

## **КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РИСУНКОВ: АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ И СРАВНЕНИЕ С ТЕСТОМ ЛЮШЕРА**

**А.И. Митин, А.А. Мусин**

В статье предложен метод колориметрического анализа рисунков, позволяющий выполнить обоснованную кластеризацию цветов изображения, соизмеримую с цветовым составом сокращенного варианта теста Люшера. Для разработанного метода создана информационная технология и компьютерная программа автоматизированной кластеризации цветов, работающая с отсканированным рисунком испытуемого. Предложена методика статистического анализа ранговой корреляции результатов колориметрической кластеризации и теста Люшера, основанная на использовании коэффициента конкордации Кендалла. Показано существование статистически значимой корреляции между результатами теста Люшера и предпочтениями выбора палитры рисунка человеком.

---

In article the method of the colorimetric analysis of drawings allowing to execute reasonable clusterization of colors of the drawings, commensurable with color structure of the reduced version of the Lüscher color test is offered. For the developed method the information technology and the computer program of the automated clusterization of colors working with the scanned drawing of the examinee is created. The technique of the statistical analysis of rank correlation of results of colorimetric clusterization and Lüscher color test based on use of the Kendall's coefficient of concordance is offered. Existence of statistically significant correlation between results of Lüscher color test and preferences of a choice of a palette of drawing by the person is shown.

---

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Анализ цвета, колориметрия, тест Люшера, цветовая система, распознавание образов, автоматизированная кластеризация, ранговая корреляция, коэффициент конкордации Кендалла.

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

Колориметрические исследования в психологии (цветодиагностика, исследование психосемантики цвета и т.п.) часто применяются для анализа психических особенностей детей и для определения общего психического состояния человека вообще. В частности, в гештальт-анализе есть методика исследования [1], в котором рисунок испытуемого анализируется исследователем с целью определения текущего состояния сознания и подсознания, подавленных сторон его личности и т.п. Этот анализ включает в себя изучение того, как испытуемый рисовал, как готовился к тесту, с какой позиции наблюдателя изображена сцена; разумеется, анализируется и цветовой состав рисунка.

Как пример практического использования цветодиагностики, можно привести *методику цветowych выборов*, изобретённую швейцарским психологом Максом Люшером

[2]. Эта методика является во многом уникальной, поскольку утверждает возможность диагностики рецептивно-директивных и вариабельно-константных структур мотивации поведения личности исключительно на основе цветовых предпочтений человека практически без каких либо контекстных ограничений. В оригинальном тесте Люшера респондентам предлагается осуществить выбор цветов, представленных в виде соответствующих равномерно раскрашенных карточек, цвета которых достаточно четко обозначены [2, 3]. В тоже время достаточно разумно предположить, что форма выбора цветов вполне может быть иной. Например, в работе [4] было показано, что цветовые предпочтения пар цветов мало зависят от способа их предъявления (с помощью карточек, свободное рисование и опросники).

В данной статье рассматривается теоретическая связь результатов теста Люшера и колориметрического анализа цветового состава изображений испытуемых путем проведения соответствующего эксперимента и статистического анализа полученных данных.

Новизна исследования выражается в следующем:

1. Разработан метод колориметрического анализа изображений испытуемых, позволяющий выполнить обоснованную кластеризацию цветов изображения, соизмеримую с цветовым составом сокращенного варианта теста Люшера.

2. Для разработанного метода создана информационная технология и компьютерная программа автоматизированной кластеризации цветов, работающая с отсканированным рисунком испытуемого.

3. Предложена методика статистического анализа ранговой корреляции результатов колориметрической кластеризации и теста Люшера, основанная на использовании коэффициента конкордации Кендалла.

4. С использованием предложенной методики статистического анализа проведено экспериментальное исследование корреляции между результатами теста Люшера и предпочтениями выбора палитры рисунка человеком.

## 2. ГИПОТЕЗА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе представления о том, что цветовые предпочтения мало зависят от способа их предъявления [4] выдвигается гипотеза, что существует статистически значимая корреляция между результатами выбора цветов человеком при прохождении им теста Люшера и предпочтениями в использовании цветов во время рисования.

В случае существования такой корреляции появляется возможность предположить наличие соответствующей теоретической связи. На этой основе методика с использованием цветного рисования может быть использована вместе с теоретическими представлениями Люшера и его последователей для составления начального психологического портрет испытуемого. Важно, что в этом случае диагностика может быть сделана в более свободной форме и в менее фрустрирующей ситуации, чем в условиях специализированного тестирования. В частности, это является критическим в случае диагностики детей и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

При планировании эксперимента следует иметь в виду, что методика теста Люшера предполагает два выбора цветов: считается, что первый выбор отражает *желаемое* состояние испытуемого, второй – *фактическое* [2]. Таким образом, дополнительно следует проверить, с каким выбором цветов будет выше корреляция результатов сканирования рисунков.

Была собрана группа из восьми испытуемых. Все испытуемые находились в спокойном психофизиологическом состоянии и обстановке, не будучи под влиянием каких-либо психоактивных веществ. Возраст испытуемых колебался от 21 до 31 года. Каждому был предоставлен набор цветных карандашей (24 цвета), ластик и чистая белая писчая бумага.

Время на рисование было не ограничено, тематика изображения тоже. После завершения рисунка каждому испытуемому было предоставлено 5-7 минут для того, чтобы

отвлечься. После этого для каждого испытуемого был проведен сокращенный тест Люшера в компьютерной версии [3].

Все рисунки испытуемых были обработаны компьютерной программой (см. п. 3), определяющей преобладание тех или иных цветов в рисунке (из потенциальных 24-х) на основе определения количества пикселей, относящихся к тем или иным группам (разбивка на группы проводилась согласно основным цветам сокращенного теста Люшера).

Следует отметить, что при анализе не составлялось групп испытуемых, как при обычном проведении сокращенного теста Люшера, и считалось, что первый выбор (то есть ранжирование цветов по степени привлекательности) - желаемое состояние, а второй - фактическое. Предварительная оценка психофизиологического состояния испытуемых (типа теста САН) не проводилась.

### 3. АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЦВЕТА

Для точного определения количественного содержания цветов в изображении использовалась специальная программа, работающая по следующему алгоритму:

- вся существующая цветовая палитра RGB разбивается на восемь непересекающихся подгрупп в соответствии с группами теста Люшера (при этом палитра преобразовывается в цветовую схему Lab [5]), каждой подгруппе ставится в соответствие счетчик пикселей;

- проводится попиксельное считывание отсканированного изображения и проверка цвета каждого пиксела на попадание в одну из подгрупп;

- в случае принадлежности пиксела к подгруппе соответствующий счетчик увеличивается;

- после прохода по всему изображению выводится список подгрупп цветов с количеством попавших в них пикселей.

Программа редуцирует все возможные цвета рисунка до нескольких общих (эталонных) групп, соотношение которых будет соотношением цветовых диапазонов в изображении. Второй функцией программы является нахождение различия между исследуемым цветом и эталонным, а также определение меры этого различия или близости (задача кластеризации). В качестве эталонов цветовых групп выбраны восемь цветов сокращенного люшеровского теста цветовосприятия (синий, красный, зеленый, желтый, фиолетовый, коричневый, серый и черный) [3].

#### 3.1. Задача кластеризации

Для решения задачи кластеризации использовался метод построения эталонов, заимствованный из теории распознавания образов.

Для каждого класса объектов по обучающей выборке строится *эталон*, имеющий значения признаков

$$x^0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_N^0\}$$

где

$K$  – количество объектов данного образа в обучающей выборке,  $i$  – номер признака.

Можно считать, что эталон есть усредненный *абстрактный* объект, поскольку он может не совпадать не только ни с одним из объектов, используемых для обучения, но и с любым объектом генеральной совокупности.

Кластеризация по методу построения эталонов начинается с поступления на вход распознающей системы объекта  $\overleftarrow{x}^*$ , принадлежность которого к тому или иному образу неизвестна. Измеряется расстояние от него до эталонов всех образов, и система относит его к тому образу, расстояние до эталона которого минимально. Расстояние может измеряться по-разному, но, как правило, оно трактуется как расстояние в  $n$ -мерном евклидовом пространстве  $E^n$ , где  $n$  – количество признаков объектов.

Применительно к данной задаче вектором признаков цвета будет

$$\overleftarrow{x} = \{R, G, B\}$$

где  $R, G, B$  – координаты красной, зеленой и синей составляющей цвета в цветовом пространстве RGB соответственно.

Выбрано именно пространство RGB, так как хотя оно и не отображает все воспринимаемые человеком цвета, но в системах ввода изображения (сканерах), как правило, используется именно такой способ сохранения информации о цвете. Даже если выбрать другое, более «естественное» цветовое пространство, часть информации все равно будет утеряна, но придется использовать дополнительные формулы и сильно увеличится вычислительная сложность алгоритмов.

### 3.2. Переход между цветовыми пространствами

Исходя из постановки задачи, необходимо найти расстояние между двумя цветами. Для этого необходимо использовать специальный математический аппарат, поскольку использование евклидовой метрики вычисления расстояния между двумя точками в пространстве не будет адекватно отражать фактическое различие цветов ввиду нелинейности изменения цвета в пространстве RGB.

Проблема однозначного различения цветов уже поднималась Международной комиссией по освещению (МКО) и в принципе была решена, хотя являющиеся на данный момент стандартом формулы цветового различия основаны на эмпирических данных, а не на строгих математических выкладках. Это связано с весьма сложным механизмом восприятия цвета человеком и индивидуальными особенностями этого восприятия.

Для применения формул цветового различия необходимо перейти в другую систему цветовых координат (а именно Lab), в которой изменение цвета более линейно с точки зрения человеческого восприятия, чем в RGB. Однако прямой переход из RGB в Lab связан со значительными вычислительными сложностями, в связи с чем используется промежуточная цветовая система –цветовое пространство XYZ [6].

### 3.3. Преобразование RGB – XYZ

Математический аппарат перехода RGB – XYZ заключается в следующем [7]. На входе имеется цвет с координатами  $\{R, G, B\}$ , причем каждая из координат нормализована так, что находится в диапазоне  $[0;1]$ .

Далее производится *нормализация по гамме*

$$v = V^\gamma \text{ где } V \in \{R, G, B\}, v \in \{r, g, b\}$$

Для sRGB-модели (sRGB является стандартом представления цветового спектра с использованием модели RGB, созданным совместно компаниями HP и Microsoft в 1996 году для унификации использования модели RGB в мониторах, принтерах и Интернет-сайтах) нормализация по гамме происходит следующим образом:

$$v = \begin{cases} V/12.92 & V \leq 0.04045 \\ \left(\frac{V + 0.055}{1.055}\right)^{2.4} & V > 0.04045 \end{cases}$$

В общем случае преобразования выглядят следующим образом:

$$v = \begin{cases} 100V/k & V \leq 0.008 \\ \left(\frac{V + 0.16}{1.055}\right)^{2.4} & V > 0.008 \end{cases}$$

$$k = \begin{cases} 903.3 & \text{Актуальный стандарт МКО} \\ 24389/27 & \text{Изначальное значение} \end{cases}$$

После всех преобразований для перевода необходимо перемножить стандартную матрицу исходного цветового пространства и вектор нормализованного цвета:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

Для sRGB-пространства стандартная матрица  $[M]$  выглядит по-разному в зависимости от уровня освещенности. Чаще всего используется освещенность D65 [8], соответствующая стандартному источнику освещения, определенному МКО (интенсивность приблизительно равна 6500К). Для освещенности D65 стандартная матрица имеет вид

$$[M] = \begin{pmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{pmatrix}$$

После всех преобразований получается набор координат  $[X, Y, Z]$  в диапазоне  $[0.0; 1.0]$  с той же гамма-нормализацией и освещенностью D65. В случае, если необходима другая освещенность, существуют специальные алгоритмы пересчета [7].

### 3.4. Преобразование XYZ – Lab

Для преобразования XYZ – Lab необходимо знать *коррекционные значения* (англ. reference white) стандартной освещенности  $X_r, Y_r, Z_r$ , то есть такое сочетание хроматических координат, которое позволяет определить «белый» цвет для изображения. К примеру, для фотосъемки внутри помещения таким сочетанием будет цвет лампы накаливания, хотя по отношению к такому же субъективно белому цвету солнечного света он имеет оранжевый оттенок.

Если коррекционные значения  $X_r, Y_r, Z_r$  определены, координаты цвета  $L, a, b$  в пространстве Lab вычисляются следующим образом:

$$L = 116f_y - 16; a = 500(f_x - f_y); b = 200(f_y - f_z)$$

где

$$f_x = \begin{cases} \sqrt[3]{x_r} & x_r > \varepsilon \\ \frac{kx_r + 16}{116} & x_r \leq \varepsilon \end{cases} \quad f_y = \begin{cases} \sqrt[3]{y_r} & y_r > \varepsilon \\ \frac{ky_r + 16}{116} & y_r \leq \varepsilon \end{cases} \quad f_z = \begin{cases} \sqrt[3]{z_r} & z_r > \varepsilon \\ \frac{kz_r + 16}{116} & z_r \leq \varepsilon \end{cases}$$

$$x_r = \frac{X}{X_r} \quad y_r = \frac{Y}{Y_r} \quad z_r = \frac{Z}{Z_r}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.008856 & \text{Актуальный стандарт МКО} \\ 216/24389 & \text{Изначальное значение} \end{cases}$$

$$k = \begin{cases} 903.3 & \text{Актуальный стандарт МКО} \\ 24389/27 & \text{Изначальное значение} \end{cases}$$

Относительно констант  $\varepsilon$  и  $k$  необходимо дать дополнительные пояснения.

По рекомендации МКО коррективка светлоты ( $L^*$ ) относительной освещенностью ( $Y/Y_n$ ) осуществляется путем вычисления функции

$$L^* = \begin{cases} f(Y/Y_n) & \text{где } Y/Y_n \leq \varepsilon \\ g(Y/Y_n) & \text{где } Y/Y_n > \varepsilon \end{cases} \quad (1)$$

где

$$f(Y/Y_n) = k \cdot (Y/Y_n) \quad (2)$$

$$g(Y/Y_n) = 116(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (3)$$

Два выражения для  $L^*$  в формуле (1) необходимы из-за существования точки разрыва. Константы  $k$  и  $\varepsilon$  обозначены в стандартах МКО [6] как

$$k = 903.9; \varepsilon = 0.008856$$

Подстановка этих величин в формулы (2) и (3) показывает наличие точки разрыва функции. Сравнение первых производных функций из формул (2) и (3)

$$f'(Y/Y_n) = k \quad g'(Y/Y_n) = \frac{116(Y/Y_n)^{-\frac{2}{3}}}{3} \quad (4)$$

показывает существование разрыва и первой производной:

$$f'(\varepsilon) = 903.300000 \quad g'(\varepsilon) = 903.3270068$$

Чтобы убрать разрыв функции, необходимо использовать модифицированные константы  $\hat{k}$  и  $\hat{\varepsilon}$ . Для их нахождения нужно приравнять значения функций и их первых производных в точке разрыва

$$f(\hat{\varepsilon}) = g(\hat{\varepsilon}) \quad f'(\hat{\varepsilon}) = g'(\hat{\varepsilon})$$

Из формул (2) и (4) получаем

$$\hat{k}\hat{\varepsilon} = 116\hat{\varepsilon}^{1/3} - 16 \quad (5)$$

$$\hat{k} = \frac{116\hat{\varepsilon}^{-2/3}}{3} \quad (6)$$

После решения системы уравнений (5)-(6) получаем значения, которые могут быть выражены в виде правильных дробей:

$$\hat{k} = 24389/27; \hat{\varepsilon} = 216/24389$$

Использование этих значений в алгоритмах МКО снимает сложности, связанные с разрывностью функции  $L^*$ :

$$f(\hat{\varepsilon}) = g(\hat{\varepsilon}) = 8; f'(\hat{\varepsilon}) = g'(\hat{\varepsilon}) = \hat{k};$$

### 3.5. Формула цветового различия

Международная комиссия по освещению ввела метрику  $\Delta E_{ab}^*$  для определения *цветового расстояния*, то есть численного выражения различия между цветами с точки зрения человеческого восприятия. (Буква «E» взята от нем. Empfindung –ощущение). Формула  $\Delta E_{ab}^*$  с течением времени изменялась с обычного евклидова расстояния до достаточно громоздкой системы уравнений, при этом необходимо учитывать тот факт, что определение цветового различия происходит, как уже упоминалось ранее, преимущественно эмпирическим путем и учитывает не фактическую разницу между цветами, а то, насколько она заметна для среднестатистического наблюдателя.

В описанной в п. 3 программе используется формула CIEDE2000 [9], которая, несмотря на относительную вычислительную сложность, часто используется на практике. При этом предварительно необходимо перевести цвет из системы Lab в систему LCH(ab) по следующим формулам:

$$L = L; C = \sqrt{a^2 + b^2}; H = \text{ctg}(b/a)$$

Последовательность вычисления цветового расстояния  $\Delta E^*_{00}$  между исходными цветами ( $L_1C_1H_1$ ) и ( $L_2C_2H_2$ ) по формуле CIEDE2000 показана ниже. Основные вспомогательные переменные используются для указания поворота угла цветового тона ( $R_T$ ), компенсации светлоты ( $S_L$ ), компенсации насыщенности цвета ( $S_C$ ) и компенсации цветового тона ( $S_H$ ). Более подробная информация по коэффициентам формулы изложена в [9].

$$\Delta E^*_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{S_C} \frac{\Delta H'}{S_H}}$$

$$\bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2} \quad \bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2}$$

$$a'_1 = a_1 + \frac{a_1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) \quad a'_2 = a_2 + \frac{a_2}{2} \left(1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)$$

$$b'_1 = b_1 + \frac{b_1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) \quad b'_2 = b_2 + \frac{b_2}{2} \left(1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)$$

$$\bar{C}' = \frac{C'_1 + C'_2}{2} \quad \Delta C' = C'_1 - C'_2, \text{ где } C'_1 = \sqrt{a_1'^2 + b_1'^2} \quad C'_2 = \sqrt{a_2'^2 + b_2'^2}$$

$$h'_1 = \text{ctg}(b_1/a'_1) \pmod{2\pi}, \quad h'_2 = \text{ctg}(b_2/a'_2) \pmod{2\pi}$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_2 - h'_1 & |h'_1 - h'_2| \leq \pi \\ h'_2 - h'_1 + 2\pi & |h'_1 - h'_2| > \pi, h'_2 \leq h'_1 \\ h'_2 - h'_1 - 2\pi & |h'_1 - h'_2| > \pi, h'_2 > h'_1 \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C'_1 C'_2} \sin(\Delta h'/2), \quad \bar{H}' = \begin{cases} (h'_1 + h'_2 + 2\pi)/2 & |h'_1 - h'_2| > \pi \\ (h'_1 + h'_2)/2 & |h'_1 - h'_2| \leq \pi \end{cases}$$

$$T = 1 - 0,17 \cos(\bar{H}' - \pi/6) + 0,24 \cos(2\bar{H}') + 0,32 \cos(3\bar{H}' + \pi/30) - 0,20 \cos(4\bar{H}' - 21\pi/60)$$

$$S_L = 1 + \frac{0,015 (\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0,045 \bar{C}' \quad S_H = 1 + 0,15 \bar{C}' T$$

$$R_T = -2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}} \sin \left[ \frac{\pi}{6} \exp \left( - \left[ \frac{\bar{H}' - 275\pi/180}{25\pi/180} \right]^2 \right) \right]$$

#### 4. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ

Описанный алгоритм кластеризации цветов реализован в виде специальной программы на языке Python. Работа с программой происходит следующим образом:

1. Исследователь выбирает нужный файл (заранее отсканированный рисунок), который загружается в программу.
2. Изображение разбивается на определенное количество квадратов фиксированного размера (матрица сжатия).
3. Определяется средний цвет каждого из квадратов и считается разница с эталонами (цветовое расстояние).
4. При получении минимального расстояния до эталона из всех соответствующих счетчик увеличивается на единицу.
5. После завершения обхода всех квадратов рисунка значения счетчиков переводятся в проценты и выводятся на экран.

#### 5. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе эксперимента были получены данные, приведенные в таблице 1. Первая колонка – номер испытуемого, вторая и третья – последовательность выбранных им цветов в тесте Люшера (первый набор выбранных цветов обозначает желаемое состояние, второй – фактическое), четвертая – преобладающие цвета в рисунке (в порядке убывания). Каждый цвет обозначен своим номером: синий – 1, зеленый – 2, оранжево-красный – 3, желтый – 4, фиолетовый – 5, коричневый – 6, черный – 7, серый – 0. Стоит отметить, что пятый испытуемый использовал в рисунке только один цвет (черный). Ввиду этого, поскольку других цветов в его рисунке нет, они заменены искусственным «восьмым» цветом с кодом 8.

Таблица 1. Экспериментальные данные

| № испытуемого | 1-й набор цветов | 2-й набор цветов | Цвета рисунка |
|---------------|------------------|------------------|---------------|
| 1             | 30412567         | 56043217         | 15243076      |
| 2             | 13240576         | 23614075         | 12643570      |
| 3             | 14325607         | 12465305         | 21367405      |
| 4             | 62145073         | 62534170         | 64125307      |
| 5             | 07213456         | 12743560         | 78888888      |
| 6             | 15430276         | 15347062         | 61274052      |
| 7             | 40275316         | 20435761         | 10432765      |
| 8             | 13752406         | 13725046         | 37524604      |

## 5.1. Выбор математического метода для подсчета статистики

Поскольку данные, полученные в эксперименте, измеряются по номинальной шкале и объем выборки невелик, для их анализа лучше всего подходит ранговая корреляция, позволяющая выявить как силу, так и характер связи.

Если определенным образом упорядочить значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$  случайной величины (признака)  $X$  ( $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}$ ), то в имеющейся выборке значение  $x_i$  величины  $X$  можно заменить рангом  $r_i$  этого значения (в случае, если  $x_i = x^{(r_i)}$ ). При одинаковой значимости исследуемых величин им присваивается общий ранг, равный среднему арифметическому соответствующих вариантных мест. Замена значений величины  $X$  на соответствующие ранги называется *ранжированием*. Проранжировав значения двух величин  $X$  и  $Y$ , можно получить новые выборки, по которым вычисляются ранговые коэффициенты корреляции. Для их вычисления существует несколько методов, однако в данном случае совокупность результатов характеризуется *несколькими* последовательностями рангов, что определяет специфику задачи.

## 5.2. Коэффициент конкордации

*Коэффициент конкордации Кендалла* является мерой согласованности мнений экспертов и считается по формуле:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^{\infty} T_i}$$

где  $m$  – количество экспертов,  $n$  – число оцениваемых факторов,  $T_i = \frac{1}{12} \sum_{l=1}^{L_i} (t_l^3 - t_l)$ ,  $L_i$  – число связок (групп повторяющихся элементов) в оценках  $i$ -го эксперта,  $t_l$  – количество элементов в  $l$ -й связке для  $i$ -го эксперта (количество повторяющихся элементов). Если связанных рангов нет, то  $T_i$  равно нулю.

Значение коэффициента конкордации заключены на отрезке  $[0;1]$ . Значение  $W < 0.2-0.4$  означает слабую согласованность мнений экспертов, если  $W > 0.6-0.8$ , то согласованность мнений экспертов сильная. Если ранжирование экспертов совпадает, то  $W = 1$ .

В рассматриваемом исследовании коэффициент конкордации трактуется следующим образом. Для каждого испытуемого существует три *набора данных*: результат компьютерного анализа его рисунка и два его цветовых выбора в рамках теста Люшера.

Поскольку проверяется корреляция двух цветовых выборов с результатом анализа рисунка по восьми преобладающим цветам, можно представить это как оценку *двумя* экспертами ( $m=2$ ) объекта, имеющего *восемь* факторов для оценки ( $n=8$ ). Таким образом, после анализа получается коэффициент конкордации мнений двух экспертов, то есть коэффициент множественной ранговой корреляции двух наборов значений.

Для каждого испытуемого было проведено по два расчета – корреляция результатов первого цветового выбора с результатом анализа рисунка и, соответственно, результатов второго выбора с *тем же* результатом анализа. Поскольку расчеты различаются лишь цифровыми значениями, ниже приводиться будет только первый расчет.

В таблице 2 приведена выборка исходных данных из таблицы 1 для анализа по *одному* (первому) испытуемому, сформированная в виде сводной таблицы номеров цветов. В таблице каждый цвет обозначен своим номером: синий – 11, зеленый – 12, оранжево-красный – 13, желтый – 14, фиолетовый – 15, коричневый – 16, черный – 17, серый – 10.

**Таблица 2. Выборка исходных данных**

| Фактор         | Первый цветовой выбор | Результат компьютер. ного анализа рисунка |
|----------------|-----------------------|---|
| x <sub>1</sub> | 13                    | 11  |
| x <sub>2</sub> | 10                    | 15  |
| x <sub>3</sub> | 14                    | 12  |
| x <sub>4</sub> | 11                    | 14  |
| x <sub>5</sub> | 12                    | 13  |
| x <sub>6</sub> | 15                    | 10  |
| x <sub>7</sub> | 16                    | 17  |
| x <sub>8</sub> | 17                    | 16  |

Оценку степени значимости параметров эксперты производят путем присвоения им рангового номера. Фактору, которому эксперт дает наивысшую оценку, присваивается ранг 1. Если эксперт признает несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер. На основе данных анкетного опроса составляется сводная матрица рангов (таблица 3).

**Таблица 3. Сводная таблица рангов**

| Эксперты<br>Факторы | 1  | 2  | Сумма<br>рангов | $d$ | $d^2$ |
|---------------------|----|----|-----------------|-----|-------|
| x <sub>1</sub>      | 4  | 2  | 6               | -3  | 9     |
| x <sub>2</sub>      | 1  | 6  | 7               | -2  | 4     |
| x <sub>3</sub>      | 5  | 3  | 8               | -1  | 1     |
| x <sub>4</sub>      | 2  | 5  | 7               | -2  | 4     |
| x <sub>5</sub>      | 3  | 4  | 7               | -2  | 4     |
| x <sub>6</sub>      | 6  | 1  | 7               | -2  | 4     |
| x <sub>7</sub>      | 7  | 8  | 15              | 6   | 36    |
| x <sub>8</sub>      | 8  | 7  | 15              | 6   | 36    |
| $\Sigma$            | 36 | 36 | 72              |     | 98    |

где через  $d$  обозначена разность соответствующей суммы рангов и средней суммы рангов, в данном случае равной  $72/8=9$ .

Коэффициент конкордации будет равен:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}$$

где  $S = 98$  (как сумма  $d^2$ ),  $n = 8$ ,  $m = 2$

$$W = \frac{12 \cdot 98}{2^2(8^3 - 8)} = 0.583,$$

что говорит о наличии средней степени согласованности мнений экспертов.

Теперь необходимо проверить значимость результата, например, на уровне значимости  $\alpha = 0.05$ . В данном случае допустимо исчисление критерия согласия Пирсона ( $\chi^2$ ):

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{mn(n+1)} = \frac{12 \cdot 98}{2 \cdot 8(8+1)} = 8.17$$

Сравнение вычисленного  $\chi^2$  с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n - 1 = 8 - 1 = 7$  при заданном уровне значимости дает:  $\chi^2 = 8.17 < 14.068$ , то есть меньше стандартного табличного значения. Таким образом, полученное значение  $W = 0.583$  является статистически значимым.

### 5.3. Анализ полученных данных

После последовательного применения выбранного метода анализа к данным от каждого испытуемого были получены следующие результаты (таблица 4):

**Таблица 4. Конечные данные о корреляции**

| № испытуемого | Корреляция с желаемым | Корреляция с фактическим |
|---------------|-----------------------|--------------------------|
| 1             | 0.583                 | 0.631                    |
| 2             | 0.345                 | 0.333                    |
| 3             | 0.512                 | 0.262                    |
| 4             | 0.75                  | 0.68                     |
| 5             | 0.43                  | 0.64                     |
| 6             | 0.524                 | 0.845                    |
| 7             | 0.7                   | 0.51                     |
| 8             | 0.774                 | 0.96                     |

Из таблицы видно, что в большинстве случаев корреляция выше 0.5, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

Поскольку значения нормированы от нуля до единицы, можно проанализировать, с чем больше коррелирует выбор цветов в рисунке – с желаемым или с фактическим состоянием испытуемых. Для этого можно просто просуммировать значения корреляций и разделить их на количество испытуемых (таблица 5). При этом стоит учесть, что среди испытуемых был человек, нарисовавший рисунок всего двумя цветами – №5. В связи с этим логично предположить, что данные анализа в этом конкретном случае некорректны, поэтому приводятся два варианта расчета.

**Таблица 5. Средние корреляции**

| Вариант расчета     | Корреляция с желаемым | Корреляция с фактическим |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| С испытуемым № 5    | 0,577                 | 0,608                    |
| Без испытуемого № 5 | 0,552                 | 0,597                    |

В результате наблюдается смещение в сторону фактического состояния, которое, тем не менее, из-за сравнительно небольшой выборки может быть статистической флуктуацией.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования можно сказать, что исходная гипотеза о существовании статистически значимой корреляции между результатами теста Люшера и предпочтениями выбора палитры рисунка человеком подтверждена. Это позволяет предположить и наличие соответствующей теоретической связи.

На этой основе можно утверждать, что методика с использованием цветного рисования может быть использована вместе с тестом Люшера для составления начального психологического портрета испытуемого, причем в этом случае диагностика может быть осуществлена в более свободной форме и в менее фрустрирующей ситуации, чем в условиях специализированного тестирования.

Практическая применимость полученных результатов, на наш взгляд, выходит за рамки чисто психологических исследований; в частности, методики, схожие с предложенной в статье, могут быть применены при решении некоторых проблем эргономики и инженерной психологии (цветовые решения в техническом дизайне машин и механизмов, разработка цветовой гаммы интерфейсов компьютерных программ и т.п.).

Использованный математический аппарат на практике доказал свою пригодность для исследований, подобных описанному в статье. В связи с этим целесообразно продолжение исследований в двух направлениях: 1) разработка средств автоматизации статистических расчетов (возможно, более широких по сравнению с описанными в статье); 2) верификация представленной в статье гипотезы и установление соответствующей теоретической связи на основе увеличения размера и репрезентативности выборки испытуемых, а также проведения дальнейших исследований в этой области диагностики в целях более полного обоснования теоретико-экспериментальных концепций Люшера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хломов Д.Н. Анализ рисунка в гештальт-терапии // Гештальт-2012: Специальный выпуск «Арт-терапия в гештальте». – М.: Московский Гештальт Институт, 2012. – С. 20-32. – URL: <http://bit.ly/1FB7PCX> (дата обращения 20.04.2015).
2. Базыма Б.А. Цвет и психика. – Харьков: ХГАК, 2001 – URL: <http://psyfactor.org/lib/colorpsy7.htm> (дата обращения 12.04.2015).
3. Тест Люшера - URL: <http://tests.kulichki.com/lusher.html> (дата обращения: 06.04.2015).
4. Haas, W. A. Investigation of the stability of color preferences // Journal of Consulting Psychology, Vol 27(6), Dec 1963, pp.537-539.
5. Hoffmann G. CIE Lab Color Space. – URL: <http://docs-hoffmann.de/cielab03022003.pdf> (дата обращения: 06.04.2015)
6. Smith T., Guild J. The CIE colorimetric standards and their use // Trans. Opt. Soc. London, vol. 33 (1931-32), pp. 73-134.
7. RGB to XYZ – BruceLindbloom.com – URL: [http://www.brucelindbloom.com/Eqn\\_RGB\\_to\\_XYZ.html](http://www.brucelindbloom.com/Eqn_RGB_to_XYZ.html) (дата обращения: 06.04.2015)
8. Стандартный источник света D65 // Свободная русская энциклопедия «Традиция» – URL: <http://tradio-ru.org/wiki> (дата обращения: 06.04.2015)
9. Sharma G., Wu W.; Dalal E.N. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations // Color Research & Applications (Wiley Interscience). Vol. 30 (1), April 2004, pp. 21–30. – URL: <http://www.ece.rochester.edu/~gsharma/ciede2000/ciede2000noteCRNA.pdf> (дата обращения: 06.04.2015).

*Работа поступила 24.09.2015*