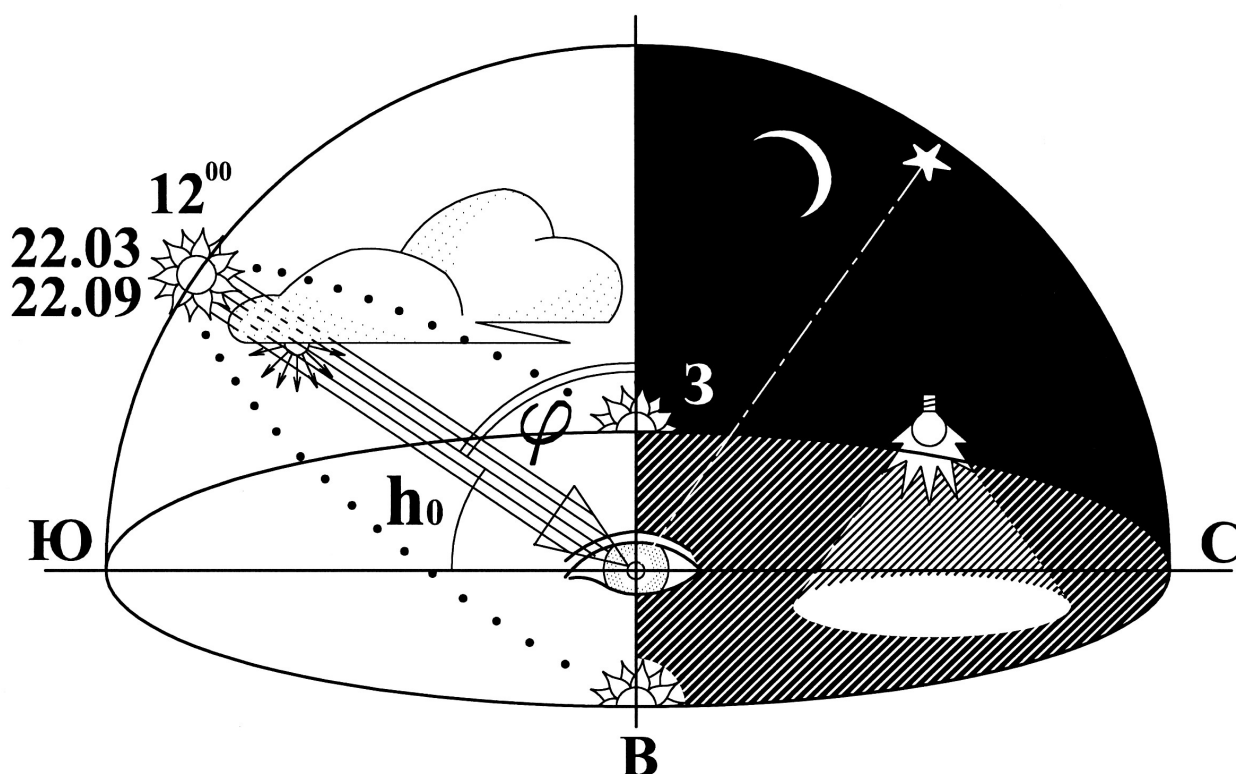


И. В. МИГАЛИНА

СБОРНИК ЗАДАЧ

ПО

АРХИТЕКТУРНОЙ СВЕТОЛОГИИ



ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ:

ЦВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ

Архитектурное цветоведение

МОСКВА • МАРХИ • 2012

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

И.В. Мигалина

Сборник задач по архитектурной светологии
Часть четвертая:
ЦВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ.
Архитектурное цветоведение

Москва
МАРХИ
2012

УДК 535-2
ББК 38.113
М 57

Мигалина И.В.

Сборник задач по архитектурной светологии. Часть четвертая:
ЦВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ. Архитектурное цветоведение / И.В.
Мигалина. — М.: МАРХИ, 2012. — 36 с.

Настоящий сборник по архитектурному цветоведению подготовлен впервые. Задачник способствует более глубокому изучению и пониманию студентами теоретического материала соответствующего раздела дисциплины «Архитектурная светология».

В серии простейших задач, решаемых расчетными способами колориметрии, рассматриваются вопросы колористики архитектурной среды при освещении ее искусственными источниками электрического света с разными спектральными характеристиками.

Для облегчения пользования задачником к части задач даны примеры решений, в тексте и Приложениях приводится весь необходимый справочный материал. Сборник служит для выполнения аудиторных и домашних заданий и для оценки знаний студентов во время аттестации, зачетов и экзаменов. Он предназначен для студентов архитектурных вузов и может оказаться полезным для дизайнеров, светотехников, колористов и др.

Данный задачник является четвертой частью общего сборника по архитектурной светологии, издающегося кафедрой «Архитектурная физика» МАРХИ.

Состав сборника задач по архитектурной светологии:
Часть первая: **СВЕТ НЕБА В АРХИТЕКТУРЕ. Естественное освещение помещений.**
Часть вторая: **СВЕТ СОЛНЦА В АРХИТЕКТУРЕ. Инсоляция и солнцезащита.**
Часть третья: **ИСКУССТВЕННЫЙ СВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ. Светодизайн интерьера и города.**
Часть четвертая: **ЦВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ. Архитектурное цветоведение.**
Часть пятая: **ОСВЕЩЕНИЕ И ЗРИТЕЛЬНЫЙ КОМФОРТ В АРХИТЕКТУРЕ.**

© МАРХИ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Свет. Цвет. Зрение. Основные понятия.....	4
Световые величины.....	4
Колориметрия.....	6
Колориметрические системы. Цветовая система RGB.....	6
Колориметрическая система МКО XYZ.....	7
Диаграмма цветностей.....	8
Цветовое различие. Цветовой контраст.....	11
Цветопередача.....	14
2. Задачи и примеры цветовых расчетов.....	15
Световые величины. Задачи №№1 – 14.....	15
Колориметрия. Задачи №№15 – 25.....	17
Диаграмма цветностей. Задачи №№26-31.....	20
Цветовое различие. Цветовой контраст. Задачи №№32 – 33.....	22
Цветопередача. Задачи №№34 – 45.....	23
Приложение 1. Таблица 1. Относительная спектральная световая излучения $V(\lambda)$	27
Приложение 2. Рис. 2-5. Диаграммы цветности x, y, z с линиями рав- ной чистоты цвета по отношению к источникам А, В, С, Е.....	32

1. СВЕТ. ЦВЕТ. ЗРЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

Световые величины.

В архитектурном цветоведении, где основным приемником информации об окружающем мире является зрение, принята система световых величин и единиц. Как известно, *световой поток* – лучистый поток, оцениваемый по его действию на глаз, относительная спектральная чувствительность которого определяется стандартизированной функцией спектральной эффективности излучения $V(\lambda)$. Кривая $V(\lambda)$ и значения этой функции для дневного зрения приведены на рис. 1 и в табл. 1. Приложение 1.

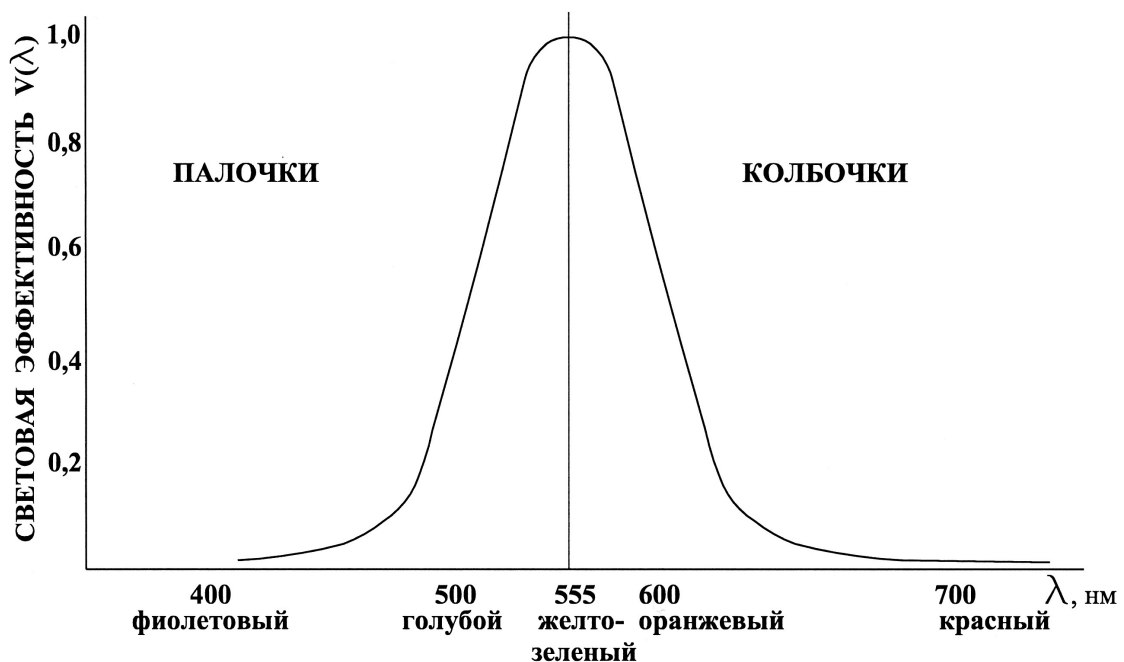


Рис. 1. Относительная спектральная эффективность $V(\lambda)$ для дневного зрения.

Как установлено в результате измерений, максимальное значение *спектральной световой эффективности*, принятой за единицу, соответствует монохроматическому потоку (желто-зеленый) с длиной волны $\lambda = 555$ нм и равно приблизительно 680 лм/вт.

Соответственно, монохроматический световой поток излучения с длиной волны λ может быть представлен в виде:

$$\Phi_{\lambda} = 680 \cdot V_{\lambda} \cdot \Phi_{e\lambda}, \quad (1)$$

где Φ_{λ} – световой поток излучения с длиной волны λ , [лм];

V_{λ} – значение относительной спектральной световой эффективности для излучения с длиной волны λ , [лм/вт], (определяется по табл. 1. Приложение 1);

$\Phi_{e\lambda}$ – значение лучистого потока излучения заданной длины волны λ , [вт].

В табл. 2 приведены ориентировочные границы монохроматических излучений, полученных при разложении природного дневного *белого света** на спектр, и границы пурпурных цветов, отсутствующих в спектре и получаемых смешением сине-фиолетовых с красным цветом, величина которых указывается со знаком штрих.

Таблица 2.

Границы участков спектра и пурпурных цветов.

Цвет	Границы участков спектра и пурпурных цветов, λ в 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

Полная характеристика цвета включает в себя *качественный* и *количественный* показатели – *цветность* и *яркость* (светлота) (табл. 3).

Таблица 3

Параметры цвета

Объективные	Длина волны λ , нм	Чистота Р, %	Яркость L, кд/м ²
Ощущения	Цветовой тон	Насыщенность Н, пороги	Светлота В, пороги
	ЦВЕТНОСТЬ		ЯРКОСТЬ (СВЕТЛОТА)

* Белый свет – сложный свет, состоящий из излучений всего видимого диапазона длин волн от красного до фиолетового. Все рассматриваемое в данном пособии относится к освещению белым светом.

Колориметрия – наука о количественном выражении цвета. Как показывают исследования, любой цвет может быть получен смешением трех так называемых *основных* цветов в определенных соотношениях, взаимно независимых (например, *красного, зеленого и синего*), т.е. таких цветов, которые не могут быть получены смешением двух других.

Колориметрические системы. Цветовая система RGB.

В цветовой системе RGB в качестве основных цветов приняты монохроматические излучения с длинами волн:

- красный R $\lambda = 700,0$ нм;
- зеленый G $\lambda = 546,1$ нм;
- синий B $\lambda = 435,8$ нм.

Любой цвет Φ в системе RGB может быть воспроизведен путем смешения основных цветов RGB в соответствующих количествах r' , g' , b' :

$$\Phi = r'R + g'G + b'B \quad (2)$$

Уравнение (2) называют *цветовым уравнением*, а коэффициенты r' , g' , b' – координатами цвета.

Яркость цвета L определяется:

$$L = 680 (r'\Lambda_R + g'\Lambda_G + b'\Lambda_B), \quad (3)$$

где r' , g' , b' – координаты цвета;

Λ_R , Λ_G , Λ_B – яркостные коэффициенты основных цветов системы RGB.

За единицы основных цветов RGB приняты различные их количества – они выбраны так, чтобы при их смешении можно было получить равноэнергетический белый:

$$R - \lambda_R = 700\text{нм}, \Phi_R = 680\text{лм}, L_R = 680 \text{ кд/м}^2, \Lambda_R = 1;$$

$$G - \lambda_G = 546,1\text{нм}, \Phi_G = 3135\text{лм}, L_G = 3135 \text{ кд/м}^2, \Lambda_G = 4,59;$$

$$B - \lambda_B = 435,8\text{нм}, \Phi_B = 41\text{лм}, L_B = 41 \text{ кд/м}^2, \Lambda_B = 0,06,$$

где Φ_R , Φ_G , Φ_B , L_R , L_G , L_B , Λ_R , Λ_G , Λ_B – соответственно световые потоки, яркости и яркостные коэффициенты основных цветов системы RGB. Таким образом, для получения белого необходимо обеспечить следующую пропорцию смеси:

$$\Lambda_R:\Lambda_G:\Lambda_B = (L_R:L_G:L_B)/680 = 1:4,59:0,06 \quad (4)$$

Если требуется определить только качественную характеристику цвета – цветность, то удобнее иметь дело не с абсолютными величинами r' , g' , b' , а с их соотношениями:

$$\begin{aligned} r &= \frac{r'}{r'+g'+b'} = \frac{r'}{m}; \\ g &= \frac{g'}{r'+g'+b'} = \frac{g'}{m}; \\ b &= \frac{b'}{r'+g'+b'} = \frac{b'}{m}; \\ m &= r'+g'+b', \end{aligned} \quad (5)$$

где r , g , b – координаты цветности; m – модуль цвета.

Система RGB при всей своей простоте обладает существенными недостатками, затрудняющими выполнение цветовых расчетов на ее основе. Не углубляясь в сущность этих проблем, отметим лишь, что основным недостатком системы является наличие отрицательных координат для большой группы реальных цветов. Вторым недостатком системы RGB является необходимость расчета всех трех компонентов цвета при определении его яркости.

По этим причинам международной комиссией по освещению (МКО) была предложена колориметрическая система XYZ.

Колориметрическая система МКО XYZ.

Основные цвета RGB здесь заменены нереальными, не существующими в природе цветами XYZ, играющими лишь роль удобных математических символов. Эти цвета были выбраны так, чтобы облегчить колориметрические расчеты. С помощью линейных преобразований удалось от системы RGB перейти к системе XYZ.

В системе XYZ цветовое уравнение имеет вид:

$$\Phi = x'X + y'Y + z'Z, \quad (6)$$

где Φ – искомый цвет излучения, который может быть получен смешением основных цветов XYZ в количествах x' , y' , z' ;

X , Y , Z – основные цвета;

x' , y' , z' – координаты цвета.

В соответствии с условиями построения колориметрической системы XYZ световые потоки основных цветов X и Z – Φ_X и Φ_Z , а следовательно, и их яркости L_X и L_Z приняты равными нулю, а световой поток цвета y – $\Phi_Y = 680$ лм и его яркость $L_Y = 1$.

Таким образом, для количественной оценки цвета излучения достаточно определить ординату y' . Яркость определяется:

$$L = 680(x'L_X + y'L_Y + z'L_Z), \quad (7)$$

где L – яркость цвета; L_X , L_Y , L_Z – яркостные коэффициенты основных цветов XYZ.

$$\text{Так как } x'L_X = 0 \text{ и } z'L_Z = 0, \text{ а } L_Y = 1, \text{ то } L = 680 y'. \quad (8)$$

Диаграмма цветностей.

Для качественной оценки цвета необходимо уметь определить его цветность. Расчетные координаты цвета x' , y' , z' позволяют в свою очередь определить координаты цветности из соотношений:

$$x = \frac{x'}{m}; \quad y = \frac{y'}{m}; \quad z = \frac{z'}{m}, \quad (9)$$

где $m = x' + y' + z'$.

Отсюда видно, что:

$$x + y + z = 1. \quad (10)$$

Следовательно, для характеристики цветности достаточно двух координат x и y , что позволяет изображать цветность излучения точкой в прямоугольной системе координат xy на диаграмме цветностей (рис. 2, 3, 4, 5. Приложение 2)*.

В табл. 4 приведены характеристики цветности излучений различных источников света – цветовые температуры* и координаты цветности.

* Диаграммы цветности построены по отношению к эталонам белого света МКО: источники А (лампа накаливания), В (прямой солнечный свет), С (диффузный свет северного неба) и Е (теоретический равноэнергетический, идеально белый).

Таблица 4

Цветовые характеристики излучений различных источников света

	Источники света	Цветовая температур а* Т, К	Индекс цветопереда чи R _a , %**	Координаты цветности	
				х	у
	1	2	3	4	5
Светящиеся белого	А (лампа накаливания)	2856	-	0,448	0,407
	В (прямой солнечный свет)	4874	-	0,348	0,352
	С (свет голубого неба)	6774	-	0,310	0,316
	Е (равноэнергетический белый)	5460	-	0,330	0,330
Тепловые источники света	ЛН и ГЛН	2700-3000	100***	0,448	0,407
Газоразрядные источники света	Люминесцентные лампы:				
	ЛТБ	2700	53	0,430	0,390
	ЛБ	3500	57	0,400	0,400
	ЛТБЦ	2700	80	0,460	0,410
	ЛЕЦ	3900	85	0,380	0,370
	ЛХБ	4500	65	0,360	0,390
	ЛХЕЦ	5200	93	0,340	0,350
	ЛДЦ	6000	92	0,330	0,350
	ЛД	6500	73	0,320	0,340
	Натриевая лампа высокого давления НЛВД	1900-3000	20-85	0,500	0,410
	Дуговая ртутная лампа ДРЛ	3300-4000	40-59	0,390	0,400
	Ксеноновая лампа	6300	> 80	0,330	0,330
	Металлогалогенная лампа	2200-6700	55-93	0,308	0,318
Полупроводниковые	Светодиоды	2950	≥ 75	0,440	0,410
	СД	3150	-	0,450	0,450
		3370	-	0,410	0,390
		3500	-	0,420	0,390

*Цветовая температура – температура абсолютно черного тела, при которой цветности излучений абсолютно черного тела и искомого излучения одинаковые, измеряется в градусах К.

Для оценки цветности излучения надо определить длину волны λ нм – цветового тона и чистоты P , % - насыщенности по диаграмме цветности по отношению к эталонному белому (рис. 6).

**см. ниже., стр. 13.

*** Для тепловых источников света это условная величина.

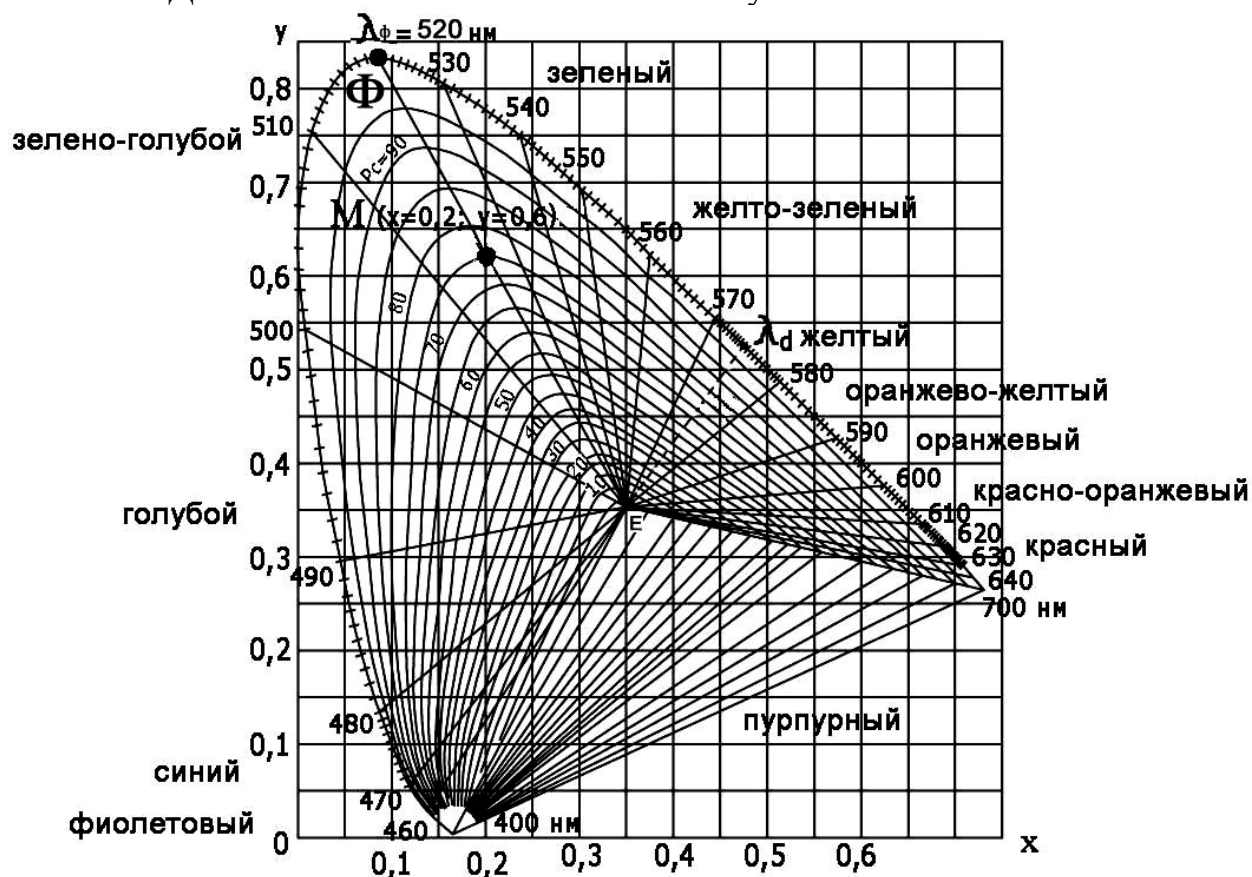


Рис. 6. Определение длины волны и чистоты цвета по диаграмме цветности по отношению к источнику Е.

Между чистотой цвета (концентрические кривые равной чистоты) и длиной волны, указанной на кривой спектральных и прямой пурпурных цветов, с одной стороны, и координатами цветности x, y , с другой, есть взаимосвязь. Проведя на диаграмме цветности прямую из точки белого цвета Е через точку заданной цветности М ($x=0,2$; $y=0,6$) (рис. 6) до пересечения с кривой цветности спектральных цветов, получим точку Ф. В соответствии с законом аддитивного смешения цветов эта точка определяет цветность некоторого монохроматического излучения Ф с длиной волны λ , смесь которого с белым одинакова по цветности с заданным М (x, y).

Таким образом, пользуясь диаграммой цветности, легко перейти от координат цветности x, y к длине волны – цветовому тону и чистоте – насыщенности. Соединив точку, например, цвета М, определяемого на цветовом графике координатами x, y с точкой белого «Е» и продолжив эту прямую до пересечения с кривой чистых спектральных цветов (точка Ф), определим длину волны монохроматического

излучения λ , определяющего цветовой тон цвета М. По концентрическим кривым равной чистоты (от 0% до 100%) находим Р(%) чистоту цвета М.

Цветовой тон и чистота цвета будут различны для излучения М в зависимости от того, по отношению к какому «белому» они определены (см. * стр. 8). На рис. 7 показаны линии одного и того же цветового тона, проходящие через точку белого. Цвета, оказавшиеся на концах этих прямых линий, называются *дополнительными*, так как при аддитивном смешении в определенных пропорциях они могут дать белый свет. По диаграмме можно определить пары дополнительных цветов: например, голубой с $\lambda = 510$ нм и пурпурный с $\lambda = 510'$ нм; оранжево-желтый с $\lambda = 580$ нм и синий с $\lambda = 480$ нм (для источника Е). Для источника А наблюдаются сдвиги в области оранжевых спектральных цветов.

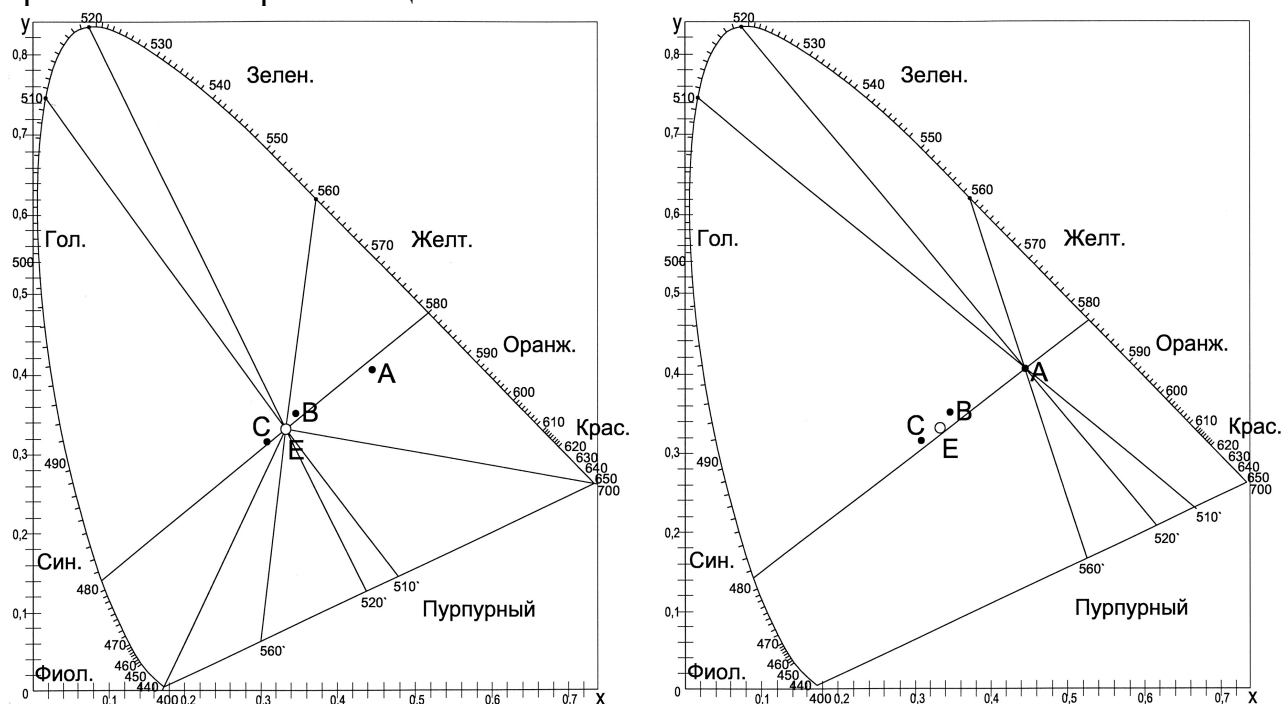


Рис. 7. Определение дополнительных цветов по диаграмме цветности.

Цветовое различие. Цветовой контраст.

Одной из практических задач, решаемых с помощью цветовых расчетов, является сопоставление цветов двух каких-либо поверхностей при равных условиях освещения либо сравнение цвета объекта при освещении различными источниками света. Разницу в цвете принято характеризовать *цветовым контрастом*. Цветовой контраст – мера различия цветов по цветовому тону, насыщенности и светлоте, оцениваемая в цветовых порогах или порогах цветоразличения. Цветовой порог или порог цветоразличения – минимальное цветовое различие, обнаруженное глазом в определенных условиях наблюдения. Т.е., когда между сравниваемыми цветами невозможно «уложить» третий, отличающийся от каждого из них. Пользуясь понятием «цветовой порог», можно удобно и наглядно оценить различия между двумя цветами числом порогов цветоразличения. Следует заметить, что величина цветового порога не одинакова для различных цветов. Наибольшая величина цветового порога наблюдается в области зеленых и голубых цветов, наименьшая – в фиолетово-пурпурной области. Для того, чтобы можно было определить контраст по

цветности $\Delta K_{\text{цв}}$ (см. ниже) по цветовому графику непосредственным измерением, цветовой график был трансформирован специальным образом и преобразован различными способами. Полученные в результате графики получили название равноконтрастных. На таких диаграммах система координат xy является уже не прямоугольной, зато масштаб цветовых порогов сохраняется примерно постоянным в пределах всей диаграммы (рис. 8).

Расстояние между двумя точками, отвечающими двум цветностям на равноконтрастной диаграмме, определяет число цветовых порогов между этими цветностями (с учетом масштаба графика).

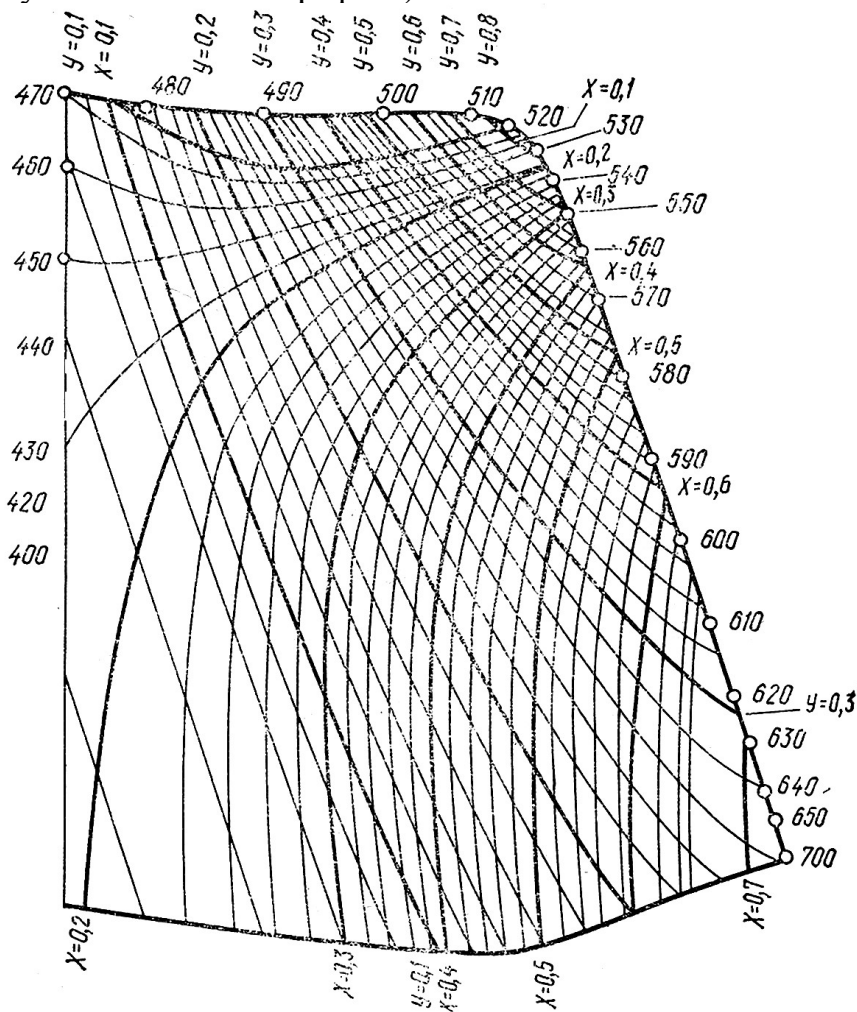


Рис. 8. Равноконтрастная диаграмма цветности. М 1:4.8 (по Н. Беляевой).

Цветовой контраст определяется:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta K_{\text{цв}}^2 + \Delta B^2}, \quad (11)$$

где ΔE - цветовой контраст, пороги; $\Delta K_{\text{цв}}$ - контраст по цветности, пороги;
 ΔB - контраст по светлоте, пороги.

В таблице 5 даны градации цветового контраста.

Таблица 5

Цветовой контраст ΔE	Группа цветового контраста	Величина контраста, ΔE , пороги
	М1	0 – 10

Малый	M2	10 – 21
	M3	21 – 32
	C1	32 – 43
Средний	C2	43 – 54
	C3	54 – 65
	B1	65 – 76
Большой	B2	76 – 87
	B3	88 и более

Контраст по цветности ($\Delta K_{\text{цв}}$) определяется: если известны координаты цветности двух цветов (x, y) и отношение их коэффициентов отражения ($\rho_0/\rho_{\text{ф}}$) или яркостей ($L_0/L_{\text{ф}}$), нужно определить $\Delta K_{\text{цв}}$ по равноконтрастной диаграмме (рис. 8) как длину отрезка между двумя точками на графике с координатами (x, y) и умножить ее на коэффициент (n), найденный по графику (рис. 9).

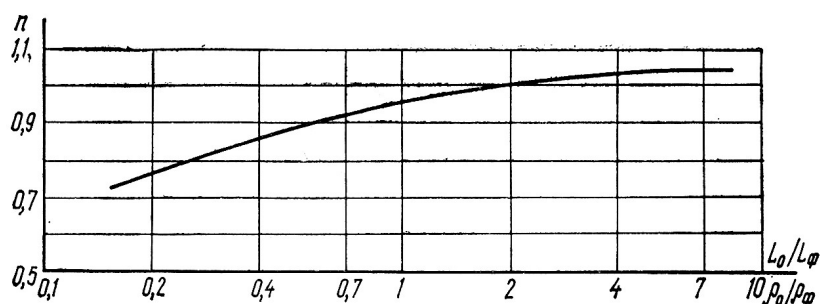


Рис. 9. Зависимость контраста по цветности от отношения яркостей или коэффициентов отражения объекта и фона

Контраст по светлоте (ΔB) определяется по графику (рис. 10) по известным коэффициентам отражения объекта (ρ_0) и фона ($\rho_{\text{ф}}$).

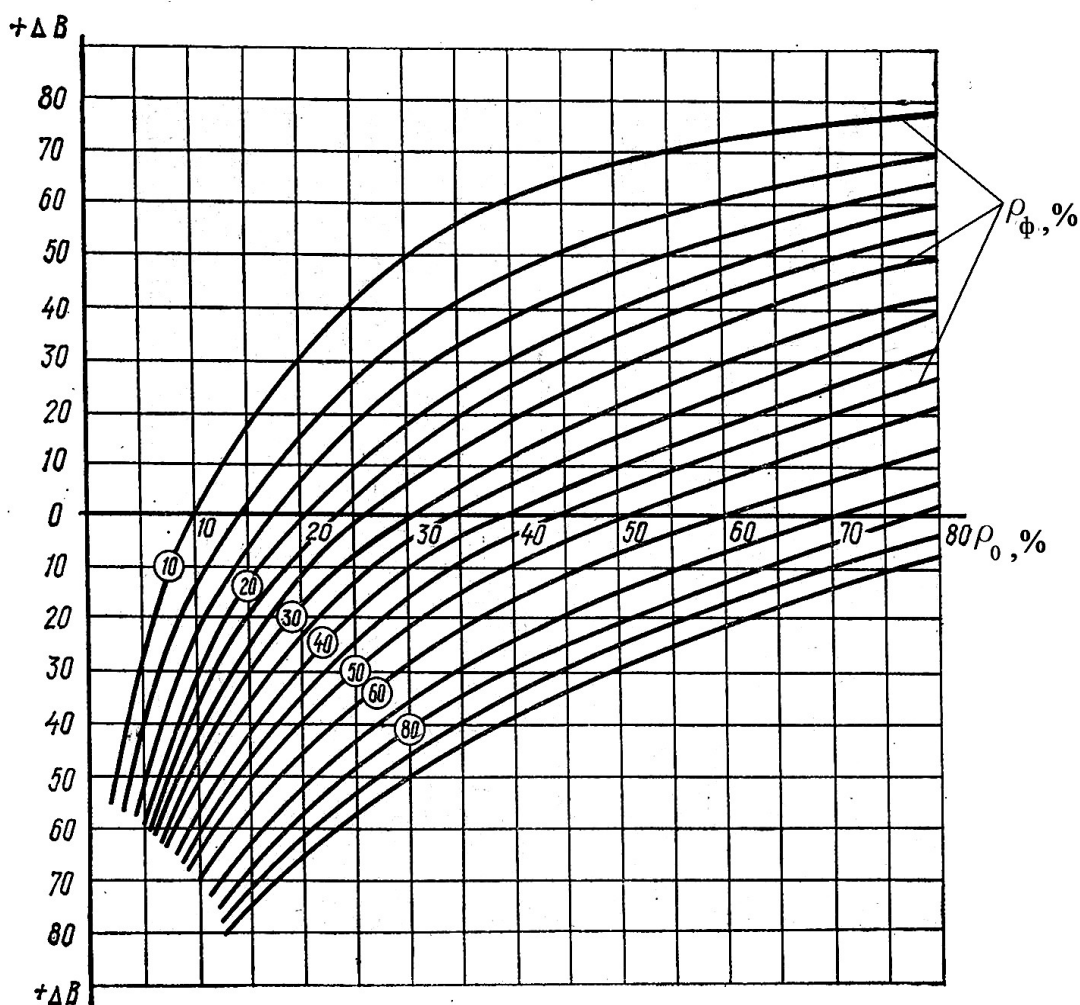


Рис. 10. Контраст по светлоте в зависимости от коэффициентов отражения объекта (ρ_0) и фона (ρ_ϕ).

Цветопередача – влияние источников света на восприятие цвета материального объекта. Проблема оценки качества воспроизведения цвета в архитектуре интерьера и города особенно актуальна в связи с широким использованием различающихся по цветовым характеристикам искусственных источников белого света – тепловых, разрядных, полупроводниковых (табл. 4)*.

Для оценки качества цветопередачи МКО рекомендует колориметрический метод – *метод контрольных цветов*. В основу этого метода положен расчет среднего значения изменения цвета специально отобранных цветных образцов. Сущность метода оценки цветопередачи МКО заключается в сопоставлении цвета выбранных контрольных образцов (выкрасок) при освещении их исследуемыми и эталонными источниками белого света. Набор цветных образцов состоит из восьми основных и шести дополнительных (в случае необходимости) выкрасок. Координаты цвета некоторых из них в системе МКО приведены в табл. 6.

Таблица 6.
Контрольные образцы МКО при освещении стандартным источником А

образцы №	Наименование цвета	Координаты цвета в системе МКО		
		x'	y'	z'
1.	желто-зеленый	30,85	32,02	3,10
2.	голубой	26,88	27,44	12,86
3.	светло-фиолетовый	34,36	28,22	18,67
4.	пурпурный	39,87	31,23	15,94
5.	красный	22,17	12,66	1,61
6.	желтый	74,12	68,40	3,65
7.	зеленый	13,63	16,35	4,66
8.	синий	3,38	3,14	7,63

В качестве эталонного излучения принимается стандартный источник наиболее близкий по цветовой температуре к исследуемому. Измерения цвета контрольных образцов при освещении исследуемого источника по сравнению с эталонным оцениваются в цветовых порогах по равноконтрастной диаграмме (рис. 8). Эти изменения называют цветовым сдвигом ΔE_i . Для данного образца индекс цветопередачи i -го образца R_i связан с цветовым сдвигом ΔE_i соотношением:

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i, \quad (12)$$

где ΔE_i - цветовой сдвиг на i -м образце, выраженный в равноконтрастной системе.

* Этот термин для оценки восприятия цвета материальных объектов при освещении их искусственными источниками цветного света не используется.

Качество цветопередачи оценивается общим индексом цветопередачи R_a , измеряемым в % и рассчитанным как среднеарифметическое восьми значений специальных индексов цветопередачи R_i , определенным для группы контрольных образцов МКО из восьми выкрасок, имеющих номера от 1 до 8:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \quad (13)$$

Индекс цветопередачи эталонного источника принимается равным 100%. Отсюда источники света по качеству цветопередачи разделяются примерно на четыре класса: высокого ($R_a > 80$), среднего ($R_a = 80-70$), низкого ($R_a < 70$) и неудовлетворительного ($R_a < 40$) качества. Индексы цветопередачи R_a современных ламп указаны в табл.4. В маркировке отечественных ламп улучшенной цветопередачи вводится буква «Ц», а за рубежом – слова «делюкс» ($R_a = 80-85\%$), «суперделюкс», «экстраделюкс» ($R_a \geq 85$) (Табл. 7).

Таблица 7.

Цветность и группы цветопередачи

Цветовая температура, К	Цветовая гамма
ниже 3300К	теплая
от 3300К до 5000К	нейтральная

выше 5000К	холодная
Группа цветопередачи	Общий индекс цветопередачи R_a в системе МКО
1A	$R_a \geq 90$
1B	$90 \geq R_a \geq 80$
2	$80 \geq R_a \geq 60$
3	$60 \geq R_a \geq 40$
4	$40 \geq R_a \geq 20$

2. ЗАДАЧИ И ПРИМЕРЫ ЦВЕТОВЫХ РАСЧЕТОВ

Световые величины.

Задача №1. Лучистый поток монохроматического излучения с $\lambda = 700\text{нм}$, $\Phi_{e\lambda} = 10$ вт. Определить световой поток и цветность этого излучения.

Решение: По формуле (1): $\Phi_\lambda = 680 \cdot V_\lambda \cdot \Phi_{e\lambda}$.

По табл. 1, Приложение 1 определяем $V_{\lambda=700} = 0,0041$.

Тогда, световой поток $\Phi_{\lambda=700} = 680 \cdot 0,0041 \cdot 10 = 28$ лм.

По табл. 2 находим: $\lambda = 700\text{нм}$ – красный.

Задача №2. Две одинаковые грани белой призмы (рис. 11) облучаются лучистыми потоками $\Phi_{e\lambda_1}$ ($\lambda_1 = 500$ нм) и $\Phi_{e\lambda_2}$ ($\lambda_2 = 450$ нм) и имеют одинаковые яркости в условиях дневного зрения. Если $\Phi_{e\lambda_1} = 10$ вт, чему равен поток $\Phi_{e\lambda_2}$? Определить цвет граней призмы.

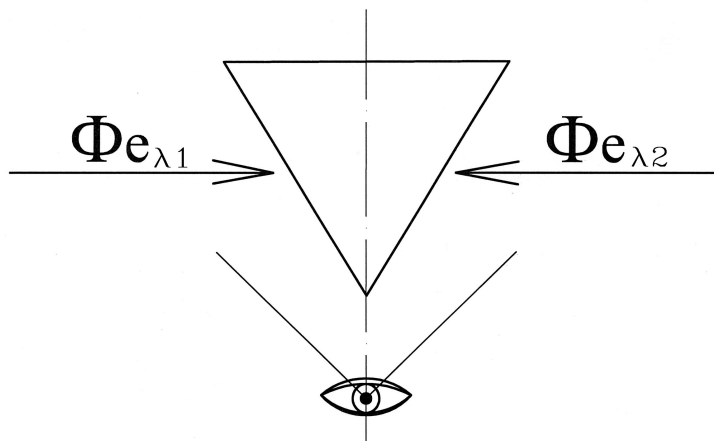


Рис. 11.

Решение: По табл. 1, Приложение 1 находим:

$V_{\lambda=500} = 0,323$; $V_{\lambda=450} = 0,038$.

По формуле (1): $\Phi_\lambda = 680 \cdot V_\lambda \cdot \Phi_{e\lambda}$:

$\Phi_{\lambda=500} = 680 \cdot 0,323 \cdot 10$ (лм);

$\Phi_{\lambda=450} = 680 \cdot 0,038 \cdot \Phi_{e\lambda=450}$ (лм).

Т.к. $L_{\lambda=500} = L_{\lambda=450}$, $\Phi_{\lambda=500} = \Phi_{\lambda=450}$.

Тогда $680 \cdot 0,323 \cdot 10 = 680 \cdot 0,038 \cdot \Phi_{e\lambda=450}$.

Откуда: $\Phi_{\lambda=450} = (0,323 \cdot 10) / 0,038 = 85$ Вт.

По табл. 2 определяем цвета граней призмы:

первой – для $\lambda_1 = 500$ нм – голубой; второй – для $\lambda_2 = 450$ нм – синефиолетовый.

Задача №3. Два монохроматических источника излучают одинаковые световые потоки с длинами волн $\lambda_1 = 555$ нм и $\lambda_2 = 650$ нм. Определить цветность и соотношение лучистых потоков этих источников.

Задача №4. Лучистые потоки монохроматических излучений $\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{\lambda_2} = \Phi_{\lambda_3} = 100$ Вт. Определить световые потоки и цветность этих излучений, если $\lambda_1 = 400$ нм, $\lambda_2 = 555$ нм и $\lambda_3 = 740$ нм.

Задача №5. Две плоские белые пластинки облучаются, одна лучистым потоком с длиной волны $\lambda_1 = 460$ нм, другая потоком с $\lambda_2 = 550$ нм. Каким должно быть отношение лучистых потоков, падающих на пластинки, чтобы пластинки были одинаковой яркости. Каков цвет каждой пластинки?

Задача №6. Монохроматические световые потоки $\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{\lambda_2} = \Phi_{\lambda_3} = 6800$ лм. Определить лучистые потоки и цвета этих излучений, если $\lambda_1 = 390$ нм, $\lambda_2 = 555$ нм и $\lambda_3 = 760$ нм.

Задача №7. Монохроматические световые потоки $\Phi_{\lambda_1} = 4290,8$ лм, $\Phi_{\lambda_2} = 3400$ лм. Определить лучистые потоки и цвета этих излучений, если $\lambda_1 = 600$ нм, $\lambda_2 = 555$ нм.

Задача №8. Два монохроматических источника излучают одинаковые лучистые потоки с длинами волн $\lambda_1 = 500$ нм и $\lambda_2 = 650$ нм. Определить цвет и соотношение световых потоков этих источников.

Задача №9. Две одинаковые поверхности освещаются одинаковыми световыми потоками с $\lambda_1 = 450$ нм и $\lambda_2 = 500$ нм. Определить лучистый поток с λ_2 , если лучистый поток с $\lambda_1 = 50$ Вт. Назвать цветность световых потоков.

Задача №10. Монохроматические световые потоки $\Phi_{\lambda_1} = 2000$ лм, $\Phi_{\lambda_2} = 1500$ лм и $\Phi_{\lambda_3} = 5500$ лм. Определить соотношения их лучистых потоков, если $\lambda_1 = 400$ нм, $\lambda_2 = 550$ нм и $\lambda_3 = 700$ нм. Оценить цветность потоков.

Задача №11. Две плоские белые поверхности освещаются одна световым потоком $\Phi_{\lambda_1} = 1000$ лм ($\lambda_1 = 450$ нм), другая световым потоком $\Phi_{\lambda_2} = 2000$ лм ($\lambda_2 = 600$ нм). Определить их лучистые потоки и цветности.

Задача №12. Лучистые потоки монохроматических излучений с $\lambda_1 = 600\text{нм}$ и $\lambda_2 = 555\text{нм}$ соответственно составляют $\Phi_{e\lambda=600} = 10\text{вт}$ и $\Phi_{e\lambda=555} = 5\text{вт}$. Определить цветность и соотношение их световых потоков.

Задача №13. Лучистые потоки монохроматических излучений $\Phi_{e\lambda_1} = \Phi_{e\lambda_2} = \Phi_{e\lambda_3} = 60\text{ вт}$. Определить их световые потоки и цвет, если $\lambda_1 = 460\text{нм}$, $\lambda_2 = 550\text{нм}$ и $\lambda_3 = 700\text{нм}$.

Задача №14. Два монохроматических источника излучают одинаковые лучистые потоки с $\lambda_1 = 500\text{нм}$ и $\lambda_2 = 600\text{нм}$. Определить соотношение световых потоков этих источников и их цветность.

Колориметрия.

Задача №15. Излучение характеризуется следующим цветовым уравнением: $\Phi = R+5G+4B$. Определить координаты цветности излучения r и g и его яркость в системе RGB.

Решение: Исходя из заданного цветового уравнения определяем:

$$r' = 1, g' = 5 \text{ и } b' = 4.$$

По формуле (5) координаты цветности:

$$r = \frac{r'}{m}; \quad g = \frac{g'}{m}; \quad m = r' + g' + b' = 10.$$

$$r = 0,1, g = 0,5.$$

По формуле (3) находим:

$$L = 680(\Lambda_R + 5\Lambda_G + 4\Lambda_B).$$

$$\text{Из соотношения яркостных коэффициентов (4): } L = 680(1+5 \cdot 4,59+4 \cdot 0,06) = 24,2 \text{ кд/м}^2.$$

Задача №16. Излучение характеризуется следующим цветовым уравнением: $\Phi = 2X + 3Y + 5Z$. Определить координаты цветности излучения x, y и его яркость в системе XYZ.

Решение: Из уравнения (6) следует:

$$x' = 2, y' = 3, z' = 5.$$

По формуле (9) находим координаты цветности:

$$x = \frac{x'}{m}; \quad y = \frac{y'}{m}; \quad m = x' + y' + z' = 10.$$

$$x = 0,2, y = 0,3.$$

Так как в системе XYZ яркость $L = 680y'$ (8) получаем:

$$L = 680 \cdot 3 = 2040 \text{ кд/м}^2.$$

Задача №17. Определить различия яркостей цветов, характеризуемых следующими цветовыми уравнениями в системах RGB и XYZ:

$$\text{Решение: } \Phi_1 = 0,3R + 0,5G + 0,2B$$

$$\Phi_2 = 0,3X + 0,5Y + 0,2Z.$$

Находим из уравнений (2) и (6):

$$r' = 0,3, g' = 0,5, b' = 0,2$$

$$x' = 0,3, y' = 0,5, z' = 0,2.$$

Так как яркость L в системе RGB определяется (3), то:

$$L_1 = 680 (r'\Lambda_R + g'\Lambda_G + b'\Lambda_B) = 680(0,3 \cdot 1 + 0,5 \cdot 4,59 + 0,2 \cdot 0,06) = 1776,1 \text{ кд/м}^2, \text{ т.к. яркостные коэффициенты в системе RGB (3) соответственно составляют: } \Lambda_R = 1, \Lambda_G = 4,59, \Lambda_B = 0,06.$$

Яркость L в системе XYZ (8):

$$L_2 = 680 \cdot 0,5 = 340 \text{ кд/м}^2.$$

$$\text{Тогда, } L_1 / L_2 = 1776,1 / 340 = 5,2.$$

Таким образом, яркости различаются в 5,2 раза.

Задача №18. Определить сходство и различие цветов Φ_1 и Φ_2 (цветностей и яркостей), характеризующихся следующими цветовыми уравнениями в системе RGB (варианты а, б, в по выбору преподавателя):

а) $\Phi_1 = 0,3R + 0,5G + 0,2B$

$$\Phi_2 = 0,1R + 0,5G + 0,4B$$

б) $\Phi_1 = 2R + 3G + 5B$

$$\Phi_2 = R + 1,5G + 2,5B$$

в) $\Phi_1 = R + 2G + 3B$

$$\Phi_2 = 2R + G + 2B$$

Задача №19. Излучения характеризуются следующими цветовыми уравнениями:

а) $\Phi_1 = 2X + 3Y + 5Z$

$$\Phi_2 = 0,3X + 0,5Y + 0,2Z$$

б) $\Phi_1 = 2X + 3Y + 5Z$

$$\Phi_2 = X + 1,5Y + 2,5Z$$

в) $\Phi_1 = 0,1X + 0,5Y + 0,4Z$

$$\Phi_2 = X + 5Y + 4Z$$

г) $\Phi_1 = 0,3X + 3Y + 0,2Z$

$$\Phi_2 = X + 3Y + 2Z$$

Определить сходство и различие цветов (варианты а, б, в, г по выбору преподавателя).

Задача №20. Яркость источника излучения $L = 6690 \text{ кд/м}^2$ и координаты цветности излучения этого источника в системе RGB $r = -0,2, g = 0,1$. Запишите цветовое уравнение излучения этого источника.

Решение: Яркость L в системе RGB определяется (3): $L = 680(r'\Lambda_R + g'\Lambda_G + b'\Lambda_B)$, тогда $L = 680(r' \cdot 1 + g' \cdot 4,59 + b' \cdot 0,06) = 6690 \text{ кд/м}^2$, где яркостные коэффициенты $\Lambda_R = 1, \Lambda_G = 4,59, \Lambda_B = 0,06$ в системе RGB (3).

$$r' + g' \cdot 4,59 + b' \cdot 0,06 = 9,84;$$

$$r + g + b = 1; b = 1 + 0,2 - 0,1 = 1,1.$$

$$r = \frac{r'}{r' + g' + b'} = -0,2$$

$$g = \frac{g'}{r' + g' + b'} = 0,1$$

$$b = \frac{b'}{r' + g' + b'} = 1,1$$

$$r(r' + g' + b') + g(r' + g' + b') \cdot 4,59 + b(r' + g' + b') \cdot 0,06 = 9,84$$

$$(r' + g' + b') \cdot (r + g \cdot 4,59 + b \cdot 0,06) = 9,84$$

$$(r' + g' + b') \cdot (-0,2 + 0,1 \cdot 4,59 + 1,1 \cdot 0,06) = 9,84$$

$$r' + g' + b' = 30,3$$

$$r' = r(r' + g' + b') = -0,2 \cdot 30,3 = -6$$

$$g' = g(r' + g' + b') = 0,1 \cdot 30,3 = 3$$

$$b' = b(r' + g' + b') = 1,1 \cdot 30,3 = 33$$

$$\text{Тогда, } \Phi = -6R + 3G + 33B.$$

Задача №21. Определить световые потоки (варианты а и б по выбору преподавателя):

а) красного $\lambda = 620\text{нм}$, голубого $\lambda = 500\text{нм}$ и желтого $\lambda = 575\text{нм}$ излучений, если лучистые потоки соответственно составляют:

$$\Phi_{\text{кр.}} = 160\text{вт}, \Phi_{\text{гол.}} = 80\text{вт} \text{ и } \Phi_{\text{желт.}} = 45\text{вт}.$$

б) синего $\lambda = 480\text{нм}$, оранжевого $\lambda = 590\text{нм}$ и зеленого $\lambda = 530\text{нм}$ излучений, если их лучистые потоки соответственно равны:

$$\Phi_{\text{син.}} = 100\text{вт}, \Phi_{\text{ор.}} = 75\text{вт} \text{ и } \Phi_{\text{зел.}} = 120\text{вт}.$$

Задача №22. Какими должны быть мощности синего и красного излучений с $\lambda_{\text{с}}=470\text{нм}$ и $\lambda_{\text{кр}}=640\text{нм}$, чтобы их световые потоки были равны и составляли 60 лм?

Задача №23. Определить световой поток Φ ртутной лампы высокого давления (ДРЛ) мощностью 375 вт, распределение лучистого потока которой приведено в нижеследующей таблице 8:

Таблица 8.

Длина волны излучений λ , нм	405	436	546	577
лучистый поток, вт	5,2	0,1	10,5	10,2

Решение: Определим значения относительной спектральной эффективности (табл. 1, Приложение 1) V_{λ} для излучений лампы с длинами волн $V_{\lambda=405} = 0,007$, $V_{\lambda=436} = 0,0175$, $V_{\lambda=546} = 0,984$ и $V_{\lambda=577} = 0,889$.

Тогда, по формуле (1): $\Phi = 680 \sum \Phi_{\text{е } \lambda} V_{\lambda} = 680(5,2 \cdot 0,007 + 0,1 \cdot 0,0175 + 10,5 \cdot 0,984 + 10,2 \cdot 0,889) = 13211 \text{ лм}.$

Задача №24. Какими должны быть мощности цветных излучений с $\lambda=630\text{нм}$, $\lambda=585\text{нм}$, $\lambda=530\text{нм}$ и $\lambda=500\text{нм}$, чтобы они обеспечивали световые потоки в 100 лм?

Задача №25. Определить световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт, распределение лучистого потока которой приведено в табл. 9.

Таблица 9.

Длина волны излучений λ , нм	420	500	580	640	700
лучистый поток, Вт	14,8	43,5	80,5	107,3	131,0

Диаграмма цветностей.

Задача №26. Сравнить цветности излучений лампы накаливания и люминесцентной лампы ЛД.

Решение: По табл. 4. находим координаты цветности излучения лампы накаливания и люминесцентной ЛД (x_1y_1 и x_2y_2):

$$x_1 = 0,448; \quad y_1 = 0,407$$

$$x_2 = 0,320; \quad y_2 = 0,340$$

Решение: По диаграмме цветности для равноэнергетического белого «Е» (рис. 2) находим точку цветности с координатами x_1, y_1 лампы накаливания и через эту точку и точку белого проводим линию до пересечения с диаграммой цветности. Определяем доминирующую* длину волны $\lambda_1 = 582 \text{ нм}$.

По табл. 2 определяем цветовой тон – оранжево-желтый. По концентрическим кривым равной чистоты в зависимости от места нахождения данной цветности находим чистоту $P = 65\%$.

Поскольку требуется сопоставить цветность излучения лампы ЛД с лампой накаливания, наносим на цветовой график для лампы накаливания координаты цветности лампы ЛД $x_2 = 0,320$ и $y_2 = 0,340$, проводим через полученную точку и обозначенную точку белого Е до пересечения с локусом спектральных цветов и получаем: доминирующая длина волны $\lambda_2 = 485 \text{ нм}$, по кривой равной чистоты находим $P = 10\%$. По табл. 2 отмечаем цветовой тон излучения лампы ЛД – голубой.

Таким образом, излучения ламп заметно различаются и по цветовому тону (оранжево-желтый и голубой) и насыщенности (цвет у лампы накаливания достаточно насыщенный, в то время как у лампы ЛД практически холодно-белый, голубоватый).

Задача №27. Пользуясь диаграммой цветности для равноэнергетического белого, сопоставить цветности излучений следующих люминесцентных ламп:

1) ЛТБ и ЛХБ;

2) ЛБ и ЛДЦ;

- 3) ЛТБЦ и ЛХЕЦ;
- 4) ЛТБ и ЛД;
- 5) ЛТБЦ и ЛД;
- 6) ЛБ и ЛДЦ
- 7) ЛТБЦ и ЛХБ;
- 8) ЛДЦ и ЛТБЦ;
- 9) ЛТБ и ЛХЕЦ;
- 10) ЛБ и ЛХЕЦ.

Задача №28. Сравнить цветовой тон источников «А», «В» и «С» пользуясь цветовой диаграммой равноэнергетического белого «Е».

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

Задача №29. Определить пары дополнительных цветов при освещении лампой накаливания («А»), прямым солнечным светом («В») и светом неба («С») для излучений (варианты а, б, в по выбору преподавателя):

- а) с $\lambda = 520\text{нм}, 500\text{нм}, 490\text{нм}, 520\text{нм}, 580\text{нм}$;
- б) с $\lambda = 510\text{нм}, 600\text{нм}, 530\text{нм}, 510\text{нм}, 480\text{нм}$;
- в) с $\lambda = 500\text{нм}, 470\text{нм}, 540\text{нм}, 600\text{нм}, 540\text{нм}$.

Задача №30. Сравнить цветности излучений двух цветов, пользуясь диаграммой цветности с заданными координатами цветности (варианты а, б, в, г по выбору преподавателя):

- а) $x_1 = 0,3; y_1 = 0,4$ и $x_2 = 0,5; y_2 = 0,3$
(по диаграммам цветности для источников «А» и «С»).
- б) $x_1 = 0,4; y_1 = 0,25$ и $x_2 = 0,2; y_2 = 0,4$
(по диаграммам цветности для источников «В» и «С»).
- в) $x_1 = 0,2; y_1 = 0,2$ и $x_2 = 0,2; y_2 = 0,7$
(по диаграммам цветности для источников «А» и «С»).
- г) $x_1 = 0,4; y_1 = 0,2$ и $x_2 = 0,4; y_2 = 0,5$
(по диаграммам цветности для источников «В» и «С»).

Задача №31. Сравнить цветности излучений различных светодиодов пользуясь диаграммой цветности (варианты а, б, в по выбору преподавателя) для равноэнергетического белого «Е»:

- а) $x_1 = 0,44; y_1 = 0,41; T_{\text{цв}} = 2950\text{К}$
 $x_2 = 0,39; y_2 = 0,37; T_{\text{цв}} = 3500\text{К}$
- б) $x_1 = 0,42; y_1 = 0,39; T_{\text{цв}} = 3500\text{К}$
 $x_2 = 0,45; y_2 = 0,45; T_{\text{цв}} = 3150\text{К}$

- в) $x_1 = 0,41$; $y_1 = 0,39$; $T_{\text{цв}} = 3370\text{K}$
 $x_2 = 0,44$; $y_2 = 0,41$; $T_{\text{цв}} = 2950\text{K}$

Цветовое различие. Цветовой контраст.

Задача №32. Требуется определить цветовой контраст между двумя цветами, из которых один является фоном, другой объектом на фоне. Известны: $x_0 = 0,27$; $y_0 = 0,45$; $x_{\text{ф}} = 0,33$; $y_{\text{ф}} = 0,32$.

Решение: Определяем контраст по цветности ($\Delta K_{\text{цв}}$) по равноконтрастной диаграмме (рис. 8) как длину отрезка (мм) между двумя цветами (10,2 мм), обозначенными (x_0 ; y_0 и $x_{\text{ф}}$; $y_{\text{ф}}$), умноженную на масштабный коэффициент графика 4,8; $n = 1$ для $\rho_0/\rho_{\text{ф}}=2$:

$$\Delta K_{\text{цв}} = 10,2 \cdot 4,8 = 49 \text{ порогов.}$$

Определяем контраст по светлоте (ΔB) для $\rho_0 = 60\%$ и $\rho_{\text{ф}} = 30\%$ по графику (рис. 10): $\Delta B = 31$ порог.

Вычисляем цветовой контраст по формуле (11):

$$\Delta E = \sqrt{49^2 + 31^2} = 58 \text{ порогов.}$$

Найденный цветовой контраст классифицируется как С3 (табл. 5).

Задача №33. Определить цветовой контраст между двумя цветами, из которых один является фоном, другой объектом на фоне (варианты №1-10 по выбору преподавателя):

- 1) $x_0 = 0,2$; $y_0 = 0,3$; $\rho_0 = 30\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,4$; $y_{\text{ф}} = 0,4$; $\rho_{\text{ф}} = 20\%$
- 2) $x_0 = 0,3$; $y_0 = 0,3$; $\rho_0 = 40\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,45$; $y_{\text{ф}} = 0,35$; $\rho_{\text{ф}} = 20\%$
- 3) $x_0 = 0,4$; $y_0 = 0,3$; $\rho_0 = 45\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,3$; $y_{\text{ф}} = 0,2$; $\rho_{\text{ф}} = 30\%$
- 4) $x_0 = 0,25$; $y_0 = 0,35$; $\rho_0 = 50\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,35$; $y_{\text{ф}} = 0,3$; $\rho_{\text{ф}} = 25\%$
- 5) $x_0 = 0,4$; $y_0 = 0,3$; $\rho_0 = 30\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,3$; $y_{\text{ф}} = 0,2$; $\rho_{\text{ф}} = 20\%$
- 6) $x_0 = 0,35$; $y_0 = 0,2$; $\rho_0 = 40\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,3$; $y_{\text{ф}} = 0,4$; $\rho_{\text{ф}} = 20\%$
- 7) $x_0 = 0,3$; $y_0 = 0,25$; $\rho_0 = 50\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,3$; $y_{\text{ф}} = 0,4$; $\rho_{\text{ф}} = 25\%$
- 8) $x_0 = 0,4$; $y_0 = 0,2$; $\rho_0 = 40\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,3$; $y_{\text{ф}} = 0,3$; $\rho_{\text{ф}} = 20\%$
- 9) $x_0 = 0,3$; $y_0 = 0,2$; $\rho_0 = 30\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,35$; $y_{\text{ф}} = 0,4$; $\rho_{\text{ф}} = 15\%$
- 10) $x_0 = 0,4$; $y_0 = 0,2$; $\rho_0 = 60\%$
 $x_{\text{ф}} = 0,3$; $y_{\text{ф}} = 0,4$; $\rho_{\text{ф}} = 30\%$

Цветопередача.

Задача №34. Определить общий индекс цветопередачи R_a нейтрально-белого светодиода, если цветовые сдвиги для i -х образцов МКО составляют соответственно:

$$\begin{array}{llll} \Delta E_1 = 5,4 & \Delta E_3 = 1,5 & \Delta E_5 = 10,2 & \Delta E_7 = 0,4 \\ \Delta E_2 = 8,9 & \Delta E_4 = 6,5 & \Delta E_6 = 1,1 & \Delta E_8 = 2,3 \end{array}$$

Оценить к какому классу относится данный источник света по качеству цветопередающих свойств.

Решение: По формуле (12) находим спектральный индекс цветопередачи R_i для каждого i -го образца:

$$R_i = 100 - 4,6 \cdot \Delta E_i$$

$$\text{Отсюда: } R_1 = 100 - 4,6 \cdot 5,4 = 75$$

$$R_2 = 100 - 4,6 \cdot 8,9 = 59$$

$$R_3 = 100 - 4,6 \cdot 1,5 = 93$$

$$R_4 = 100 - 4,6 \cdot 6,5 = 70$$

$$R_5 = 100 - 4,6 \cdot 10,2 = 53$$

$$R_6 = 100 - 4,6 \cdot 1,1 = 95$$

$$R_7 = 100 - 4,6 \cdot 0,4 = 98$$

$$R_8 = 100 - 4,6 \cdot 2,3 = 89$$

Находим общий индекс R_a как среднеарифметическое восьми значений специальных индексов цветопередачи R_i по формуле (13):

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i .$$

$$\text{Тогда, } R_a = \frac{1}{8} (75 + 59 + 93 + 70 + 53 + 95 + 98 + 89) = 79 .$$

Таким образом, общий индекс цветопередачи нейтрально-белого светодиода составляет 79%. По таблице 7 отмечаем, что данный источник относится ко 2 группе по значению общего индекса цветопередачи, что характеризует его цветопередающие свойства среднего качества.

Задача №35. Определить общий индекс R_a цветопередачи «трехцветного» белого светодиода, если цветовые сдвиги для i -х образцов МКО составляют соответственно:

$$\begin{array}{llll} \Delta E_1 = 8,5 & \Delta E_3 = 4,8 & \Delta E_5 = 4,6 & \Delta E_7 = 1,1 \\ \Delta E_2 = 5,1 & \Delta E_4 = 2,8 & \Delta E_6 = 1,5 & \Delta E_8 = 2,8 \end{array}$$

Оценить к какому классу относится данный источник света по качеству цветопередающих свойств.

Задача №36. Определить общий индекс цветопередачи R_a люминесцентной лампы и оценить к какому классу по качеству ее цветопередачи она относится, если цветовые сдвиги при освещении i -х образцов МКО составляют соответственно:

$$\begin{array}{llll} \Delta E_1 = 8,5 & \Delta E_3 = 9,1 & \Delta E_5 = 5,7 & \Delta E_7 = 1,3 \\ \Delta E_2 = 6,3 & \Delta E_4 = 8,7 & \Delta E_6 = 5,4 & \Delta E_8 = 8,5 \end{array}$$

Задача №37. Определить общий индекс цветопередачи R_a люминесцентной лампы и оценить к какому классу по качеству ее цветопередачи она относится, если цветовые сдвиги при освещении i -х образцов МКО составляют соответственно:

$$\begin{array}{llll} \Delta E_1 = 4,8 & \Delta E_3 = 7,0 & \Delta E_5 = 5,4 & \Delta E_7 = 3,5 \\ \Delta E_2 = 7,8 & \Delta E_4 = 4,8 & \Delta E_6 = 0,9 & \Delta E_8 = 0,7 \end{array}$$

Задача №38. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a люминесцентных ламп, если их специальные индексы цветопередачи R_i составляют соответственно:

- люминесцентная лампа №1

$$\begin{array}{llll} R_1 = 85 & R_3 = 95 & R_5 = 93 & R_7 = 91 \\ R_2 = 92 & R_4 = 90 & R_6 = 94 & R_8 = 94 \end{array}$$

- люминесцентная лампа №2

$$\begin{array}{llll} R_1 = 42 & R_3 = 62 & R_5 = 55 & R_7 = 68 \\ R_2 = 65 & R_4 = 52 & R_6 = 61 & R_8 = 63 \end{array}$$

Сравнить цветопередачи данных люминесцентных ламп, отметив к какому классу по требованиям к цветопередаче они относятся.

Задача №39. Определить общие индексы цветопередачи R_a люминесцентных ламп ЛБ, ЛХЕЦ и ЛД, если их специальные индексы цветопередачи составляют:

$$\text{- ЛБ } \sum_{i=1}^8 R_i = 456$$

$$\text{- ЛХЕЦ } \sum_{i=1}^8 R_i = 520$$

$$\text{- ЛД } \sum_{i=1}^8 R_i = 584$$

К какому классу по требованиям к цветопередаче данные лампы относятся и сравнить их цветопередающие свойства.

Задача №40. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a люминесцентных ламп ЛТБЦ, ЛДЦ и ЛХБ, если их специальные индексы цветопередачи $R_{i=8}$ всех образцов МКО соответственно составляют:

$$\text{- ЛТБЦ } \sum_{i=1}^8 R_i = 640$$

$$\text{- ЛДЦ } \sum_{i=1}^8 R_i = 736$$

$$\text{- ЛХБ } \sum_{i=1}^8 R_i = 520$$

Определить к какому классу по требованиям к цветопередаче данные лампы относятся и сравнить их цветопередающие свойства.

Задача №41. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a натриевых ламп высокого давления разной цветности излучения с $T_{цв} = 1900K$ и с $T_{цв} = 3000K$, если их специальные индексы цветопередачи R_i восьми образцов МКО соответственно составляют:

$$\text{- НЛВД с } T_{цв} = 1900K \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 320$$

$$\text{- НЛВД с } T_{цв} = 3000K \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 640$$

Определить к какому классу по требованиям к цветопередаче относятся данные лампы и сравнить их цветопередающие свойства.

Задача №42. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a ламп ДРЛ разной цветности излучения с $T_{цв} = 3300K$ и с $T_{цв} = 4000K$, если их специальные индексы цветопередачи R_i восьми образцов МКО соответственно составляют:

$$\text{- ДРЛ с } T_{цв} = 3300K \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 320$$

$$\text{- ДРЛ с } T_{цв} = 4000K \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 480$$

Определить к какому классу по требованиям к цветопередаче относятся лампы и сделать вывод о различии их цветопередающих свойств.

Задача №43. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a ламп МГЛ разной цветности излучения с $T_{цв} = 3000K$ и $T_{цв} = 6700K$, если их специальные индексы цветопередачи R_i восьми образцов МКО соответственно составляют:

$$\text{- МГЛ с } T_{цв} = 3000K \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 440$$

$$\text{- МГЛ с } T_{цв} = 6700K \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 744$$

Определить к какому классу по требованиям к цветопередаче относятся лампы и сделать вывод о различии их цветопередающих свойств.

Задача №44. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a люминесцентных ламп тепlobелой Osram и Philips deluxe, если их специальные индексы цветопередачи R_i восьми образцов МКО соответственно составляют:

$$\text{- Warm white Osram} \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 640$$

$$\text{- Philips deluxe} \quad \sum_{i=1}^8 R_i = 736$$

Определить к какому классу по требованиям к цветопередаче относятся лампы и сделать вывод о различии их цветопередающих свойств.

Задача №45. Рассчитать общий индекс цветопередачи R_a теплобелых с $T_{цв} = 2700K$ и белых с $T_{цв} = 4100K$ светодиодов, если их специальные индексы цветопередачи R_i восьми образцов МКО соответственно составляют:

- тепло-белые СД с $T_{цв} = 2700K$ $\sum_{i=1}^8 R_i = 600$

- белые СД с $T_{цв} = 4100K$ $\sum_{i=1}^8 R_i = 664$

Определить к какому классу по требованиям к цветопередаче относятся данные светодиоды и оценить качество их цветопередающих свойств.

Приложение 1.

Таблица 1.

Относительная спектральная световая эффективность излучения $V(\lambda)$

λ , нм	V_λ	λ , нм	V_λ
380	0,00004	19	0,00352
81	0,00004	425	0,00726
82	0,00005	26	0,00806
83	0,00005	27	0,00889
84	0,00006	28	0,00976
385	0,00006	29	0,01070
86	0,00007	430	0,0116
87	0,00008	31	0,0126
88	0,00009	32	0,0136
89	0,00010	33	0,0146
390	0,00012	34	0,0157
91	0,00014	435	0,0168
92	0,00015	36	0,0180
93	0,00017	37	0,0192
94	0,00019	38	0,0204
395	0,00022	39	0,0217
96	0,00024	440	0,0230
97	0,00027	41	0,0243
98	0,00031	42	0,0257
99	0,00035	43	0,0270
400	0,00040	44	0,0284
01	0,00045	445	0,0298
02	0,00049	46	0,0323
03	0,00054	47	0,0329
04	0,00059	48	0,0345
405	0,00064	49	0,0362
06	0,00071	450	0,0380
07	0,0008	51	0,0399
08	0,0009	52	0,0418
09	0,00104	53	0,0438
410	0,0012	54	0,0459
11	0,00138	455	0,0480
12	0,00156	56	0,0502

13	0,00174	57	0,0525
14	0,00195	58	0,0549
415	0,00218	59	0,0574
16	0,00244	460	0,0600
17	0,00274	61	0,0627
18	0,00310	62	0,0654
19	0,00352	63	0,0681
420	0,00400	64	0,0709
21	0,00455	465	0,0739
22	0,00515	66	0,0769
23	0,00581	67	0,0802
24	0,00651	68	0,0836

Продолжение табл. 1

69	0,0872	17	0,6511
470	0,0910	18	0,6717
71	0,0950	19	0,6914
72	0,0992	520	0,7100
73	0,1035	21	0,7277
74	0,1080	22	0,7449
475	0,1126	23	0,7615
76	0,1175	24	0,7776
77	0,1225	525	0,7932
78	0,1278	26	0,8082
79	0,1333	27	0,8225
480	0,1390	28	0,8363
81	0,1448	29	0,8495
82	0,1507	530	0,8620
83	0,1567	31	0,8739
84	0,1629	32	0,8851
485	0,1693	33	0,8956
86	0,1761	34	0,9056
87	0,1833	535	0,9149
88	0,1909	36	0,9238
89	0,1991	37	0,9320
490	0,2080	38	0,9398
91	0,2173	39	0,9471
92	0,2270	540	0,9540
93	0,2371	41	0,9604
94	0,2476	42	0,9661
495	0,2586	43	0,9713
96	0,2701	44	0,9760
97	0,2823	545	0,9803
98	0,2951	46	0,9840
99	0,3087	47	0,9873
500	0,3230	48	0,9902
01	0,3382	49	0,9928
02	0,3544	550	0,9950
03	0,3714	51	0,9969
04	0,3890	52	0,9983

505	0,4073	53	0,9994
06	0,4259	54	1,0000
07	0,4450	555	1,0001
08	0,4642	56	1,0002
09	0,4836	57	0,9995
510	0,5030	58	0,9984
11	0,5229	59	0,9969
12	0,5436	560	0,9950
13	0,5648	61	0,9926
14	0,5865	62	0,9898
515	0,6083	63	0,9865
16	0,6299	64	0,9828

Продолжение табл. 1

565	0,9786	13	0,4658
66	0,9741	14	0,4535
67	0,9691	615	0,4412
68	0,9638	16	0,4291
69	0,9581	17	0,4170
570	0,9520	18	0,4049
71	0,9455	19	0,3929
72	0,9386	620	0,3810
73	0,9313	21	0,369
74	0,9235	22	0,357
575	0,9154	23	0,3449
76	0,9069	24	0,3329
77	0,9881	625	0,3210
78	0,8890	26	0,3092
79	0,8796	27	0,2977
580	0,8700	28	0,2864
81	0,8600	29	0,2755
82	0,8496	630	0,2650
83	0,8388	31	0,2549
84	0,8277	32	0,2450
585	0,8163	33	0,2354
86	0,8046	34	0,2261
87	0,7928	635	0,2170
88	0,7809	36	0,2082
89	0,7690	37	0,1996
590	0,7570	38	0,1912
91	0,7479	39	0,1830
92	0,7327	640	0,1750
93	0,7202	41	0,1672
94	0,7076	42	0,1596
595	0,6949	43	0,1523
96	0,6822	44	0,1452
97	0,6694	645	0,1382
98	0,6565	46	0,1316
99	0,6437	47	0,1251
600	0,6310	48	0,1188

01	0,6183	49	0,1128
02	0,6054	650	0,1070
03	0,5926	51	0,1014
04	0,5797	52	0,0961
605	0,5668	53	0,0911
06	0,5539	54	0,0862
07	0,5410	655	0,0816
08	0,5283	56	0,0771
09	0,5156	57	0,0729
610	0,5030	58	0,0688
11	0,4905	59	0,0648
12	0,4781	660	0,0610

Продолжение табл. 1

61	0,0574	09	0,00225
62	0,0539	710	0,00210
63	0,0506	11	0,00195
64	0,0475	12	0,00182
665	0,0446	13	0,00170
66	0,0418	14	0,00159
67	0,0391	715	0,00148
68	0,0366	16	0,00139
69	0,0343	17	0,00130
670	0,0320	18	0,00121
71	0,0299	19	0,00113
72	0,0280	720	0,00105
73	0,0263	21	0,00097
74	0,0247	22	0,00091
675	0,0232	23	0,00084
76	0,0219	24	0,00079
77	0,0206	725	0,00074
78	0,0194	26	0,00069
79	0,0182	27	0,00064
680	0,0170	28	0,00060
81	0,0158	29	0,00056
82	0,0148	730	0,00052
83	0,0138	31	0,00048
84	0,0128	32	0,00045
685	0,0119	33	0,00042
86	0,0111	34	0,00039
87	0,0103	735	0,00036
88	0,00956	36.	0,00034
89	0,00886	37	0,00031
690	0,00820	38	0,00029
91	0,00759	39	0,00027
92	0,00705	740	0,00025
93	0,00656	41	0,00023
94	0,00612	42	0,00021
695	0,00573	43	0,00020
96	0,00536	44	0,00018

97	0,00503	745	0,00017
98	0,00471	46	0,00016
99	0,00440	47	0,00015
700	0,00410	48'	0,00014
01	0,00381	49	0,00013
02	0,00355	750	0,00012
03	0,00332	51	0,00011
04	0,00310	52	0,00010
705	0,00291	53	0,00010
06	0,00273	54	0,00009
07	0,00256	755	0,00008
08	0,00241	56	0,00008

Продолжение табл. 1

57	0,00007	64	0,00005
58	0,00007	765	0,00004
59	0,00006	66	0,00004
760	0,00006	67	0,00004
61	0,00006	68	0,00003
62	0,00005	69	0,00003
63	0,00005	770	0,00003

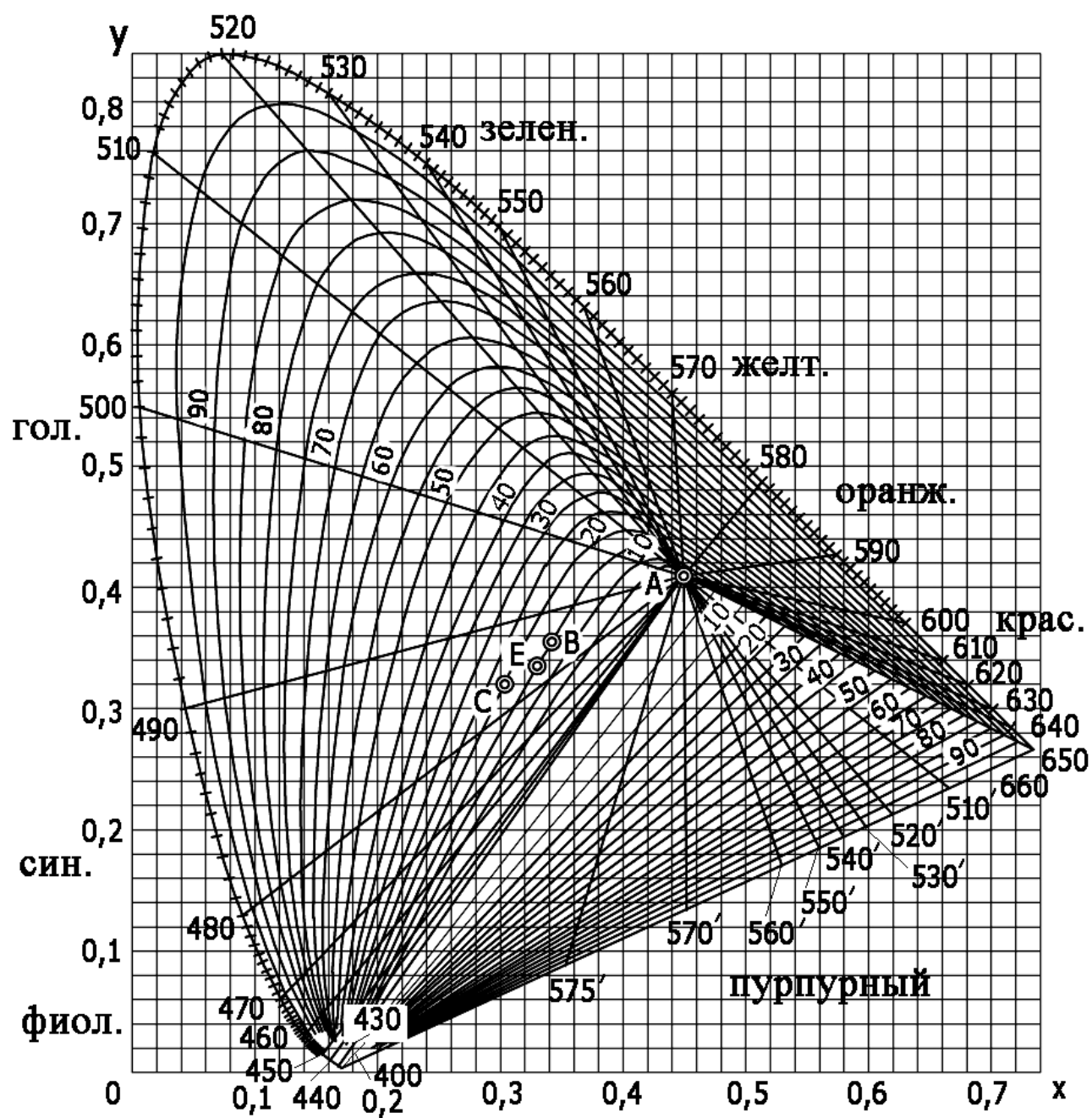


Рис. 2. Диаграмма цветности xu с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику А.

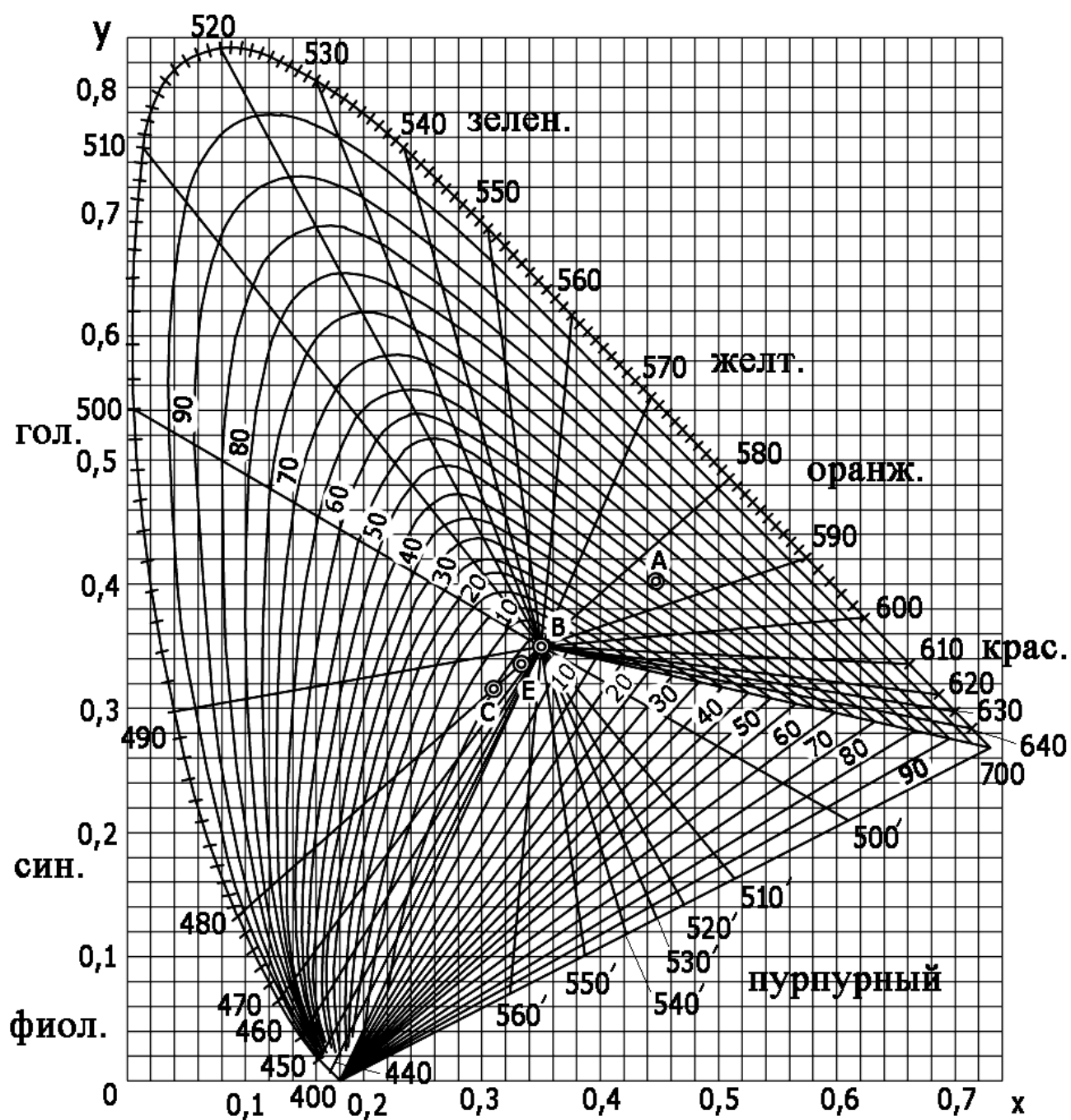


Рис. 3. Диаграмма цветности x, y с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику В.

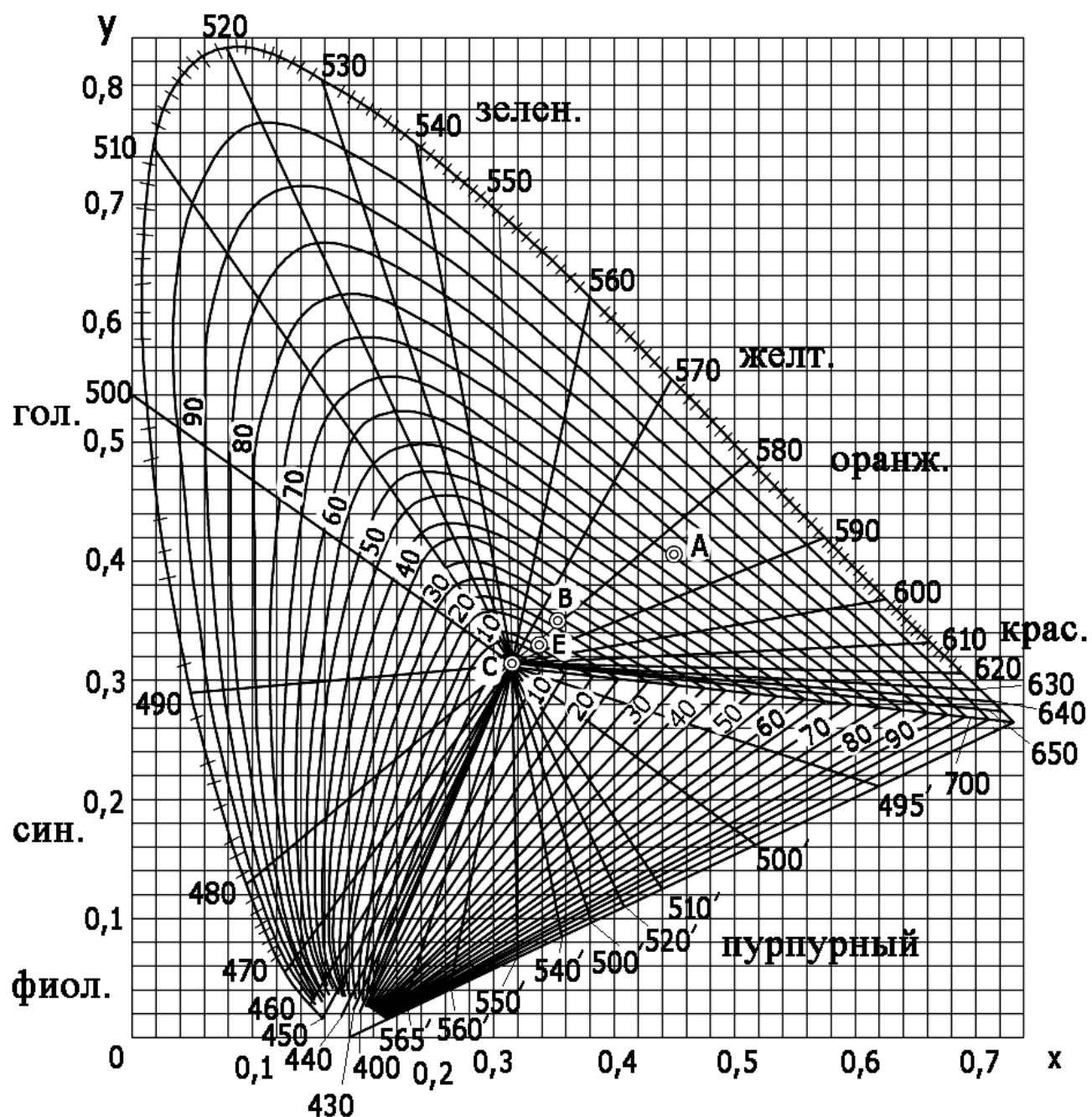


Рис. 4. Диаграмма цветности x, y с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику C .

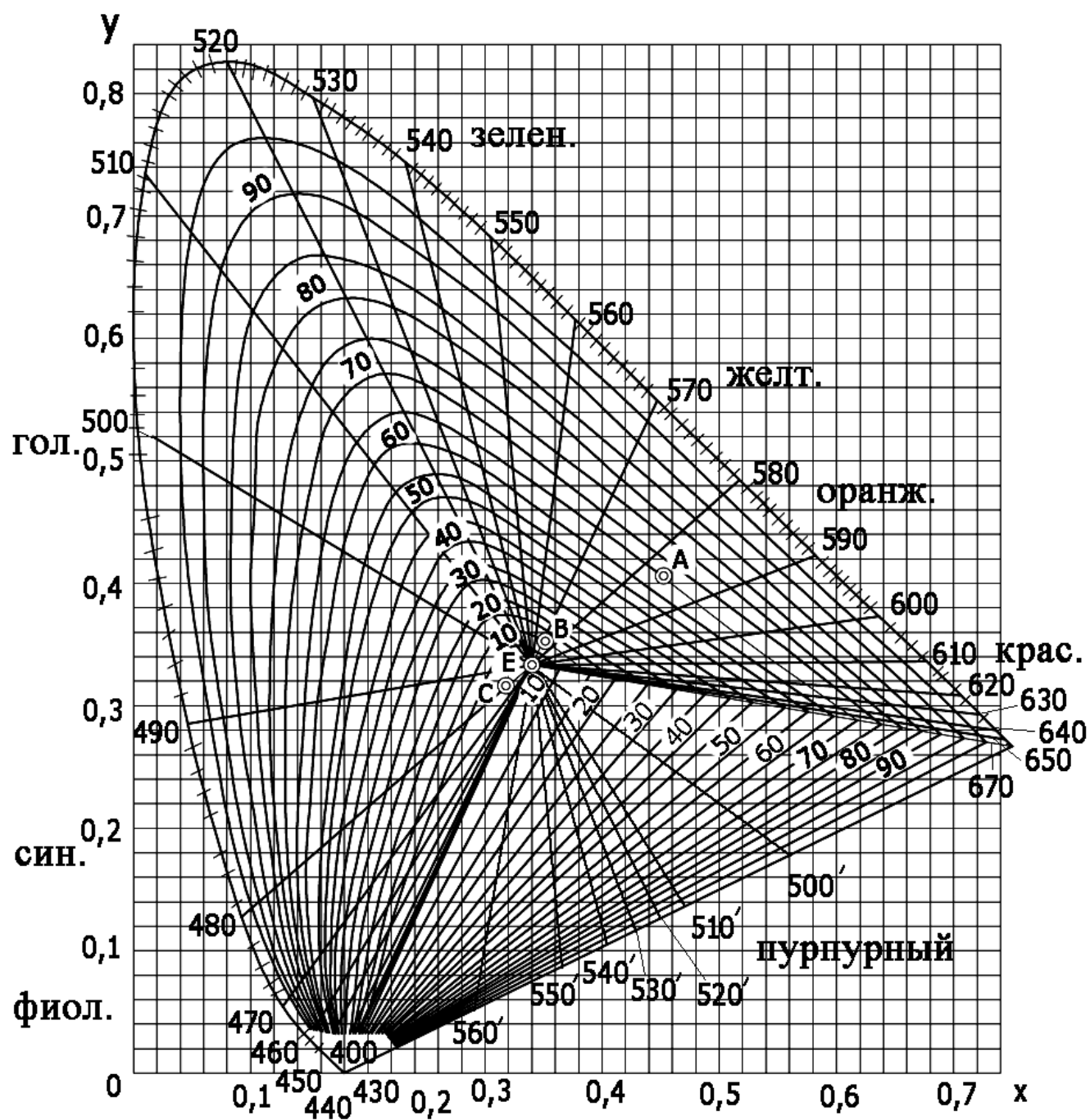


Рис. 5. Диаграмма цветности x, y с линиями равной чистоты цвета по отношению к источнику E.

Учебное издание

Инесса Валентиновна Мигалина, доцент

Сборник задач по архитектурной светологии
Часть четвертая: ЦВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ.
Архитектурное цветоведение

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

Издание подготовлено на кафедре
«Архитектурная физика»
(протокол заседания кафедры №10 от 24.04.12)

Подписано в печать 23.05.12
Формат 60х90/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,5.
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.