

Борисова Ольга Алексеевна

канд. пед. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Московский технический
университет связи и информатики»

г. Москва

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ RGB, CMYK И HSB В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

***Аннотация:** автор статьи отмечает, что цвет в компьютерной графике представляет собой сложную междисциплинарную систему, объединяющую физику света, психофизиологию восприятия, математическое моделирование и технологические ограничения устройств. В работе проводится системный анализ трёх ключевых цветовых моделей – RGB, CMYK и HSB – с акцентом на их структуру, взаимодействие, ограничения и роль в целостной экосистеме цифровой визуализации. Показано, что ни одна из моделей не является универсальной для применения на практике: RGB обеспечивает аддитивное отображение на самоизлучающих экранах, CMYK – субтрактивное воспроизведение на печатных носителях, а HSB – интуитивное управление цветом через интерфейсы.*

***Ключевые слова:** цветовая модель, RGB, CMYK, HSB, HSV, аддитивная модель, субтрактивная модель, цветовое пространство, компьютерная графика, восприятие цвета, цифровое образование.*

Красивый и правильный цвет – первое, что замечаешь на экране. Но для компьютера цвет – всего лишь набор чисел. Чтобы изображение смотрелось одинаково на телефоне, мониторе и в печатном буклете, эти числа постоянно «переводят» из одной системы в другую. Для компьютера цвет – это всего лишь таблица чисел. Для человека – важнейший канал информации: эмоции, бренд, безопасность, читаемость.

Цифровое образование – совокупность учебных процессов, в которых цифровые технологии становятся не вспомогательными, а равноправными моделями доставки знаний.

В цифровой среде 90% учебных материалов подаётся через экран (видеолекция, инфографика, интерактивная модель), поэтому ошибка в цвете = ошибка в знании. Поэтому нужно знать цветовые модели и их применение. Цвет – это универсальный «быстрый код» информации: за 200–250 мс человек различает цветовой сигнал быстрее, чем текстовый или числовой.

В начале мы рассмотрим теоретические аспекты видов цветовых моделей, а за тем их применение на практике в компьютерной графике.

В компьютерной графике цвет – не просто визуальный элемент, а системный компонент, интегрированный в архитектуру обработки, хранения, передачи и воспроизведения визуальной информации. Его корректное управление требует системного подхода, включающего:

- математическое моделирование (цветовые пространства);
- физическую реализацию (источники света, пигменты, датчики);
- психофизиологию восприятия (человеческое зрение);
- технологические ограничения (разрядность, битовая глубина, профили);
- интерфейсные и алгоритмические аспекты (редакторы, ИИ, CMS).

Цветовые модели необходимы для кодирования, хранения, передачи и отображения цветовой информации. Они применяются в графических редакторах, веб-технологиях, системах печати и других областях, где важна точность цветопередачи. Знание особенностей различных моделей позволяет разработчикам и дизайнерам создавать гармоничные и функциональные интерфейсы, а также избегать ошибок при печати или отображении на различных устройствах.

Цветовые модели – формализованные абстракции, позволяющие оперировать цветом как данными. Ни одна из них не является «идеальной» – каждая решает специфическую задачу в рамках целостной системы цифровой визуализации. В этом анализе мы рассмотрим три ключевые модели – RGB, CMYK и

HSB – через призму системного анализа: их структуру, взаимодействие, ограничения, трансформации и роль в компьютерной графике.

1. *RGB (Red, Green, Blue) – аддитивная модель: фундамент цифрового отображения.*

RGB (Red, Green, Blue) – аддитивная цветовая модель, в которой цвет формируется путём сложения трёх основных цветов: красного, зелёного и синего. Она основана на особенностях восприятия цвета человеческим глазом и активно используется в устройствах с ЭЛТ, ЖК и OLED-дисплеями: мониторах, телевизорах, смартфонах, проекторах.

Цвет задаётся тремя компонентами, каждая из которых принимает значение от 0 до 255. В результате возможно создание более 16 миллионов оттенков. В RGB цвет кодируется как вектор в трёхмерном пространстве.

$\vec{C}^{RGB}=(R,G,B), R,G,B \in [0,255]$ (8 бит) $C^{RGB}=(R,G,B), R,G,B \in [0,255]$ (8 бит);

– 0 – отсутствие света (чёрный);

– 255 – максимальная интенсивность (максимум света);

– где каждая координата соответствует интенсивности одного из цветов: ось R – красный, ось G – зелёный, ось B – синий.

Смешивание, получение цветов получается сложением: $R + G = \text{Yellow}$; $R + B = \text{Magenta}$; $G + B = \text{Cyan}$; $R + G + B = \text{White}$; $0 + 0 + 0 = \text{Black}$.

Физическая реализация: источники – светодиоды (LED), OLED-пиксели, флуоресцентные лампы; устройства – мониторы, телевизоры, проекторы, смартфоны; разрядность – 8 бит (256 уровней) – стандарт; 10–12 бит – для HDR и профессиональной графики.

Психофизиологический аспект: человеческий глаз имеет три типа колбочек, чувствительных к красному, зелёному и синему – что делает RGB биологически обоснованной моделью.

Преимущества: широкий охват цветового пространства; удобство для работы с экранами и цифровыми носителями; поддержка всеми современными устройствами.

Недостатки: не подходит для печати; требует перекодирования при передаче в другие модели; ограничена в передаче некоторых насыщенных цветов, особенно при печати.

Системная функция RGB: обеспечить точное, быстрое, биологически согласованное отображение цвета на самоизлучающих устройствах.

2. *CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key/Black) – субтрактивная модель: фундамент печати.*

CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) – субтрактивная цветовая модель, используемая в полиграфии. В отличие от RGB, где цвет создаётся сложением излучаемого света, в CMYK цвет формируется путём вычитания света, отражаемого от поверхности бумаги. Основные цвета – голубой, пурпурный, жёлтый и чёрный.

$C \vec{CMYK} = (C, M, Y, K), C, M, Y, K \in [0\%, 100\%]$ $CCMYK = (C, M, Y, K), C, M, Y, K \in [0\%, 100\%]$:

- Cyan поглощает красный → отражает зелёный и синий;
- Magenta поглощает зелёный → отражает красный и синий;
- Yellow поглощает синий → отражает красный и зелёный;
- Black (K) – добавляется для: глубины теней (CMY дают тёмно-коричневый, а не чёрный), экономии цветных красок, улучшения резкости текста.

Полное отсутствие краски даёт белый цвет, а смешение всех – чёрный. CMYK используется в офсетной и цифровой печати, а также в дизайне печатной продукции.

Физическая реализация: источники – краски, чернила, порошки; устройства – офсетные, струйные, лазерные принтеры, цифровые печатные машины (HP Indigo, Xerox iGen); технология – точечная печать (halftoning) – создание иллюзии градаций за счёт плотности и размера точек.

Психофизиологический аспект: цвет воспринимается не как смешивание, а как отражённый свет; печать зависит от материала (бумага, плёнка): белая бумага отражает больше света → цвета ярче; глянцевая -насыщеннее, матовая – приглушённое.

Преимущества: точность воспроизведения цветов при печати; стандарт полиграфической индустрии; возможность создания сложных и насыщенных изображений.

Недостатки: узкий охват по сравнению с RGB; потери в яркости и насыщенности при конвертации; сложность в ручной настройке цветов.

Системная функция CMYK: обеспечить воспроизводимое, устойчивое к внешним факторам воспроизведение цвета на поглощающих поверхностях с использованием физических пигментов.

3. *HSB/HSV (Hue, Saturation, Brightness/Value) – модель восприятия: интерфейс управления цветом.*

HSB (Hue, Saturation, Brightness) – цветовая модель, ориентированная на человеческое восприятие. Она описывает цвет через три параметра.

$C^*_{HSB}=(H,S,B), H \in [0^\circ, 360^\circ], S, B \in [0\%, 100\%]$ $CHSB=(H,S,B), H \in [0^\circ, 360^\circ], S, B \in [0\%, 100\%]$:

- Hue – цветовой тон (оттенок), выражается в градусах от 0 до 360;
- Saturation – насыщенность (чистота цвета);
- Brightness – яркость (освещённость).

Эта модель удобна для художников и дизайнеров, так как напрямую соответствует способу, которым человек воспринимает и описывает цвет. HSB активно используется в графических редакторах (например, Adobe Photoshop, Figma, Illustrator).

Физическая реализация: не физическая модель – HSB не используется для хранения или передачи данных; исключительно интерфейсная: палитры в Photoshop, Figma, GIMP, цветовые круги; преобразование: HSB → RGB происходит по алгоритмическим формулам.

Психофизиологический аспект: HSB моделирует способ, которым человек описывает цвет: «Сделай цвет более насыщенным» → изменение S;

«Сделай его светлее» → изменение V; «Сделай его синим» → изменение H.

Преимущества: интуитивно понятная структура; удобство при подборе и корректировке цветов; поддержка в большинстве графических редакторов.

Недостатки: требует преобразований в RGB или CMYK для вывода; не подходит для технических задач без конвертации.

Системная функция HSB: обеспечить человеко-ориентированный, интуитивный интерфейс управления цветом, преобразуемый в технические модели (RGB/CMYK) для реализации.

Таблица 1

Сравнительная таблица: системные характеристики моделей

Характеристика	RGB	CMYK	HSB
Тип модели	Аддитивная	Субтрактивная	Психофизиологическая
Область применения	Экраны, видео, веб	Печать, полиграфия	Интерфейсы, дизайн
Формат данных	Целые числа (0–255)	Проценты (0–100%)	Угол + % (не хранится)
Глубина цвета	8–12 бит	8–16 бит на канал (в файле)	Не применяется
Цветовая гамма	Широкая (до 16 млн цветов)	Узкая (1–2 млн реально воспринимаемых)	Не определена (производная)
Конвертация	Легко → HSB, сложно → CMYK	Трудно → RGB (потеря цвета)	Только в RGB
Зависимость от устройства	Высокая (без профиля – искажения)	Очень высокая (бумага + чернила)	Нет (интерфейс)
Стандарты	sRGB, Adobe RGB, DCI-P3	ISO Coated v2, FOGRA, SWOP	Нет (не стандарт)

Практическое применение цветовых моделей.

Рассмотрим применение цветовых моделей на практических занятиях по компьютерной графике.

Цвет очень сильно влияет на восприятие окружающей среды, например цвет может влиять на восприятие температуры. На рисунке 1 представлено изображение, выполненное в холодных тонах, а на рисунке 2 то же изображение, но с использованием теплых тонов, оба изображения были выполнены в цветовой модели RGB.

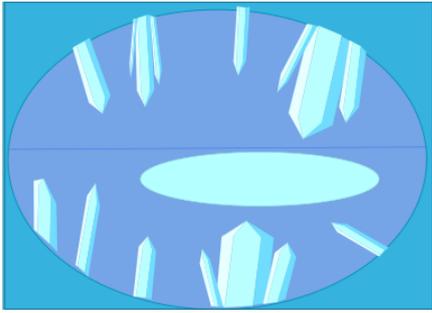


Рис. 1. Изображение в холодных тонах
в цветовой модели RGB

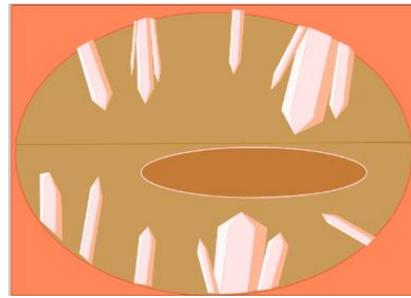


Рис. 2. Изображение в теплых тонах
в цветовой модели RGB

Несмотря на то, что изображения одинаковы, но просто выполнены в разных тонах первое изображение кажется «холодным», а второе «теплым»

В разных цветовых моделях цвета формируются из разных основных цветов, в модели RGB это красный, зеленый и синий, в CMYK – циановый, маджента и желтый, в модели HSB(HSV) основой выступают цветовой тон, насыщенность и яркость.

Одним из заметных отличий в представлении цвета в разных моделях является его кодирование, один и тот же цвет кодируется по-разному из-за представления, путем соединения разных основных цветов. На рисунках 3–5 представлены кодировки одного и того же цвета для сравнения и выявления отличий.

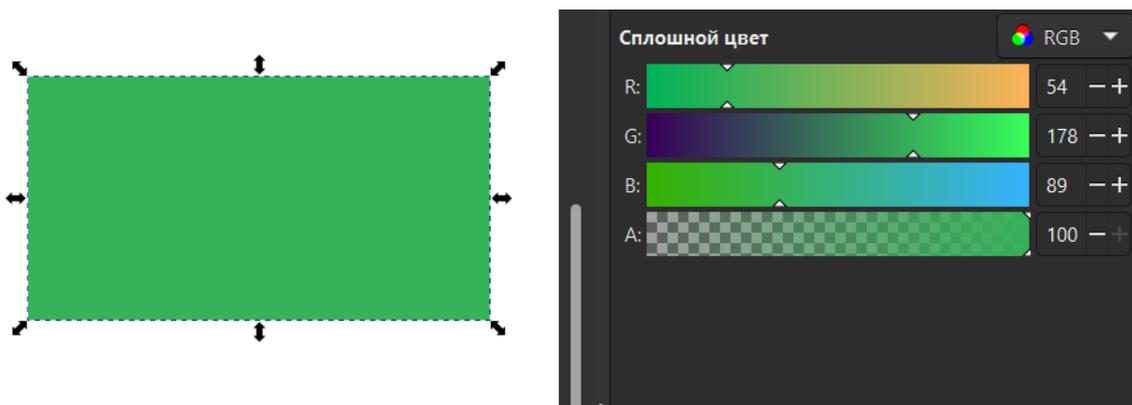


Рис. 3. Кодирование оттенка зеленого в RGB

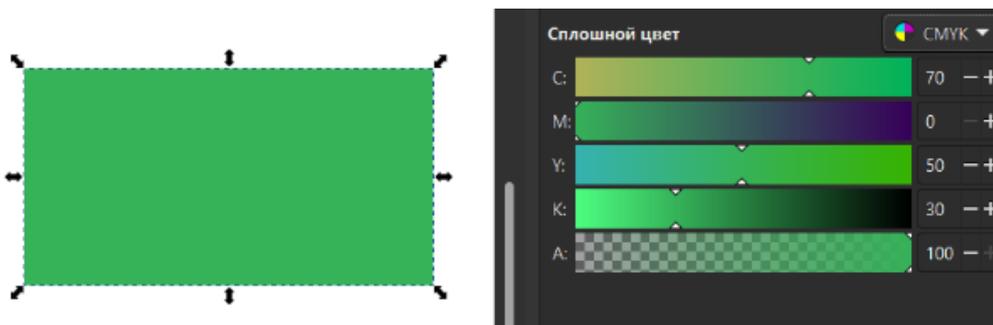


Рис. 4. Кодирование оттенка зеленого в CMYK

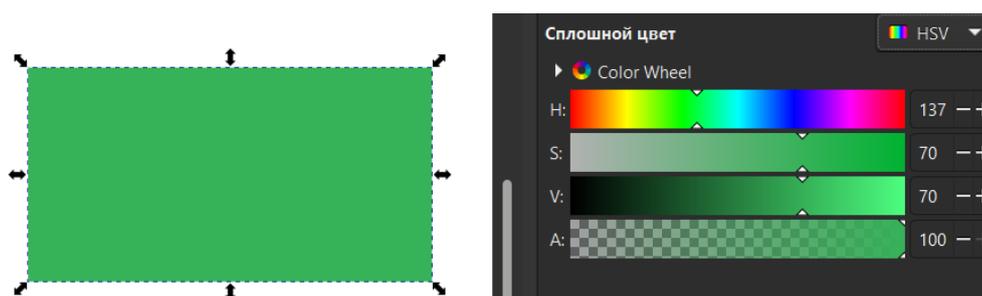


Рис. 5. Кодирование оттенка зеленого в HSB(HSV)

Можно увидеть, что: RGB код – 54,178,89; CMYK код – 70,0,50,30; HSB(HSV) код – 137,70,70;

В модели RGB преобладает один из основных цветов, а именно зеленый, но при этом остальные цвета оба присутствуют, хоть и в меньших количествах. В модели CMYK полностью отсутствует цвет маджента, циановый и желтый присутствуют примерно в одинаковых пропорциях, а также минимальное количество черного цвета. В модели HSB(HSV) преобладает показатель тона цвета, что логично так как этот показатель принимает значения в большем диапазоне чем оставшиеся два. Из-за отсутствия цвета мадженты в данном оттенке и равных значений остальных цветов модели CMYK можно предположить, что изначально этот оттенок был создан в модели CMYK, ведь в нем он представляется проще чем в остальных.

На рисунке 6 показана визитка, выполненная с помощью цветовой модели CMYK, эта модель часто используется в типографии, так как стандартный набор красок для плоттеров и принтеров совпадает с основными цветами модели и их

смешение дает те же результаты, поэтому визитки, которые часто поступают в печать лучше выполнять, используя данную модель.

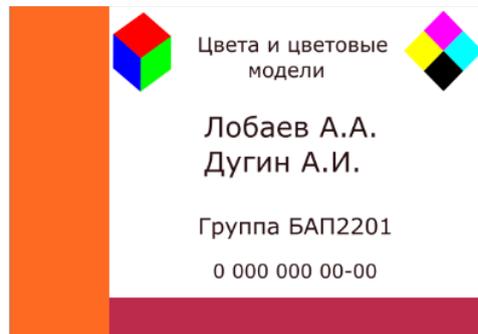


Рис. 6. Визитка, выполненная в модели CMYK

В модели HSB(HSV) благодаря наличию цветового тона гораздо проще подбирать цвета и оттенки, это связано с тем, что восприятие цвета в этой модели близко к восприятию цвета человеком, что позволяет художникам подбирать более подходящие цвета и охватывать большую часть видимого спектра, так как в отличие от RGB и CMYK, HSB(HSV) охватывает весь видимый спектр. На рисунке 7 представлено сравнение градиентов, построенных в разных цветовых моделях.

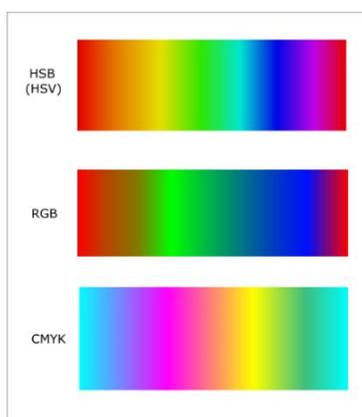


Рис. 7. Сравнение градиентов разных цветовых моделей

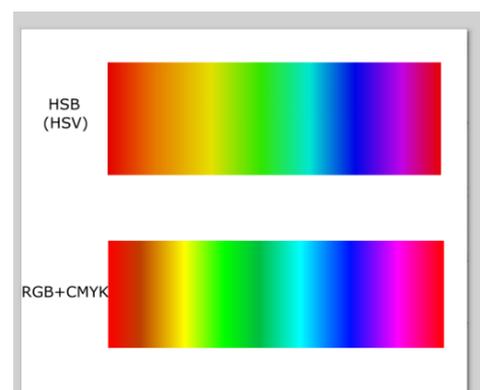


Рис. 8. Градиенты модели HSB(HSV) и CMYK + RGB

Как можно наблюдать из построенных градиентов охват спектра больше оказался у HSB(HSV) модели, а у двух оставшихся он примерно одинаковый, в этих градиентах не учитывается черный цвет в модели CMYK, из-за этого и

кажется, что охват цветов меньше, чем у RGB. Модели CMYK и RGB можно использовать вместе для того, чтобы компенсировать недостатки друг друга в покрытии спектра, результат слияния представлен на рисунке 8.

Видно, что при объединении CMYK и RGB получилось покрыть практически весь видимый спектр, для человеческого глаза и разница практически не заметна.

Цвет в компьютерной графике – это многоуровневая, динамическая система, где каждая модель выполняет специфическую, незаменимую роль:

- RGB – техническое ядро отображения, фундамент цифровой визуализации;
- CMYK – физический выход, обеспечивающий воспроизводимость в материальном мире;
- HSB – человеко-ориентированный интерфейс, мост между интуицией и технологией.

Цвет – это не выбор между RGB, CMYK и HSB. Это управление переходом между ними. Истинная задача системного анализа – не выбрать «лучшую» модель, а обеспечить точную, предсказуемую и эстетически корректную трансформацию цвета через всю цепочку от мысли до восприятия.

Цвет – это не цвет. Это система. И её правильная работа – залог визуальной целостности цифрового мира.

Список литературы

1. Борисова О.А. Компьютерная графика. Курс лекций: учебное пособие / О.А. Борисова; МТУСИ. – М., 2023. – 104 с.
2. Перемитина Т.О. Компьютерная графика: учебное пособие / Т.О. Перемитина. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники: Эль Контент, 2012. – 144 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/13940.html> (дата обращения: 18.02.2026). EDN NQLUIX
3. Цвет в компьютерной графике: учебное пособие / под ред. И.А. Кузнецова. – М.: ФОРУМ, 2021.