

Зависимость цветовых предпочтений от пола: предварительное исследование¹

Ч. ХУАН¹, Ц. ЛЮ^{1,2,*}, И. ЛЮ¹, М. ПОЙНТЕР³, П. БОДРОГИ⁴,
Т.К. КХАН⁴, А. ЛЮ⁵

¹ Уханьский университет, Ухань, Китай

² Хубейский научно-исследовательский центр цифровизации и виртуального воспроизведения цветной информации, содержащейся в культурных ценностях, Ухань, Китай

³ Лидский университет, Лидс, Великобритания

⁴ Дармштадтский технический университет, Дармштадт, Германия

⁵ Компания *Shenzhen Chromatech Lighting Co., Ltd.*, Шэньчжэнь, Китай

* E-mail: liuqiang@whu.edu.cn

Аннотация

Гендерные различия наблюдались во многих областях. Однако применительно к связанным с освещением цветовым предпочтениям этот вопрос почти не рассматривался. Поэтому в данной работе были проведены исследования по определению предпочтительной коррелированной цветовой температуры (КЦТ) (3500, 5000 или 6500 К) при зрительном восприятии шести одноцветных (красного, зелёного, жёлтого, синего, белого и чёрного цвета) искусственных объектов, выполненных в виде птиц. Исследования проводились применительно к трём уровням освещённости E : 50, 200 и 600 лк. Двадцать наблюдателей, 10 мужчин и 10 женщин, должны были сообщить о своих зрительных цветовых предпочтениях при восприятии экспериментальных объектов. Цель этой работы состояла в том, чтобы установить наличие или отсутствие гендерных различий при оценке наблюдателями имеющих разные цвета объектов при разных комбинациях E и КЦТ. Полученные результаты говорят о том, что при $E = 200$ и 600 лк наблюдаются большие различия в восприятии мужчин и женщин, особенно при высоких – 5000 и 6500 К – значениях КЦТ. Кроме того, было установлено, что при определённых комбинациях E и КЦТ оценки предпочтительности, сделанные мужчинами и женщинами применительно к некоторым цветам, были явно разными. Для некоторых сценариев субъективные оценки наблюдателей одного пола также зависели от цвета объекта.

Ключевые слова: гендерные различия, цветовые предпочтения, кор-

релированная цветовая температура, освещённость.

1. Введение

Цветовые предпочтения в настоящее время являются популярным объектом исследований в областях, связанных с оценкой качества освещения [1–9]. Целью этих работ является определение того, какие источники света наблюдатели считают предпочтительными с точки зрения передачи цветов освещённых объектов [1, 10–12], с тем, чтобы выявить факторы, влияющие на предпочтительность зрительного восприятия цвета [1, 8, 13–18], и разработать объективную метрику, увязанную с субъективным восприятием цвета, которое было выявлено в ходе психофизических исследований [19–23]. Согласно новейшим литературным данным, в случае освещения на цветовые предпочтения влияют несколько факторов, в том числе от области применения освещения [15, 16], региональных или культурных различий [6, 7, 18, 24–26], освещённости [27], знакомства с экспериментальным объектом [13], цветовыми особенностями освещаемых объектов [28], а также от белизны источника света [1, 10, 29, 30].

В нашей последней работе, посвящённой поиску оптимального освещения джинсов, были выявлены существенные гендерные различия в части цветовых предпочтений и различения цветов [2]. Согласно полученным в этой работе результатам, гендерные различия в части цветовых предпочтений изменяются в зависимости от области применения освещения. Женщины продемонстрировали большую способность к различению цветов, чем мужчины. Фактически, ана-

логичные результаты были получены и в смежных областях, таких как генетика [31], неврология [32], офтальмология [33], биология [34] и цветоведение [35]. Например, с точки зрения генетики, спектральные чувствительности многих фоторецепторов сетчатки определяются генами X-хромосом [36], и это считают возможным объяснением гендерных различий в восприятии цвета [37]. Более того, согласно [34], эти различия можно объяснить зависящей от пола функциональной специализацией, сформировавшейся в процессе эволюции трудовой деятельности.

Однако хотя многие исследования, проводящиеся в смежных областях, подтвердили наличие подобных различий между мужчинами и женщинами, вопрос цветовых предпочтений в случае освещения не привлекал к себе достаточно внимания. Действительно, для современной литературы характерно несбалансированное привлечение наблюдателей мужского и женского пола [15, 16, 18, 27, 38–49], и мы подозреваем, что подобная небрежность может в некоторой степени повлиять на общие выводы.

Поэтому в данной работе были проведены три группы психофизических экспериментов, целью которых являлось подтверждение наличия гендерных различий в части связанных с освещением цветовых предпочтений. Мы предположили, что подобные различия могут быть связаны как с условиями освещения, так и с цветовыми характеристиками экспериментальных объектов, так что для проведения исследований были выбраны источники света, обеспечивающие разные уровни освещённости (E) и коррелированной цветовой температуры (КЦТ), а так-



Рис. 1. Экспериментальная сцена с красной птицей в световой камере (искусственный декоративный объект в виде птицы)

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

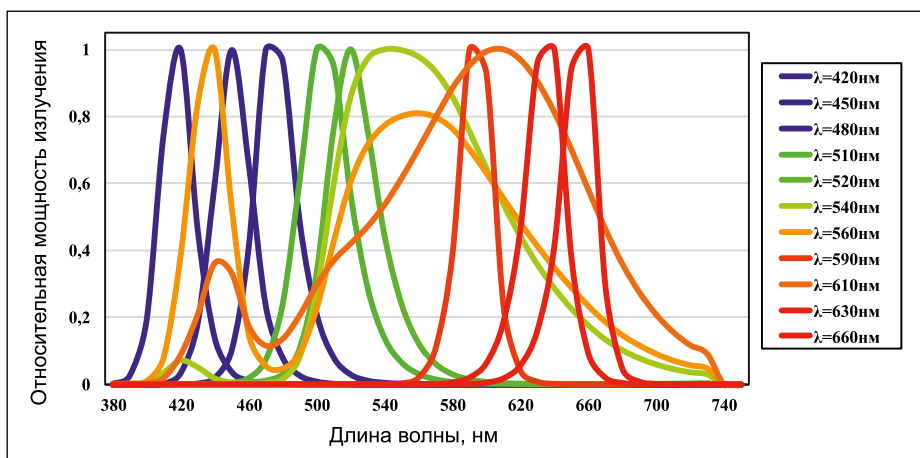


Рис. 2. Относительные спектральные распределения мощности излучения 11 СД каналов кубической СД установки

же выполненные в виде птиц декоративные объекты, окрашенные в разные насыщенные цвета. Кроме того, так как эксперименты были сгруппированы применительно к уровням E (например, в каждом из экспериментов наблюдатели оценивали свои цветовые предпочтения при различных КЦТ и одном и том же значении E), то результаты данной работы должны также обеспечить более хорошее понимание того, какие КЦТ будут предпочтительными при разных уровнях освещённости.

2. Методика проведения экспериментов

2.1. Экспериментальная установка

В данной работе зрительные эксперименты проводились с использованием световой камеры (рис. 1) размером (Ш×Г×В) 50×50×60 см. Стенки

и пол камеры были равномерно покрашены серой матовой краской (*Munsell N7*). Стул был поставлен перед камерой на расстоянии примерно 40 см, так что угол наблюдения был равен примерно 30°. Кроме того, высоту стула можно было регулировать, так чтобы при проведении экспериментов ни один из наблюдателей не мог видеть осветительный модуль, который был установлен сверху камеры.

Девять спектров излучения генерировались кубическим спектрально регулируемым умным осветительным прибором с СД, предоставленным компанией *Changzhou Thouslite Ltd.* Это устройство могло реализовывать большое количество неизменных во времени спектральных распределений мощности излучения, что достигалось посредством смешивания излучения 11 СД каналов, осуществлявшегося внутри осветительного прибора (рис. 2). Выбранные СД источники света имели три значения

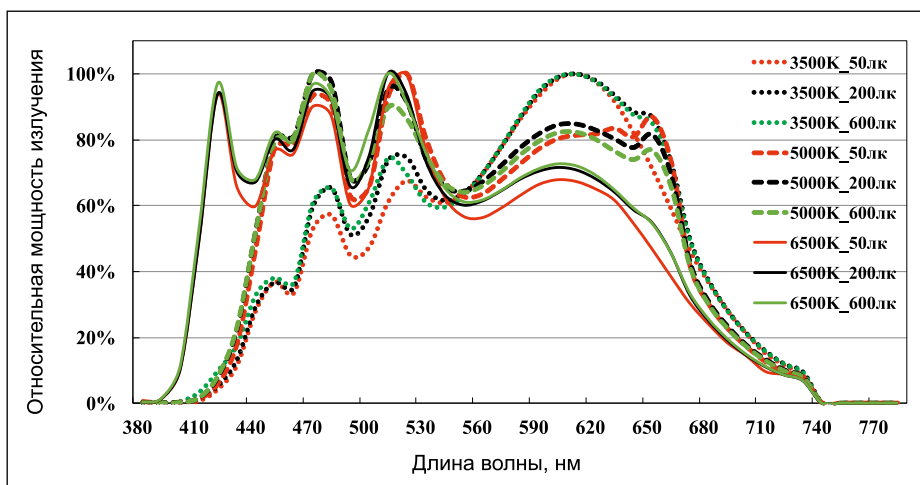


Рис. 3. Относительные спектральные распределения мощности излучения экспериментальных источников света

КЦТ (3500, 5000 и 6500 К) и могли обеспечить три уровня освещённости (50, 200 и 600 лк). Для калибровки этих спектров использовался спектрофотометр *X-Rite il Pro 2*. Спектральные распределения мощности излучения источников света приведены на рис. 3. Были рассчитаны как колориметрические характеристики экспериментальных источников света, так и некоторые типичные параметры, характеризующие качество цвета (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что характеризующие качество цвета параметры источников света, имеющих одну и ту же КЦТ, не противоречат друг другу. Поэтому расхождение результатов, полученных при разных уровнях E , можно отнести на счёт различий именно в E . В то же время, обратите внимание на то, что значения Duv , соответствующие имеющим одну и ту же КЦТ источникам света, не вполне согласуются друг с другом, что связано с ограниченностью возможностей умного осветительного прибора. А именно, при настройке источников света с целью обеспечения согласованности характеризующих качество цвета параметров, эти значения Duv оказались наилучшими из всех, которые удалось обеспечить при помощи нашего осветительного прибора. Мы считаем, что столь небольшими несовпадениями значений Duv (~ 0,002) можно пренебречь по сравнению с большими изменениями КЦТ (~ 1500 К). Кроме того, значения общего индекса цветопередачи оказались не меньшими, чем 90, а это говорит о том, что формы участков, охватываемых цветовыми гаммами (*gamut shapes*) [16] этих источников света являются нормальными и также согласуются друг с другом.

2.2. Подход к проведению исследований

В качестве экспериментальных объектов использовались шесть выполненных в виде птиц искусственных декоративных объектов, имеющих одинаковую форму и размеры (примерно 10 x 37 x 28 см). Эти птицы были окрашены в следующие умеренно насыщенные цвета: красный (К), зелёный (З), синий (С), жёлтый (Ж), чёрный (Ч) и белый (Б). Их коэффициенты отражения были измерены при помощи калиброванного спек-

Колориметрические характеристики экспериментальных источников света

Характеристика*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уровень E , лк	50	200	600	50	200	600	50	200	600
Уровень $T_{ц}$, К	3500	3500	3500	5000	5000	5000	6500	6500	6500
Измеренная E , лк	52	203	603	48	210	600	52	204	602
Измеренная КЦТ, К	3412	3523	3529	4956	5005	5102	6624	6520	6604
Duv	0,0032	0,0036	0,0012	0,0031	0,0011	0,0014	0,0036	0,0011	0,0012
$CRI (R_a)$	91	92	92	90	90	90	95	93	93
GAI	59	62	65	88	90	90	101	101	102
$Q_a (9.0.3)$	91	90	91	90	92	92	94	94	93
$Q_f (9.0.3)$	91	90	91	89	92	92	93	93	92
$Q_g (9.0.3)$	92	93	94	99	99	99	102	101	101
$Q_p (7.4)$	90	90	91	91	94	94	96	96	95
CRI2012	92	92	93	91	91	94	97	97	97
MCRI	89	89	89	91	91	91	90	90	90
R_f	87	87	88	86	86	87	94	94	93
R_g	93	93	94	98	97	97	101	101	101
GVI	80	81	81	91	89	89	92	90	90

* Duv: расстояние от точки на графике цветностей, соответствующей рассматриваемому объекту, до линии чёрного тела; CRI – общий индекс цветопередачи МКО [20]; GAI: Индекс площади цветовой гаммы (*Gamut Area Index*) [21], CQS (Q_a , Q_f , Q_p , Q_g): Шкала качества цвета [22], CRI2012: Модернизированный вариант CRI [50], MCRI: Запомненный индекс цветопередачи (*Memory Colour Rendering Index*) [51], R_f и R_g : Метрики, предложенные в *IESNA TM-30* [52], GVI: Индекс объёма цветовой гаммы (*Gamut Volume Index*) [19]

рофотометра *X-Rite SpectroEye*. Спектральные коэффициенты отражения этих матовых объектов и их координаты цветности в равноконтрастном цветовом пространстве *SAM16-UCS* [53] приведены, соответственно, на рис. 4 и 5. Следует отметить, что в этой работе мы не использовали естественные или привычные объекты (например, фрукты и овощи), так как в этом случае не удастся подобрать объекты одинаковой формы и размеров, но разного цвета. Ещё одна причина отказа от хорошо известных объектов связана с тем, что на сделанные наблюдателями оценки может повлиять их цветовая память [54]. Например, при оценке цвета яблока может оказаться так, что предпочтение будет отдано красному яблоку, тогда как синее яблоко восторга не вызовет.

В проведении исследований приняли участие двадцать наблюдателей, 10 мужчин и 10 женщин. Все они были студентами Уханьского университета возрастом от 17 лет до 21 года (средний возраст – 19, 1 лет). Все наблюдатели выдержали тест на дальтонизм Ишихары. До тестирования никто из них не знал о целях проводящихся исследований.

Для количественного выражения цветовых предпочтений использовалась 7-балльная оценочная шкала. Наблюдателей просили сделать оценки –3, –2, –1, 0, 1, 2 или 3, соответствующие оценкам «очень не нравится», «умеренно не нравится», «слегка не нравится», «безразлично», «слегка нравится», «умеренно нравится» и «очень нравится». При одном и том же уровне освещённости наблюдатели дважды оценивали выбранную комби-

нацию E и КЦТ; при этом наблюдатели не знали, какой уровень освещённости они воспринимали. Это было сделано для того, чтобы количественно определить внутреннюю вариативность каждого из наблюдателей.

2.3. Порядок проведения исследований

После прибытия, участников просили подписать согласие и пройти тест

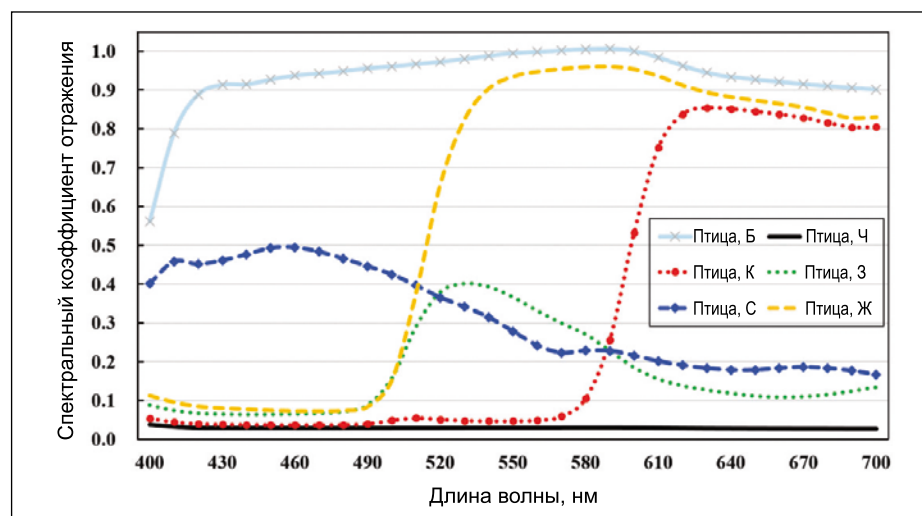


Рис. 4. Спектральные коэффициенты отражения экспериментальных объектов (искусственные птицы разного цвета)

Таблица 2

Среднеквадратичные отклонения оценок цветовых предпочтений для разных комбинаций E и КЦТ и разных цветов объектов

Объект	50 лк			200 лк			600 лк		
	3500 К	5000 К	6500 К	3500 К	5000 К	6500 К	3500 К	5000 К	6500 К
Птица, Ч	1,63	1,58	1,51	1,24	0,94	1,06	1,74	0,92	1,19
Птица, Б	1,33	1,18	1,12	1,72	0,98	0,97	1,44	1,05	1,41
Птица, К	1,52	1,16	1,20	1,69	1,09	1,44	1,53	1,36	1,79
Птица, Ж	1,39	1,11	1,16	1,50	1,09	1,28	1,69	1,23	1,53
Птица, С	1,22	1,37	1,30	1,06	0,80	1,02	1,26	0,99	1,37
Птица, З	1,13	1,19	1,34	1,39	1,03	0,99	1,49	1,10	1,44

Ишихары. Затем экспериментатор просил прошедших отбор наблюдателей надеть серые халаты, что исключало попадание на объекты цветных лучей, отражённых от цветной одежды наблюдателей.

Подведя наблюдателя к камере, экспериментатор просил его отрегулировать высоту стула таким образом, чтобы обеспечить невозможность наблюдения расположенного в камере осветительного модуля. Затем выключали общее освещение, так чтобы экспериментальное освещение оказалось единственным освещением тёмного в других отношениях помещения. Затем экспериментатор зачитывал наблюдателю инструкции и просил его озвучивать свою реакцию в ходе проведения исследований. Этот порядок был разработан для того, чтобы исключить влияние отражённого света на зрительную адаптацию наблюдателя, что могло бы иметь место, если бы наблюдатель должен был записывать свои ответы на белой бумаге.

Так как переадаптация от высокой освещённости к низкой занимает много времени, то при проведении этих исследований вначале оценивались источники света, обеспечивающие низкие уровни освещённости E (50 лк), после чего оценивались источники света, обеспечивающие средние (200 лк), а затем высокие (600 лк) уровни освещённости. В рамках подгруппы с постоянным значением E , различные значения КЦТ и цветные объекты выбирались случайным образом и уравнивались между наблюдателями. В самом начале каждому наблюдателю предоставлялась 1 мин для адаптации к первоначальному освещению, которое случайным обра-

зом выбиралось из вариантов, обеспечивающих освещённость 50 лк. Затем для ознакомления наблюдателя с процессом проведения оценок, проводилась тренировка с использованием случайно выбранной птицы.

После тренировки начинались непосредственно исследования с использованием подгруппы источников света, обеспечивающих освещённость 50 лк. При выбранной случайным образом КЦТ наблюдатель должен был сначала дать свою визуальную оценку цветовой предпочтительности применительно к пустой камере, а затем применительно к 6 цветным птицам (по одной, в случайной последовательности). При смене источника света наблюдатели должны были держать глаза закрытыми в течение примерно 30 с, что позволяло исключить влияние кратковременной памяти, в которой сохранялись предшествующие условия освещения. Это время «очистки памяти» было определено на основе результатов наших предшествующих исследований цветовых предпочтений, которые проводились при различных КЦТ [11, 13]. Затем наблюдатель должен был открыть глаза и в течение 1 мин смотреть на пустую освещённую камеру. После этой хроматической адаптации экспериментатор просил наблюдателя оценить его цветовое предпочтение применительно к освещённой камере, а затем и применительно к цветным птицам. На проведение каждой оценки наблюдателю предоставлялось столько времени, сколько ему требовалось.

После того, как наблюдатель заявлял об окончании процесса оценки (применительно к последней птице)

и подтверждал полученные результаты, условия освещения изменяли. При этом, после завершения всех исследований, проводившихся при постоянной освещённости, наблюдателю давалась 1 мин на «очистку памяти» (с закрытыми глазами) и 2 мин для полной адаптации к новому уровню освещённости пустой камеры. Затем описанный выше процесс проведения зрительных оценок повторялся для всех комбинаций E и КЦТ. На всю серию исследований у наблюдателя уходило примерно 100 мин.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Изменчивость результатов, полученных одним и разными наблюдателями

Для количественной оценки изменчивости результатов, полученных разными наблюдателями, были рассчитаны среднеквадратичные отклонения сделанных ими оценок цветового предпочтения (табл. 2). Как следует из таблицы, среднеквадратичные отклонения, рассчитанные применительно к разным объектам, не противоречат друг другу. Эти результаты также согласуются с результатами нашего предыдущего исследования, проведённого в аналогичных условиях, в которых использовались эти же 7-балльные оценки [2, 11, 13, 14, 55].

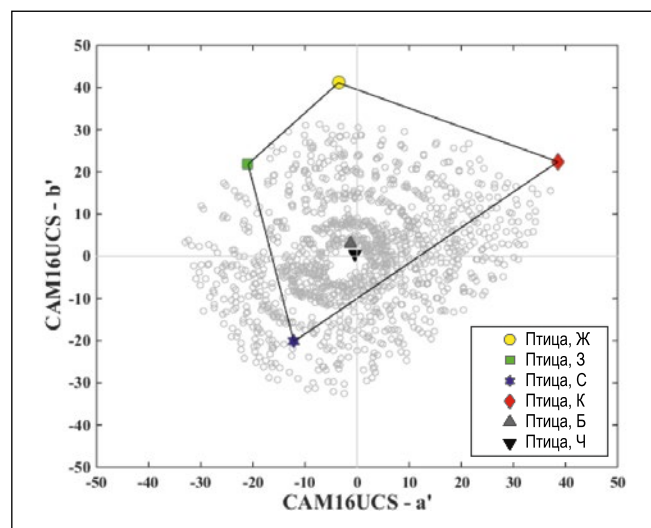
Количественная оценка изменчивости результатов, полученных одним наблюдателем, осуществлялась методом абсолютных разностей, который использовался в наших предшествующих работах [1, 2, 11, 13]. Как описано выше, в процессе проведения исследований наблюдатели должны были дважды оценить выбранную случайным образом комбинацию E и КЦТ (применительно к каждому объекту), о чём их не оповещали. Если абсолютная разность двух оценок превышала 2 (например, -3 в первый раз и 0 во второй раз), то эту пару оценок классифицировали как аномальные данные. Затем изменчивость результатов, полученных одним наблюдателем, описывалась отношением количества аномальных данных к общему количеству данных. В случае этого исследования среднее значение этого параметра было равно 9 %, что попадает в пределы диапазона средних значений, полученных в предыдущих исследованиях (3–17 %).

Было установлено, что изменчивость результатов, полученных одним наблюдателем в случае менее светлых объектов (чёрного, синего или зелёного (см. рис. 4)), составляла 15–20 % и была выше, чем в случае более светлых объектов (белого, красного и жёлтого), для которых изменчивость результатов, полученных одним наблюдателем, была гораздо ниже (0–5 %). Этот результат навёл нас на мысль ещё раз обратиться к нашему предыдущему исследованию цветовых предпочтений в случае джинсов, в котором предпочтения в части КЦТ рассматривались применительно к 7 парам джинсов с разным градиентами цвета [1]. Что интересно, в упомянутом исследовании было установлено, что в случае менее светлых джинсов также наблюдалась большая изменчивость результатов, полученных одним наблюдателем. Из этого следует, что на изменчивость результатов, полученных одним наблюдателем, возможно, влияет то, насколько светлым был объект наблюдения. Ещё один результат заключался в том, что изменчивость результатов, полученных одним наблюдателем, была также связана со степенью знакомства наблюдателя с объектом. В случае знакомых наблюдателя объектов эта величина была более низкой (джинсы: 4,8 и 6,2 % [1, 2]; фрукты и овощи: 3,3 % [1]; картина маслом с приморским пейзажем: 5,6 % [13]; чёрный и белый объекты: 6,7 % [1]), тогда как в случае незнакомых объектов она была более высокой (искусственные цветы: 16,6 % [13]; репродукция старинной фрески: 15 % [13]). Что касается изменчивости результатов, полученных разными наблюдателями, то влияние как того, насколько светлым был объект наблюдения, так и степени знакомства с этим объектом выявлено не было.

3.2. Общий анализ

Общие результаты данного исследования, которые приведены на рис. 6, позволяют утверждать, что при некоторых условиях действительно наблюдается тенденция к различию оценок, сделанных мужчинами и женщинами. Например, очевидно, что при освещённостях 200 и 600 лк женщины дают более высокие оценки, чем мужчины, тогда как при 50 лк результаты не столь очевидны. Если же рассмотреть оценки, данные при 5000

Рис. 5. Координаты цветности экспериментальных объектов (искусственные птицы разного цвета) в пространстве CAM16-UCS при 50 лк и 3500 К. Разбросанные серые точки соответствуют матовым цветовым образцам атласа цветов Манселла



и 6500 К, то оказывается, что женщины предпочитают 6500 К независимо от освещённости, тогда как в случае мужчин подобная тенденция не наблюдается. Поэтому представляется, что женщины больше нуждаются в сильном и более белом освещении, что справедливо по меньшей мере для рассматривавшихся в данной работе условий. Кроме того, так как согласно табл. 1 источники света, имеющие одинаковые КЦТ, имеют и схожие характеристики цветопередачи, то приведённые на рис. 6 данные иллюстрируют ещё и влияние освещённости при предпочтительном значении КЦТ.

Для рассмотрения влияния КЦТ, пола и цвета объекта на цветовые предпочтения, соответствующие каждому значению освещённости, был использован многофакторный дисперсионный анализ (*MANOVA*). Полученные результаты показали, что при 50 лк существенным является только влияние КЦТ ($F = 29,087, p < 0,001$), тогда как при 200 и 600 лк оценки цветовых предпочтений существенно зависят как от КЦТ (200 лк: $F = 54,697, p < 0,001$; 600 лк: $F = 31,653, p < 0,001$), так и от пола (200 лк: $F = 5,276, p < 0,05$; 600 лк: $F = 11,669, p < 0,05$). Помимо этого, проведённые впоследствии сравнительные исследования показали, что при 50 лк наблюдается существенное различие ($p < 0,05$) между любыми двумя из трёх КЦТ, тогда как при 200 и 600 лк существенное различие ($p < 0,05$) наблюдается только между 3500 К и как 5000 К, так и 6000 К. Эти результаты хорошо согласуются с результатами, приведёнными на рис. 6, и подтверждают наши прежние наблюдения. Кроме того, результаты этого анализа

не зависят сколь-нибудь существенным образом от цвета объекта при любом значении освещённости.

В то же время, следует отметить, что некоторые использовавшиеся в данной статье выражения, такие как «предпочтительная КЦТ» или «КЦТ влияет на цветовые предпочтения», теоретически нельзя считать точными, так как с точки зрения колориметрии одной и той же КЦТ соответствуют многочисленные спектральные распределения мощности излучения, и на восприятие цвета влияет ещё и цветопередача источников света, характеризующаяся соответствующими параметрами, которые приведены в табл. 1. Это не позволяет считать, что полученные в данной работе результаты остаются справедливыми во всех случаях.

Однако обратите, пожалуйста, внимание на то, что с точки зрения практического применения обсуждение этого вопроса представляется полезным по очевидной причине: КЦТ является одной из наиболее важных характеристик источника света, и неквалифицированным пользователям очень часто приходится делать выбор между источниками света с разными КЦТ и разными показателями цветопередачи. Фактически, согласно результатам проведённых недавно исследований «предпочтительных КЦТ» [1, 11, 13, 56–58], несмотря на то, что экспериментальные источники света, использовавшиеся при проведении этих исследований, имели разные показатели цветопередачи, наблюдатели в целом неизменно предпочитают КЦТ в диапазоне от 4500 до 5500 К, и им не нравится цветопередача, обеспечиваемая источниками света

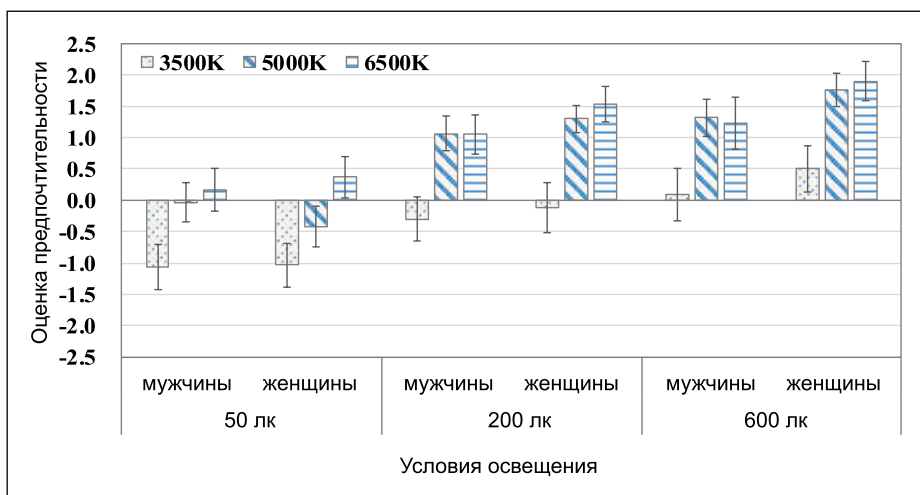


Рис. 6. Средние оценки предпочтительности цветов шести экспериментальных объектов (искусственные птицы разного цвета) для людей разного пола при разных комбинациях E и КЦТ. «Усы» обозначают 95 % доверительный интервал

с низкими (2500–3500 К) и высокими (превышающими 6000 К) значениями КЦТ. Такое постоянство несомненно подтверждает использовавшийся в данной работе подход к проведению исследований, и, на наш взгляд, его можно объяснить корреляцией между КЦТ и показателями цветопередачи источников света. То есть, несмотря на то, что КЦТ не оказывает непосредственного влияния на восприятие цвета, она чрезвычайно хорошо коррелирует с многими показателями цветопередачи [59], вследствие чего она оказывает некоторое или даже существенное «влияние» на восприятие цвета.

3.3. Гендерные различия при одной и той же комбинации E и КЦТ

На рис. 6 хорошо видно, что гендерные различия цветовых предпочтений зависят от комбинации E и КЦТ. Так что тот же самый основанный на *MANOVA* подход был применён к данным, полученным для всех комбинаций E и КЦТ. Полученные результаты говорят о том, что существенные гендерные различия ($p < 0,05$) наблюдались при комбинациях 200 лк + 6500 К, 600 лк + 5000 К и 600 лк + 6500 К, в то время как при других комбинациях E и КЦТ существенных различий не было. Кроме того, существенное влияние цветов объектов на цветовые предпочтения ($p < 0,05$) наблюдаются только в случае 200 лк + 6500 К, и проведённые впоследствии сравнительные исследования показали, что при этом оценки восприятия си-

ней птицы существенно ($p < 0,05$) отличаются от оценок восприятия чёрной, красной и зелёной птиц, и это же можно сказать о различии оценок восприятия белой и синей птиц ($p < 0,05$). Более того, хотя согласно результатам *MANOVA* при 50 лк + 6500 К объект оказывает незначительное влияние, проведённые впоследствии сравнительные исследования продемонстрировали существенное ($p < 0,05$) различие оценок восприятия как чёрной и синей птиц, так и красной и синей птиц. Несмотря на вышеупомянутые результаты, нет никаких других существенных факторов, которые влияют на оценки цветовых предпочтений при всех комбинациях E и КЦТ.

Сравнение вышеупомянутых результатов проведено на рис. 7, на котором продемонстрированы гендерные различия оценок предпочтительности для разных комбинаций E и КЦТ и разных цветов объектов. На рисунке, во-первых, видно, что для всех сценариев с одним и тем же значением E , зависимости оценок предпочтительности от КЦТ имеют один и тот же характер независимо от объекта (3500 К не считают предпочтительными, тогда как 5000 и 6500 К считают относительно привлекательными). Этот результат подтверждает сделанный нами ранее вывод о том, что на цветовые предпочтения доминирующее влияние оказывает именно КЦТ [13].

Как видно на рис. 7, в случаях 200 лк + 6500 К, 600 лк + 5000 К и 600 лк + 6500 К, сделанные мужчинами оценки птиц разных цветов оказались относительно разбросанными, тогда как сделанные женщинами оцен-

ки оказались относительно сконцентрированными. Это объясняет, почему *MANOVA* продемонстрировала существенные гендерные различия, о которых говорилось выше. Аналогичным образом, хотя *MANOVA* это и не подтвердила ($p > 0,05$), на рис. 7 также видно, что при низком значении КЦТ (3500 К) сделанные женщинами оценки оказались относительно разбросанными, тогда как сделанные мужчинами оценки оказались относительно сконцентрированными. Исходя из [34] и [60], мы полагаем, что эти результаты можно объяснить обусловленной процессом эволюции биологической долговременной адаптацией зрительной системы человека. То есть, согласно теории появления отличий между охотниками и собирателями, мужчины более приспособлены к жизни на открытом воздухе в дневных условиях с высокими КЦТ, тогда как женщины более приспособлены к жизни в домашних условиях с низкими КЦТ (например, при свете костра). Так что зрение мужчин биологически более адаптировано к высоким КЦТ, и их реакция на разные цвета оказывается разбросанной, тогда женщины более адаптированы к низким КЦТ и поэтому оказываются более чувствительными при оценке цветов именно в этих условиях.

3.4. Влияние цветов объектов

Как отмечалось выше, в условиях 50 лк + 6500 К оценки в случае синей птицы существенно отличаются от оценок в случаях чёрной и красной птиц. В условиях 200 лк + 6500 К то же самое наблюдалось при сравнении результатов, полученных в случае синей птицы, с результатами, полученными в случаях чёрной, красной и зелёной птиц, а также при сравнении результатов, полученных в случаях белой и красной птиц. На основании рис. 7 можно сделать вывод, что эти результаты в большой степени обусловлены оценками, данными мужчинами, что указывает на необходимость рассмотрения влияния цвета объекта при проводящихся нами исследованиях гендерных различий.

Для рассмотрения влияния гендерных различий на оценки цветовых предпочтений, проводящихся при заданной комбинации E и КЦТ и применительно к птице определённого цвета, был использован t -критерий Стью-

дента. Было установлено, что в случае 50 лк + 5000 К оценки, сделанные мужчинами и женщинами применительно к синей птице, существенно отличались друг от друга ($p < 0,05$), и на рис. 7 видно, что оценки, сделанные мужчинами, существенно выше оценок, сделанных женщинами. Аналогичный результат можно наблюдать и в случае 50 лк + 6500 К (для синей птицы), хотя он и не был статистически подтверждён t -критерием Стьюдента ($p = 0,094$). В то же время, было установлено, что в при 200 лк + 6500 К всё ещё наблюдаются существенные гендерные различия оценок красной птицы ($p < 0,05$), однако в этом случае сделанные женщинами оценки оказались выше. Фактически, подобные различия наблюдаются на рис. 7 и в случае 600 лк + 6500 К, но они не являются существенными с уровнем достоверности 10 % ($p = 0,115$). Несмотря на вышеупомянутые результаты, мы допускаем наличие гендерных различий и в других случаях (например, 200 лк + 6500 К + чёрная птица, $p = 0,063$; 600 лк + 3500 К + жёлтая птица, $p = 0,070$; 200 лк + 3500 К + зелёная птица, $p = 0,086$; 200 лк + 5000 К + зелёная птица, $p = 0,090$), которые отражены на рис. 7, но не удовлетворяют t -критерию Стьюдента ($0,05 < p < 0,1$). Эти предположения нуждаются в подтверждении, для чего потребуются дальнейшие исследования с большим количеством наблюдателей.

Кроме того, были рассмотрены различия в оценках, сделанных представителями одного пола применительно к объектам разного цвета. Рис. 7 и t -критерий Стьюдента говорят о наличии очень интересных результатов. А именно, при 600 лк + 3500 К оценки, данные женщинами в случае жёлтой птицы, существенно выше ($p < 0,01$) оценок, данных ими в случаях синей и чёрной птиц, тогда как при 50 лк + 6500 К оценки, данные мужчинами в случае синей птицы, симметрично существенно выше ($p < 0,05$) оценок, данных ими в случаях всех остальных птиц. Более того, в случае 50 лк + 5000 К мужчины явно предпочитают синюю птицу (по сравнению с красной и зелёной птицами, $p < 0,05$), а при 200 лк + 6500 К оценки, сделанные ими в случаях синей и белой птиц, существенно выше оценок, сделанных в случаях чёрной, красной и зелёной птиц ($p <$

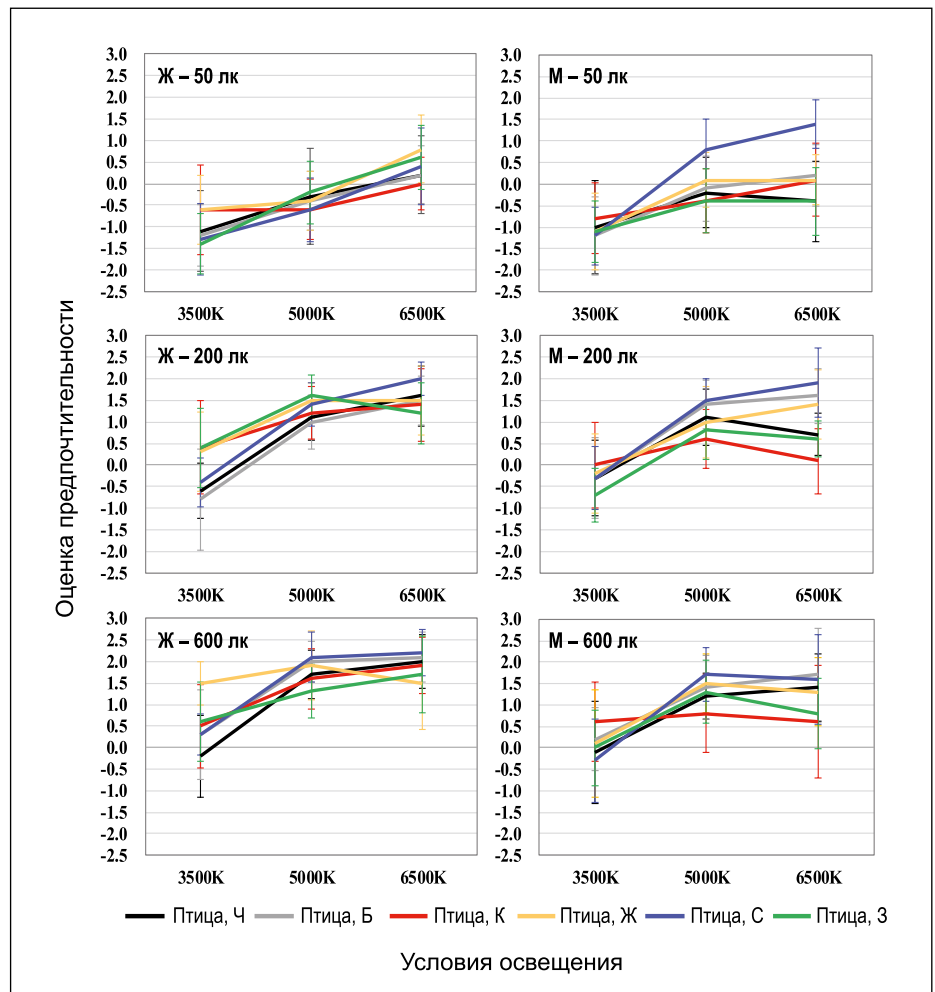


Рис. 7. Гендерные различия в оценках предпочтительности цветов для разных комбинаций E и КЦТ и разных цветов объектов. «Усы» обозначают 95 % доверительный интервал

0,05). Очевидно, что эти результаты отражают влияние цвета объекта на гендерные различия в случае предпочтительной комбинации E и КЦТ. При рассмотрении связанных с гендерными различиями вопросов следует учитывать и этот фактор.

4. Заключение

В данной работе применительно к шести одноцветным декоративным объектам, имеющим форму птиц, при трёх уровнях освещённости были определены предпочтительные значения КЦТ. Основным результатом этой работы можно считать подтверждение наличия гендерных различий при одной и той же комбинации E и КЦТ. Исходя из этих результатов, мы рекомендуем, чтобы при проведении дальнейших исследований количества участвующих в них мужчин и женщин были одинаковыми или, по меньшей мере, сопоставимыми, так как несбалансированное количество наблюдате-

лей мужского и женского пола может привести к смещению получаемых результатов, особенно в некоторых крайних случаях.

В то же время, во избежание неправильных выводов, следует отметить, что в этом предварительном исследовании учитывалась лишь небольшая часть параметров, характерных для большого многомерного мира. Дальнейшие исследования в этой области следует проводить с учётом многих воздействующих факторов, включающих в себя параметры, характеризующие цветопередачу источников света, культурные или региональные различия, диапазон значений освещённости и возможное разнообразие объектов исследований.

Эта работа финансировалась Китайским национальным фондом научных исследований (проект № 61505149) и проектом «Молодые таланты» г. Ухань, Китай (проект № 2016070204010111).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang, Z., Liu, Q., Pointer, M.R., Luo, M.R., Wu, B., Liu, A. White lighting and colour preference, part A: correlation analysis and metrics validation based on four groups of psychophysical studies // *Lighting Research & Technology*. – 2020. – Vol. 52, No. 1. – P. 5–22.

2. Huang, Z., Liu, Q., Liu, Y., Pointer, M.R., Luo, M.R., Wang, Q., Wu, B. Best lighting for jeans, Part 1: Optimizing colour preference and colour discrimination with multiple correlated colour temperatures // *Lighting Research & Technology*. – 2019. – Vol. 51, No. 8. – P. 1208–1223.

3. Khanh, T., Bodrogi, P., Guo, X., Anh, P.Q. Towards a user preference model for interior lighting Part 1: Concept of the user preference model and experimental method // *Lighting Research & Technology*. – 2019. – Vol. 51, No. 7, p. 147715351881646.

4. Khanh, T., Bodrogi, P., Vinh, Q., Stojanovic, D. Colour preference, naturalness, vividness and colour quality metrics, Part 1: Experiments in a room // *Lighting Research & Technology*. – 2017. – Vol. 49, No. 6. – P. 697–713.

5. Dangol, R., Islam, M. S., Hyvärinen, M., Bhusal, P., Puolakkka, M., Halonen, L. User acceptance studies for LED office lighting: Preference, naturalness and colourfulness // *Lighting Research & Technology*. – 2015. – Vol. 47, No. 1. – P. 36–53.

6. Dugar, A. M., Agarwal, D. A PILOT STUDY ASSESSING SHORT-TERM CHROMATIC ADAPTATION PREFERENCES FOR CORRELATED COLOUR TEMPERATURE IN INDIA // *Light & Engineering*. – 2019. – Vol. 27, No. 1. – P. 38–45

7. Дугар А.М., Агарвал Д. Предварительная оценка предпочтений жителей Индии в части коррелированной цветовой температуры при кратковременной хроматической адаптации. *Светотехника* // 2018. – № 4. – С. 26–32.

8. Ohno, Y., Fein, M., Miller, C. Vision experiment on chroma saturation for colour quality preference // *Light and Engineering*. – 2015. – Vol. 23, No. 4. – P. 6–14.

9. Миллер К., Оно Ё., Фейн М. Зрительный эксперимент по определению предпочтительной насыщенности цвета. *Светотехника* // 2015. – № 4. – С. 12–18.

10. Huang, Z., Liu, Q., Luo, M. R., Pointer, M. R., Wu, B., Liu, A. The whiteness of lighting and colour preference, Part 2: A meta-analysis of psychophysical data // *Lighting Research & Technology*. – 2019. – Vol. 52, No. 1. – P. 23–35.

11. Liu, Q., Huang, Z., Pointer, M. R., Luo, M. R., Xiao, K., Westland, S. Evaluating colour preference of lighting with an empty light booth // *Lighting Research & Technology*. – 2018. – Vol. 50, No. 8. – P. 1249–1256.

12. Jost-Boissard, S., Fontoynt, M., Blanc-Gonnet, J. Perceived lighting quality of LED sources for the presentation of fruit and vegetables // *Journal of Modern Optics*. – 2009. – Vol. 56, No. 13. – P. 1420–1432.

13. Huang, Z., Liu, Q., Westland, S., Pointer, M. R., Luo, M. R., Xiao, K. Light dominates colour preference when correlated colour temperature differs // *Lighting Research & Technology*. – 2018. – Vol. 50, No. 7. – P. 995–1012.

14. Tang, Y., Lu, D., Xun, Y., Liu, Q., Zhang, Y., Cao, G. In: The influence of individual color preference on LED lighting preference // 49th Conference of the International Circle of Education Institutes for Graphic Arts Technology and Management (IC) and 8th China Academic Conference on Printing and Packaging, 2017, May 14, 2017 – May 16, 2017, Beijing, China, Springer Verlag: Beijing, China, 2018, pp. 77–87.

15. Lin, Y., Wei, M., Smet, K., Tsukitani, A., Bodrogi, P., Khanh, T.Q. Colour preference varies with lighting application // *Lighting Research and Technology*. – 2017. – Vol. 49, No. 3. – P. 316–328.

16. Wei, M., Houser, K., David, A., Krames, M. Colour gamut size and shape influence colour preference // *Lighting Research & Technology*. – 2017. – Vol. 49, No. 8. – P. 992–1014.

17. Wei, M., Houser, K.W. What Is the Cause of Apparent Preference for Sources with Chromaticity below the Blackbody Locus? // *LEUKOS*. – 2016. – Vol. 12, No. 1–2. – P. 95–99.

18. Liu, A., Tuzikas, A., Zukauskas, A., Vaicekauskas, R., Vitta, P. I., Shur, M. Cultural preferences to color quality of illumination of different artwork objects revealed by a color rendition engine // *Photonics Journal, IEEE*. – 2013. – Vol. 5, No. 4. 6801010–6801010.

! Полный список литературы (60 пунктов) депонирован в редакции.



Чжэн Хуан (Zheng Huang), M. Eng. Окончил Уханьский университет. В настоящее время обучается в магистратуре Уханьского университета. Автор более 20 статей в журналах и докладов на конференциях. Область научных интересов: светотехника, колориметрия и наука о цвете



Цян Лю (Qiang Liu), Ph.D. Доцент Уханьского университета, член технического комитета Отделения 1 МКО. Автор более 60 публикация и 20 патентов в областях воспроизведения цвета и СД

освещения. Область научных интересов: цвет, освещение и зрительное восприятие



Ин Лю (Ying Liu), B.S. Студентка Уханьского университета (с 2016 г.). Автор 6 статей в журналах и докладов на конференциях. Область научных интересов: качество цвета источников света с упором на цветовые предпочтения и различие цветов



Майкл Р. Пойнтер (Michael R. Pointer), Ph.D. Внештатный профессор Лидского университета и технический советник Университета провинции Чжэнцзян, Ханчжоу, Китай. Соавтор книги «Measuring Colour» (вышли четыре издания).



Петер Бодроги (Peter Bodrogi), Ph.D., Dr. Sc. Окончил Университет им. Лорана Этвюша (Будапешт). Научный сотрудник Дармштадского технического университета. Область научных интересов:

светотехника, освещение в условиях сумеречного зрения, колориметрия, наука о цвете, зрительная оптимизация дисплеев и СД осветительных установок



Тран Куок Кхан (Tran Quoc Khanh), Ph.D., Dr. Sc., профессор. Окончил технический университет Ильменау. Декан факультета электротехники и информационных технологий Дармштадтского

технического университета. Председатель проводящихся в Дармштадте международных симпозиумов по автомобильному освещению (ISAL), член нескольких технических комитетов МКО. Автор целого ряда книг, научных публикаций и патентов в области светотехники. Область научных интересов: СД освещение



Аньцин Лю (Anqing Liu), Ph.D. Научный сотрудник компании Chromatech Lighting Limited, Шэньчжэнь, Китай. Член технического комитета Отделения 1 МКО. Область научных интересов: цвет и отображение,

ориентированное на человека освещение и прикладная оптика