

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЦВЕТОВЕДЕНИЕ КАК СОВОКУПНОСТЬ СИСТЕМ ЦВЕТОВОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ

ПАВЕЛ НОВОСЕЛЬЦЕВ
ООО «Данвэл+»,
г. Серпухов Московской обл.

Техническое цветоведение – это отрасль знания, которая изучает связь между цветовосприятием как субъективным свойством человека и окраской или видом как объективным свойством наблюдаемых человеком предметов.

Задачей технического цветоведения является прогнозирование цветовосприятия, т.е. реакции наблюдателя в некоторых типовых условиях визуальных оценок. Примером такой формализованной реакции может служить согласие/несогласие наблюдателя признать цветовой разнице в паре предъявляемых образцов приемлемым/неприемлемым. Понятно, что структура визуального эксперимента часто гораздо сложнее, а реакции наблюдателя соответственно не столь однозначны.

Практическое значение приведенных в первом разделе статьи определений заключается в том, что различение цветовых феноменов является ключом к пониманию технического цветоведения как единства систем спецификации цвета, окраски, вида и цветовосприятия. Систе-

определения терминов «отношение» и «изоморфность отображения» в приложении к теории измерений можно найти в работах [5, 6].

Системы измерений цветовосприятий при помощи образцов окраски. В повседневных ситуациях детализированная спецификация цветовосприятия осуществляется посредством ссылки на характерную окраску различных естественных объектов, которые в обычных условиях наблюдения вызывают у разных наблюдателей одинаковые реакции. Имеются примеры построения шкалы наименований путем конструирования ее из отдельных лингвистических единиц [7]. Однако для измерения цветовосприятий они не могут быть использованы без иллюстрации наименований физическими образцами. Сомнительно, что разные наблюдатели выберут имя «влюбленная лягушка» для одного и того же объекта в ряду объектов с различной и, вероятно, зеленоватой окраской.

Средства измерений цветовосприятий, использующие цифробуквенные обозначения, типа каталогов RAL или Pantone, являются по

внутри цветового тела и соответственно выделяемые в цветовом пространстве направления (или психологические модальности) в разных атласах различаются в зависимости от исходных установок, выбранных разработчиками атласов для упорядочивания образцов окрасок.

В отличие от произвольного набора окрашенных образцов (типа каталога RAL) каждый ряд цветовой системы (атласа) представляет порядковую шкалу измерений. На порядковой шкале выполняются уже два типа отношений – «эквивалентности» и «порядка». Все разработчики цветковых атласов делали попытки создать еще более мощную цветовую измерительную шкалу – шкалу интервалов. Такая шкала давала бы возможность устанавливать равенство попарных различий между двумя цветовосприятиями, иначе говоря, определять равенство субъективных интервалов. В наибольшей степени этого удалось достичь Альберту Манселлу. Создавая свою систему цветковых координат, Манселл стремился добиться равенства восприятия цветового различия между центральным и двумя соседними образцами окрасок в каждом из вводящих координаты цвета рядов – «цветовом тоне по Манселлу», «насыщенности по Манселлу», «светлоте по Манселлу». Можно признать, что локально – для соседних образцов – это условие в атласе Манселла выполняется. Но ни для одного существующего атласа это условие не выполняется по всему объему цветового тела и, вероятнее всего, выполнено быть не может.

Точность измерения цветовосприятий посредством цветковых атласов определяется количеством образцов окраски и равномерностью их распределения по всему объему цветового тела, а надежность – надежностью воспроизведения образцов окраски и их устойчивостью к внешним воздействиям. Существование подобных систем измерений цветовосприятия позволяют обнаружить более тесную связь между цветовосприятием и окраской. Самый непосредственным образом это связь устанавливается простым измерением образцов атласа спектроколориметром. Если обобщить достаточное количество таких измерений, можно построить таблицы и номограммы, пригодные для пересчета приборных шкал в шкалы атласов. Такая огромная работа была выполнена для атласа Манселла. Ее результат зафиксирован в стандарте ASTM D 1535-08 «Standard Practice for Specifying Color by the Munsell System» («Стандартная практика спецификации цветовосприятия по системе Манселла»).

Цветовые системы, построенные на атласах, по-английски называются Color Ordering Systems, что в буквальном переводе означает «системы упорядочивания цветов», а в более точном переводе – системы упорядочивания цветовосприятий. Из них наиболее известны цветовая система Манселла, естественная система цветов NCS; система OSA-UCS (англ. Optical Society of America Uniform Color Scales).

В СССР профессором Е.Б. Рабкиным тоже был создан цветовой атлас, который предлагалось использовать в качестве измерительной систе-



ЗАДАЧЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЦВЕТОВЕДЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦВЕТОВОСПРИЯТИЯ, Т.Е. РЕАКЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЯ В НЕКОТОРЫХ ТИПОВЫХ УСЛОВИЯХ ВИЗУАЛЬНЫХ ОЦЕНОК.

мы цветковых спецификаций типизируются в соответствии с рассмотренными феноменами (и сообразно с этим выделяются разделы технического цветоведения):

- система спецификации цвета (классическая колориметрия);
- система спецификации окраски (приборная колориметрия с одной геометрией измерения);
- система спецификации вида (приборная гониоколориметрия);
- системы спецификации цветовосприятий (цветовые атласы и другие наборы физических образцов окраски, а также колориметрия изображений).

С точки зрения общей теории измерений различные системы цветовой спецификации представляют собой измерительные шкалы разной мощности. В общей теории измерение определяется как приписывание символов объектам или событиям согласно некоторым правилам. Тот факт, что символы могут быть приписаны по разным правилам, приводит к существованию различных типов шкал и различных типов измерений [4, 5]. Шкала, по существу, является проекцией отношений между элементами эмпирической системы на отношения между элементами символической системы. Такое отображение должно быть изоморфным, т.е. отношения множества символов обязаны воспроизводить отношения между элементами эмпирического множества «фактов». Странные

сути компактными коллекциями образцов поверхностей предметов (окрасок) и представляют собой номинальные шкалы измерений. Для таких, самых слабых, измерительных шкал выполняется только одно отношение – «эквивалентности» [8].

Со временем анализ совокупности возможных цветовосприятий посредством наблюдения разнообразных окрасок привел заинтересованных исследователей к пониманию того, что от любого цветового восприятия к любому другому можно перейти постепенно, путем небольших изменений разных признаков окраски. Уяснение этого факта создало предпосылки к созданию более универсальных шкал для измерения цветовосприятий предметов – цветковых атласов. Такие шкалы претерпели многовековую эволюцию [9]: современные цветковые атласы стали возможны только с развитием технологии окрашивания предметов.

В трехмерном пространстве 3 признака цветовосприятия можно представить в виде рядов образцов окраски, монотонно упорядоченных по одному из качеств восприятия. Чаще всего выделяют такие качества цветовосприятий, как светлота, цветовой тон и насыщенность. Упорядоченный трехмерный массив образцов окрасок принято называть цветовым телом, которое является наглядной иллюстрацией цветового пространства как логической формы, объективирующей цветовосприятие. Взаимное расположение образцов

мы цвета [10]. Автор атласа четко не разграничил понятия «цвет», «окраска» и «цветовосприятие». Ошибочное позиционирование этого атласа как недорогого средства, заменяющего приборные измерения цвета, стало, по-видимому, основной причиной превращения его в библиографическую редкость.

Обучение практическому применению цветных систем сводится к натаскиванию на быстрое нахождение места конкретного образца среди других образцов системы и присвоение ему соответствующего кода. Это возможно только в том случае, когда перед глазами у наблюдателя есть реальные образцы, между которыми надо поместить испытуемый образец окраски. Излишне говорить, что, раз цветовосприятие окраски зависит от условий наблюдения, эти условия должны быть предельно подробно регламентированы. В России в отличие от многих других передовых в технологическом отношении стран нет национального стандарта, вводящего ту или иную цветовую систему для спецификации цветовосприятия.

Инструментальные системы измерений цветовосприятий. Ранее мы уже говорили, что цветовосприятие всегда связано с изображением. Этим объясняется относительная независимость цветовосприятия от цвета, исходящего от отдельных элементов изображения, т.е. константность цветовосприятия. В естественных условиях наблюдения человек узнает окраску предметов, несмотря на большой разброс спектральных составов источников света. Отраженный свет меняется при изменении освещения, зависит от его спектрального состава, поэтому спектральный состав света, исходящего от данной поверхности и попадающего на сетчатку глаза, не является устойчивым признаком поверхности. Устойчивым, интересующим наблюдателя признаком является отражательная способность поверхности (или ее окраска), о которой глаз непосредственных сведений не получает. Несмотря на указанную трудность, зрительная система человека хорошо распознает окраску предметов в весьма разнообразных условиях освещения. Это явление получило название константности восприятия цвета. Такое узнавание обязательно требует сравнения возбуждений нескольких участков сетчатки [11].

Поэтому для моделирования процесса цветовосприятия необходим прибор, который мог бы одновременно измерять цветовые характеристики смежных элементов изображения и содержать бы некоторый алгоритм обработки этих данных. Цвет кодирует информацию о спектральном составе излучения с потерями. Частично восполнить информацию о спектре излучения, исходящего от конкретного элемента изображения, можно путем совместного анализа цветов от различных участков изображения. На эту идею опирается широко распространенное применение цветных мишеней типа ColorChecker при цифровой обработке изображений [12]. Однако всеобъемлющую информацию об окраске элемента изображения несет только полный спектр.

В конце 1990-х годов появились приборы, которые позволяли получать спектральную информацию от элементов изображения с высоким пространственным разрешением [13]. Измерения подобными приборами дают цветовую информацию, достаточную для точного предсказания реакции наблюдателя на изображение в зависимости от условий наблюдения, например, при изменении освещения или фона центрального объекта. В качестве примера применения таких систем можно привести неметамерное цветовоспроизведение картин с использованием прибора TRICOR Imaging Spectrophotometer, который гарантирует правильную цветопередачу при любом освещении.

Система измерения цвета. Измерения цвета как свойства излучения – это область классической колориметрии, в рамках которой создана модель цветового зрения на физиологическом

значения мощности и служат цветовыми координатами тестируемого цвета. Если так измерить все монохроматические света, выделяя их из спектра видимого света в виде полос с определенной шириной пропускания, и уравнивать их энергетическую мощность, то совокупность всех координат цвета в виде 3-х спектральных кривых будет представлять спектральную кривую чувствительности глаза, выраженную через выбранные базовые (основные) цвета. Такие кривые называются функциями сложения цветов. Определение стандартных функций сложения цветов (т.е. стандартного колориметрического наблюдателя) позволило перейти от визуальной колориметрии к расчетной, когда цвет излучения может быть рассчитан по его спектру.

Упрощенный визуальный эксперимент по уравниванию цветов, лежащий в основе классической колориметрии, порождает числовую интер-



уровне. Формальным выражением модели служат 3 кривые спектральной чувствительности глаза. Классическая (визуальная) колориметрия сосредоточивалась на изучении апертурных цветов, которые можно наблюдать в окуляре визуального колориметра. Апертурные цвета воспринимаются как пространственно нелокализованные, т.е. не относящиеся к какой-либо поверхности или объекту, цвета. Соответственно в классической колориметрии не учитывается пространственное распределение излучения. Условия наблюдения редуцированы до предельно возможной простоты, тем самым сложность цветовосприятия сводится практически к простоте цветоощущения.

Принцип измерений прост: тестовый цвет визуально уравнивается соответствующим подбором мощности выбранных основных излучений. Основные цвета – 3 цвета, оптическим сложением (смешением) которых в определенных количествах можно получить цвет, визуально (на глаз) совершенно не отличимый от любого данного цвета. Число возможных систем основных цветов бесконечно. 3 приведенные

важную измерительную шкалу. На такой шкале возможны аффинные преобразования. В более популярной форме этот факт формулируется в виде законов Грассмана. Аффинные преобразования допускают в частности пересчет из одного координатного базиса в другой, что используется в процедурах цветового профилирования согласно стандарту ICC (англ. International Color Consortium). Аффинную природу цвета в классической колориметрии можно толковать несколько иначе. Согласно определению цвета и соответствующей ему процедуры, измерение цвета состоит в установлении факта тождества цветов. В результате такой процедуры каждому цвету присваивается тройка чисел и цвет представляется трехмерным числовым вектором. Но при этом никаким образом в основном колориметрическом эксперименте не определяется различие между цветами. А непосредственно воспринимаемое различие есть психологический аналог математического понятия «расстояние между точками», представляющими разные цвета. Поэтому цветовое пространство в классической колориметрии является алгебраическим, а не

геометрическим, т.е. пространством с упорядоченными элементами, но без правила определения расстояния между ними. Иными словами, основное колориметрическое пространство XYZ – неметрическое, или ненормированное. Вместе с тем разработка аффинного цветового пространства классической колориметрии создала предпосылки для появления инструментальных цветовых пространств с локальной метрикой. Эти производные цветовые пространства опираются на более сложные визуальные эксперименты, но при этом используют основное колориметрическое пространство в качестве исходной базы спецификации цвета.

Цветовые пространства с локальной метрикой пытаются моделировать цветовосприятие, т.е. прогнозировать реакции наблюдателя. Самое известное из них – пространство CIE Lab. Современные локальные метрики (формулы цветово-

с помощью прибора – спектрофотометра, причем количество света, отраженного исследуемым объектом, сравнивается с тем [количеством света], какое отражает белая поверхность, освещенная одинаково с ним. При узнавании окраски предмета глаз прodelывает нечто аналогичное. Глаз реагирует на свет, как бы регистрирует излучения. Сопоставление света, отраженного каким-либо предметом, с тем, какой отражает белый предмет при том же освещении, дает окраску предмета. В обоих случаях сравниваются излучения, а в результате становятся известными отражающие свойства объектов» [14]. Таким образом, добавление к стандартному колориметрическому наблюдателю стандартизации по геометрии освещения/наблюдения и излучениям наряду с нормированием данных измерений относительно «абсолютно белой» поверхности превращает систему измерений

Интерпретация цвета как точки трехмерного пространства позволяет в принципе ввести характеристики различия между цветами. Аналогично, если существует алгоритм сведения результатов измерений цвета, исходящего от поверхности, для разных оптических геометрий к однородной величине, то можно ввести характеристику различия между видом двух поверхностей наподобие характеристик цветового различия окрасок, используемых в промышленности в настоящее время. Совсем недавно фирмой X-Rite Inc. был разработан возможный алгоритм, согласно которому вид можно интерпретировать как цветовой тензор 2-го ранга [16].

Автор считает, что предлагаемые определения позволяют построить ясную классификацию цветовых измерительных систем и четкую логическую схему изложения любых вопросов технического цветоведения. ■

” В ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОКРАСКИ ПРОЗРАЧНЫХ И ОТРАЖАЮЩИХ ОБРАЗЦОВ ЛЕЖИТ ПОНЯТИЕ ЦВЕТОВОГО ТЕЛА, Т.Е. САМЫМ СВЕТЛЫМ ВСЕГДА ЯВЛЯЕТСЯ ОБРАЗЕЦ БЕЛОЙ ПОВЕРХНОСТИ, А КООРДИНАТЫ ЦВЕТА ОСТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОТНЕСЕНЫ К КООРДИНАТАМ БЕЛОГО ОБРАЗЦА.

го различия), предложенные для этого пространства, позволяют с достаточной для практических целей точностью определять реакцию наблюдателей на величину небольших надпороговых цветовых различий.

Система измерения окраски. Поскольку окраска, определяемая по свету, отраженному объектом в конкретных условиях, зависит от света, которым объект освещается, т.е. от геометрии освещения и наблюдения, то для спецификации окраски недостаточно задать стандартного колориметрического наблюдателя. Кроме него система спецификации окраски должна регламентировать спектральный состав излучения, освещающего образец (стандартные источники излучения), и оптическую геометрию освещения/наблюдения. Кроме того, в основе измерения окраски прозрачных и отражающих образцов лежит понятие цветового тела, т.е. самым светлым всегда является образец белой поверхности, а координаты цвета всех остальных образцов должны быть отнесены к координатам белого образца при заданном источнике освещения.

Подобное нормирование отраженного света аналогично работе зрительной системы человека. «Указание окраски предмета путем сравнения (конечно, бессознательного) с белым предметом можно сравнить с тем, как в лабораторных условиях находят спектральные кривые отражения, т.е. полную физическую характеристику отражающих свойств объекта. Это делается

цвета в систему измерений окраски. Естественно, «измерительная сила» обеих систем одинакова.

Стандарт [15] Международной комиссии по освещению (МКО) регламентирует обе эти системы спецификации, не подразделяя их. Системы спецификации МКО отвечают на вопрос: одинаковы или нет два цвета или две окраски в данных конкретных колориметрических условиях?

Системы измерения вида. Согласно данному ранее определению измерение вида опирается на измерение окраски объекта для различных геометрий освещения/наблюдения. В этом случае применяют гониоспектроколориметры, которые измеряют отраженный от образца цвет в зависимости от направления, т.е. с учетом индикатрисы. Окраска поверхности измеряется для конкретной оптической геометрии прибора, которая обязательно указывается наряду с измеренными координатами цвета.

Но как измерить вид, если количество возможных геометрий бесконечно? Для практических целей можно ограничиться некоторым достаточно разнообразным набором геометрических условий освещения и наблюдения.

В случае окраски измеряют исходящее от образца излучение: для одной оптической геометрии прибора результатом является один набор координат цвета. При измерении вида необходимо получить несколько таких наборов для разных условий освещения и наблюдения, т.е. измерить цвет в различных направлениях при различных условиях освещения.

Список литературы

1. Дьердь А. Восприятие, сознание, память: Размышления биолога / Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – С. 44.
2. Панцаль И. Теория измерений. – М.: Мир, 1976. – С. 11.
3. Ньюберг Н.Д. Цвет // Физический энциклопедический словарь. Т. 5: Спектр – Яркость. – М.: Советская энциклопедия, 1966. – С. 385–386.
4. Stevens S.S. On the Theory of Scales of Measurement // Science. – 1946. – Vol. 103, № 2684.
5. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок. – М.: Наука, 1971.
6. Суппес П., Зинес Дж. Основы теории измерений // Психологические измерения: Сб. – М.: Мир, 1967.
7. Василевич А.П. и др. Каталог названий цвета в русском языке. – М.: Смысл, 2002.
8. Гусев А.Н. и др. Измерение в психологии: Общий психологический практикум. – М.: Смысл, 1987.
9. Kuehni R.G. Color Space and Its Divisions: Color Order from Antiquity to the Present. – John Wiley & Sons, Inc., Publishers, 2003.
10. Рабкин Е.Б. Атлас цветов. – М.: МедГИЗ, 1956.
11. Ньюберг Н.Д. и др. // Биофизика. – 1971. – Т. XVI, Вып. 2. – С. 6.
12. The ColorChecker [Электрон. ресурс/The BabelColor Company; http://www.babelcolor.com/main_level/ColorChecker.htm, свободный].
13. Патент US 5319472. Multispectral color image pickup system, 1994.
14. Ньюберг Н.Д. Лекции по цветоведению, прочитанные студентам Полиграфического техникума // Юстова Е.Н. Колориметрия. Приложение III. – СПб.: Университет, 2003.
15. CIE 15.2-199616. Colorimetry: CIE Technical report. – 2d ed.
16. Новосельцев П.П. Новый метод контроля цвета и внешнего вида покрытий // Дизайн. Материалы. Технология. – 2009. – № 4 (11). – С. 170–175.