

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЭКРАННОЙ РЕПРОДУКЦИИ НАСЫЩЕННЫХ ПИГМЕНТОВ

Л.В. Черевань<sup>а</sup>, В.Т. Тозик<sup>а,б</sup>

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Россия, Санкт-Петербург, 4erevanb@mail.ru

<sup>б</sup> Межотраслевой институт повышения квалификации, Россия, Санкт-Петербург

Рассматривается проблема возможности воспроизведения на экранах видеомониторов полного диапазона цветовых тонов классической масляной живописи. Показаны модели стандартных цветовых охватов современных мониторов. Модели визуализированы в цветовой координатной системе CIE Lab. Доказано, что чистые минеральные пигменты имеют большую хроматическую насыщенность по сравнению с масляной краской, исходя из этого, возможность воспроизведения насыщенных пигментов обеспечивает воспроизведение всего диапазона масляных красок. Методом спектрофотометрии получены 75 хроматических координат насыщенных пигментов. Показано положение измеренных координат относительно цветовых охватов стандартных мониторов. Разработана количественная методика оценки достоверности воспроизведения на экранах современных мониторов полного диапазона тонов классической масляной живописи. Методика включает расчет цветовых отличий ряда выходящих за пределы цветового охвата монитора цветовых тонов (исходной координаты и координаты, преобразованной в диапазон охвата), результаты рассмотрены относительно стандартизованных пороговых цветовых отличий. Доказано, что видеомонитор стандарта sRGB не позволяет воспроизводить полный диапазон тонов масляной живописи, а видеомонитор стандарта AdobeRGB воспроизводит их удовлетворительно (с отличием ниже порога различимости). Разработанная количественная методика может применяться для оценки любого монитора.

**Ключевые слова:** видеомониторы, цвет, цветовые координаты, MCO, CIE XYZ, CIE Lab, экранная репродукция.

### RELIABILITY ESTIMATION FOR SCREEN REPRODUCTION OF SATURATED PIGMENTS

L. Cherevan<sup>с</sup>, V. Tozik<sup>с,д</sup>

<sup>с</sup>Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, 4erevanb@mail.ru

<sup>д</sup>Intersectoral Institute for Advanced Training, Saint Petersburg, Russia

The paper deals with the ability of modern display monitors to reproduce full color range of classical oil paintings. The models of the standard color gamuts of modern monitors are represented by visualization in CIE Lab color coordinate system. Pure mineral pigments are proved to be more saturated than oil colors. Therefore, reproduction ability of pure saturated pigments ensures the full range reproduction of oil colors. 75 color coordinates of pure pigments are obtained by means of the spectrophotometry method. The measured coordinates displacement is shown as compared with the color gamuts of standard monitors. The quantitative method of reliability estimation for the reproducing of full color ranges of classical oil paintings is developed. The method consists of color differences calculating for out-of-gamut colors (measuring that of the reference coordinate against the closest one inside the gamut) and comparing the results with the standard threshold color difference. It is proved that sRGB monitor does not represent effectively the full color range of classical oil paintings, and AdobeRGB monitor reproduces satisfactorily the full range of colors (with the difference below the threshold of human perception). Developed quantitative method can be applied for any kind of monitor estimation.

**Keywords:** monitors, color, color coordinates, CIE, CIE XYZ, CIE Lab, screen reproduction.

### Введение

В связи с тем, что многообразие цветовых тонов в природе и возможности человеческого цветового восприятия превосходят возможности современных цветовоспроизводящих устройств, остро стоит проблема цветовых охватов. Для достоверной экранной репродукции живописных произведений одним из важнейших требований является способность цветовоспроизводящего устройства обеспечить весь диапазон цветовых тонов, присутствующих в живописных полотнах, что позволит свести цветовые отличия между репродукцией и оригиналом до уровня ниже физиологического порога различимости.

Проблемой точности цветовоспроизведения в течение последних лет занимались крупнейшие лаборатории, в том числе лаборатории Лондонской Национальной галереи (К. Мартинез, Дж. Купитт, Д. Саундерс, Р. Пиллэй) [1], Стэнфордского университета, США (Б. Ванделл, Д. Сильверстейн) [2], университета Невады, США (М. Вебстер, Д. Леонард) [3], Рочестерского университета, США (М. Ферчайлд, Р. Бернс, И. Чен) [4], университетов Чикаго, Нагана, Япония (С. Томинага, Н. Танака) [5]. Подход к контролю качества цвета также описан в работах группы исследователей НИУ ИТМО (А.Д. Яськов, К.А. Акмаров, Н.П. Белов, Ю.Ю. Смирнов, А.С. Шерстобитова, Е.Ю. Щербаква) [6].

В основу любых измерений цвета положена принятая в 1931 г. MCO (Международная комиссия по освещению, Comite Europeen d'Imprimerie – CIE) координатная система CIE XYZ. Данная система является абстрактной системой описания цветового стимула и используется, в том числе, при стандартизации хроматических свойств красок [7]. Однако, помимо XYZ-значений самого стимула, для прогнозирования цветового восприятия необходим учет данных об условиях просмотра (обычно координаты источника освещения) [4, 8, 9]. Это повлекло за собой необходимость разработки моделей цветового восприятия, позволяющих строить прогнозы, касающиеся восприятия цветовых стимулов зрительной системой чело-

века, производить расчеты цветовых отличий, а также перцептивные сдвиги при смене статуса хроматической адаптации.

Координатной системой, стандартизованной МКО для расчета цветовых отличий, является система CIELab. Она же как система, не зависящая от свойств каких-либо устройств и моделирующая цветовое восприятие человека, широко используется для визуализации цветовых охватов мониторов, принтеров, стандартных колориметров.

В координатной системе CIELab оси  $a$  и  $b$  отображают оппонентное кодирование цветовых стимулов (оси  $a$  – красный/зеленый,  $b$  – желтый/синий) и формируют плоскость цветовых тонов; вертикальная ось  $L$  – относительная яркость цвета от 0 до 100. Цветовое пространство  $Lab$  формируется исходя из фотометрической яркости и спектрального распределения энергии (СРЭ) осветителя, принятого для данной модели за хроматически нейтральную белую точку максимальной яркости (100; 0; 0). Модель может быть построена для источника света с любым СРЭ. Утвержден ряд стандартных источников, одним из которых является  $D50$  (рассеянный дневной свет), на рис. 1 представлены цветовые охваты, нормированные под этот источник освещения.

Для данной работы также необходимо было обратиться к системе, разработанной Альбертом Х. Манселлом [4, 10]. Эта система интересна тем, что дает примерное представление о цветовом охвате человеческого зрения, так называемое «цветовое тело человека». На рис. 1 представлено «цветовое тело человека», пересчитанное из системы Манселла в систему CIELab (сетчатая фигура). Сравнив охват человеческого зрения с охватом цветопроизводящих устройств, можно приблизительно оценить «проблемные области» цветопроизведения [11, 12].

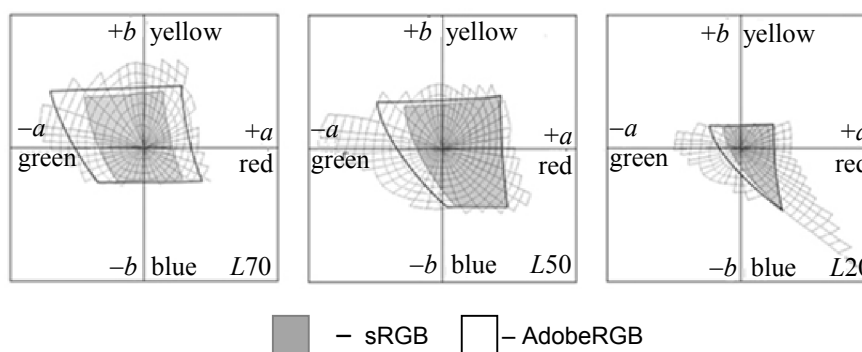


Рис. 1. Поперечные сечения фигур цветовых охватов sRGB, AdobeRGB по разным уровням  $L$  и примерного охвата человеческого зрения [12] в координатах CIELab, визуализированные GretagMacbeth ProfileEditor

В настоящее время один из наиболее важных критериев качества профессионального монитора с расширенным цветовым охватом является степень приближенности его тонового диапазона к цветовому охвату абстрактного колориметра AdobeRGB (аппроксимация до 98%). Большинство мониторов среднего уровня аппроксимируют цветовое пространство sRGB (телевизионный стандарт).

Охват AdobeRGB несколько шире, чем sRGB, однако не покрывает охват человеческого зрения. Особенно видны потери в области насыщенных сине-зеленых тонов средней яркости и в области насыщенных темно-синих и фиолетовых. В тонах высокой яркости за пределами охватов оказываются высоко насыщенные желтые и оранжевые.

Итак, при решении задачи достоверной экранной репродукции возникает проблема невозможности ряда насыщенных оттенков [13]. Однако художники, реставраторы, специалисты в области технологии производства масляных красок и репродукции масляной живописи отмечают невысокую насыщенность красок минерального происхождения – наиболее стойких и чаще всего используемых в красочной промышленности [1, 14, 15]. Кроме того, насыщенность красок с течением времени падает, поэтому следует, прежде всего, оценить воспроизводимость свежих колеров.

Таким образом, была поставлена задача определения положения в цветовой координатной системе CIELab хроматических координат насыщенных пигментов, используемых при производстве масляных красок, оценки их положения относительно хроматических охватов современных мониторов, а также расчет цветового отличия до и после репродукции их в тоновых диапазонах пространств sRGB и AdobeRGB как аппроксимирующих охваты большинства мониторов.

#### Определение цветовых координат

Со времен возникновения масляной живописи набор пигментов, использующихся для изготовления красок, изменился незначительно [14, 15]. Большинство пигментов – это минеральные соли, некогда добываемые в природе, а в настоящее время получаемые химическим путем. Краска, включающая один

пигмент, всегда имеет бóльшую насыщенность, чем смешанные краски. По этой причине производители сохраняют исторически сложившуюся технологию, по которой в каждый колер входит только по одному пигменту, что позволяет получать краски исключительной интенсивности и чистоты цвета. С течением времени некоторые пигменты разрушаются, а также темнеет связующее вещество – льняное масло. Соответственно наибольшую хроматическую насыщенность имеют свежие колеры, не содержащие лишних примесей.

Поскольку целью работы является анализ пигментов, связанных льняным маслом, которое не обладает идеальной хроматической нейтральностью (современное техническое масло – до 20 мг йода по йодометрической шкале, исторические связующие – еще более цветные [7, 14]). В этой связи из двух методов подготовки красочного образца, предложенных в [7], наиболее подходящим является метод накрасок.

Наименование образца	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	chroma
Кадмий лимонный	94,2	-13,3	90,4	82,5
Стронциановая желтая	86,1	-6,6	82,2	91,4
Кадмий желтый светлый	84,0	-3,5	86,9	87,0
Хром желтый	79,1	36,3	89,9	65,6
Кадмий желтый темный	75,2	11,3	77,1	77,9
Неаполитанская желтая	75,2	19,1	75,4	91,7
Кадмий оранжевый	75,1	34,4	85,0	97,0
Киноварь	62,3	61,2	57,6	96,4
Кобальт зеленый светлый	54,7	-53,4	-2,9	79,6
Изумрудная зеленая	54,6	-54,8	3,5	69,1
Кадмий красный светлый	51,7	63,5	48,0	74,6
Ализарин красный	50,5	80,2	53,4	58,4
Сурик свинцовый	50,1	65,4	45,6	62,7
Хром кобальт зелено-голубой	49,0	-35,8	5,3	58,6
Кобальт зеленый светлый холодный	44,8	-32,5	-21,8	67,5
Церулеум	41,6	-14,5	-38,4	66,2
Английская красная	40,8	52,6	51,7	54,7
Краплек розовый прочный	39,0	58,2	4,3	40,6
Кобальт синий средний спектральный	34,4	11,9	-60,6	55,0
Кадмий желтый средний	33,4	51,8	40,2	49,1
Краплек фиолетовый прочный	31,5	50,2	-30,2	79,7
Кобальт синий средний	30,0	20,6	-61,9	84,0
Краплек красный прочный	28,7	54,1	31,6	73,8
Хром кобальт сине-зеленый	28,7	-19,5	-3,2	39,1
Марганцевая фиолетовая светлая	28,2	26,6	-8,8	53,5
Ультрамарин розовый	27,6	38,7	12,2	33,7
Окись хрома	26,4	-11,1	31,0	32,9
Ультрамарин светлый	23,1	13,8	-38,9	41,3
Индийская красная	22,5	38,0	31,1	41,1
Кобальт фиолетовый темный	21,7	41,8	-51,3	65,2
Марганцевая фиолетовая темная	21,3	40,4	-36,8	61,3
Травяная зеленая	16,8	-7,9	5,2	41,3

Таблица. Цветовые координаты 32 наиболее насыщенных пигментов

Накраски на бумажной основе, описанные в стандарте [7], предназначены для методов визуального сравнения. Такие образцы непригодны для инструментального метода, поскольку луч спектрофотометра проникает сквозь красочный слой и основу, и в результате множественных подповерхностных переломлений хроматические характеристики могут исказиться. Изучение влияния подповерхностных

эффектов на цвет образца не входило в задачи работы, поэтому образцы были подготовлены таким образом, чтобы максимально исключить пропускание света.

В качестве основы для нанесения пигментов, вместо предложенной в стандарте чертежной бумаги, была выбрана алюминиевая пластина с нанесенным на нее малопрозрачным грунтом (толщина слоя – 5 мкм, прозрачность – 3,6, рассчитанная по [16]). Грунт обеспечил хроматически нейтральную основу со сдвигом не более 4,2  $\Delta E$  в область диапазона положительных значений по оси  $b$  в системе Lab и светлотой  $L92 \pm 2$ . Далее подготовка образцов производилась в соответствии с [7]. Колеры были нанесены в несколько слоев до уровня, после которого величина насыщенности по Манселлу перестала увеличиваться. Для большинства красок минимальная толщина красочного слоя, дающая полную насыщенность, составила около 50 мкм, что при сравнительно большом окрашенном поле (400 мм<sup>2</sup>) и непрозрачной подложке исключило влияние окружающих объектов на хроматическую характеристику образца [1, 16].

В качестве измерительного прибора был использован спектрофотометр GretagMacbeth Eye-One Pro, измеряющий СРЭ света, отраженного от образца с шагом 10 нм (заявленная производителем точность  $\Delta E \leq 0,1$ ). Для обработки результатов использовалась программа GretagMacbeth Eye-One Share, выводящая результаты измерений как в виде графиков СРЭ, так и в виде координат в цветовых координатных системах, в том числе в системе CIELab.

В таблице представлены примеры хроматических координат наиболее насыщенных пигментов (показано 32 из 75 замеренных). В таблицу внесена также насыщенность по Манселлу – chroma. Обратившись к фигуре «цветового тела человека» на рис. 1, можно проследить место насыщенности данных колеров по сравнению с максимальной, с учетом того, что каждое последующее большее кольцо сетчатой фигуры обозначает увеличение насыщенности на 20.

#### Положение координат пигментов относительно AdobeRGB, sRGB

Оценка положения координат показала, что большинство пигментов вошли как в охват AdobeRGB, так и в охват sRGB. На рис. 2 представлено положение цветовых координат наиболее насыщенных пигментов. За пределами охвата sRGB оказались высоко насыщенные светлые колеры – кадмий желтый светлый, кадмий оранжевый. В области средней светлоты выпали колеры сине-зеленой области – церулеум, изумрудная зелень. За пределами охвата в глубоких тенях остались высоко насыщенный синий (кобальт синий спектральный), а также насыщенные темные тона красной области, которые способны дать лишь органические красители, в нашем эксперименте – краплек розовый прочный. Расширенный цветовой охват AdobeRGB включил в себя все полученные хроматические координаты, за исключением двух высоко насыщенных темных тонов – кобальт синий спектральный, краплек розовый прочный (рис. 2).

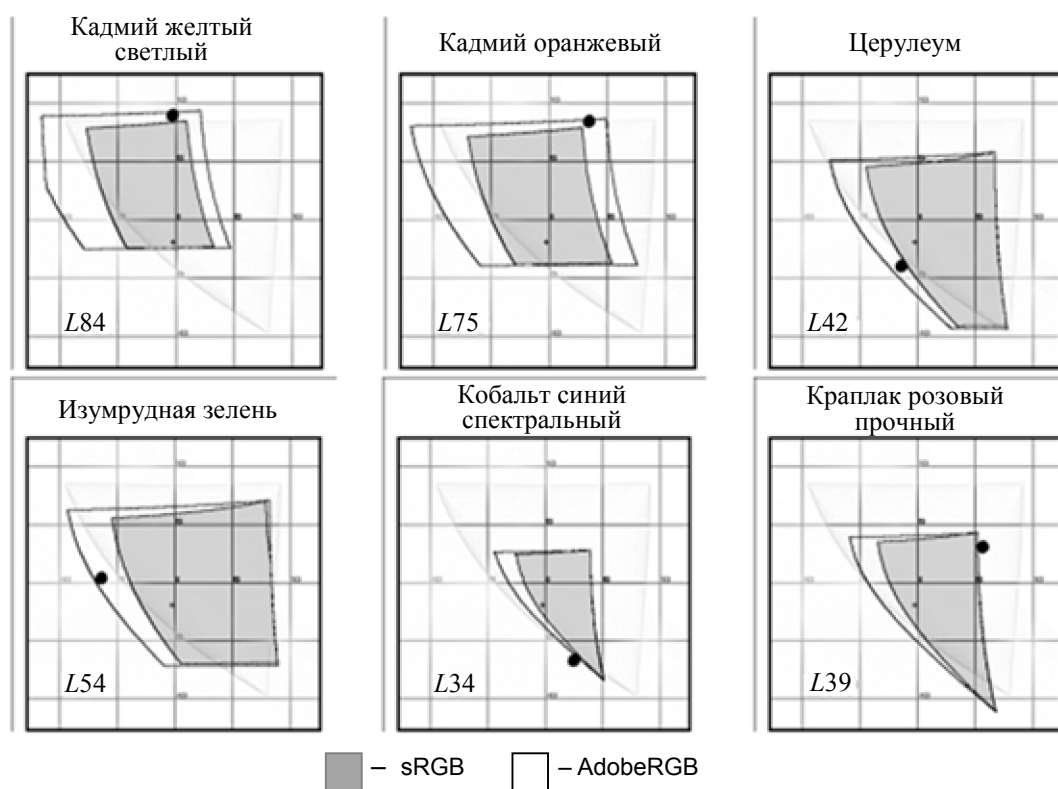


Рис. 2. Визуализация охватов sRGB, AdobeRGB по разным уровням  $L$  и координат некоторых пигментов средствами программы GretagMacbeth ProfileEditor

### Расчет цветовых отличий

Следующим этапом работы было определение хроматических координат «внеохватных» («out-of-gamut») тонов после отсечения невоспроизводимых областей цветового пространства («gamut-clipping») для sRGB и AdobeRGB, определение их отличия от исходных хроматических характеристик пигментов и сравнение этих отличий со стандартизованными допустимыми цветовыми отличиями.

Расчет цветовых отличий производился по формуле, утвержденной CIE в 2000 г.:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)},$$

где  $\Delta L'$ ,  $\Delta C'$ ,  $\Delta H'$  – абсолютная разница по светлоте, насыщенности, цветовому тону;  $S_L$ ,  $S_C$ ,  $S_H$  – компенсирующие коэффициенты для светлоты, насыщенности, тона;  $R_T$  – смещение по синей области цветовых тонов [17].

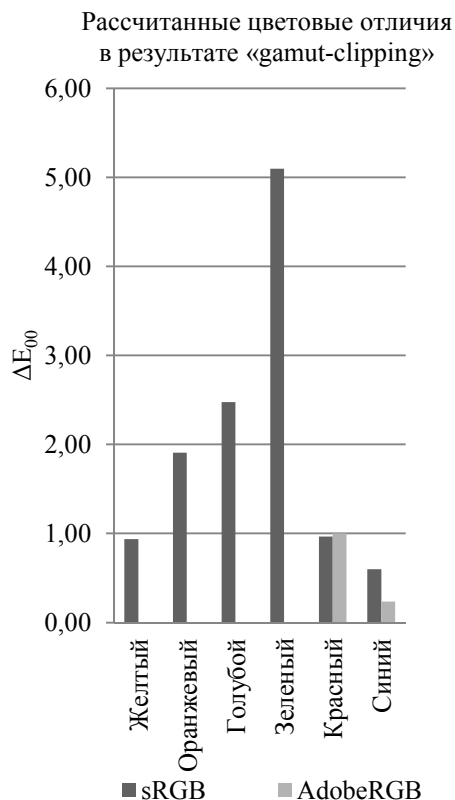


Рис. 3.  $\Delta E_{00}$  для различных областей насыщенных тонов, вышедших за пределы охватов sRGB, AdobeRGB

Величины допустимых цветовых отличий утверждены в [18]. Для тонов высокой насыщенности среднее допустимое цветовое отличие цветной репродукции составляет  $3\Delta E$ , для тонов, близких к серому, эта величина снижена до  $1,5\Delta E$  [18]. Стоит отметить, что физиологический порог цветового отличия значительно ниже утвержденного [18] и составляет около  $2\Delta E$  для насыщенных оттенков и десятые доли – для близких к серому [13, 19, 20]. На диаграмме (рис. 3) представлены рассчитанные величины  $\Delta E_{00}$  для различных областей насыщенных тонов, вышедших за пределы охватов sRGB, AdobeRGB.

После визуализации насыщенных цветовых тонов в пространстве sRGB изменения хроматических координат голубой и зеленой области оказались выше, чем допускает стандарт, отличия значительно превосходят порог различимости. Это говорит о том, что монитор, аппроксимирующий sRGB, непригоден для репродукции насыщенных красок из-за значительного отсечения голубых и зеленых областей цветового пространства. Отличия визуализированных в AdobeRGB «внеохватных» цветовых тонов не превышают  $1\Delta E$ , таким образом, на мониторе, аппроксимирующем AdobeRGB, возможна репродукция насыщенных красок с отличием ниже физиологического порога различимости.

### Заключение

Измерения и расчет показали, что за пределами охвата абстрактного колориметра sRGB (охват большинства средних мониторов) оказались хроматические координаты ряда насыщенных пигментов, в результате отсечения которых происходят цветовые искажения, превышающие порог различимости. Это

говорит о том, что при таком охвате цветовоспроизводящее устройство не способно обеспечить удовлетворительную достоверность репродукции. Монитор с расширенным цветовым охватом, аппроксимирующий AdobeRGB, воспроизводит насыщенные оттенки гораздо более удовлетворительно, и минимально достижимые цветовые отличия по «внеохватным» цветовым тонам не превосходят физиологического порога различимости.

В заключение стоит отметить, что в настоящей работе цветовой охват красочных пигментов сравнивался с охватами идеальных устройств. В ходе подготовки конкретного монитора для экранной репродукции живописного произведения полученные хроматические координаты пигментов следует сравнить с охватом уже реального устройства. Для этого после калибровки и характеристики экрана можно использовать данную методику, заменив профайлы абстрактных колориметров sRGB, AdobeRGB на профайл реального монитора. Если цветовые отличия после отсечения невоспроизводимых областей цветового пространства по насыщенным тонам не превысят  $2\Delta E$ , можно перейти к минимизации цветовых отличий живописного произведения и его изображения на экране.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики расчета и минимизации цветовых отличий оригинала и его экранной репродукции.

### References

1. Saunders D., Hamber A. From Pigments to Pixels: Measurement and Display of the Colour Gamut of Paintings. *Proc. of SPIE*, 1990, vol. 1250, pp. 90–102.
2. Wandell B., Silverstein D. Digital Color Reproduction. *The Science of Color*. Ed. S. Shevell. 2<sup>nd</sup> ed. Optical Society of America, 2003, pp. 281–316.
3. McDermott K.C., Webster M.A. Uniform color spaces and natural image statistics. *Journal of the Optical Society of America A*, 2012, vol. 29, no. 2, pp. A182–A187.
4. Fairchild M.D. *Color Appearance Models*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2005, 408 p.
5. Tominaga S., Tanaka N. Spectral image acquisition, analysis, and rendering for art paintings. *Journal of Electronic Imaging*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 043022-1–043022-13. doi: 10.1117/1.3036180
6. Akmarov K.A., Belov N.P., Smirnov Yu.Yu., Sherstobitova A.S., Scherbakova E.Yu., Yaskov A.D. Laboratornyi spektrofotometr dlya vidimoi oblasti spectra [Laboratory spectrophotometer for visible spectral region]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 5 (87), pp. 39–44.
7. GOST 16873-92 (ISO 787/1-82). *Pigmenty i napolniteli neorganicheskie. Metody opredeleniya tsveta i belizny* [State Standard 16873-92 (ISO 787/1-82). Pigments and inorganic fillers. Methods for determination of color and white]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1992, 10 p.
8. Yustova E.N. *Tsvetovye izmereniya (Kolorimetriya)* [Color measurement (Colorimetric)]. St. Petersburg, St. Petersburg State University Publ., 2000, 397 p.
9. Ohta N., Robertson A. *Colorimetry: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., 2005. 350 p.
10. Hunt R.W.G. *The Reproduction of Colour*. 6<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2004, 724 p.
11. Gijzenij A., Gevers T., Weijer J. Generalized Gamut Mapping Using Image Derivative Structures for Color Constancy. *International Journal of Computer Vision*, 2010, vol. 86, no. 2–3, pp. 127–139.
12. Lindbloom B.J. *Useful Color Information, Studies and Files*. 2001–2013. Available at: <http://www.brucelindbloom.com/> (accessed 26.10.2013).
13. Robertson Ph., Schönhut J. Color in Computer Graphics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1999, vol. 19, no. 4, pp. 18–19.
14. Lentovskii A.M. *Tekhnologiya zhivopisnykh materialov* [Technology picturesque materials]. Leningrad–Moscow, Iskusstvo Publ., 1949, 220 p.
15. Filatov V.V. *Restavratsiya nastennoi maslyanoi zhivopisi* [Restoration of the wall oil painting]. Moscow, Izobrazitel'noe iskusstvo Publ., 1995, 248 p.
16. GOST 7086-75. *Kraski pechatnye. Metody opredeleniya prozrachnosti* [Paint printed. Methods for determination of transparency]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2003, 7 p.
17. Sharma G., Wu W., Dalal E.N. The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. *Submitted to Color Research and Application*, 2004, vol. 16, no. 3, pp. 217–218.
18. ISO 12647-7:2007(E). *Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Pt 7: Proofing processes working directly from digital data*. 12.01.2007. International Organization for Standardization. 20 p.
19. Hansen T., Olkkonen M., Walter S., Gegenfurtner K. Memory Modulates Color Appearance. *Nature Neuroscience*, 2006, vol. 9, no. 11, pp. 1367–1368.
20. Lau C., Heidrich W., Mantiuk R. Cluster-based color space optimizations. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2011, pp. 1172–1179.

**Черевань Любовь Владимировна**

– аспирант, старший преподаватель, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, [4erevanb@mail.ru](mailto:4erevanb@mail.ru)

**Тозик Вячеслав Трофимович**

– кандидат технических наук, доцент; директор, Межотраслевой институт повышения квалификации, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; Санкт-Петербург, Россия, [tozikvt@mail.ru](mailto:tozikvt@mail.ru)

*Lyubov' Cherevan*

– postgraduate, senior lecturer, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, 4erevanb@mail.ru

*Vyacheslav Tozik*

– PhD, Associate Professor, Head of Intersectoral Institute for Advanced Training, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, tozikvt@mail.ru

УДК 004.056.53

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РИСКА НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

К.А. Щеглов<sup>а, б</sup>, А.Ю. Щеглов<sup>а, б</sup>

<sup>а</sup> Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, info@npp-itb.spb.ru

<sup>б</sup> ЗАО «НПП «Информационные технологии в бизнесе», Санкт-Петербург, Россия, info@npp-itb.spb.ru

Рассмотрены известные подходы к оценке эффективности и к проектированию средств защиты информационных систем, в результате чего выявлен их общий недостаток, заключающийся в том, что данные подходы не позволяют рассматривать угрозы информационной безопасности в качестве эксплуатационной характеристики информационной системы. Это не позволяет построить адекватную модель информационной системы, в том числе защищенной, как системы с отказами и восстановлениями, характеризующимися возникновением и устранением угроз в процессе эксплуатации системы, не позволяет выявить и соответствующие взаимосвязи, в том числе временные, между угрозами и их совокупностями, эксплуатируемыми атаками, ввести количественные меры актуальности угроз и эффективности атак как эксплуатационных характеристик системы и, как следствие, количественно оценить уровень эксплуатационной безопасности информационной системы и эффективности средств защиты. Предложены основы теории эксплуатационной информационной безопасности, введены основные эксплуатационные параметры и характеристики, предложен подход к оцениванию эксплуатационных характеристик информационной системы, введены эксплуатационные характеристики риска нарушений безопасности информационной системы, в том числе риска потерь.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, защита информации, информационная система, угроза, атака, эксплуатационная безопасность, уровень безопасности, несанкционированный доступ, оценка эффективности, теория массового обслуживания, теория надежности, средство защиты, риск.

## OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF INFORMATION SYSTEM SECURITY THREATS RISK

К. Shcheglov<sup>с, d</sup>, A. Shcheglov<sup>с, d</sup>

<sup>с</sup> Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, info@npp-itb.spb.ru

<sup>d</sup> JSC "Information Technologies in Business", Saint Petersburg, Russia, info@npp-itb.spb.ru

The paper deals with widely used methods for effectiveness evolution and information systems security tools development. Their general disadvantage that consists in not giving the possibility to consider security threats as information system operational characteristic is revealed. Therefore, an adequate information system model can't be created, including secure information system like system with failure and recovery parameters, characterized by threats appearing and elimination during system operation. Also it doesn't make it possible to identify appropriate relationship (including time ones), between threats and their exploited aggregates and doesn't give the possibility to introduce quantitative measures of the threats relevance and attacks effectiveness (like system operational characteristic). Consequently, it doesn't make it possible to estimate the level of information system operational security and security tools effectiveness. The principles of operational security theory are suggested, base operational parameters and characteristics are introduced, a method for operational characteristics of information system estimation is proposed, operational characteristics of risks for information system security threats and loss risks are stated.

**Keywords:** information security, information system, threat, attack, operational security, security level, unauthorized access, effectiveness evaluation, queueing theory, reliability theory, security tools, risk.

### Введение

Под математической теорией риска формально понимается совокупность моделей и методов теории вероятностей, применяемых к анализу случайных величин и их распределений [1]. Это обусловлено тем, что величина возможного ущерба в стохастической ситуации до осуществления этой ситуации неизвестна и потому случайна. Риском же называют совокупность значения возможного ущерба в некоторой стохастической ситуации и его вероятности [1, 2].

Применению теории риска в области информационной безопасности, в частности, для оценки эффективности средств защиты информации и при проектировании защищенной информационной системы (далее ИС), ввиду актуальности данной задачи, в настоящее время посвящено достаточно много работ,