	3,63	1,31	-				
690	81,06	0,0227	0,0082	0,0000	1,84	0,66	-				
700	84,54	0,0114	0,0041	0,0000	0,96	0,34	-				
710	87,99	0,0058	0,0021	0,0000	0,51	0,18	-				
720	91,41	0,0029	0,0029	0,0000	0,27	0,09	-				
$\Sigma$					447,37	393,72	114,31				

Ход расчета виден из табл. 9.

1) Заполняем табл. 9 графы 1 и 2, пользуясь заданным распределением энергии излучения  $\Phi(\lambda)$ .

2) Пользуясь данными табл. 3 (Приложение 1) “Ординаты кривых сложения для стандартного колориметрического наблюдателя МКО”, вносим их в табл. 9 в графы 3, 4, 5.

3) Определяем произведения  $\bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ ,  $\bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ ,  $\bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ . Результаты вносим в табл. 9 в графы 6, 7, 8. Например, для  $\lambda=410$  в столбце 2  $\Phi_\lambda = 4,639$ , в столбце 3  $\bar{x}_{\lambda=410} = 0,0435$ , тогда  $\bar{x}_{\lambda=410} \cdot \Phi_{\lambda=410} = 0,0435 \cdot 4,639 = 0,20$ .

Аналогично заполняем графы 6, 7, 8.

4) Суммируем итоги по столбцам 6, 7, 8:

$$\sum \bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda = 447,37$$

$$\sum \bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda = 393,72$$

$$\sum \bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda = 114,31$$

5) Определяем координаты цветности заданного излучения  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ .

Так как интервал длин волн принят  $\Delta\lambda = 10 \text{ нм} = 0,01 \text{ мкм}$ , а мощности излучения, приведенные в таблице, отнесены к 1 мкм, то полученные значения сумм следует уменьшить в 100 раз.

Тогда:  $x' = 4,47$ ,  $y' = 3,94$ ,  $z' = 1,14$ .

6) Рассчитываем координаты цветности излучения

$$x = \frac{x'}{m} \quad y = \frac{y'}{m}, \text{ где } m = x' + y' + z'$$

$$x = \frac{4,47}{9,55} = 0,468 = 0,47$$

$$y = \frac{3,94}{9,55} = 0,412 = 0,41$$

где  $m = 4,47 + 3,94 + 1,14 = 9,55$

7) Наносим точку с координатами цветности  $x = 0,47$ ,  $y = 0,41$  на цветовой треугольник и по отношению к источнику А соответственно находим:

- по отношению к источнику А  
 $\lambda = 580 \text{ нм}$   $P = 20 \%$

- по отношению к источнику Е  
 $\lambda = 583 \text{ нм}$   $P = 70 \%$

8) Пользуясь табл. 1 определяем цветовой тон излучения. Делаем вывод о цветности излучения абсолютно черного тела при  $T = 2600 \text{ К}$ , т.е. оцениваем цветовой тон и насыщенность.

### Пример №3.

Требуется определить цветность излучения, отраженного от оранжевой поверхности с заданным спектральным коэффициентом отражения (рис. 12) при освещении ее лампой накаливания мощностью 100 Вт.

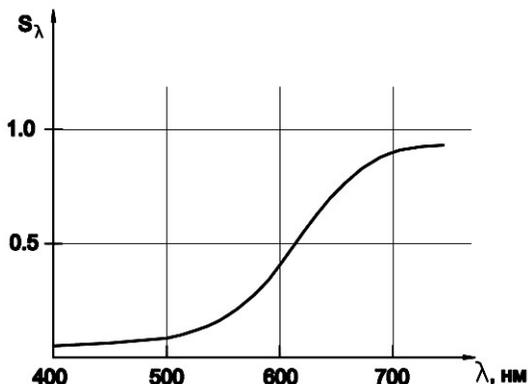


Рис. 12. Спектральный коэффициент отражения оранжевой поверхности.

Расчет сведен в табл. 8. Спектральное распределение энергии излучения лампы накаливания мощностью 100 Вт приведено в 1 и 2 столбцах табл. 8. Величина спектрального коэффициента отражения оранжевой поверхности определена из рис. 12 и дана в табл. 8 в столбце 3. Пользуясь табл. 2, приложение 1, определяем удельные координаты цвета  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,

$\bar{z}(\lambda)$  стандартного колориметрического наблюдателя МКО и заносим данные в табл. 8 (4, 5, 6 столбцы).

Определяем произведения  $\bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ ,  $\bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ ,  $\bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$ , заполняя графы 7, 8, 9 табл. 8.

Например, для  $\lambda=420$ ,  $\Phi_\lambda = 14,8$  вт,  $\bar{x}(\lambda)_{\lambda=420} = 0,13$ , тогда  $\bar{x}(\lambda)_{\lambda=420} \cdot \Phi_{\lambda=420} = 0,13 \cdot 14,8 = 1,99$ .

Аналогично заполняются все графы 7, 8, 9.

Произведения  $\rho_\lambda \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$  определяются перемножением соответствующих величин  $\rho_\lambda$  (столбец 3) и  $\bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$  (столбец 7) и т.д. Результаты сводятся в графы 10, 11, 12.

Суммируем итоги по графам 10, 11, 12:

$$\sum \rho_\lambda \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda = 187,477$$

$$\sum \rho_\lambda \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda = 108,93$$

$$\sum \rho_\lambda \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda = 11,096$$

Таблица 8

Длина волны $\lambda$ , нм	Лучистая мощность $\Phi_\lambda$ , вт	Коэф. отражения $\rho_\lambda$	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$\bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$	$\bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$	$\bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$	$\rho_\lambda \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$	$\rho_\lambda \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$	$\rho_\lambda \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Phi_\lambda$	$x$	$y$			Домин. длина волны $\lambda_d$ , нм	Чистота цвета $P$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
400	9,8	0,08	0,04	0,001	0,2	1,99	0,059	9,55	0,16	0,005	0,76						
420	14,8	0,08	0,13	0,004	0,65	7,22	0,48	36,2	0,58	0,04	2,89						
440	20,7	0,08	0,35	0,02	1,77	7,85	1,62	45,0	0,63	0,13	3,60						
460	27,0	0,08	0,29	0,06	1,67	3,55	4,86	28,4	0,27	0,39	2,27						
480	35,0	0,08	0,09	0,14	0,81	0,21	14,02	11,8	0,02	112	0,94						
500	43,5	0,08	0,01	0,32	0,27	3,22	37,3	4,05	0,27	2,98	0,32						
520	52,5	0,08	0,06	0,71	0,08	17,9	58,6	1,25	1,43	4,96	0,10						
540	61,5	0,08	0,29	0,95	0,02	42,0	70,4	0,28	4,20	7,04	0,03						
560	70,7	0,10	0,59	0,99	0,01	73,2	69,5	0,14	18,3	17,38	0,04						
580	79,9	0,25	0,92	0,87	0,002	94,6	56,2	0,07	46,35	27,54	0,03						
600	89,0	0,49	1,06	0,63	0,015	83,7	37,4	0,07	55,24	24,68	0,05						
620	98,0	0,66	0,85	0,38	0,004	48,1	18,8	0,07	37,52	14,66	0,05						
640	107,3	0,76	0,45	0,18	0,00	19,2	7,1	0,07	15,94	5,89	0,05						
660	116,2	0,83	0,17	0,06	0,00	5,8	2,1	0,07	4,93	1,79	0,05						
680	123,9	0,85	0,05	0,02	0,00	15,0	0,54	0,07	1,29	0,46	0,05						
700	131,0	0,80	0,01	0,01	0,14	0,004	0,66	0,01	0,003	0,05	0,05						
$\Sigma =$									187,477	108,93	11,096						

Так как интервал длин волн принят  $\Delta\lambda = 10 \text{ нм} = 0,01 \text{ мкм}$ , а мощности

излучения, приведенные в таблице, отнесены к 1 мкм, то полученные значения сумм следует уменьшить в 100 раз.

Тогда координаты цвета:  $x' = 1,87$ ,  $y' = 1,09$ ,  $z' = 1,11$ .

$$m = x' + y' + z' = 3,07.$$

Определяем координаты цветности излучения лампы накаливания, отраженного от оранжевой поверхности:

$$x = \frac{x'}{m} = \frac{1,87}{3,07} = 0,61$$

$$y = \frac{y'}{m} = \frac{1,09}{3,07} = 0,35$$

Наносим точку с координатами цветности  $X = 0,61$ ,  $Y = 0,35$  на диаграмму цветности и находим цветовой тон  $\lambda = 607$  нм, чистота  $P = 88\%$ .

Поверхность оранжевой краски при освещении лампой накаливания воспринимается как оранжевая высокой насыщенности.

## Литература.

1. Учебник “Архитектурная физика” под ред. Оболенского Н.В. М., “Архитектура-С”. 2007.
2. И.В. Мигалина. Основы архитектурного цветоведения. М., 1998.





Учебное издание

Инесса Валентиновна Мигалина, доцент

## **Расчет цветности излучения**

Учебно-методические указания к курсовой расчетно-  
графической работе

Под редакцией д.арх., проф. Николая Ивановича Щепеткова

Издание подготовлено на кафедре  
«Архитектурной физики»  
(протокол заседания кафедры №7 от 31.01.11)

Подписано в печать 21.11.11  
Формат 60х90/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Times New Roman  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 2,25.  
Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт  
(государственная академия)»  
107031, Москва, ул. Рождественка, д.11,  
Тел.: (495) 625-50-82, (495) 624-79-90.