

«Предсказуемый результат печати»

Содержание с пояснениями

1. Что такое предсказуемый результат и почему его нет

1.1. О чём эта книга

Вводный раздел о главной проблеме отрасли: результат часто обсуждают, но редко описывают как систему.

1.2. Почему напечатанное не совпадает с экраном

Разные устройства, разные принципы воспроизведения, разные условия просмотра и, как следствие, разные ожидания.

1.3. Условия просмотра и сравнения

Оттиск, экран, цветопроба и образец можно сравнивать только при правильном освещении и правильной постановке задачи.

1.4. Что такое предсказуемый результат

Результат, который можно получить с первой приладки, подтвердить измерением и повторить в следующем тираже.

1.5. Кто отвечает за предсказуемость

Дизайнер, предпечатник и технолог рассматриваются как участники одной цепи, а не как три независимых мира.

1.6. Главное правило раздела

Прежде чем говорить «не совпадает», нужно убедиться, что сравнение вообще выполняется корректно.

2. Цвет — это ощущение. СМΥΚ — не цвет

2.1. Что такое цвет

Цвет рассматривается как ощущение в сознании человека, а не как свойство самой поверхности.

2.2. Как CIE научилась измерять ощущения

Краткое, но понятное объяснение стандартного наблюдателя, трёх стимулов и уравнивания цветов.

2.3. Цветовые координатные системы

XYZ, Lab и LCH объясняются как способы описания цветового ощущения и измерительного результата.

2.4. Цветовые модели и координатные системы — не одно и то же

RGB и CMYK задают способ воспроизведения, а Lab и XYZ описывают воспринимаемое цветовое ощущение.

2.5. Почему CMYK — не цвет

Одни и те же аппаратные данные на разных процессах могут давать разные цвета.

2.6. Цветовой охват (gamut)

Показывается, что охват ограничивает устройство, а не само человеческое восприятие цвета.

2.7. Delta E

Объясняется, что такое dE, где он полезен и почему им нельзя пользоваться без оговорок.

2.8. Главное правило раздела

CMYK — это команда для машины (аппаратные значения), а цвет — это то, что в итоге ощущает человек.

3. Монитор — первое звено цепи

3.1. Почему монитор вообще важен

Если первое звено даёт ложную информацию, все последующие решения будут ошибочными.

3.2. Монитор как прибор воспроизведения

Разбирается трёхстимульная природа монитора и её практические ограничения.

3.3. Калибровка монитора

Монитор приводится в известное и стабильное состояние по белой точке, гамме и светимости (яркости).

3.4. Профилирование монитора

Создаётся описание реального поведения монитора, без которого CMS не может работать осмысленно.

3.5. Достоверность монитора, а не «красивый экран»

Монитор должен быть пригоден для принятия решений, а не просто производить приятное впечатление.

3.6. Условия на рабочем месте

Освещение, адаптация зрения и нейтральное окружение влияют на оценку не меньше самого монитора.

3.7. Проверка качества монитора

Визуальная оценка и инструментальная верификация связываются в одну практическую процедуру.

3.8. Главное правило раздела

Без настроенного и достоверного монитора весь остальной workflow строится на ложной основе.

4. Подготовка файла — от замысла автора до целевого процесса

4.1. Задача предпечатника

Предпечатник должен понять не только цифры в файле, но и то цветовое ощущение, которое автор хотел получить.

4.2. Где заканчивается замысел автора и начинается ответственность предпечатника

Показывается граница между сохранением замысла автора и адаптацией под реальный печатный процесс.

4.3. Профиль источника — ключ к замыслу

ICC-профиль помогает перевести аппаратные данные источника в цветовое ощущение человека.

4.4. Формула подготовки файла

Путь от замысла автора к целевому процессу выстраивается как последовательность осмысленных преобразований.

4.5. Rendering Intents

Кратко объясняется, что делает каждый intent и в каких задачах он действительно уместен.

4.6. Рабочие цветовые пространства

Сравниваются распространённые RGB- и CMYK-пространства и объясняется их роль в рабочем процессе.

4.7. Конвертация в целевой процесс

Учитываются тип печати, бумага, краска, ограничения по сумме красок и особенности воспроизведения.

4.8. PDF как производственный контейнер

Объясняется роль встроенных профилей, output intent, transparency, overprint, шрифтов и PDF/X.

4.9. Чего нельзя делать

Перечисляются типовые ошибки конвертации и интерпретации файла до его попадания в печать.

4.10. Главное правило раздела

Сначала нужно определить цветовой замысел автора, и только потом адаптировать файл под конкретный процесс.

5. Треппинг и оверпринт — страховка от несовмещения

5.1. Почему идеального совмещения не бывает

Несовмещение рассматривается как реальность процесса, а не как досадное исключение.

5.2. Overprint — где он помогает, а где становится ловушкой

Показываются типичные безопасные применения overprint и столь же типичные ошибки.

5.3. Trapping — когда одного overprint уже недостаточно

Разбирается логика spread, choke и выбора ловушки как технической страховки.

5.4. Когда trapping не нужен

Читателю даются критерии, при которых ловушка лишь усложнит файл без реальной пользы.

5.5. Как строится ловушка

Поясняются ширина, направление, цвет keyline и поведение сложных чёрных объектов.

5.6. Треппинг растровых изображений

Показывается, почему trapping внутри растра — решение редкое и требующее осторожности.

5.7. Главное правило раздела

Лучший trapping — тот, который выполняет задачу и остаётся незаметным.

6. Цветопроба — не «красивая распечатка»

6.1. Что такое цветопроба

Цветопроба определяется как измеримый и воспроизводимый эталон для конкретного процесса.

6.2. Что требует стандарт

Рассматриваются контрольная шкала, допуски и обязательные данные, без которых цветопроба теряет статус.

6.3. Подходы к построению цветопробы

Сравниваются аппаратно-зависимый и аппаратно-независимый подходы.

6.4. Когда нужен RIP, а когда не нужен

Обсуждается зависимость между стабильностью пробного устройства и необходимой степенью управления.

6.5. Условия просмотра цветопробы

Связка с первым разделом подчёркивает: проба без правильного света перестаёт быть пробой.

6.6. Что цветопроба гарантирует, а чего не гарантирует

Отделяются реальные возможности цветопробы от завышенных ожиданий.

6.7. Как читать цветопробу

Поясняется, когда следует больше доверять глазам, а когда — измерительным данным.

6.8. Главное правило раздела

Цветопроба без шкалы и информации о процессе — это всего лишь красивая картинка.

7. Печатный процесс — что должен знать предпечатник

7.1. Зачем предпечатнику понимать печать

Предпечатник не обязан управлять машиной, но обязан понимать пределы процесса, под который готовит файл.

7.2. Офсет

Разбираются принципы офсетной печати и следствия для предпечатной подготовки.

7.3. Флекс

Показываются ключевые отличия флексографии и то, как они влияют на файл.

7.4. Цифровая печать

Сравниваются электрофотография и струйная печать с точки зрения воспроизводимости и ограничений.

7.5. Один файл не подходит для всех процессов

Доказывается, что целевой процесс всегда определяет способ подготовки.

7.6. Стабилизация процесса до профилирования

Подчёркивается, что профилирование не лечит хаос, а лишь описывает его.

7.7. Главное правило раздела

Пока не понятны реальные ограничения процесса, файл нельзя подготовить грамотно.

8. Полутоновое воспроизведение: точка, растр, Dot Gain и TVI

8.1. Что такое полутоновое воспроизведение

Объясняется, почему процент в файле и видимый результат — не одно и то же.

8.2. Номинальный тон и фактический результат

Сопоставляются заданное значение и реально напечатанное поведение полутонов.

8.3. АМ, FM и гибридное растривание

Показывается, как тип растра влияет на точку, визуальный результат и поведение процесса.

8.4. Физическое и оптическое растискивание

Разводятся два разных механизма изменения полутонового результата.

8.5. Оптическое растискивание как пограничный эффект

Акцент делается на суммарном периметре точек и влиянии lpr на величину эффекта.

8.6. Почему FM-растр ведёт себя иначе

Поясняется, как большое число мелких точек меняет проявление оптического эффекта.

8.7. Dot Gain

Термин вводится как денситометрическая оценка полутонового поведения процесса.

8.8. TVI

Термин вводится как колориметрическая оценка полутонового поведения через Lab.

8.9. Dot Gain и TVI — не одно и то же, но про один и тот же эффект

Показывается, почему термины нельзя смешивать, хотя они описывают один пограничный эффект разными методами.

8.10. Баланс серого

Нейтральность серого рассматривается как один из самых чувствительных индикаторов правильности процесса.

8.11. Что всё это значит для файла и контроля

Полутоновое поведение связывается с минимальной точкой, профилированием и реальным контролем на печати.

8.12. Главное правило раздела

Именно в полутоне встречаются файл, растр, печать, измерение и зрительное восприятие.

9. ICC-профили — связь между машиной и цветом

9.1. Что такое ICC-профиль

Профиль определяется как измеренное описание соответствия между аппаратными данными и цветовым ощущением человека.

9.2. Типы ICC-профилей

Разводятся input, display, output и DeviceLink-профили по их реальной функции.

9.3. PCS и внутренняя логика профиля

Объясняется, зачем нужен Profile Connection Space и как профиль включается в общую систему CMS.

9.4. Характеризационные данные

Показывается, что профиль опирается не на догадку, а на тест-карту, измерение и реальный процесс.

9.5. Как из измерений появляется Output Profile

Раздел связывает печатное условие, characterization data и построение рабочего профиля.

9.6. DeviceLink-профили

Объясняется роль прямого преобразования между процессами, сохранения чёрного канала и контроля состава красок.

9.7. Чего профиль не может

Профиль не стабилизирует процесс и теряет достоверность, когда изменяются условия.

9.8. Главное правило раздела

Профиль — это не волшебство, а точное описание конкретного измеренного состояния процесса.

10. Контроль — как убедиться, что результат действительно предсказуем

10.1. Зачем нужен контроль

Без измерений слова «совпадает» и «не совпадает» остаются всего лишь мнением.

10.2. Что измеряем и чем

Разводятся задачи денситометрии и спектрофотометрии без путаницы между ними.

10.3. Контрольные параметры по ISO 12647-2

Поясняется практический смысл Lab плашек, TVI, баланса серого и допусков по dE.

10.4. Контрольные шкалы

Показывается, какую информацию можно получить из шкалы на пробе и на тираже.

10.5. Контроль на приладке

Даётся порядок принятия решений до запуска стабильного тиража.

10.6. Контроль в тираже

Обсуждаются стабильность, периодичность замеров и допустимый разброс по ходу печати.

10.7. Баланс серого как оперативный индикатор

Отдельно подчёркивается его роль как быстрого признака нарушения процесса.

10.8. Главное правило раздела

Контроль должен быть частью процесса, а не поздней попыткой обнаружить уже случившуюся ошибку.

Раздел 11. Типичные ошибки

11.1. Ошибки мышления

Разбираются неверные представления, которые приводят к техническим сбоям ещё до работы с файлом.

11.2. Ошибки подготовки файла

Систематизируются типовые ошибки макета, профилей, текста, overprint, trapping, Pantone и resolution (dpi/ppi).

11.3. Ошибки процесса

Показываются сбои, возникающие из-за несоответствия пробы, профиля, бумаги и фактического режима печати.

11.4. Ошибки контроля

Разбираются случаи, когда измерения есть, но пользы от них нет из-за неверной процедуры или интерпретации.

11.5. Ошибки коммуникации

Поясняется, почему дизайнер, предпечатник и технолог часто говорят об одном и том же разными словами.

11.6. Главное правило раздела

Ошибки понимания опаснее ошибок файла, потому что никакой preflight их не исправит.

12. Заключение. Предсказуемость как профессиональная норма

12.1. Почему предсказуемый результат важнее случайного успеха

Один хороший тираж ещё не означает, что процесс под контролем.

12.2. Что даёт система

Система даёт меньше переделок, меньше конфликтов, более быструю приладку и более устойчивое качество.

12.3. Главный итог книги

Предсказуемость — это не удача и не талант настроения, а результат правильно выстроенного процесса.

Предисловие

Представьте себе человека, который каждое утро готовит завтрак. Он берёт яйца, масло, сковороду. Включает плиту. Всё делает правильно. Но каждый раз яичница получается разная: то подгорит, то останется сыроватой, то вроде бы выйдет нормально, но непонятно почему. И он говорит: «Ну, это же яичница. Что тут сложного?»

С печатью происходит то же самое.

Люди берут файл, отправляют его в типографию и ждут, что получится красиво. Иногда получается. Иногда — нет. И чаще всего никто не может толком объяснить почему. Потому что, как и с яичницей, все заранее уверены: а что тут сложного?

Эта книга написана от усталости.

Усталость не от работы — работу я люблю. От усталости объяснять одно и то же. Снова и снова. Каждому новому клиенту, каждому новому технолог, каждому новому предпечатнику — с самого начала.

Почему напечатанное не совпадает с экраном. Почему проба не совпадает с тиражом. Почему одни и те же цифры СМΥК на двух машинах дают два разных цвета. Почему нельзя просто отправить файл и получить именно то, что было задумано.

Эти вопросы задают люди с разным опытом, на разных языках, в разных странах. Но причина почти всегда одна и та же: отсутствие системы. Люди работают по наитию. По привычке. По советам коллег, которые сами работают по наитию. И каждый раз, когда результат не совпадает с ожиданиями, начинается привычное занятие — поиск виноватого.

За годы работы с управлением цветом в печати я понял одну простую вещь. Главная проблема нашей отрасли не в машинах, не в красках, не в бумаге и даже не в бюджетах. Главная проблема в том, что люди делают сложные вещи, не понимая, как эти вещи устроены на самом деле.

Между тем здесь всё опирается на вполне реальные законы. Есть физика цвета, есть физиология зрения, есть свойства краски и бумаги. Это не мнения, не вкусовщина и не «у нас так принято». Это закономерности, которые работают независимо от того, знаем мы о них или нет.

Проблема не в том, что люди не хотят делать правильно. Проблема в том, что многие не понимают самой сущности требований. Им говорят: «нужно построить профиль», «нужно настроить монитор», «нельзя превышать TIL». Они кивают, записывают, иногда даже начинают выполнять. Но не понимают, зачем. А когда человек не понимает зачем, он перестаёт делать это при первой же возможности.

Когда я прихожу в типографию и говорю: «Вам нужно настроить монитор», мне отвечают: «Да-да, конечно». Когда я говорю: «Вам нужно построить профиль», тоже кивают. Когда я говорю: «Нельзя превышать TIL», записывают. И даже выполняют. Неделю. Иногда две. А потом перестают.

Почему?

Потому что выполняют не принцип, а ритуал. Как человек, который дарит жене цветы на восьмое марта, потому что «так положено», и искренне не понимает, почему этого недостаточно.

Потому что цветы — это не про цветы. И профиль — не про профиль. И монитор — не про монитор. Всё это — про понимание того, как устроен процесс.

Эта книга — попытка выстроить систему объяснений. Не инструкцию в духе «нажми сюда», а цепочку понимания: от физиологии зрения до контроля на приладке, от ощущения цвета до цифр на денситометре.

Логика книги проста. Каждый раздел отвечает на три вопроса: почему это устроено именно так, что из этого следует на практике и как это проконтролировать. Понимание, алгоритм, контроль.

Мы начнём с условий просмотра — потому что бессмысленно спорить о цвете, если вы оцениваете оттиск под лампой накаливания. Дальше пройдем через природу цвета, настройку монитора, подготовку файла, треппинг, цветопробу, печатный процесс, профили и контроль. А закончим типичными ошибками, которые в нашей отрасли повторяются десятилетиями. Каждый следующий раздел опирается на предыдущий. Шаг за шагом.

Книга написана для людей, которые находятся по разные стороны одного процесса: для дизайнера, для предпечатника, который готовит файл, и для технолога, который отвечает за результат на машине. Все они делают одно дело, но слишком часто не понимают друг друга. Эта книга — попытка дать им общий язык.

Язык книги намеренно простой. Я старался писать так, чтобы меня понял человек, который никогда не открывал спецификацию ICC, и при этом не было стыдно перед тем, кто знает её наизусть. Это не учебник для вуза и не справочник. Это разговор практика с практиком.

Обещание этой книги — предсказуемый результат печати. Не идеальный. Не «как на экране». Не «как у конкурентов». А предсказуемый: такой, который можно рассчитать заранее, проверить на пробе и получить с первой приладки. А если он не совпал — точно понять, почему.

И главное — суметь повторить этот результат в следующем тираже.

Александр

Глава 1. Что такое предсказуемый результат

Начнём с признания самому себе.

Большинство типографий не знают, каким будет следующий тираж. Примерно — знают. Надеются, что хорошим. Но именно знать — нет. Потому что производство слишком часто построено не на системе, а на опыте конкретных людей, на запомненных заданиях у конкретных машин и на везении, которое из вежливости принято называть уровнем мастерства.

Мастерство — вещь прекрасная. Но мастерство, которое нельзя передать, измерить и воспроизвести, — не производственный актив, а личная собственность мастера. Рано или поздно он унесёт её с собой домой, в отпуск или на пенсию. Производство при этом останется наедине со своими сюрпризами.

Эта книга — про другое. Fogra формулирует это как *Printing the Expected* — печатать то, что ожидается. Я называю это предсказуемым результатом. Смысл один и тот же: не надеяться, а понимать, что именно получится и почему.

1.1 Что именно можно назвать предсказуемым результатом

Предсказуемый результат — это не идеальный результат. Это не «точь-в-точь как на экране», не «лучше, чем у конкурентов» и не «клиент остался доволен». Всё это также может случиться, но к определению отношения не имеет.

Предсказуемый результат — это результат, который вы можете заранее рассчитать по параметрам процесса, проверить на стадии цветопробы, получить с первой приладки в пределах согласованных допусков и повторить через месяц, если условия остались теми же.

Заметьте, в этом определении нет слова «красиво». Есть слово «допуски». Любой реальный процесс имеет разброс. Вопрос не в том, существует ли он, а в том, знаете ли вы его величину и управляете ли им. Или он, как водится, управляет вами, как хвост собакой.

Прежде чем двигаться дальше, стоит разобраться, что именно может означать слово «предсказуемый» в контексте цветовоспроизведения. Потому что это слово, как и слово «любовь», каждый понимает по-своему — и именно в этой многозначности прячется половина производственных недоразумений.

Хант в своём фундаментальном труде «Цветовоспроизведение» выделяет шесть уровней цветовоспроизведения. Каждый из них — это не абстрактная ступенька на лестнице качества, а чёткое определение того, что именно мы пытаемся достичь.

Спектральное цветовоспроизведение — равенство кривых спектрального отражения оригинала и репродукции. Если они совпали, цветное равенство сохранится при любом освещении и для любого наблюдателя. Звучит идеально. Реализовать невозможно ни одним практическим методом — ни в печати, ни на экране, ни в фотографии. Более того, Хант отмечает парадокс: чем совершеннее становятся красители, тем дальше воспроизведение от спектрального уровня, потому что более селективные красители дают лучший цветовой охват

ценой бóльшего расхождения спектров. Идеал, который при приближении к нему отступает. Полезная метафора для переговоров с заказчиком.

Колориметрическое цветовоспроизведение — равенство цветностей и относительных фотометрических яркостей оригинала и репродукции. Проще говоря, совпадение координат XYZ при одном и том же осветителе. Это уже измеряемо, достижимо и верифицируемо — при условии, что обе стороны договорились об условиях просмотра. Уровень цветопробы и контрольных шкал. Проблема только одна: колориметрическое равенство не учитывает изменений в восприятии при разных уровнях освещённости. Серый на ярком солнце и серый при лампе в 50 люкс — колориметрически могут совпасть, а визуально будут ощущаться по-разному.

Точное цветовоспроизведение — к колориметрическому добавляется равенство абсолютных фотометрических яркостей. Если вдуматься, это означает: оригинал и репродукция должны не только совпадать по координатам, но и иметь одинаковую физическую яркость в одинаковых условиях. Прерогатива цветопроб и абстрактных (цифровых) систем. На практике — редкий зверь, но именно к нему стремится контрактная цветопроба при верификации по Fogra/PSD.

Эквивалентное цветовоспроизведение — результат восприятия стимулов репродукции идентичен результату восприятия оригинала, даже если условия просмотра различны. Здесь начинается настоящая колориметрическая зрелость: нужно учитывать хроматическую адаптацию, изменения полноты цвета при разной освещённости, влияние окружения. Хант показал, что при переходе от яркого солнца к тусклому свету проектора стимулы теряют полноту цвета и смещаются в жёлто-оранжевую сторону. Компенсировать это — задача моделей цветового восприятия (CIECAM02 и её наследников).

Согласованное цветовоспроизведение — то же, что эквивалентное, но без требования равенства абсолютных яркостей. Вместо этого — равенство относительных яркостей и цветностей при условии, что обе стороны (оригинал и репродукция) оцениваются как бы «относительно своего белого». Это именно тот уровень, к которому стремится большинство реальных цветовоспроизводящих систем: печать, экранная цветопроба, кросс-медийный обмен. Если ваш процесс стабильно работает на уровне согласованного воспроизведения, у вас очень хорошая типография.

Выделенное (предпочтительное) цветовоспроизведение — намеренное отклонение от равенства по восприятию ради визуального комфорта. Кожа на репродукции выглядит реалистичнее, если она чуть более загорелая, чем в жизни. Небо на отпечатке приятнее, если оно чуть синее, чем реальное. Хант экспериментально показал, что «памятные цвета» — кожа, трава, небо — имеют определённые области допуска, внутри которых наблюдатель считает воспроизведение приемлемым. И эти области не центрированы на колориметрически точном совпадении.

Что из этого следует для практики? Три вещи.

Во-первых, когда заказчик говорит «хочу точно, как на экране», он обычно хочет согласованного или даже выделенного цветовоспроизведения. Он не знает этих слов, но имеет в виду именно это. Ваша задача — перевести его ожидание с человеческого языка на технологический.

Во-вторых, предсказуемый результат, о котором идёт речь в этой книге, — это прежде всего согласованный уровень с элементами точного (в зоне контрактной цветопробы). Не спектральный, который невозможен. Не выделенный, который субъективен. А тот, который можно измерить, верифицировать и повторить.

В-третьих, знание этих уровней позволяет разговаривать с клиентом на языке реальности, а не на языке ожиданий. «Мы не можем дать вам спектральное совпадение, но можем гарантировать, что при D50 ваш оттиск будет в пределах $\Delta E_{00} < 3$ от контрактной пробы» — это не оправдание. Это профессиональный ответ.

И ещё одно. Стандартизация не означает ограничения материалов, машин или красок. Цель не в том, чтобы всех загнать в один процесс, а в том, чтобы сделать разнообразие процессов управляемым. Стандарт говорит не «работай только так», а «какими бы средствами ты ни работал, вот как проверить, что работаешь правильно».

1.2 Почему без системы не работает ничего

Представьте человека, который каждое утро жарит яичницу. Он берёт яйца, масло, сковородку. Включает плиту. Всё делает вроде бы правильно. Но каждый раз результат другой: то пережарена, то сырая, то вполне ничего — и никто не может толком объяснить почему. А человек ещё и обижается: «Ну это же яичница. Что тут сложного?»

Проблема в том, что без системы нельзя даже корректно назвать причину расхождения. Не зафиксированы параметры процесса, не определены условия сравнения, не согласованы критерии оценки. А значит, любой разговор о качестве превращается в обмен впечатлениями. Вежливый — если день удачный. И совсем не вежливый — если тираж уже отпечатан.

Предсказуемость начинается там, где заканчивается «кажется» и начинается число. Число не является панацеей. Но число — это язык, на котором можно договориться. $\Delta E_{3,2}$ по CIELAB при D50 — утверждение, которое можно проверить прибором. «Немного краснит» — это впечатление. Между ними и лежит вся разница между ремеслом по чьей-то памяти и процессом под контролем.

1.3 Прежде чем сравнивать — посмотрите правильно

Есть вопрос, который обычно задают слишком поздно. Прежде чем обсуждать, совпадает ли оттиск с цветопробой, монитор с оригиналом, а тираж с эталонным образцом, нужно спросить: а при каком освещении вы на всё это смотрите?

Это не придирка и не ритуал. Это колориметрия. Один и тот же оттиск под лампой накаливания выглядит теплее, под холодным LED — холоднее, на прямом солнце — ярче и насыщеннее. Это не дефект оттиска и не каприз наблюдателя. Так в реальной жизни работают хроматическая адаптация, свойства освещения и метамеризм.

Отраслевой ответ на этот вопрос зафиксирован в ISO 3664. Для полиграфии нормативным условием просмотра принят осветитель D50 — стандартный дневной свет с коррелированной цветовой температурой 5000 К. Для одновременного сравнения оттисков и оригиналов, то есть цветопробы, используется уровень освещённости 1500–2000 lx (условия просмотра P1). Для менее критичного, последовательного сравнения — уже дома или в офисе — 500–800 lx (условия просмотра P2). Фон должен быть нейтрально-серым, около 20 % отражения: не белым, чтобы не затемнять оттиск субъективно, и не чёрным, чтобы не создавать рядом с ним ложную яркость.

Почему в полиграфии D50, а не D65, как в видео или, скажем, текстиле? Потому что D50 — исторический компромисс, появившийся в эпоху, когда печатные листы сравнивали с фотографическими слайдами. Слайды были сбалансированы под тёплые проекторы, печать оценивали при дневном свете, и отрасли нужен был один общий ориентир. Компромисс оказался удачным, пережил эпоху слайдов и стал системой отсчёта для профилей, стандартов, просмотрных кабин и практики обучения.

Это не значит, что D65 не имеет права на существование. Имеет, но в другой задаче и в другой системе. Если заказчик из автомобильной или текстильной отрасли требует оценку при D65/10°, это уже отдельный технологический сценарий: с отдельными условиями просмотра, измерения, профилирования и контроля. Смешивать такие режимы в одном процессе — всё равно что на одной линейке держать сантиметры и дюймы, а потом удивляться, что шкаф не влез в нишу.

Поэтому посыл этой книги очень прост: прежде чем говорить «не совпадает», убедитесь, что вы вообще смотрите правильно. Иначе спор идёт не о цвете, а о вашем освещении, фоне и степени уверенности в собственных глазах.

1.4 Где прячется ошибка

Предсказуемость означает, что каждое звено управляемо и верифицировано.

Монитор — первое звено. Если он не откалиброван и не профилирован, все последующие решения принимаются на основе неизвестных данных. Красивая картинка на ненастроенном экране — это не информация о цвете, а лишь способ показа конкретного файла на конкретном мониторе.

Цветопроба — проверочное звено. Её задача — предсказать результат тиражной печати до выхода тиража. Контрактная проба без верификации по контрольной шкале — это всего лишь аккуратно напечатанная картинка. Она может быть даже очень красивой. Но прогнозом процесса от этого ещё не становится.

Печатный процесс — исполнительное звено. Он должен быть стабилизирован и охарактеризован: по цвету базовых красок, TVI (увеличению тонального значения), балансу серого, белой точке запечатываемого материала. Без этого профиль описывает не реальный процесс, а ваше желание, чтобы он был реальным.

Контроль — замыкающее звено. Измерения на приладке и в тираже, сопоставление с допусками, фиксация отклонений. Без контроля предсказуемость быстро превращается в разновидность веры. Ошибка в любом звене разрывает цепь. Без системы измерений этот разрыв ищут часами. С системой — находят быстро и, что особенно приятно, без лишней драмы.

1.5 О чём эта книга и для кого

Эта книга написана для трёх типов людей, которые участвуют в одном процессе, но слишком часто разговаривают так, будто работают в трёх разных отраслях.

Дизайнер создаёт изображение. Он видит его на экране и хочет, чтобы в печати оно выглядело так же. Желание разумное. Проблема только в том, что монитор и печатная машина не обязаны догадываться друг о друге без посредников.

Препресс-специалист готовит файл к печати. Он обычно знает, что нужно сделать, но не всегда понимает, почему именно так. А знание без понимания воспроизводит ошибки так же надёжно, как и сами правильные действия.

Технолог отвечает за результат на машине. Он управляет процессом, но если процесс не описан числами, то управляет не процессом, а собственной интуицией. Иногда это работает очень неплохо. Системой от этого всё равно не становится.

Поэтому им всем нужен общий язык — язык измерений, профилей, условий просмотра, допусков и практических ограничений процесса. Не для того, чтобы заменить опыт, а для того, чтобы опыт можно было передать, проверить и улучшить.

Структура книги следует логике всей цепочки: сначала разбираемся, что такое цвет и как его описывать, потом последовательно идём по звеньям — монитор, файл, цветопроба, печать, профили, контроль и типичные ошибки. Каждый раздел отвечает на три вопроса: почему это устроено именно так, что из этого следует на практике и как это проверить.

Предсказуемый результат — не обещание чуда. Это обещание системы. Системы, в которой вы знаете, что делаете, зачем и к какому результату это должно привести. Всё остальное в полиграфии тоже случается. Но к устойчивому качеству относится редко.

Глава 2. Цвет — это ощущение. CMYK и RGB (кроме CIE RGB) — не цвет

Эта глава нужна не для того, чтобы украсить книгу словами XYZ, Lab и gamut. Её задача куда практичнее: перестать путать число в файле с цветом, сигнал для машины — с ощущением человека, а удобный термин — с содержанием явления.

Путь будет местами занудным: от электромагнитного излучения и спектра — через трёхстимульные значения — к Lab и Delta E.

Но именно этот путь даёт понимание, без которого управление цветом быстро превращается в набор ритуалов с непредсказуемым результатом.

2.1 Что такое цвет

На вопрос «что такое цвет?» люди отвечают уверенно. И почти всегда не так.

«Цвет — это длина волны». Звучит строго. Но излучение с одной и той же длиной волны при разной интенсивности может восприниматься по-разному.

«Цвет — это свойство поверхности». Тогда почему серая стена на закате становится оранжевой?

«Цвет — это спектральный состав света». Уже ближе. Но и тут всё не так приятно для любителей простых ответов: разные спектры могут вызывать одно и то же цветовое ощущение.

Следовательно, цвет нельзя свести ни к поверхности, ни к длине волны, ни даже к самому спектру. Цвет — это ощущение, возникающее у наблюдателя при действии на зрительную систему видимого излучения.

Нет наблюдателя — нет и цвета. Есть только физический стимул, который ещё должен быть обработан глазом и мозгом.

Но бывают и не физические стимулы. Чаще всего мы имеем дело именно с электромагнитным излучением. Однако сон тоже может быть цветным — без всякого внешнего света. То же самое относится к воспоминаниям или галлюцинациям.

Для практики из этого следует неприятная, но полезная вещь: полиграфия воспроизводит не «сам цвет», а условия, при которых у человека возникает нужное цветовое ощущение.

Именно поэтому экран, цветопробу и оттиск вообще можно сравнивать между собой, хотя физически они устроены по-разному.

2.2 Свет, спектр и спектрофотометр

Прежде чем говорить об измерении цвета, нужно разобраться, что именно мы измеряем на физическом уровне. Не цвет — цвет измерить нельзя, он в голове. А вот стимул, который этот цвет вызывает, — можно и нужно.

Видимый свет — это электромагнитное излучение в диапазоне примерно от 380 до 730 нанометров. Каждому источнику света — солнцу, лампе накаливания, светодиоду — соответствует своё спектральное распределение энергии (СРЭ): график, показывающий, сколько энергии приходится на каждую длину волны. У лампы накаливания распределение плавное, с пиком в длинноволновой (красной) области. У светодиода — характерный узкий пик в синей области и широкий горб от люминофора. У газоразрядных ламп — резкие «иголки» на отдельных длинах волн.

Поверхность, которую мы рассматриваем, не создаёт свет — она его модифицирует. У каждого материала есть кривая спектрального отражения: она показывает, какую долю падающего излучения поверхность отражает на каждой длине волны. Жёлтая бумага хорошо отражает длинноволновую часть спектра и поглощает коротковолновую. Но «жёлтой» она становится только тогда, когда модифицированный ею свет попадает в глаз наблюдателя.

Именно спектр — кривую отражения или кривую излучения — и измеряет спектрофотометр. Прибор посылает на образец свет от собственного источника, собирает отражённое излучение и раскладывает его по длинам волн, как правило с шагом 10 нм.

Результат — например, набор из 36 чисел от 380 до 730 нм, описывающих физику поверхности. Это ещё не цвет. Это спектральный портрет стимула, из которого цвет потом будет вычислен.

Важно уловить эту границу: спектрофотометр занимается физикой. Он ничего не знает об ощущениях.

Ощущение появляется на следующем шаге — когда спектральные данные превращаются в координаты цвета с помощью математической модели человеческого зрения. Об этом — дальше.

2.3 Как из спектра получаются числа: от колориметра к XYZ

Как только мы признаём, что цвет — это ощущение, возникает закономерный вопрос: как такое ощущение измерять? Ведь это же — чувство! Кто кого любит сильнее? Или что страшнее, кто увереннее, и т.д. Не линейкой же.

И тем не менее именно это и было сделано более ста лет назад Гилдом и Райтом.

Психофизика показала, что связь между физически измеряемым стимулом и ощущением можно исследовать количественно. Наблюдателю предъявляют два поля: одно — измеряемое, второе — составленное из трёх основных компонентов RGB, которые называли кардинальными стимулами.

Их кардинальность в том, что ни один из них невозможно получить комбинацией двух других. Если человек регулировкой может добиться визуального равенства полей, значит ощущение удалось связать с тремя числами.

Так возникла процедура цветового уравнивания, а вместе с ней — понятие стандартного наблюдателя. CIE не измеряла мозг напрямую и не читала мысли наблюдателя. Она измеряла

воспроизводимое цветовое соответствие у усреднённой группы людей с нормальным цветовым зрением.

Измерив таким образом реакцию наблюдателей на узкополосные стимулы по всему видимому спектру (с шагом 10 нм от 380 до 730 нм), Гилд и Райт построили кривые сложения (color matching functions) — три графика, показывающие, сколько каждого из трёх кардинальных стимулов нужно для уравнивания ощущения от спектрально чистого излучения на каждой длине волны.

Кривые сложения колориметра Гилда, то есть CIE RGB, содержали отрицательные значения. Для некоторых длин волн уравнивать ощущение можно было только добавив один из кардинальных стимулов к измеряемому полю, а не к уравнивающему.

Математически это допустимо. Практически — неудобно.

На этих отрицательных значениях стоит задержаться, потому что за ними стоит не математический каприз, а физиология.

Три типа колбочек сетчатки — ρ , γ и β — имеют кривые спектральной чувствительности, которые заметно перекрываются. Особенно ρ и γ : красный свет, конечно, возбуждает преимущественно ρ -колбочки, но никакой реальный зелёный свет не может возбудить только γ -колбочки, не задев при этом ρ и β .

Иными словами, в спектре просто нет такой зоны, где γ -колбочки работали бы в гордом одиночестве.

Это фундаментальное свойство зрения Хант называет паразитным колбочковым возбуждением (unwanted stimulations). Оно означает, что при любом трихроматическом воспроизведении — аддитивном или субтрактивном — часть колбочек неизбежно получает «лишний» стимул.

В результате отклики ρ -, γ - и β -колбочек сближаются по величине, восприятие стремится к серому, а полнота цвета падает.

Именно поэтому кривые сложения Гилда содержали отрицательные значения: чтобы уравнивать ощущение от чистого спектрального стимула, нужно было вычесть избыточное возбуждение, перенеся один из кардинальных стимулов на сторону измеряемого поля.

Отрицательная координата — это не абстракция, а арифметический способ сказать: колбочки слишком дружны, чтобы работать поодиночке.

CIE XYZ решает эту проблему изящным поворотом: абстрактные стимулы X, Y и Z выбраны так, что кривые сложения целиком положительные.

Паразитное возбуждение никуда не делось. Просто система описания построена так, чтобы не тащить это физиологическое неудобство в арифметику.

Поэтому в 1931 году CIE приняла абстрактный колориметр CIE XYZ. Его кардинальные стимулы X, Y и Z физически не существуют — их невозможно воспроизвести никаким реальным излучением.

Зато кривые сложения этого абстрактного колориметра целиком положительны, а яркостная составляющая полностью приходится на стимул Y .

Теперь о том, как из спектра получаются координаты XYZ. Здесь и встречаются спектрофотометр и кривые сложения.

Пусть прибор измерил кривую отражения образца $R(\lambda)$, а освещение описывается спектром осветителя $S(\lambda)$. Произведение $R(\lambda) \cdot S(\lambda)$ даёт спектральный состав стимула, попадающего в глаз. Чтобы получить координаты XYZ, этот спектр умножают на каждую из трёх кривых сложения стандартного наблюдателя и суммируют:

$$X = k \cdot \sum R(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Y = k \cdot \sum R(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Z = k \cdot \sum R(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

где $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ — ординаты кривых сложения стандартного наблюдателя CIE XYZ; $S(\lambda)$ — спектральное распределение энергии осветителя; $R(\lambda)$ — спектральный коэффициент отражения образца; k — нормирующий коэффициент.

Суммирование ведётся по всему видимому диапазону. Три полученных числа — X , Y , Z — и есть координаты цветового стимула.

Это уже не спектр, а интегральная связь спектра с моделью человеческого зрения.

Обратите внимание: в формулах присутствует осветитель $S(\lambda)$. Это означает, что координаты XYZ зависят не только от образца, но и от условий освещения. Один и тот же образец при D50 и при D65 даст разные координаты. Это не ошибка системы — это отражение реальности: под разным светом мы действительно видим разные цвета.

Из этой работы выросли трёхстимульные значения и вся современная колориметрия. Её сила не в том, что она превратила цвет в физику без остатка, а в том, что дала числовой язык для описания того, что человек считает одинаковым по цвету.

2.4 Метамеризм

Теперь, когда мы знаем, как из спектра вычисляются координаты, метамеризм перестаёт быть загадкой и становится арифметикой.

Координаты XYZ — это результат интегрирования. Разные кривые при интегрировании могут давать одинаковую площадь.

Точно так же разные спектральные распределения при связи с кривыми сложения могут давать одинаковые трёхстимульные значения. Два стимула с разными спектрами, но с одинаковыми XYZ при данном осветителе и данном наблюдателе, образуют метамерную пару.

Возьмём практический пример. Белый лист бумаги и слегка желтоватый. Под жёлтым освещением оба выглядят одинаково — жёлтыми. Переключаемся на нейтральный дневной

свет: белый становится белым, желтоватый — желтоватым. Два образца с разными спектрами отражения совпали по ощущению при одном освещении и разошлись при другом. Это и есть метамеризм.

Стоит сменить осветитель — и $S(\lambda)$ в формулах изменится. Интегралы, которые раньше совпадали, могут перестать совпадать.

Метамеризм — не дефект системы, а фундаментальное свойство трихроматического зрения, на котором вообще держится всё цветовоспроизведение. Если бы метамеризма не было, экран и печать были бы обречены не совпадать в принципе.

Почему источники света со «иголками» в спектре опасны? Газоразрядные лампы — люминесцентные и некоторые LED-панели — имеют резкие пики на отдельных длинах волн.

Такой спектр особенно коварен с точки зрения метамеризма. Два образца, уверенно совпадающие под непрерывным спектром, могут резко разойтись под лампой с пиками: если их кривые отражения по-разному «попадают» на эти пики, баланс интегралов нарушается.

Именно поэтому стандарты просмотра требуют не просто «какой-то белой лампы», а источников с заданным спектральным составом.

Существует и наблюдательский метамеризм: один человек видит совпадение двух образцов, другой — уже нет. Кривые сложения стандартного наблюдателя — это усреднение. Конкретный человек может отклоняться от среднего. Поэтому при критической цветовой оценке важен не только осветитель, но и то, кто именно смотрит.

Полезно помнить, что совпадение может быть физическим, физиологическим и психологическим.

Физическое — это одинаковые спектры. Это самый надёжный вариант, но в репродукции он практически недостижим.

Физиологическое — равенство координат цвета при разных спектрах, то есть метамерное совпадение. Именно им и пользуется полиграфия.

Психологическое сложнее: при нём сохраняется характер зрительных отношений и различий, даже если сами стимулы уже изменились. Для репродукции это не роскошь, а реальная задача.

2.5 От XYZ к Lab: зачем понадобилось другое пространство

Координаты XYZ дали цвету числовой язык. Но для практического сравнения цветов этот язык оказался неудобен, и вот почему.

XYZ — пространство неравноконтрастное: одинаковое численное изменение координат в разных его областях не означает одинаково заметного зрительного различия.

Если сдвинуть точку на 5 единиц в зелёной области, разница может быть едва заметна. Тот же сдвиг в красной области бросится в глаза. Использовать XYZ как линейку различий — всё равно что измерять расстояния по карте, у которой масштаб меняется от края к краю.

Суть проблемы в том, что здоровый человек различает разное количество оттенков в разных зонах. Для конкретики: в области Cyan — около 170, в Magenta — около 220, в Yellow — всего около 20, а в нейтральных — около 96.

Чтобы хотя бы частично учесть эту неравномерность, понадобилось другое пространство.

В 1976 году CIE предложила пространство $L^*a^*b^*$ (CIELAB). Оно получается из XYZ нелинейным преобразованием — через кубический корень — и задумано как более равноконтрастное.

Координата L^* описывает светлоту, от 0 для абсолютно чёрного до 100 для диффузного белого. Координаты a^* и b^* описывают хроматическую плоскость: a^* — между зелёным и красным, b^* — между синим и жёлтым.

Здесь важно подчеркнуть принципиальный момент. Lab — это не описание физики. Это математическая модель человеческого цветового ощущения.

Спектрофотометр измеряет спектр. Затем из спектра вычисляются XYZ. И только после этого XYZ пересчитываются в Lab. То есть путь всегда один и тот же: физика → колориметрия → модель ощущения.

При всей продуманности Lab не идеально равноконтрастно. Одинаковые евклидовы расстояния в разных областях пространства всё ещё не полностью совпадают со зрительными различиями.

Но по сравнению с XYZ это огромный шаг вперёд, поэтому Lab и стало рабочим стандартом всей полиграфической индустрии.

Но дело не только в неравноконтрастности XYZ. Есть причина глубже: само восприятие расставляет приоритеты.

Хант, анализируя визуальную оценку репродукций, сформулировал иерархию, которую полезно знать каждому, кто хоть раз спорил о цвете у печатной машины:

Цветовой тон — важнее всего. Зрительная память хранит тон точнее, чем светлоту, и тем более точнее, чем насыщенность.

Красный помидор, который на репродукции слегка побледнел, ещё допустим. Тот же помидор, ставший оранжевым или малиновым, — уже катастрофа. Поэтому отсутствие паразитных цветовых сдвигов в нейтральных и телесных тонах остаётся первым критерием качества.

Светлота — на втором месте. Ошибки в тоновоспроизведении — избыточная контрастность или её нехватка — заметны, но чаще воспринимаются как «пережаренность» или «дымка», а не как собственно цветовой дефект.

Зрение сравнительно терпимо к умеренным сдвигам по оси L^* , если тон и общий баланс сохранены.

Полнота цвета, то есть насыщенность, — наименее критична. Причина проста: в реальной жизни она варьирует чрезвычайно широко.

Одна и та же трава при ярком солнце насыщенно-зелёная, а в пасмурный день — серовато-бурая. Небо бывает от белёсого до ультрамаринового. Кожа меняется от розовой до коричневой.

Поэтому наш памятный цвет обычно хранит тон точнее, чем насыщенность. Если вся репродукция немного потеряла полноту цвета, это часто почти незаметно. А вот если одни объекты «горят», а другие ушли в серое, баланс нарушен — и это видно сразу.

Эта иерархия объясняет, почему трихроматические системы вообще работают. Физические измерения стабильно показывают, что субтрактивные процессы не могут колориметрически точно воспроизвести все стимулы.

Но основные потери приходится как раз на насыщенность — а это именно тот параметр, к которому зрение наиболее толерантно. Природа, сама того не планируя, оставила полиграфии небольшую, но очень полезную нишу для выживания.

LCh — это полярная форма Lab. Если a^* и b^* являются прямоугольными координатами хроматической плоскости, то C^* и h° — те же самые координаты, записанные в полярной форме.

$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$ описывает насыщенность, то есть расстояние от нейтральной оси. h° описывает цветовой тон, то есть угол.

LCh удобнее для практического разговора: «светлота та же, тон ушёл в жёлтый, насыщенность упала» звучит яснее, чем перечисление изменений по a^* и b^* . Поэтому LCh — не отдельное пространство, а другой способ навигации по тому же Lab.

2.6 Delta E

Когда цвет описан координатами Lab, очень хочется получить линейку для различия между двумя цветами. Такой линейкой и стала ΔE .

Простейшая формула — ΔE^*_{ab} (CIE76) — это обычное евклидово расстояние в пространстве Lab: $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})}$.

Берём два цвета с координатами Lab, считаем расстояние между ними и получаем одно число, характеризующее различие. Просто и элегантно.

ΔE полезна, потому что переводит разговор из жанра «мне кажется» в жанр «различие оценивается численно». Без этого невозможно ни верифицировать цветопробу, ни сравнивать результат с эталоном, ни выстраивать разумные допуски.

Но и здесь нужна трезвость. Раз Lab не идеально равноконтрастно, одинаковая ΔE в разных областях пространства будет восприниматься по-разному.

Различие $\Delta E = 3$ в нейтральных серых заметно сильнее, чем $\Delta E = 3$ в насыщенных синих. Формула ΔE^*ab одинаково «весит» отклонения по светлоте, тону и насыщенности, хотя зрение их взвешивает не одинаково.

Чтобы частично компенсировать эти недостатки, были разработаны более сложные формулы. $\Delta E94$ ввела весовые коэффициенты для разных осей. $\Delta E00$, то есть CIEDE2000, пошла дальше: она учитывает нелинейность в нейтральных, поправку на цветовой тон и вращение эллипса допуска.

Именно $\Delta E00$ сегодня является рабочим стандартом для полиграфии.

Для ориентира можно держать в голове такую шкалу: $\Delta E00 < 1$ — различие практически не видно натренированному глазу; 1–2 — различие заметно при прямом сравнении; 2–3,5 — различие уже видно в производстве; > 5 — это уже разные цвета.

Но эти пороги — ориентир, а не закон. Восприятие зависит от цветовой области, фона, условий просмотра и наблюдателя.

Итак, ΔE полезна как контрольный инструмент, но бесполезна как идеал. Она должна работать вместе с пониманием процесса и с правильно организованным зрительным сравнением.

2.7 Цветовые координатные системы: итог

Теперь, когда мы прошли весь путь от спектра до ΔE , можно подвести промежуточный итог по координатным системам.

CIE RGB и CIE XYZ описывают цветовой стимул в форме трёхстимульных значений. Их природа интегральна: разные спектральные кривые могут давать одинаковые координаты, если результирующие интегралы совпадают.

XYZ удобна для расчётов: для матричных преобразований между колориметрами, для построения профилей, для рецептурных задач. Это пространство хорошо считает, но плохо чувствует.

Lab и LCh относятся уже к другому уровню описания. Они удобнее для разговора о светлоте, цветовом тоне, насыщенности и различии цветов, то есть ближе к ощущению.

Lab чувствует, но не подходит для векторной алгебры смешения. Нельзя сложить два цвета в Lab и получить цвет их смеси. Для этого приходится возвращаться в XYZ.

Поэтому XYZ и Lab — это не две модные записи одного и того же. Это два разных способа говорить о цвете в зависимости от задачи: один ближе к колориметрическому стимулу и расчёту, другой — к восприятию и сравнению.

2.8 Почему «цветовая модель» — плохой термин

В литературе по цвету словом «модель» часто закрывают всё подряд: CMYK, Lab, sRGB, шкалу светлоты. Это удобно, но создаёт иллюзию, будто все эти вещи — явления одного порядка.

Для работы с цветом в печати достаточно одного жёсткого разграничения:

RGB и CMYK задают команды для устройства — значения управляющих сигналов дисплея или количества красок на оттиске. Сами по себе они не описывают цвет в колориметрическом смысле.

XYZ, Lab и LCh описывают цветовой стимул или цветовое ощущение в измеряемой форме — через координаты, привязанные к стандартному наблюдателю.

Смешивать одно с другим в одной фразе — примерно то же, что путать рецепт блюда с его вкусом. Рецепт (CMYK) говорит, что положить; вкус (Lab) — что получилось. Одни и те же ингредиенты на разных плитах дают разный результат.

Это разграничение — не теоретическая тонкость, а рабочее правило, на котором строится всё дальнейшее обсуждение профилей и управления цветом.

2.9 Почему CMYK и RGB — не цвет

Теперь можно произнести главный тезис: CMYK — не цвет. И RGB в обычном производственном смысле — тоже не цвет. Исключение здесь только CIE RGB как историческая колориметрическая система.

Запись $C=50\ M=30\ Y=0\ K=0$ означает не цвет как таковой, а количество красок, которое нужно попытаться нанести при определённых условиях печати.

Запись $R=200\ G=100\ B=50$ означает не цвет как таковой, а уровни возбуждения каналов конкретного дисплея при конкретной интерпретации.

Одни и те же аппаратные значения в разных процессах дают разный визуальный результат, потому что меняются краски, бумага, источник света, геометрия наблюдения — и сам цветовой охват устройства.

Следовательно, аппаратные значения не несут полного цветового смысла без профиля и без указания условий воспроизведения.

Поэтому фраза «в файле цвет задан точно» без уточнения процесса звучит внушительно, но технически бестолково.

Точно в файле заданы лишь команды для некоторого устройства. А цвет появляется только после того, как эти команды превращаются в цветовой стимул и воспринимаются наблюдателем.

2.10 Цветовой охват (gamut)

О цветовом охвате часто говорят так, будто он существует сам по себе, как площадь комнаты или объём бака. Это не совсем так.

Корректнее сказать: цветовой охват устройства А существует для наблюдателя В в условиях С.

Устройство не «имеет цвета» и не «видит цвет». Оно способно воспроизводить лишь ограниченное множество стимулов, которые при заданном освещении и для данного наблюдателя попадают в некоторую область цветового пространства.

Отсюда и практический вывод: обсуждать gamut вне условий просмотра и вне наблюдателя бессмысленно примерно так же, как обсуждать звук без уха и среды распространения.

Цветовой охват ограничивается устройством и условиями воспроизведения, а не человеческим восприятием как таковым. Человек видит существенно больше, чем способна воспроизвести конкретное цветовоспроизводящее устройство. Поэтому любой разговор о точно воспроизведённом цвете рано или поздно упирается в ограничения процесса, а не в плохой характер заказчика.

Ограничение цветового охвата в печати — не каприз технологии и не результат экономии. Это следствие спектральных свойств реальных красителей.

Идеальный субтрактивный краситель должен полностью поглощать свет в «своей» зоне спектра и полностью пропускать его во всех остальных.

Идеальный циан поглощает красную треть спектра, идеальная маджента — зелёную, идеальный жёлтый — синюю. Если бы такие красители существовали, субтрактивная система могла бы воспроизводить все стимулы, достижимые аддитивным путём.

Но реальные красители далеки от идеала. Каждый из них — циан, маджента и жёлтый — заметно поглощает свет не только в «своей», но и в «чужих» зонах спектра. Хант называет это паразитным поглощением (unwanted absorption).

Следствие простое: результирующие стимулы оказываются темнее и менее насыщенными, чем исходные. Смесь двух реальных красок даёт не просто менее яркий, а спектрально загрязнённый стимул.

Паразитное поглощение и является причиной того, что красно-зелёная и сине-зелёная области охвата CMYK всегда ужаты относительно аддитивных систем.

Чистый спектральный зелёный вы не получите ни на какой бумаге — не потому, что кто-то пожалел краски, а потому, что реальные циан и жёлтый, наложенные друг на друга, неизбежно воруют часть света в средневолновой зоне.

Отсюда растут и практические решения: дополнительные краски — оранжевая, зелёная, фиолетовая, как в системах с расширенным цветовым охватом; применение красок с более селективными спектрами; использование DeviceLink-профилей для минимизации ненужного наложения.

Всё это — попытки не отменить ограничение, а аккуратно обойти его.

Когда цвет оригинала выходит за пределы охвата печати, его некуда перенести «как есть». Его приходится преобразовывать, сжимать, адаптировать.

Именно здесь появляются *rendering intents* (вариант цветопередачи при преобразовании), профили и вся серьёзная часть *colour management system* (системы управления цветовоспроизведением).

2.11 Главное правило раздела

Теперь можно охарактеризовать главу в одной формулировке.

Цвет — это ощущение. Спектрофотометр измеряет физику, то есть спектр. Кривые сложения стандартного наблюдателя превращают спектр в координаты XYZ.

Lab и LCh пересчитываются из XYZ и удобны для разговора об ощущении и различии. ΔE — числовая оценка различия, а не его абсолютная мера. CMYK и RGB — команды для цветовоспроизводящего устройства, а не цвет.

Следовательно, CMYK — это команда для устройства, а цвет — это то, что в итоге ощущает человек.

Как только эту мысль перестают считать красивой метафорой и начинают принимать как рабочее правило, управление цветом перестаёт быть набором ритуалов и становится системой.

Глава 3. Монитор — первое звено, которое врёт

Монитор — устройство настолько привычное, что разговор о его настройке воспринимается примерно как разговор о правильном дыхании: все уверены, что и так дышат нормально. На самом деле ненастроенный монитор — это первый и самый коварный источник ошибок в цепочке цветовоспроизведения. Коварный — потому что ошибка на этом этапе не выглядит как ошибка. Она выглядит как красивая картинка.

Красивая картинка на ненастроенном мониторе — это не информация о цвете. Это демонстрация того, как конкретная видеосистема интерпретирует конкретный файл при текущих настройках, о которых никто не знает ничего определённого. Принимать на основании этого решения о цветокоррекции — всё равно что настраивать рояль по телефону.

Эта глава — не руководство по калибровке. Руководств достаточно, и лучшее из них на русском языке — работа Шадрина и Френкеля «Колориметрическая настройка мониторов. Теория и практика». Здесь речь о другом: почему это звено цепи должно быть управляемым и что происходит, когда оно таковым не является.

3.1 Зачем калибровать монитор

В первой главе мы определили предсказуемый результат как результат, который можно заранее рассчитать, проверить на стадии цветопробы и повторить. Монитор в этой цепочке — первое звено. Дизайнер принимает решения о цвете, глядя на экран. Препресс-специалист оценивает файл, глядя на экран. Заказчик утверждает макет, глядя на экран. Если экран показывает не то, что в файле, все последующие решения оказываются решениями ни о чём.

Некалиброванный монитор — не просто неточный монитор. Он является неизвестным монитором. Разница принципиальна. Неточный инструмент можно учитывать: вы знаете, что он врёт на два деления, и компенсируете это. Неизвестный инструмент нельзя учитывать никак. Вы не знаете, в какую сторону он врёт, на сколько и одинаково ли врёт в светах, в тенях и в средних тонах.

Калибровка монитора — это процедура, которая переводит его из категории «неизвестный» в категорию «описанный». После калибровки и профилирования система управления цветом (CMS) знает, как именно данная видеосистема воспроизводит стимулы, и может компенсировать её особенности. Без этого описания CMS работает неверно — она будет считать, что профиль у монитора, например, sRGB, что неверно в принципе.

3.2 Монитор — это колориметр

Идея, которая меняет отношение к монитору раз и навсегда, сформулирована так: монитор — это трёхстимульный визуальный колориметр. Не «экранчик с картинкой», не «средство предпросмотра», а колориметр — прибор, воспроизводящий цветовые стимулы тремя кардинальными излучателями.

Три кардинальных стимула монитора — красный, зелёный и синий — образуют собственную цветовую координатную систему. Как и в любом колориметре, эти стимулы

должны быть независимы: ни один не может быть получен комбинацией двух других. Они должны быть энергетически переменны, то есть их интенсивность должна регулироваться. И их смесь должна давать ощущение белого.

Но у монитора-колориметра есть особенность, отличающая его от лабораторного прибора: он не имеет собственного опорного белого света. В классическом колориметре опорный белый задан конструкцией. В мониторе «белый» — это просто максимум всех трёх каналов одновременно, и его цветность зависит от спектральных характеристик излучателей и настроек электроники. Именно поэтому выбор белой точки — один из первых и важнейших шагов калибровки.

Когда файл содержит значения $R=200$ $G=100$ $B=50$, это не описание цвета. Это команда для конкретного колориметра: «установи такие-то интенсивности своих кардинальных стимулов». Какой именно цветовой стимул в результате возникнет, зависит от спектров излучателей, кривых нелинейности и текущих настроек. Вот почему одни и те же значения RGB на двух разных мониторах дают разные цвета — и почему без профиля эти значения не несут колориметрического смысла.

3.3 Калибровка и профилирование — не одно и то же

Эти два слова часто используют как синонимы. Это ошибка, и она дорого стоит.

Калибровка — это приведение видеосистемы к заранее выбранным целевым параметрам: белой точке заданной цветности, целевой гамме, заданному уровню яркости. Калибровка выполняется через настройки OSD дисплея — яркость, контраст, RGB gain — и через загрузку корректирующих таблиц LUT, то есть *vcgt*, в видеокарту. Результат калибровки — видеосистема с предсказуемым и стабильным поведением.

Профилирование — это измерение и описание того, как откалиброванная видеосистема воспроизводит цветовые стимулы. Результат профилирования — ICC-профиль монитора, который содержит данные о цветностях кардинальных стимулов, белой точке и тоновых кривых. Этот профиль позволяет CMS пересчитывать колориметрические координаты из пространства файла в аппаратные значения RGB конкретного монитора.

Калибровка без профилирования бессмысленна: вы привели монитор в порядок, но CMS не знает, в какой именно порядок. Профилирование без калибровки опасно: вы описали текущее состояние видеосистемы, но это состояние нестабильно и непредсказуемо. Оба шага необходимы, и именно в таком порядке: сначала калибровка, потом профилирование.

Аналогия из первой главы напрашивается сама собой: калибровка — это стабилизация процесса, профилирование — его характеристика. Ровно та же логика, что и для печатной машины. Монитор — не исключение, а первое звено, к которому эта логика применяется.

3.4 Белая точка, гамма, яркость — и почему для полиграфии D50

При калибровке монитора выбираются три основных параметра: цветовая температура белой точки, целевая гамма и яркость.

Белая точка. В разделе 1.3 мы говорили, что нормативным условием просмотра в полиграфии является осветитель D50. Логично, что и белая точка монитора для полиграфических задач должна соответствовать D50 или быть близкой к ней. Иначе при одновременном сравнении экрана и оттиска под просмотровой лампой D50 наблюдатель увидит хроматический разбаланс, который не имеет отношения к качеству файла.

Здесь нужна важная оговорка. Выбор цветовой температуры белой точки сам по себе не является критичным, если монитор используется изолированно: хроматическая адаптация зрения обычно компенсирует разницу за одну-две минуты. Но в тот момент, когда вы начинаете сравнивать экран с оттиском, изолированность заканчивается. Два источника с разной цветностью белого, находящиеся в поле зрения одновременно, создают конфликт адаптации. Отсюда правило: если монитор используется для экранной цветопробы в связке с просмотровым местом D50, его белая точка должна соответствовать D50.

Гамма. Зависимость яркости свечения монитора от входного сигнала нелинейна. Эта нелинейность описывается степенной функцией с показателем, который и называют гаммой. Целевая гамма определяет, как будет распределён тоновый диапазон по оси от чёрного к белому. Для большинства полиграфических задач гамма 2.2, а в некоторых сценариях L^* , как более близкая к перцепционной равномерности, является стандартом де-факто.

Яркость. Уровень яркости белой точки монитора должен быть согласован с условиями окружающего освещения. Слишком яркий монитор в тёмной комнате — и тени будут казаться светлее, чем они есть, а на оттиске «внезапно» окажутся заваленными. Слишком тусклый монитор при ярком окружении — и вы получите потерю визуального контраста и деталей. Диапазон 80-120 кд/м² обычно является разумным компромиссом для работы в условиях приглушённого освещения.

3.5 Окружение монитора: почему затемнённая комната — не каприз

Если калибровка — это настройка инструмента, то организация окружения — это настройка наблюдателя. Без второго первое быстро обесценивается.

Зрение — не фотоприёмник. Оно не регистрирует абсолютные значения яркости и цветности. Оно непрерывно адаптируется к условиям наблюдения: к уровню освещённости, к цветности преобладающего света, к контрасту поля зрения. Все три механизма работают одновременно, и все три влияют на то, что вы видите на экране.

Адаптация зрения — не дефект и не обман. Это эволюционный механизм, обеспечивающий константность идентификации объектов в меняющихся условиях. Букет ромашек выглядит одинаково и на солнце, и при лампе накаливания не потому, что стимулы одинаковы — они радикально различны, — а потому, что зрение пересчитывает восприятие относительно преобладающего освещения.

Но именно эта способность создаёт проблему при работе с монитором. Если в поле зрения присутствуют конкурирующие источники — окно с дневным светом, настольная лампа с тёплым светом, монитор с D50, — зрение пытается адаптироваться ко всем одновременно и не может полноценно адаптироваться ни к одному. Результат —

нестабильное и неповторяемое восприятие, которое зависит от времени суток, погоды и того, куда вы смотрели пять минут назад.

Поэтому попытки колориметрической настройки мониторов в помещениях с неконтролируемым дневным светом лишены смысла. Это не снобизм и не перфекционизм. Это физиология: вы не можете управлять результатом восприятия, если не управляете условиями, в которых это восприятие формируется.

Понятие digital darkroom — рабочего места с контролируемым приглушённым освещением, нейтральными стенами и отсутствием конкурирующих источников — возникло не из эстетических соображений, а из колориметрических. Когда фоновое освещение нейтрально, около 5000 К, невысоко по интенсивности, порядка 32-64 люкс, и не содержит резких спектральных пиков, зрение может полноценно адаптироваться к монитору, и экранная визуализация становится воспроизводимой.

Отдельный вопрос — уравнивание белых точек монитора и просмотрового места. Если цветопроба оценивается на просмотрном столе с лампой D50 и одновременно сравнивается с экраном, белые точки двух источников должны совпадать по цветности. Иначе вы видите не разницу между файлом и оттиском, а разницу между двумя источниками света. Этот конфликт нельзя компенсировать ни калибровкой, ни профилем. Он компенсируется только организацией рабочего места.

3.6 Экранная цветопроба — обещание и границы

Экранная цветопроба, softproof, — одна из главных практических причин, по которым монитор вообще калибруют. Цель проста: увидеть на экране, как будет выглядеть оттиск, до того как тираж ушёл в печать. Идея красивая. Реальность, как обычно, чуть сложнее.

Softproof работает по принципу двойного пересчёта. CMS берёт данные из файла, преобразует их через профиль печатного устройства, чтобы определить, какие цветовые стимулы реально возникнут на оттиске, а затем преобразует результат через профиль монитора, чтобы показать эти стимулы на экране. По существу монитор имитирует не файл, а печатный процесс. Именно поэтому экранная цветопроба невозможна без предварительной колориметрической настройки монитора как самостоятельного устройства. Сначала монитор должен корректно показывать то, что ему велено, а потом уже можно просить его имитировать чужой процесс.

Привычная для многих «подгонка кнопками», когда монитор настраивают на глаз, сравнивая с конкретным оттиском, пока не станет «похоже», не может дать предсказуемого результата. Такая подгонка учитывает один конкретный оттиск, одно конкретное освещение и одного конкретного наблюдателя. Стоит поменять любой из этих трёх параметров — и «похожесть» исчезает. Это не калибровка, а разновидность самоуспокоения.

Есть и фундаментальное ограничение: цветовой охват монитора и печатного процесса не совпадают. Монитор, как правило, имеет больший охват по яркости, то есть больший энергетический контраст, и по насыщенности в некоторых областях, но меньший — в других, например в зоне глубоких голубых и некоторых жёлто-зелёных. Стимулы, выходящие за охват монитора, не могут быть показаны как есть — они сжимаются, gamut clipping. Поэтому softproof — это всегда компромисс, и честный softproof не обещает

абсолютного визуального совпадения. Он обещает согласованное цветовоспроизведение: хроматические соотношения между элементами изображения сохранены, общий колорит верен, а детали в пределах охвата показаны достоверно.

Для профессиональной работы этого достаточно. Но только при условии, что вся цепочка — от калибровки монитора и организации рабочего места до качества профилей — находится под контролем.

3.7 Что ломается, когда монитор не настроен

Ненастроенный монитор не подаёт сигнал тревоги. Он просто показывает картинку, которая выглядит правдоподобно. Именно в этой правдоподобности и кроется проблема: ошибка невидима до тех пор, пока не материализуется на оттиске.

Вот типичный сценарий. Дизайнер готовит макет на мониторе с завышенной яркостью и холодной белой точкой, 6500 К или выше. Изображение выглядит ярким, контрастным, «сочным». Файл уходит в типографию. Оттиск при D50 выглядит тусклее и желтее, чем ожидал дизайнер. Начинается привычный жанр: «типография запорол тираж», «цветопроба не совпадает», «было же совсем другое». Всё это — разговор не о качестве печати, а о том, что решения принимались на основании неизвестного инструмента.

Другой сценарий: монитор с просаженной гаммой в тенях. Дизайнер не видит деталей в тёмных областях и «вытягивает» тени, осветляя их. На оттиске тени оказываются серыми и плоскими. Дизайнер не виноват — он честно работал с тем, что видел. Виноват инструмент, которому доверились без проверки.

И третий сценарий: монитор с устаревшим профилем. Калибровка была сделана два года назад, с тех пор характеристики дисплея ушли, а они уходят, особенно у LED-подсветок в первый год. Профиль описывает вчерашний монитор, CMS добросовестно пересчитывает цвета по данным, которые уже не актуальны. Результат — систематическая ошибка, которую никто не замечает, пока не становится поздно.

Все три сценария имеют общую черту: проблему можно было предотвратить за тридцать минут работы с калибратором. Тридцать минут, которые стоят дешевле одного забракованного тиража.

3.8 Место монитора в системе предсказуемого результата

Монитор — не самое сложное звено в цепочке цветовоспроизведения. Его калибровка проще, чем стабилизация печатной машины, и быстрее, чем построение выходного ICC-профиля. Но это первое звено, через которое проходят все решения о цвете. Если оно не описано числами, не приведено к целевым параметрам и не проверено, всё, что идёт после, стоит на зыбком основании.

Предсказуемый результат начинается с управляемого монитора. Не идеального — идеальных мониторов не существует. Управляемого: откалиброванного, профилированного и работающего в контролируемых условиях. Это не вершина мастерства, а его начало.