

Цветометрия в бетонной промышленности?

Д-р Гюнтер Тайхманн, Крефельд

1 Введение

Цвета воспринимаются человеком как само собой разумеющееся, например, небо голубое, лимон желтый, луг зеленый. В настоящее время даже камень-брусчатку (камень для мощения) из бетона делают в большинстве случаев красного, коричневого или черного цвета. Серый бетон воспринимается, как неокрашенный и поэтому выглядит некрасивым, мало привлекательным.

Итак, мы уже коснулись нашей темы. Понятие или феномен цвета всегда связан с субъективным восприятием. Поэтому цвет невозможно точно описать, например, красная роза. Чаще всего здесь прибегают к подробным описаниям. Один назовет красный цвет розы темно-красным, другой – алым, а третий посчитает его кроваво-красным. Описание цвета или, лучше сказать, восприятие цвета, осложняется тем, что один и тот же цвет в зависимости от освещения может восприниматься по-разному. Каждому известно, что при заходе солнца все краски приобретают теплый золотистый оттенок.

Кроме того, с цветом часто ассоциируются определенные ощущения. Прежде всего, это характерно для водителей автотранспорта. Но и для пешеходов красный свет светофора мгновенно ассоциируется с понятиями: внимание, осторожно, опасность.

Все эти примеры показывают, что восприятие цвета является субъективным фактором. Многие естествоиспытатели предпринимали попытки оценить субъективное восприятие цвета данными измерений. Здесь можно назвать такие знаменитые имена, как Ньютон, Максвелл, Гельмгольц, Оствальд и многие другие.

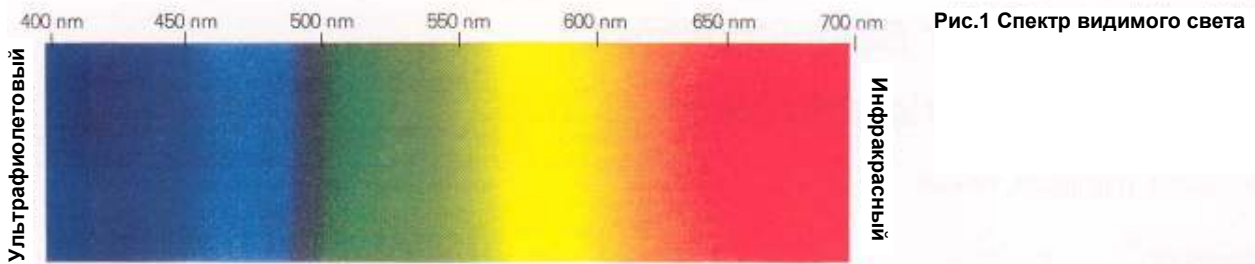
Цветометрия это наука, существующая уже в течение несколько десятилетий и дающая объективную характеристику цвета посредством полученных путем измерения значений. Особенно много сделано в этой области за последние 50 лет. Этот период времени одновременно является и периодом все более активного перехода современного промышленного производства на выпуск серийной и массовой продукции. Лакокрасочную и текстильную промышленности, где цвета/краски имеют особенно большое значение, уже нельзя представить без цветометрии. Проведение объективных измерений цвета необходимо для контроля сырьевых материалов, во время протекания производственных процессов и, прежде всего, при контроле качества конечной продукции. Такие бетонные изделия как камни для мощения, кирпич и черепица также изготавливаются в промышленном масштабе цветными. Поэтому задачей автора данной статьи было критически изучить вопрос относительно того, можно ли в данной области и где именно применять цветометрию. В связи с этим актуальным становится также вопрос о возможном применении приборов для измерения цвета, поскольку именно за последние годы появились простые приборы за доступную цену.

Ниже кратко будут изложены основы цветометрии. В рамках постановки вопроса относительно возможности и целесообразности измерения цвета окрашенного бетона эти основы могут быть изложены только в очень упрощенной форме. Для того чтобы с самого начала не отпугнуть читателя, автор отказался от «обилия физики» и многочисленных математических выкладок. Тем, кто захочет ближе познакомиться с этой интересной областью, цветометрией, можно порекомендовать соответствующие учебные пособия [1] и, прежде всего, многочисленные издания фирм с перечнями изготовителей приборов и пигментов [2], в которых просто и сжато изложены основные знания в этой области.

2 Основы цветометрии

Для получения впечатления о цвете необходимо наличие трех факторов:

- источник света
- цветной образец
- человеческий глаз



2.1 Источник света / цветной образец / глаз

В физике свет рассматривается как электромагнитные колебания. В действительности видимый белый дневной свет состоит из различных цветов. Еще с уроков физики каждый знает, что с помощью призмы эти цвета можно сделать видимыми. На рис. 1 («Спектр видимого света») показано, что каждому оттенку цвета соответствует определенная длина волны. В области коротких волн видимой части спектра лежит синий цвет, за ним следует зеленый, желтый и до красного. Далее, в области более длинных волн, лежит инфракрасная часть спектра, которая уже не воспринимается человеческим глазом.



Как схематически представлено на рис. 2 («Факторы, влияющие на восприятие цвета»), свет падает на цветной образец. Часть света поглощается образцом (абсорбируется), другая часть отражается. Когда свет падает на образец красного цвета, синяя, зеленая и желтая составляющие света практически полностью поглощаются образцом, а красная составляющая – отражается (рис. 3). В этом случае говорят о кривой отражения или о яркостной кривой. Однако чтобы у человека возникло ощущение красного цвета, в глазу и в мозге человека еще должны протечь сложные процессы. Внутри глаза находится сетчатка. Она состоит из миллионов светочувствительных клеток, так называемых колбочек и палочек. Существует три вида колбочек, которые по-разному реагируют на свет: колбочки, чувствительные к синему, к желтому и красному цвету. Воспринятые тремя этими видами

колбочек цветные раздражители приводят затем к возникновению в мозгу человека различных цветовых восприятий.

Это является фундаментальным знанием и, в конце концов, основой для всей науки «цветометрия». Другими словами, это означает, что огромное множество цветовых восприятий можно свести к трем основным цветам: синему, зеленому и красному. Сложение трех этих цветов дает все прочие, какие только можно представить, цветовые оттенки. Отсюда следует еще один вывод: поскольку здесь имеются три параметра, то для их изображения всегда требуется трехмерная, или пространственная система координат.

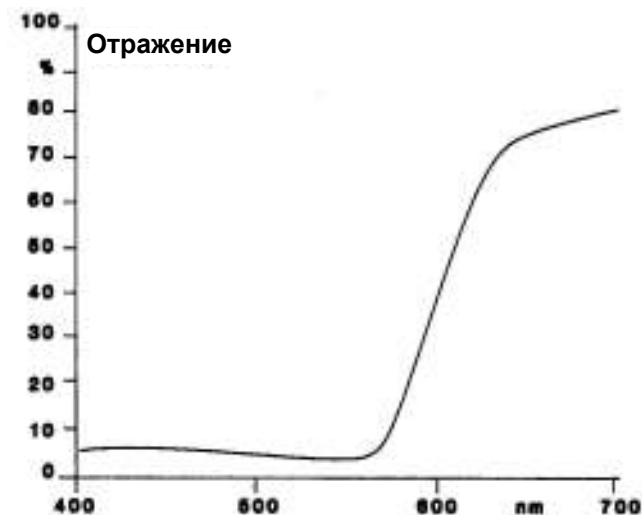


Рис. 3. Кривая отражения красного образца

Параметры трех основных цветов

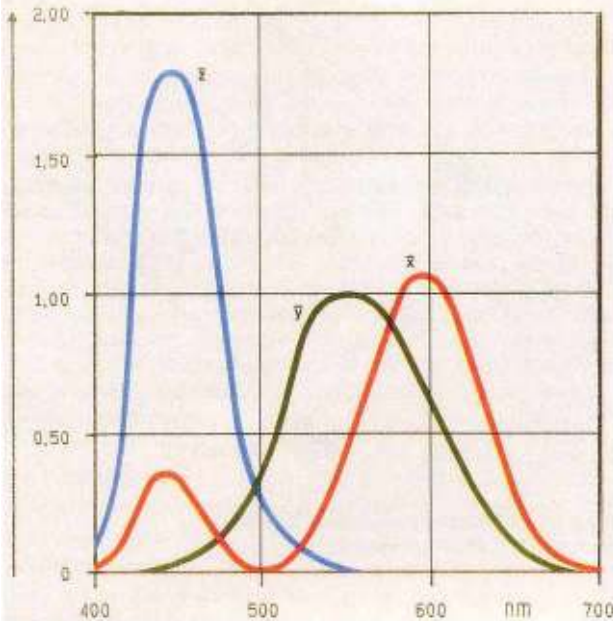


Рис 4. Стандартные функции распределения трех основных цветов \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} согласно системе Международной комиссии по освещению (МКО)

2.2 Измерение цвета

Для обеспечения возможности общения на простом, всем понятном языке в практике измерения цветов необходимо с помощью нормативов определиться с условиями проведения измерений. Для этого понадобились многочисленные эксперименты с участием большого количества наблюдателей. Основная масса этих нормативов была разработана CIE (Международной комиссии по освещению (МКО)). В качестве источника света предполагается преимущественно использовать стандартизированные источники излучения типа C или D 65. Спектры обоих этих источников соответствуют спектру дневного света. Источник D 65 в отличие от источника C имеет еще УФ-составляющую. Далее были определены условия геометрии измерений. Чаще всего применяются варианты $45/0^\circ$ и $d/0^\circ$. В варианте $45/0^\circ$ образец освещается под углом 45° , а измерение параметров отраженного света производится под углом 0° , т.е. перпендикулярно образцу. В варианте $d/0^\circ$ образец освещается со всех сторон (рассеянный свет), а измерение параметров отраженного света производится под углом 0° .

При использовании различных вариантов геометрии измерения помехой при измерении параметров цвета может быть глянец (блеск) поверхности образца. Для измерения параметров цвета шероховатых поверхностей типа бетона вариант $45/0^\circ$ не подходит, поскольку при этом коэффициент поверхностного отражения, составляющий около 4 %, не может быть определен. Для бетона пригодными вариантами являются варианты $d/0^\circ$ или $d/8^\circ$. Измерения параметров при этом можно проводить без так называемых ловушек блеска, поглощающих этот блеск.

Все эти параметры имеют очень большое значение, поскольку сопоставлять можно только данные измерения цвета, полученные при одинаковых условиях. После многочисленных экспериментов CIE (Международной комиссии по освещению (МКО)) по аналогии с тремя центрами раздражения различной чувствительности, имеющимися в человеческом глазу, были определены так называемые

стандартные функции распределения трех основных цветов, обозначаемые \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} .

Другими словами, \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} соответствуют зонам чувствительности глаза «стандартного» наблюдателя: красный цвет - для \bar{x} , зеленый - для \bar{y} , и синий - для \bar{z} .

На рис. 4 дается изображение этих стандартных функций распределения трех основных цветов.

Для цветного образца важной характеристикой является спектр отражения R. Образцом поглощается какая-то определенная доля спектра падающего на него света S, поэтому от него отражается только часть спектра S.R. С помощью стандартных функций распределения трех основных цветов \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} рассчитываются стандартные параметры X, Y, Z. Схематически это представлено на рис. 5.

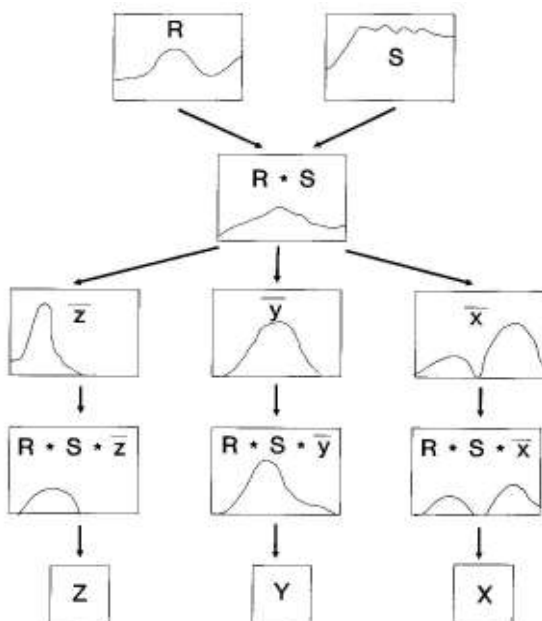


Рис. 5. Взаимодействие факторов, влияющих на восприятие цвета человеком

Для практиков способы расчета, позволяющие получить эти значения X, Y и Z, интереса не представляют. Для них главным является то, что с помощью кривых отражения можно воспроизвести цветовые оттенки. В результате многочисленных экспериментов было установлено, что кривые отражения можно заменить тремя параметрами (X, Y, Z), что дает возможность проводить измерения цвета. В прошлом было предпринято много попыток представления цветов в трехмерной системе координат. При этом возникла большая проблема: человеческий глаз проявляет различную чувствительность при различиях цветоразности. Так, например, в зеленой области спектра человеческий глаз обладает большей чувствительностью, чем в красной и синей областях. Геометрически одинаковые ситуации в данных системах не соответствуют физиологической цветовой чувствительности, т.е. не воспринимаются человеческим глазом как одинаковые ситуации. Поэтому принято пользоваться не самими этими параметрами X, Y, Z, а другими, выведенными из них с помощью пересчетных формул, и которые в большей или меньшей степени компенсируют названный недостаток. В настоящее время широкое применение получила система L*a*b*-CIE-1976. Для достижения полной корректности символы L, a и b пишутся со «звездочкой», поскольку они использовались в другой, ранее применявшейся системе, в несколько ином значении. Однако в повседневном применении часто эти звездочки опускают.

2.3 Система L*a*b* или CIELAB

Рекомендованная CIE (МКО) система в повседневном пользовании называется системой CIELAB. В настоящее время она является общепризнанной и применяется во всем мире. Она имеет большое преимущество по сравнению с ранее применявшимися системами. В этой системе геометрически равные расстояния во всех областях спектра примерно соответствуют визуально воспринимаемым различиям. Поэтому данная система практически является системой, отражающей восприятие цветов человеческим глазом. Часто система CIELAB называется также системой цветового пространства CIELAB.

На рис. 6 дается схематическое изображение системы CIELAB. Здесь речь идет о трехмерной ортогональной системе координат, которая имеет красно-зеленую ось a*, сине-желтую ось b* и расположенную перпендикулярно им ось L*, которой определяется яркость L*. Ось L* идет от L* = 0 (черный цвет) до L* = 100 (белый цвет). В этом цветовом пространстве L*a*b* можно расположить все цвета. Из практических соображений часто для изображения цветов и, прежде всего, цветов одинаковой яркости, пользуются двухмерной системой координат a*b*.

Для обозначения цветового ощущения, в принципе, требуется три числовых параметра:

$$L^*-a^*-b^*.$$

Поскольку именно a* и b* параметры являются несколько абстрактными, часто пользуются наглядными показателями, которые являются производными величинами:

- цветовой тон
- яркость
- насыщенность

Цветовой тон в достаточной мере описывается положением координат в системе a*b*. С помощью a* и b* можно описать цвета: синий, красный, зеленый, желтый и все их промежуточные оттенки. Яркость цвета описывается параметром L*. В повседневной жизни пользуются понятием светло-красный или темно-красный. Насыщенность цвета C*, параметр, указывающий на то, является ли цвет светящимся или тусклым, рассчитывается из a* и b*. Для расчета данного параметра служит следующая формула:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} = \text{расстояние от серой (бесцветной) точки}$$

Поскольку C* рассчитывается с помощью a* и b*, C* называют также цветностью. При a* = 0 и b* = 0 цвет воспринимается серым, белым или черным, в зависимости от значения L*. Однако главной задачей промышленной цветометрии является сравнение двух цветов, например, какого-то образца продукции со стандартом. Затем, если хотят узнать, какие существуют различия цветовых тонов, рассчитывают разницу между соответствующими значениями: $\Delta a^* = a^*_{\text{образец}} - a^*_{\text{стандарт}}$ и $\Delta b^* = b^*_{\text{образец}} - b^*_{\text{стандарт}}$, а если хотят узнать каково различие по яркости, то рассчитывают разницу $\Delta L^* = L^*_{\text{образец}} - L^*_{\text{стандарт}}$.

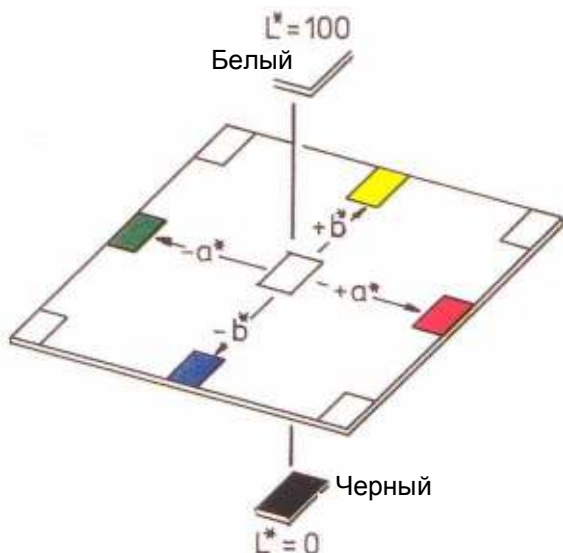


Рис. 6. Схематическое изображение системы CIELAB

Однако, прежде всего, интересуются тем, насколько цвет образца отличается от стандартного. Для этого рассчитывают «полное» расстояние ΔE по следующей формуле:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Другими словами, ΔE^* это геометрическое расстояние между двумя точками (например, для образца и стандарта) в трехмерном цветовом пространстве. Но в практической работе нет никакой необходимости рассчитывать по этой формуле параметры ΔE^* и ΔC^* . Современные измерительные приборы в комбинации с компьютерами позволяют, исходя из ΔL^* , Δa^* , Δb^* , тотчас подсчитать ΔC^* , а также ΔE^* .

Важно не испугаться начать использовать цветометрию. Нужно только освоить систему CIELAB. А самым простым способом освоения этой системы является работа с ней. Кроме того, необходимо соблюдать следующее правило: нельзя полагаться исключительно на полученные путем измерений значения, рекомендуется – если есть возможность – всегда оценивать глазом цветные образцы. Только таким путем можно освоить работу с этой системой, и тогда Вы станете чувствовать, что полученные числа действительно означают. Человеческий глаз, в конце концов, всегда является мерилем всех цветовых эффектов.

2.4 Приборы для измерения цвета

Существует два основных типа приборов:

- приборы с 3 фильтрами
- спектральные фотометры.

При использовании приборов с 3 фильтрами образец под определенным углом (например, 45°) освещается стандартным источником света (например, C или D 65).

Измерение параметров отраженного света производится под определенным углом, (например, 0°). С помощью трех цветных фильтров (синий, зеленый и красный), чувствительность которых соответствует стандартным функциям распределения трех основных цветов x-y-z, производится разложение отраженных составляющих, т.е. красный фильтр пропускает только красную составляющую света и т. д. Затем с помощью фотоячеек производится измерение параметров прошедшего сквозь фильтр света. Исходя из параметров трех основных цветов X, Y и Z, которые, как правило, можно непосредственно считывать с приборов, рассчитывают L^* , a^* , b^* или ΔL^* , Δa^* , Δb^* , а также C^* или ΔC^* и ΔE^* . Современный прибор с тремя фильтрами состоит из измерительного устройства и микрокомпьютера, связанных друг с другом.

При работе со спектрометрами также используются стандартным источником света и стандартной геометрии измерения. Измерение параметров отраженного света производится в несколько стадий по всему диапазону длин волн. Таким образом, снимается полная кривая отражения, по которой затем рассчитываются X, Y, Z. Также как и в случае использования приборов с тремя фильтрами, здесь можно определять и другие величины: L^* , a^* , b^* и т. д.

Приборы какого типа можно рекомендовать для применения в бетонной промышленности? Как будет показано ниже, основное влияние на точность при измерении цвета окрашенного бетона оказывает не используемый прибор, а качество поверхности. Точности измерения приборов с тремя фильтрами вполне достаточно.

Что касается цены, то здесь наблюдается такая ситуация: в течение нескольких последних лет приборы для измерения цвета становятся все лучше, и цены на них - благодаря прогрессу в компьютерной технике - даже ниже. В настоящее время прибор с тремя фильтрами стоит около 15.000 немецких марок, а спектральный фотометр – около 30.000 немецких марок. Это лишь ориентировочные данные, поскольку – в зависимости от оснащения (как и для автомобилей) – возможны отклонения от указанных цен, как в сторону увеличения, так и в сторону снижения.

2.4.1 Исполнение приборов для измерения цвета

При определении цвета цветного бетона важную роль играет исполнение прибора. В текстильной и лакокрасочной промышленности образцы, цвет которых определяется, многократно кладут на измерительное отверстие. Для определения цвета бетона такие приборы не пригодны, поскольку



Рис. 7. Фотометр с тремя фильтрами, с разделением измерительной части и компьютера

образцы из бетона очень тяжелые, и они повредили бы прибор. И, прежде всего, существует опасность, что в чувствительный прибор попадет грязь, частицы цемента и песок. Но мало пригодными для определения цвета бетонных образцов являются и приборы, предусматривающие подвод образцов с помощью простых механических устройств снизу к измерительному отверстию, так как эти образцы слишком тяжелы и неудобны в обращении. Лучше всего здесь подходит прибор, в котором измерительная часть отделена от компьютера, и на образец устанавливается только эта измерительная часть. На рис. 7 показан такой прибор.

Современные приборы для определения цвета имеют очень прочную, надежную конструкцию, но, несмотря на это, рекомендуется монтировать их в отдельном помещении, не подверженном воздействию вибрации и пыли, как это имеет место, например, в производственном цехе. Кроме того, рекомендуется перед проведением измерений очистить поверхность образцов с помощью малогабаритного пылесоса (типа насосов, рекомендуемых для чистки автомобилей) от пыли и приставших к поверхности частиц цемента и песка.

3 Примеры из практики

3.1 При рассмотрении проблем измерения цвета грубых бетонных поверхностей мы не будем подробно останавливаться на таких само собой разумеющихся вещах, как, например, необходимость минимум один раз в сутки калибровать прибор по стандартному образцу. Практически во всех инструкциях по эксплуатации приборов указано, что поверхности, на которых производятся замеры, должны быть абсолютно чистыми. Поскольку измерение цвета производилось первоначально только на покрытых лаком поверхностях и поскольку лакокрасочная промышленность до сих пор является основной областью применения этих приборов, в инструкциях и указывается, что необходимо исключать наличие на образцах пыли, царапин и даже отпечатков пальцев. Создать такие условия при работе с грубыми бетонными изделиями невозможно. Ниже на примере нескольких серий измерений для бетонных поверхностей различной шероховатости покажем, какие выводы из этого следуют.

3.1.1 Измерение цвета различных бетонных поверхностей

Авторы проводили измерение на бетонных камнях для мощения с облицовкой и без облицовки, а также на черепице. При этом применялся фотометр с тремя фильтрами (Minolta CR110). Для камня-брусчатки с облицовкой размер частиц заполнителя составлял макс. 4 мм, для камня без облицовки - макс. 8 мм, а для черепицы - 3 мм. Эти данные характеризуют шероховатость исследуемых бетонных поверхностей. Рис. 8 отражает различие в шероховатости исследуемых образцов. При проведении этих измерений важным является выбрать измерительное отверстие максимальных размеров (в нашем случае диаметр отверстия составлял 50 мм), чтобы можно было компенсировать неравномерность бетонных поверхностей. Материал был покрашен с помощью красного пигмента оксида железа (Baufarbox® 130). Измерения для одной серии проводились на четырех камнях в четырех различных точках на каждом камне. Общее количество точек измерения для одной серии составило 16. На основании полученных путем измерения значений X, Y и Z были рассчитаны величины L*, a* и b*. Из этих 16 значений L*a*b* были рассчитаны средние величины. Затем мы рассчитали цветовое расстояние ΔE для 16 отдельных измерений по этому среднему значению. Полученные результаты приведены в таблице 1. Для сравнения мы произвели таким же способом замеры покрытий из дисперсионной краски, отличающихся гладкой однородной поверхностью. Величины ΔE и стандартные отклонения показывают, как велика статистическая ошибка. В идеальном случае при абсолютно однородном окрашивании и при использовании измерительного прибора, не имеющего никаких дефектов, величина ΔE должна быть равна нулю. В действительности, однако, этого не наблюдается. Самая большая ошибка обусловлена шероховатостью бетона. Ошибка, возникающая в связи с используемой техникой измерения, относительно мала.

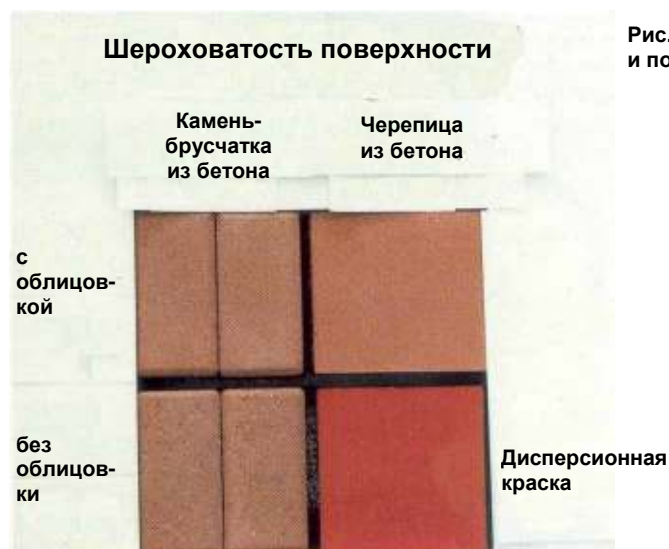


Рис. 8. Бетонные поверхности различной шероховатости и покрытие из дисперсионной краски

Из таблицы видно, что самые хорошие результаты – с большим отрывом - получаются для дисперсионных красок (средняя величина $\Delta E = 0,19 \pm 0,09$). В этом случае можно отказаться от выполнения многократных измерений. Самые неудовлетворительные результаты получены для камня-брусчатки с облицовкой (средняя величина $\Delta E = 0,84 \pm 0,37$). Здесь отмечено наличие самых больших и самых малых значений, что указывает на необходимость проведения многократных измерений.

Описанная серия измерений была проведена на изделиях, не подвергавшихся погодным воздействиям. Для изделий, подвергшихся погодным воздействиям, колебания замеренных величин еще больше, поскольку вследствие эрозии поверхности произошло частичное обнажение заполнителя. Можно сказать, что при этом произошло образование микроструктуры бетона с обнаженным заполнителем. В серии измерений, выполненных описанным выше способом для камня-брусчатки без облицовки после его пребывания в течение пяти лет в атмосфере промышленного предприятия, среднее значение ΔE (16 точек замера) получилось равным $1,21 \pm 0,52$. Эти низкие значения показывают, что при измерении цвета бетонных поверхностей нельзя брать критерии, используемые в лакокрасочной промышленности. Это имеет силу, например, для нижеследующей таблицы, показывающей взаимосвязь между визуальной оценкой и разностью ΔE в лакокрасочной промышленности.

Взаимосвязь между визуальной оценкой и величинами ΔE^*

ΔE^*	Оценка цветового различия
до 0,2	не воспринимается
0,2- 0,5	очень мало
0,5- 1,5	мало
1,5- 3,0	отчетливо
3,0- 6,0	очень отчетливо
6,0-12,0	сильно
свыше 12	очень сильно

На основании нашего опыта и как показано на приведенных примерах, в зависимости от шероховатости бетонной поверхности различия в цвете $\Delta E < 1,5$ нельзя определить ни визуально, ни с помощью измерительной техники.

Тип источника света: С		Дельта "E" – отдельные значения, отнесенные к соответствующим средним значениям L*, a*, b*																			
Вариант геометрии измерения: d / 0°		Серия №1 Камень для мощения Без облицовки не подвергнутый погодным воздействиям материал				Серия №5 Камень для мощения Без облицовки подвергнутый погодным воздействиям материал				Серия №3 Камень для мощения с облицовкой не подвергнутый погодным воздействиям материал				Серия № 4 Черепица не подвергнутый погодным воздействиям материал				Серия №: 5 Дисперсионная краска не подвергнутый погодным воздействиям материал			
Точки измерений		L*	a*	b*	Дельта "E"	L*	a*	b*	Дельта "E"	L*	a*	b*	Дельта "E"	L*	a*	b*	Дельта "E"	L*	a*	b*	Дельта "E"
1		41,5	8,1	5,8	0,5	37,0	2,1	5,1	1,7	40,9	10,2	7,6	1,6	41,4	10,2	7,6	0,9	37,2	12,5	13,1	0,3
2		42,1	8,1	5,2	0,4	37,6	2,0	5,0	1,4	40,6	9,4	6,1	1,3	41,1	10,2	7,6	0,5	37,2	12,4	13,0	0,2
3		41,6	7,8	5,0	0,6	38,0	2,8	6,3	0,9	40,9	9,4	6,3	1,2	40,9	10,1	7,6	0,4	37,2	12,6	12,9	0,1
4		41,8	7,8	4,6	0,9	37,8	1,9	6,6	1,7	40,9	9,6	6,0	0,0	41,3	10,1	7,8	0,7	37,3	12,5	12,9	0,1
5		41,2	7,7	4,8	0,9	37,3	2,8	6,8	1,5	40,3	9,9	6,3	0,5	41,0	10,1	7,5	0,6	37,2	12,5	13,1	0,3
6		41,2	8,0	5,1	0,7	37,9	2,0	6,7	1,7	41,1	9,8	6,7	1,0	41,1	10,1	7,6	0,5	37,2	12,6	12,9	0,1
7		41,7	7,9	5,4	0,2	38,0	2,0	5,2	1,3	41,1	9,8	5,6	1,1	41,0	9,9	7,6	0,5	37,2	12,6	12,9	0,1
8		41,6	7,8	6,4	0,4	37,6	2,8	6,3	0,9	41,1	9,9	5,9	0,9	41,2	10,0	7,6	0,6	37,2	12,6	12,9	0,1
9		41,3	8,1	5,8	0,6	37,6	2,4	5,4	1,3	40,4	9,7	6,6	0,4	40,9	10,1	7,8	0,3	37,3	12,5	13,0	0,2
10		41,2	8,6	6,2	1,1	38,8	1,7	4,7	1,6	40,7	9,2	6,7	0,8	40,8	10,0	7,9	0,2	37,2	12,5	13,0	0,2
11		41,2	8,3	5,8	0,7	37,2	2,0	4,7	1,4	41,0	9,6	5,8	0,8	40,5	9,7	7,6	0,6	37,2	12,4	13,0	0,2
12		41,4	8,4	6,1	0,9	37,7	1,9	6,1	1,4	41,3	9,5	6,6	1,2	40,8	10,1	7,6	0,3	37,3	12,4	12,8	0,1
13		41,5	7,9	6,7	0,6	36,9	1,9	4,5	1,7	40,6	9,3	0,0	0,4	40,9	9,8	7,6	0,6	37,2	12,6	13,2	0,4
14		41,5	7,9	5,7	0,5	38,6	3,2	4,6	0,4	40,0	9,1	6,7	0,9	40,7	10,2	7,8	0,1	37,3	12,6	12,8	0,1
15		41,5	7,9	5,5	0,4	37,9	2,8	4,6	0,4	40,6	9,3	5,6	0,8	40,7	10,3	7,9	0,2	37,4	12,5	12,7	0,2
16		41,8	8,1	5,4	0,0	38,1	3,1	4,6	0,0	40,6	9,4	6,4	0,0	40,6	10,1	7,8	0,0	37,2	12,6	12,8	0,0
Среднее значение		41,6	8,0	6,6	0,57	37,7	2,3	6,1	1,21	40,7	9,6	5,9	0,84	40,9	10,1	7,7	0,43	37,2	12,6	12,9	0,19
Стандартное отклонение		0,2	0,2	0,4	0,28	0,5	0,6	0,1	0,52	0,3	0,3	0,6	0,37	0,2	0,1	0,1	0,21	0,1	0,1	0,1	0,09

Таб. 1. Влияние шероховатости бетона на замеры цвета

Тип источника света: С
Вариант геометрии измерения: d/0°

Дельта "E" – отдельные значения, отнесенные к соответствующим средним значениям L*, a*, b*

Серия №: 1
Камень для мощения без облицовки, не подвергнутый погодным воздействиям материал
Серия №: 2
Камень для мощения без облицовки, подвергнутый погодным воздействиям материал
Серия №: 3
Камень для мощения с облицовкой, не подвергнутый погодным воздействиям материал
Серия №: 4
Черепица, не подвергнутый погодным воздействиям материал
Серия №: 5
Дисперсионная краска, не подвергнутый погодным воздействиям материал
Среднее значение
Стандартное отклонение

Кроме того, эти серии замеров показывают, что при определении цвета бетонных поверхностей требуется сделать минимум три измерения. Если полученные при этом результаты сильно отличаются друг от друга, то для получения надежного среднего значения необходимо провести еще несколько измерений.

Ниже приведены отдельные примеры, подтверждающие объективность определения цвета цветных бетонных поверхностей путем измерений.

3.2 Определение путем измерений цветового оттенка камей для мощения

Среди пигментов Bayferrox существует целый ряд красных пигментов различных цветовых оттенков. Пигмент 110 обладает красным цветом с сильно выраженным желтым оттенком. В пигментах 120, 130 и далее этот желтый оттенок соответственно все больше ослабляется. Цвет пигмента 189 уже можно лучше всего охарактеризовать как красный с синим оттенком. Это показано на рис. 9 на примере серии бетонных камней для мощения (с облицовкой), окрашенных красными пигментами Bayferrox-Rot 110, 120 N, 120, 130 и т. д. до 180.

Цветометрические параметры L^* , a^* и b^* могут быть представлены только в трехмерной системе, но в данном случае ограничимся лишь двумерной диаграммой a^*b^* . Это логично, поскольку L^* (яркость) меняется относительно мало, в то время как различие цветовых тонов пигментов этой серии хорошо воспроизводится с помощью a^* и b^* . На рис. 10 наглядно показано, как ослабевает желтый тон от образца 110 ($b^* \sim 12$), 130 ($b^* \sim 9$) и 140 ($b^* \sim 5$) и до образца 180 ($b^* \sim -1$), имеющего красный цвет с синим оттенком. А на участке положительных значений красной оси (a^*) наблюдаются лишь небольшие различия (макс. четыре единицы).

Теперь рассмотрим, как ведут себя эти красные пигменты при воздействии на образцы погодных факторов. Бетонные камни для мощения (без облицовки), окрашенные пигментами 110, 130 и 160, в течение пяти лет подвергались воздействию промышленной атмосферы.

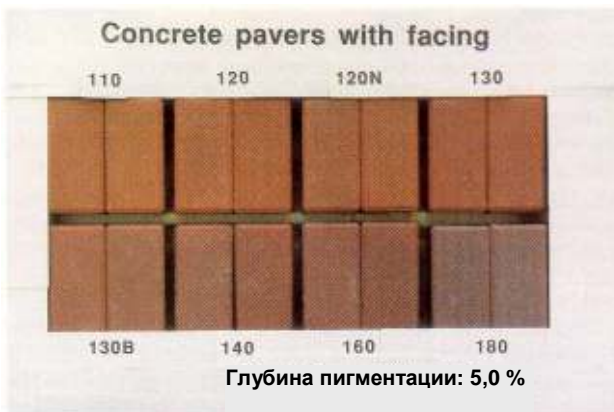


Рис. 9. Бетонные камни для мощения, с облицовкой, окрашенные различными красными пигментами Bayferrox®

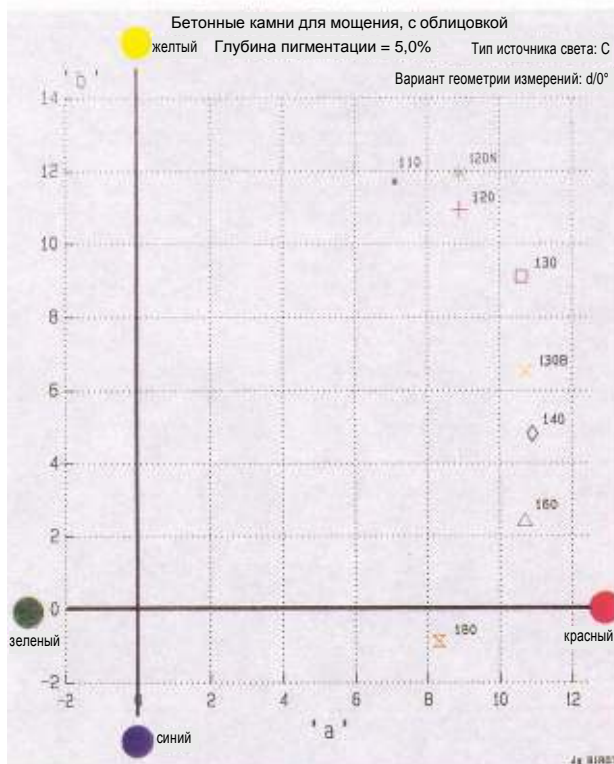
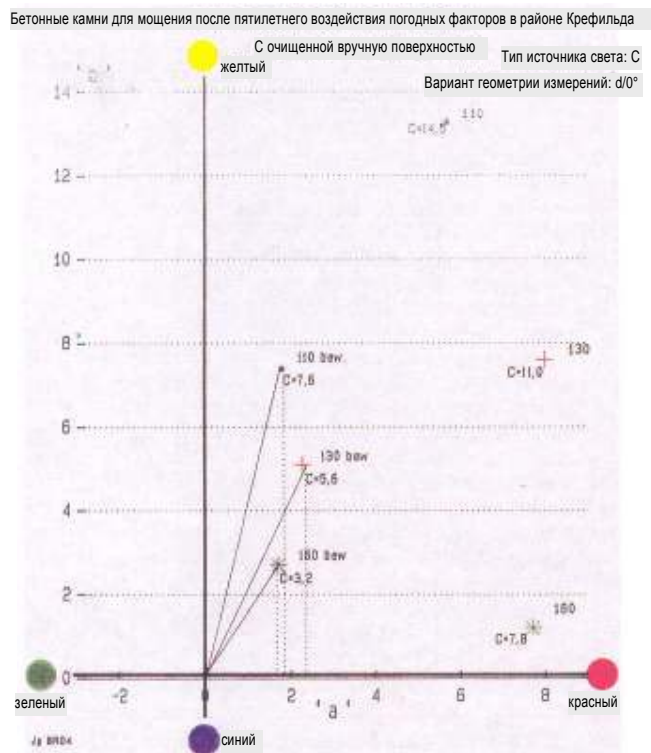


Рис. 10. Красные пигменты Bayferrox^s



bew = подвергнутый воздействию погодных условий
Рис. 11. Красные пигменты Bayferrox®

На диаграмме a^*b^* (рис. 11) представлены полученные путем измерения данные для подвергнутых и не подвергнутых воздействию погодных условий камней. Как это подтверждается и визуально, можно отметить, что различия цветовых тонов между 110, 130 и 160, которые до воздействия атмосферных воздействий были довольно велики, после этого воздействия стали значительно меньше (вследствие загрязнения и эрозии поверхности). А поскольку на поверхности камней в течение этого пятилетнего срока даже уже появился мох, то перед проведением измерений они были вручную очищены. На рис. 12 показано фотографическое изображение подвергшихся атмосферному влиянию камней.



При изложении основ цветометрии было использовано понятие «цветность». Величина цветности вычисляется по формуле Пифагора:

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

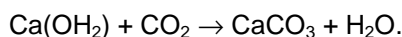
Геометрически C^* представляет собой линию, соединяющую точку измерения и нулевую точку. Чем выше параметр насыщения, тем ярче и более блестящей является краска. Полученные значения показывают, что различия в ходе эксперимента между образцами 110, 130 и 160 стали меньше и что образец 110 имеет самую высокую величину насыщения. Эта цветометрическая оценка соответствует и визуальной оценке, поскольку после пятилетнего воздействия атмосферных факторов из-за эрозии поверхности стал видимым наполнитель бетонных камней для мощения. Первоначальный красный тон лучше всего сохранился на образце 110, а хуже всего – на образце 160. Исходя из этих результатов, а также ряда других результатов, можно порекомендовать следующее:

- использовать в производстве бетонных изделий наполнитель по возможности более тонкой фракции, что, в конце концов, возможно только при наличии облицовочного слоя - в качестве красных пигментов применять пигменты желтых оттенков, такие как 110, 120 и 130, и не применять красные пигменты 160 и 180.

**Рис. 12. Бетонные камни для мощения,
в течение 5 лет подвергавшиеся
атмосферным воздействиям**

3.3 Измерение интенсивности налета на поверхности бетона путем определения яркости L^*

Каждый изготовитель бетона знаком с проблемой появления налета на его поверхности. Этот налет представляет собой отложения белого цвета, которые могут появиться на бетоне в ходе процесса изготовления бетона (первичный налет) или под воздействием атмосферных факторов (вторичный налет). Химический состав налета: CaCO_3 . При схватывании цемента образуется свободный гидроксид кальция, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который, будучи, растворенным в воде для затворения бетона или в дождевой воде, может мигрировать на поверхность бетона и вступать там в реакцию с содержащимся в воздухе диоксидом углерода:



Такой налет может выступить на поверхности как пигментированного, так и не пигментированного бетона. Однако при появлении налета на поверхности цветного бетона это особенно мешает и некрасиво выглядит. Существует множество публикаций, посвященных проблеме появления налета. Здесь мы остановимся только на вопросе объективного определения интенсивности налета с помощью измерений. Белый налет карбоната кальция лучше всего виден и лучше всего поддается регистрации с помощью измерительной техники на черном фоне. Чем интенсивнее налет, тем более светлой воспринимается поверхность бетона. Поэтому яркость L^* может служить здесь непосредственной мерой интенсивности налета.



Рис. 13. Протекание процесса образования налета на бетонной черепице

производились в трех различных точках, и вычислялось среднее арифметическое. Поверхность бетонной черепицы, полученной экструзионным способом, как известно, является более гладкой по сравнению с поверхностью камней для мощения. Измерения проводились с использованием фотометра с тремя фильтрами или вышеназванного прибора Minolta [3], или прибора Hunterlab [4].

Поскольку налет покрывает поверхности часто неравномерно, нельзя избежать определенного разброса измеренных величин. Но, построив кривую выравнивания, можно получить вполне однозначную характеристику.

На рис. 14 в несколько идеализированной форме показано поведение налета в ходе изучения влияния на него атмосферных факторов. Для более наглядной иллюстрации этой картины представлено также несколько фотоснимков подвергнутых воздействию атмосферных факторов образцов.

3.4 Изменения цветового тона камней для мощения в ходе воздействия на них атмосферных факторов

На рис. 15 показаны бетонные камни для мощения: без пигмента, с красным пигментом Bayferrox-Rot 110 (5%) и черным пигментом Bayferrox-Schwarz 318. При изготовлении камней использовался цемент трех различных марок: HOZ = шлакопортландцемент, PZ 45 F = портландцемент и DHW = белый цемент. Из рисунка видно, что под влиянием атмосферных факторов в камнях произошли изменения цвета. По прошествии трех лет пребывания окрашенного цементного камня на открытом воздухе

произошло выветривание его поверхности, и при этом произошло обнажение наполнителя. Чем сильнее поверхность подвержена эрозии, тем больше и степень ее загрязненности. По истечении четырех лет пребывания образцов под воздействием погодных факторов на них начинает расти мох. Эти явления очень наглядно проявляются, поскольку рядом с этими камнями, пролежавшими под открытым воздухом один, два, три и четыре года, лежат камни, не подвергавшиеся атмосферному воздействию.

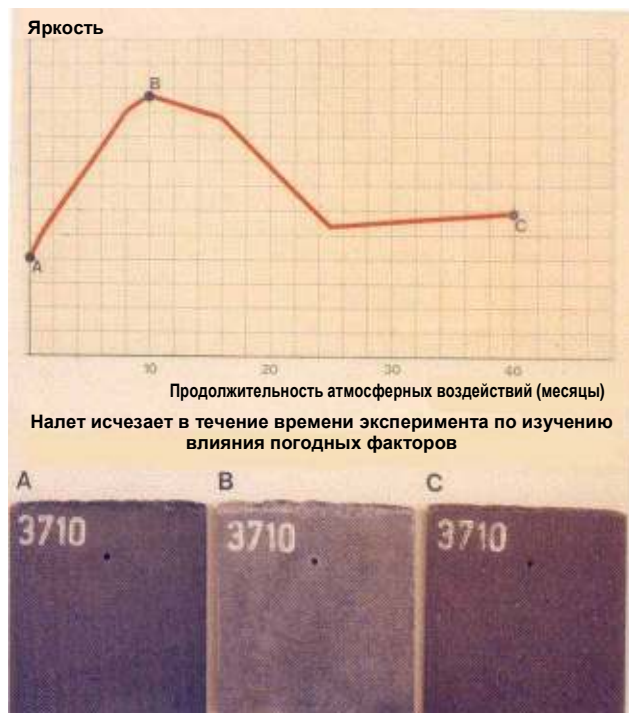
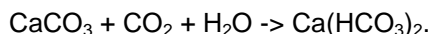


Рис. 14. Поведение налета в ходе проведения эксперимента (40 месяцев)

На рис. 13 показан процесс образования налета на бетонной черепице черного цвета в течение 60 месяцев. Из рисунка видно, что налет появился почти сразу после помещения черепицы в условия эксперимента. Максимум на кривой был достигнут примерно по истечении одного года (в условиях средневропейского климата). По прошествии около двух лет налет исчез. Это произошло под влиянием атмосферных условий. Данное явление обусловлено тем, что карбонат кальция реагирует с CO₂ воздуха и дождевой водой с образованием водорастворимого гидрокарбоната кальция:



Измерения на каждом образце производились в трех различных точках, и вычислялось среднее арифметическое. Поверхность бетонной черепицы, полученной экструзионным способом, как известно, является более гладкой по сравнению с поверхностью камней для мощения. Измерения проводились с использованием фотометра с тремя фильтрами или вышеназванного прибора Minolta [3], или прибора Hunterlab [4].

Что показывает здесь цветометрия? На рис. 16 представлено цветовое расстояние (цветовая отдаленность) ΔE для камней, подвергшихся и не подвергшихся воздействию погодных факторов, отдельно для трех марок цемента, использованных при изготовлении камней. Здесь можно видеть, что самые большие изменения произошли в непигментированных камнях. Значительно лучший результат достигнут для пигментированных и, прежде всего, черным пигментом, камней.

Если рассматривать ситуацию применительно к цветометрии, то можно сказать, что здесь лишь подтверждается старое правило: под воздействием атмосферных факторов бетонный камень-брусчатка, окрашенный темными пигментами (например, черным или красным) ведет себя лучше всего.

3.5 Отклонение цветовых тонов при производстве бетонных камней, обусловленное ошибками дозирования компонентов

Приведем еще один пример из практики, демонстрирующий возможности цветометрии. Одним из изготовителей бетонного камня-брусчатки проблема была сформулирована следующим образом. На предприятии имеется установка дозирования жидких компонентов. Путем смешения трех водных суспензий, приготавливаемых самим изготовителем, он по приведенной ниже схеме добивается получения коричневого оттенка.

- 1,7 л | 110 - суспензия (пигмент : H₂O = 1:1)
- 1,1 л | 318- суспензия (пигмент : H₂O = 1:1).
- 4,6 л | 420- суспензия (пигмент : H₂O = 1:3).

Дозирование осуществляется волюмометрическим способом с использованием дозирующего цилиндра объемом 40 л. В каждой операции дозирования может быть допущена какая-то ошибка.

В самом неблагоприятном варианте эта ошибка составит макс. $\pm 0,1$ л. Вопрос состоял в том, могут ли при изготовлении коричневого камня-брусчатки при этих условиях возникнуть такие цветовые различия, которые будут уже неприемлемы.

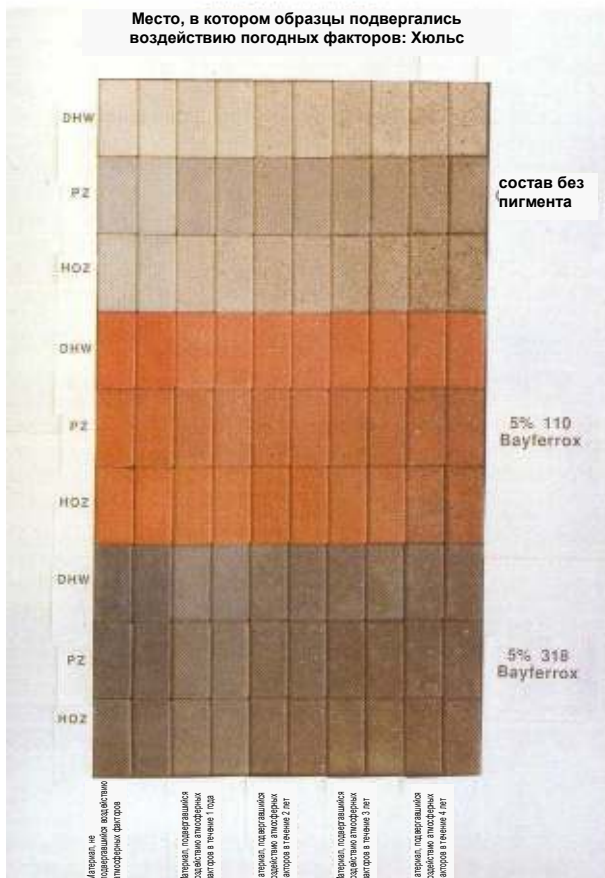


Рис. 15. Бетонный камень-брусчатка из белого цемента (OHW), портландцемента (PZ) и шлакопортландцемента (HOZ); не подвергавшийся воздействию атмосферных факторов и подвергавшийся этим факторам в течение 1, 2 и 4 лет

Место, в котором образцы подвергались воздействию погодных факторов: Хюльс

unbewittert = материал, не подвергавшийся воздействию атмосферных факторов

1 Jahr bewittert = материал, подвергавшийся воздействию атмосферных факторов в течение 1 года

2 Jahr bewittert = материал, подвергавшийся воздействию атмосферных факторов в течение 2 лет

3 Jahr bewittert = материал, подвергавшийся воздействию атмосферных факторов в течение 3 лет

4 Jahr bewittert = материал, подвергавшийся воздействию атмосферных факторов в течение 4 лет

O-Mischung = состав без пигмента



Рис. 16. Изменение цветового тона под воздействием атмосферных факторов



Рис. 17. Бетонный камень-брусчатка, изготовленный с различным количеством пигмента (2-7%) и различными ошибками (a-l) дозировки компонентов

для каждого варианта пигментации мы выявили одиннадцать возможных причин, воздействие которых на цветовой тон было бы особенно заметным (цвета от «а» до «е») и изготовили соответствующие камни. Если положить эти камни один рядом с другим, (рис. 17), то для каждого из 11 камней получится пять рядов с различной пигментацией (2, 3, 4, 5 и 7%). В общей сложности получается 55 камней. При этом очень трудно глазом определить, какие камни имеют такие большие отклонения от нормы, что они уже неприемлемы в производстве. Чем больше людей опрашивали авторы, тем больше различных ответов получили.

Очень полезным в этом случае является привлечение цветометрии. Для каждого варианта пигментации авторы определили цветовую отдаленность камней, изготовленных с различными возможными ошибками, относительно соответствующих камней, изготовленных без каких-либо ошибок. В качестве критерия для распознавания того, являются ли имеющиеся различия приемлемыми или неприемлемыми, авторы выбрали относительно узкие границы: $\Delta E = 1$. Данная цифра выбрана не только на основании опыта авторов; выше мы для аргументации привели данные нескольких серий измерений (см. п. 3.1.1).

Из приведенной на рис. 18 диаграммы видно, что, начиная с концентрации пигмента 4% и выше, ошибки дозирования, возможные при указанном способе работы данного изготовителя камня-брусчатки, обуславливают появление таких цветовых различий, которыми можно пренебречь, поскольку они практически не уже улавливаются человеческим глазом. Критической является концентрация пигмента 3% и ниже.

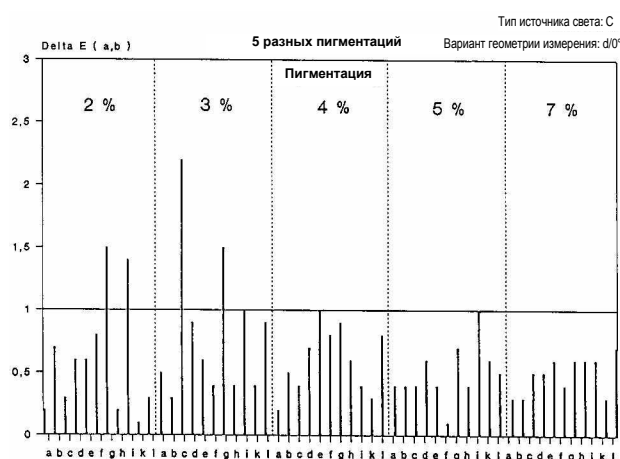


Рис. 18. Сопоставление параметров бетонного камня-брусчатки, изготовленного с ошибками дозирования и без ошибок

3.6 Различные аспекты

Было бы нецелесообразным в рамках данной публикации, которая призвана лишь дать представление об основах цветометрии, в подробности описывать и далее различные примеры.

Подробное изложение отдельных ошибок, теоретически возможных при данных условиях, было бы в данной статье неоправданным. Здесь важно лишь указать на то, что при рассмотрении данного вопроса следует принимать во внимание, что суспензии имеют различное содержание твердого вещества. Далее осуществляется добавление различных, дозированных по объему количеств суспензий красного, желтого и черного цвета. Кроме того, надо принять во внимание, что общее количество всех трех суспензий будет различным, если общее содержание пигмента составляет 2,3,4 или более процентов.

Отсюда следует, что с увеличением концентрации пигмента абсолютная ошибка уменьшается. Вопрос был поставлен так: начиная с какого количества пигмента возникают цветовые различия, которые могут считаться приемлемыми. Затем для различных количеств пигментов (2-7%) мы рассчитали, какие ошибки и/или их комбинации возможны здесь теоретически. Далее

Следует лишь отметить, что цветометрия с успехом может применяться для определения интенсивности цвета пигментов, добавляемых в бетон. Это представляет также и большой практический интерес, поскольку по интенсивности цвета можно делать выводы относительно того, возможно ли получить экономию от перехода с одного пигмента на другой.

Далее, с помощью цветометрии можно также делать выводы о том, насколько быстро и хорошо пигмент распределяется в бетонной смеси. При этом интенсивность цвета определяется по истечении 20, 30, 40, 50 и 60 секунд смешения. Чем лучше распределяется пигмент в смеси, тем быстрее достигается конечная интенсивность цвета.

Большую помощь для принятия правильного решения оказывает также цветометрия при обработке цветовых тонов. С помощью цветового расстояния (цветовой отдаленности) ΔE между эталонным и обрабатываемым образцом можно принять объективное решение относительно того, отвечает ли этот образец предъявляемым требованиям. В будущем, вероятно, станет даже возможным (когда нами будет накоплено еще больше данных измерений), что изготовитель камня-брусчатки по факсу сообщает нам величины ($L^*a^*b^*$) для цветного бетона, а мы сможем дать ему рекомендации, с помощью каких комбинаций пигментов можно добиться получения нужного цветового тона. Но для этого необходимо еще создать некоторые предпосылки. Поскольку в данном вопросе большое значение имеет также собственный цвет непигментированного бетона, то потребуются также и эти данные. Кроме того, необходимо принимать во внимание и другие факторы, оказывающие влияние на цвет бетона, такие как содержание цемента, условия затвердевания бетонной смеси и водно-цементное отношение. Поэтому в настоящее время вопрос о конкретной организации такого сотрудничества пока остается открытым. Но мы будем продолжать работать над данной проблемой.

3.7 Пригодна ли цветометрия для контроля продукции?

Практиков, прежде всего, интересует вопрос, может ли цветометрия оказаться полезной при контроле качества продукции. Бытующие на настоящий момент представления в этой области отражают, в основном, еще далекие от действительности субъективные пожелания. Так, например, обдумывается возможность непрерывно производить измерения цвета цветного бетона в неотвержденном состоянии, т.е. вышедших из пресса камней для мощения или черепицы после формирования ее методом экструзии. Все измеренные величины можно было бы тогда сравнивать с соответствующими параметрами эталонного образца. В случае отклонений, имеющих место, например, из-за ошибки дозирования, подавался бы соответствующий предупредительный сигнал. Такие измерения должны быть бесконтактными, что возможно уже сегодня [5]. Сложной или вообще на настоящий момент не решаемой проблемой является необходимость иметь для каждого вида продукции эталонный образец. Здесь можно было бы идти по пути создания стандарта, который как можно ближе по цвету соответствовал бы пигментированному неотвержденному бетону. Или можно было бы также работать с абсолютными значениями. Далее следовало бы таким образом стандартизировать процесс последующего отверждения бетона, чтобы этот процесс не оказывал бы никакого влияния на цветовой тон или чтобы это влияние всегда было бы одним и тем же. На настоящий момент мы еще очень далеки от этого. Но на будущее такие разработки можно планировать.

Но вернемся к действительности. На одном из заводов по производству бетонного камня-брусчатки мы провели измерения цвета отвержденных камней после их выхода из закалочной камеры. Мы поставили перед собой задачу, определить, в каких допусках по цвету возможен выпуск продукции, могут ли возникнуть различия по цветам между камнями, лежащими на одном поддоне, или эти отличия возникают от поддона к поддону и от замеса к замесу и/или в переходную стадию производства.

В настоящее время мы можем ответить лишь на первые вопросы, поскольку мы находимся в начале наших исследований. Исследованию подвергались камни формы двутавра, без облицовки, изготовленные при сотрудничестве с фирмой, производящей поддоны (Henke-Variant). Исследовано было семь поддонов. Для каждого поддона, загруженного 30 камнями, по определенной схеме проводились измерения девяти камней. Из полученных в трех точках для каждого камня результатов измерений рассчитывали средние арифметические значения L^* , a^* и b^* . Из общего количества измерений (189) мы вычислили средние арифметические значения для L^* , a^* и b^* . Цветовое расстояние (цветовая отдаленность) ΔE каждого из значений была определена по отношению к этому рассчитанному среднему значению L^* , a^* и b^* . На рис. 19 представлена страница протокола измерений

Средние значения, суммарные $L^* 13,83 \quad a^* 11,84 \quad b^* 10,35$ $L^* 40,96 \quad a^* 8,57 \quad b^* 4,31$
 Тип источника света: C Вариант геометрии измерения: d/0°

Плита	Камень	Измерение	L^*	a^*	b^*	ΔE	L^*	a^*	b^*
1	1	1	13,31	11,39	10,01	0,74	40,26	8,72	4,11
		2	13,22	11,57	10,01				
		3	13,48	11,48	10,01				
1	2	1	13,57	11,64	10,01	0,21	40,92	8,72	4,16
		2	13,31	11,77	10,01				
		3	13,08	12,04	10,01				
1	3	1	13,8	11,77	10,01	0,51	40,70	8,94	4,07
		2	13,62	11,53	10,01				
		3	13,67	11,64	10,01				
1	4	1	13,54	11,63	10,01	0,52	40,47	8,77	4,29
		2	13,35	11,4	10,01				
		3	13,61	11,51	10,01				
1	5	1	13,61	11,67	10,01	0,89	41,34	8,33	3,53
		2	13,25	11,9	10,01				
		3	13,58	12,61	10,01				
1	6	1	14,04	12,4	11,01	1,19	41,48	8,24	3,28
		2	13,84	12,03	11,01				
		3	13,92	12,02	11,01				
1	7	1	13,54	11,68	10,01	0,56	40,70	8,59	3,80
		2	13,75	11,64	10,01				
		3	13,53	11,76	10,01				
1	8	1	13,53	11,56	10,01	0,63	40,34	8,72	4,28
		2	13,74	11,64	10,01				
		3	13,52	11,70	10,01				
1	9	1	13,42	11,65	10,01	0,54	40,55	8,76	4,00
		2	13,29	11,83	10,01				
		3	13,42	11,69	10,01				
2	1	1	13,17	11,9	10,01	0,91	40,04	8,54	4,70
		2	13,18	11,83	10,01				
		3	13,23	11,81	10,01				
2	2	1	13,72	11,8	10,01	0,84	40,28	9,00	4,23
		2	13,72	13,06	10,01				
		3	13,74	11,79	10,01				
2	3	1	14,4	12,1	10,01	1,10	41,68	9,30	3,92
		2	14,53	12,3	10,01				
		3	14,23	12,29	10,01				

Рис. 19. Протокол измерений (Страница 1)

первых двенадцати камней. Ряд измеренных величин мы затем свели воедино на диаграмме (рис. 20), представляющей собой кривую распределения ΔE .

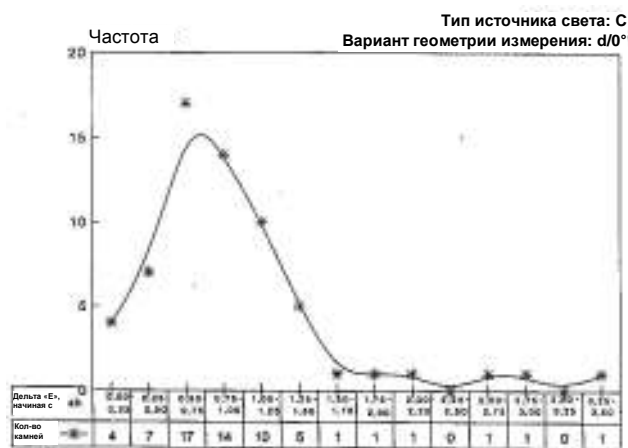


Рис. 20. Измерение цвета бетонных камней для мощения на бетонном заводе

Полученный результат нас удивил, поскольку мы не ожидали, что в цветовом отношении все камни лежат в столь узких границах. Цвет 57 камней из 63 лежал в области $\Delta E = 1,50$, что составляет 90 %.

Таким образом, в пределах исследованных поддонов практически не наблюдалось никаких различий в цвете камней от поддона к поддону. Такой результат воодушевляет нас на проведение экспериментов в течение более продолжительного периода выпуска продукции.

4 Заключение

Обобщив имеющиеся на настоящий момент результаты и опыт, можно сказать, что использование цветометрии для определения цвета цветного бетона является целесообразным и полезным. Для того чтобы начать применять цветометрию, достаточно познакомиться с основами этой науки. Необходимый для работы опыт можно получить только, применяя цветометрию в производстве и критически подходу к полученным результатам.

При этом всегда надо помнить о том, что цветометрия вследствие многочисленных допущений – и система CIELAB не является здесь исключением – является компромиссом. Поэтому важно сопоставлять визуальное восприятие и полученные путем измерения результаты. И тогда цветометрия будет полезной для решения целого ряда проблем, в том числе и при работе с цветным бетоном. На будущее вырисовываются перспективы применения цветометрии для контроля качества продукции.

Список литературы

- [1] M. Richter- Einführung in die Farbmeterik, Berlin, Sammlung Göschen 2608, deGruyter 1976.
F.W. Billmeyer, Jr., M. Saltzman - Principles of Color Technology, New York, Wiley 2. Auflage 1981.
K. McLaren - The Colour Science of Dyes and Pigments, Bristol, Adam Hilger 1983.
- [2] A. Brockes, D. Strocka, A. Berger-Schunn - Farbmessung in der Textilindustrie, Bayer-Farben-Revue, Sonderheft 3/2, 1986.
G. Kämpf - Farbe - physikalisch betrachtet, Deutsche Farben Zeitschrift, Nr. 6/7, 33. Jahrgang 1979, S. 185 ff.
Minolta, Exakte Farb-Kommunikation, Vom Farbgefühl bis zur objektiven Messung.
Erichsen GmbH, D-5870 Hemer. Kurze Einführung in die Farbmeterik und die Funktion des Erichson-Colorimeters 511.
R. Wirths, R. Sprünken - Einführung in die Farbmeterik, Byk-Chemie GmbH, D-4230 Wesel.
F. Brückner - Farbmessung dient der Qualitätssicherung; Kontrolle, Januar. 1984, S. 33 ff. [3] Minolta Camera Co. Ltd., 30, 2-Chrome, Azuchi-Machi, Higashi-Ku, Osaka. 541 bzw.
- [3] Minolta Camera GmbH, Kurt-Fischer-Str. 50, D-2070 Ahrensburg
- [4] Hunter Associates Laboratory, 11495 Sunset Hills Road, Reston, Virginia. 22090, 703-471-6870 bzw. Dr. Slevogt & Co., Trifhofer Straße, D-8120 Weilheim
- [5] Macbeth - A division of Kollmorgen Corporation, Newburgh, New York. 12550 USA, Eagle Eye®-Color Surveillance System.



Д-р Гюнтер Тайхманн в течение 25 лет работает на фирме Bayer AG, Werk Uerdingen, в отделении прикладной техники неорганических пигментов. Сначала он работал в секторе «Покрyтия на основе дисперсионных красок», а последние 15 лет занимается вопросами окрашивания бетона.