

УДК 621.397

**ОЦЕНКА МЕТРИКИ ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА МОДЕЛИ  
ЦВЕТОВОСПРИЯТИЯ SAM16 ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
ЦВЕТОМ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ, МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ  
И КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ**

**О. В. ГОФАЙЗЕН, В. В. ПИЛЯВСКИЙ**

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова  
ул. Кузнечная, 1, Одесса, 65029, Украина  
ГП «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения»  
ул. Бунина, 31 Одесса, 65026, Украина  
oleg.gofaizen@gmail.com, v.pilyavskiy@ukr.net*

**ОЦІНКА МЕТРИКИ КОЛІРНОГО ПРОСТОРУ МОДЕЛІ КОЛЬОРОСПРИЙНЯТТЯ  
SAM16 ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ КОЛЬОРОМ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ,  
МУЛЬТИМЕДІЙНИХ І КІНЕМАТОГРАФІЧНИХ ЗАСТОСОВАННЯХ**

**О. В. ГОФАЙЗЕН, В. В. ПИЛЯВСЬКИЙ**

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
вул. Кузнечна, 1, Одеса, 65029, Україна  
ДП «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»  
вул. Буніна, 31, Одеса, 65026, Україна  
oleg.gofaizen@gmail.com, v.pilyavskiy@ukr.net*

**EVALUATION METRICS OF COLOUR SPACE OF CAM16 COLOUR APPEARANCE  
MODEL FOR USE FOR COLOUR MEASUREMENT IN TELEVISION, MULTIMEDIA  
AND CINEMATOGRAPHIC APPLICATIONS**

**O. V. GOFZAIZEN, V. V. PYLIAVSKYI**

*O. S. Popov Odessa national academy of telecommunications  
Kuznechna st., 1, Odessa, 65029, Ukraine  
SE "Ukrainian scientific-research institute of radio and television",  
Bunin st., 1, Odessa, 65026, Ukraine  
oleg.gofaizen@gmail.com, v.pilyavskiy@ukr.net*

**Аннотация.** Работа посвящена оценке метрики цветового пространства модели цветовосприятия SAM16 с точки зрения её использования для управления цветом в телевизионных, мультимедийных и кинематографических, а также других подобных видеоприложениях, в том числе, для дальнейшего прогресса технологий, систем и аппаратуры и использования методов колориметрии для дальнейшего совершенствования методов оценки и оптимизации верности цветопередачи. Дана оценка изменения масштаба шкал оценки цветности и светлоты для широких пределов изменения яркости адаптации зрительного восприятия, яркости объектов передаваемой сцены и условий окружающей среды. Дана количественная интерпретация возможных искажений цветовоспроизведения за счёт расхождения условий яркостной адаптации и условий восприятия передаваемой сцены и воспроизводимого изображения, которые могут иметь место в практике реализации соответствующих приложений, и на этой основе дана оценка возможного эффекта от перехода к реализации адаптивного принципа построения систем. Дано сопоставление оценки коррелят цветового тона, насыщенности и светлоты в пространстве модели SAM16 с коррелятами пространства модели Манселла. Приведены примеры сопоставления квадратуры цветового тона в системе SAM16 с системой цветов Манселла. На этой основе сделаны выводы о точности оценки цветопередачи в широких пределах изменения условий восприятия. Отмечена ограниченность использования системы ренотации цветов Манселла применительно к изменяющимся условиям восприятия, поскольку для этой системы влияние условий восприятия не определено. Приведены примеры характеристик цветопередачи для систем ТСЧ, ТВЧ, ТСВЧ, ТРДД, мультимедийных приложений и систем кинематографа для условий вариации параметров передачи и восприятия.

**Ключевые слова:** видеоприложения, цветопередача, управление цветом, модель цветовосприятия, метрика цветового пространства, цвета Манселла, SAM16.

**Анотація.** Робота присвячена оцінці метрики колірнього простору моделі кольоросприйняття CAM16 з точки зору її застосування для керування кольором в телевізійних, мультимедійних та кінематографічних, а також інших подібних відеозастосуваннях, в тому числі, для подальшого прогресу технологій, систем і апаратури і застосування методів колориметрії для подальшого вдосконалення методів оцінки і оптимізації вірності кольоропередавання. Надано оцінку зміни масштабу шкал оцінювання кольоровості і світлоти для широких меж зміни яскравості адаптації зорового сприйняття, яскравості об'єктів передаваної сцени і умов навколишнього середовища. Дана кількісна інтерпретація можливих спотворень кольоровідтворення за рахунок розбіжності умов яскравісної адаптації та умов сприйняття передаваної сцени і відтвореного зображення, які можуть мати місце в практиці реалізації відповідних застосовань, і на цій основі надано оцінку можливого ефекту від переходу до реалізації адаптивного принципу побудови систем. Представлено зіставлення оцінки корелят колірнього тону, насиченості і світлоти в просторі моделі CAM16 з корелятами простору моделі Мансела. Наведено приклади зіставлення квадратури колірнього тону в системі CAM16 з системою кольорів Мансела. На цій основі зроблено висновки про точність оцінювання кольоропередавання в широких межах зміни умов сприйняття. Відзначено обмеженість застосування системи ренотації кольорів Мансела стосовно до змінних умов сприйняття, оскільки для цієї системи вплив умов сприйняття не визначено. Наведено приклади характеристик кольоропередавання для систем ТБСЧ, ТБВЧ, ТБНВЧ, ТБРДД, мультимедійних застосовань і систем кінематографа для умов варіації параметрів передавання і сприйняття.

**Ключові слова:** відеозастосування, кольоропередавання, керування кольором, модель кольоросприйняття, метрика колірнього простору, кольори Мансела, CAM16.

**Annotation.** The work is devoted to evaluation colour space metrics of the CAM16 colour perception model from the point of view of its use for colour management in television, multimedia and cinematographic, as well as other similar video applications, including for the further progress of technologies, systems and equipment and the use of colorimetric methods for further improvement methods for assessment and optimization colour fidelity. An estimate of the change in scale of the assessment chromaticity and lightness is given for wide limits of variation in the luminance of adaptation of visual perception, the luminance of objects of the transmitted scene and environmental conditions. A quantitative interpretation of possible distortions of colour rendition due to discrepancies between the conditions of luminance adaptation and the conditions of perception of the transmitted scene and the reproduced image, which may occur in the practice of implementing the corresponding applications, is given, and on this basis an assessment is made of the possible effect of adaptive principles of systems building. A comparison is made of the estimate of hue, saturation and lightness correlates in CAM16 model space with correlates of the Munsell model space. Examples of comparison colour quadrature in CAM16 space with Munsell colour positions are given. On this basis, conclusions are drawn about the colour rendition fidelity assessment over a wide range of variations in perceptual conditions. The limitations of using Munsell colour renotation system with reference to changing perceptual conditions are noted, since the influence of perceptual conditions for this system is not defined. Examples of colour characteristics for the SDTV, HDTV, UHDTV, HDR TV systems, multimedia applications and cinema systems for the conditions of variation of transmission and perception parameters are given.

**Keywords:** video applications, colour rendition, colour management, colour appearance model, colour space metric, Munsell colours, CIECAM02, CAM16.

## ВВЕДЕНИЕ

In 2004, the color perception model CIECAM02 [1] was published, based on the generalization of a large volume of experimental data on color perception and in this sense is representative of the concept of the characteristics of visual perception. The most important property of this model is that it, like its predecessor, the CIECAM97s model [2], takes into account the conditions of adaptation of visual perception to the color and brightness of the light source, as well as to the conditions of the near and far surroundings of the evaluated colored objects. The creation and implementation of the CIECAM02 model in practice was a fundamental step towards the development of colorimetry, including colorimetry for television, multimedia and cinematographic applications.

Over the years, studies have been carried out and works published [3–7], in which the drawback of the CIECAM02 system was discovered and evaluated, which consists in the fact that in some areas of the color space the signals of the cone apparatus models can take negative values, and this can lead to errors and failures in the implementation of the computational process.

In this regard, in [8], a new model of color perception CAM16, free from the indicated drawback, was proposed, and a message was published on the completion of the development of the CIECAM16 model [9]. A distinctive feature of this model is the use of a single color space of the

cone apparatus model in terms of adaptation to the color of the light source and in terms of post-adaptation conversion of cone apparatus signals.

This transformation led to the fact that, with the transition to the use of the CAM16 model, the color coordinates in the equal-contrast CAM16-UCS space of this model and the estimates of color differences differ from the color coordinates and color differences estimates in the CAM02-UCS space [3] of the CIECAM02 model.

Compared to the CIECAM02 model, other models focused on direct implementation in television and multimedia systems do not take into account the adaptation of visual perception to the conditions of image observation, including the ITP [10],  $IC_T C_p$  [11],  $I_z a_z b_z$  [12] model, which, as shown in [12], they are quite perfect and can have certain advantages over the CAM16 model, in particular, they have a minimum of color tone distortions in the area of saturated blue colors. The use of these models to construct the signal space of real systems is a serious step on the path of technical progress, and is the basis for achieving a new level of efficiency and quality of their implementation. Each of these models refers to a certain point in the space of conditions of visual perception of an image, to which the experimental data underlying these models refer. At the same time, for other conditions of perception, the characteristics of the visual system will be different, which means that the models are approximate. This problem could be solved in the case of implementing the adaptive principle of constructing systems [13–15].

Previously, the metric of the color space of the CIECAM02 model and the corresponding equal-contrast color space CAM02-UCS were estimated, and colorimetric assessments were also given for television, multimedia and cinema systems [16–22], and the obtained data were used as the basis for the ITU-R BT Report. 2380-1 [23].

In recent years, a new stage in the technical progress of television systems has taken place, in particular, Recommendations and Reports have been developed, which standardize the parameters and characteristics of TV systems of a new level - UHD TV and HDR systems [11, 23]. With the adoption of standards for these systems, a new stage in the progress of TV colorimetry took place. The noted progress in colorimetry and video technologies is the basis for conducting studies to assess the metric of the CAM16-UCS color space in relation to existing and new systems and for developing proposals for further modification of the ITU-R BT.2380-1 Report. In this work, the corresponding analysis and estimates of the metric of an equal-contrast color space are given, taking into account the variation of adaptation of visual perception, the conditions of image observation, and the relative brightness of the estimated detail of the transmitted scene.

## ESTIMATION OF CAM16-UCS COLOR SPACE METRICS

When evaluating the color space metric, you should take into account all the factors that can change it. Since the influence of factors can be simultaneous, the influence is also complex. The main factors include - the brightness of the stimulus, viewing conditions, the brightness of vision adaptation. So in Fig. 1 and 2, the region of perceived colors limited by the curve of monochromatic colors is shown, and also estimates for unsaturated colors are presented in the form of five lines from the points of saturated colors corresponding to 380, 465, 485, 530, 580 and 630 nm to the white point. The presented figures also show how much the adaptation brightness affects the color rendering.

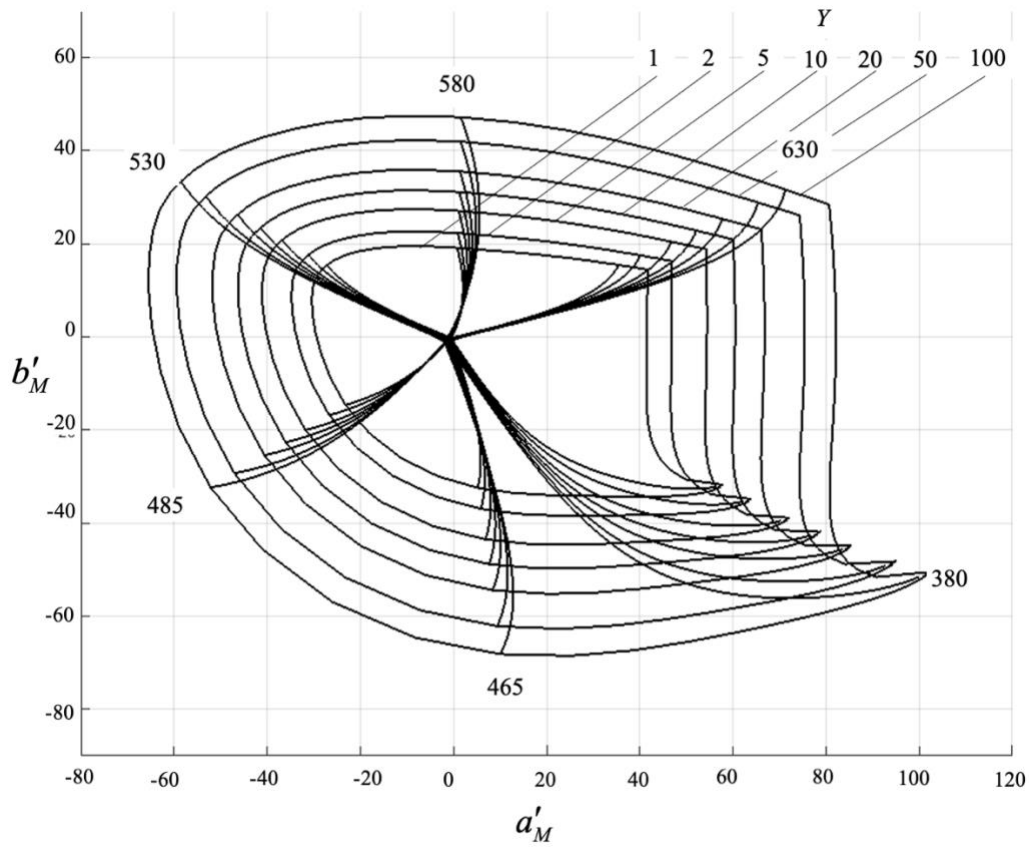


Figure 1 – Chromaticity diagram with colour stimulus dominant wavelength length in the CAM16-UCS space for adapting luminance  $L_A = 20 \text{ cd/m}^2$  and varying relative luminance  $Y$

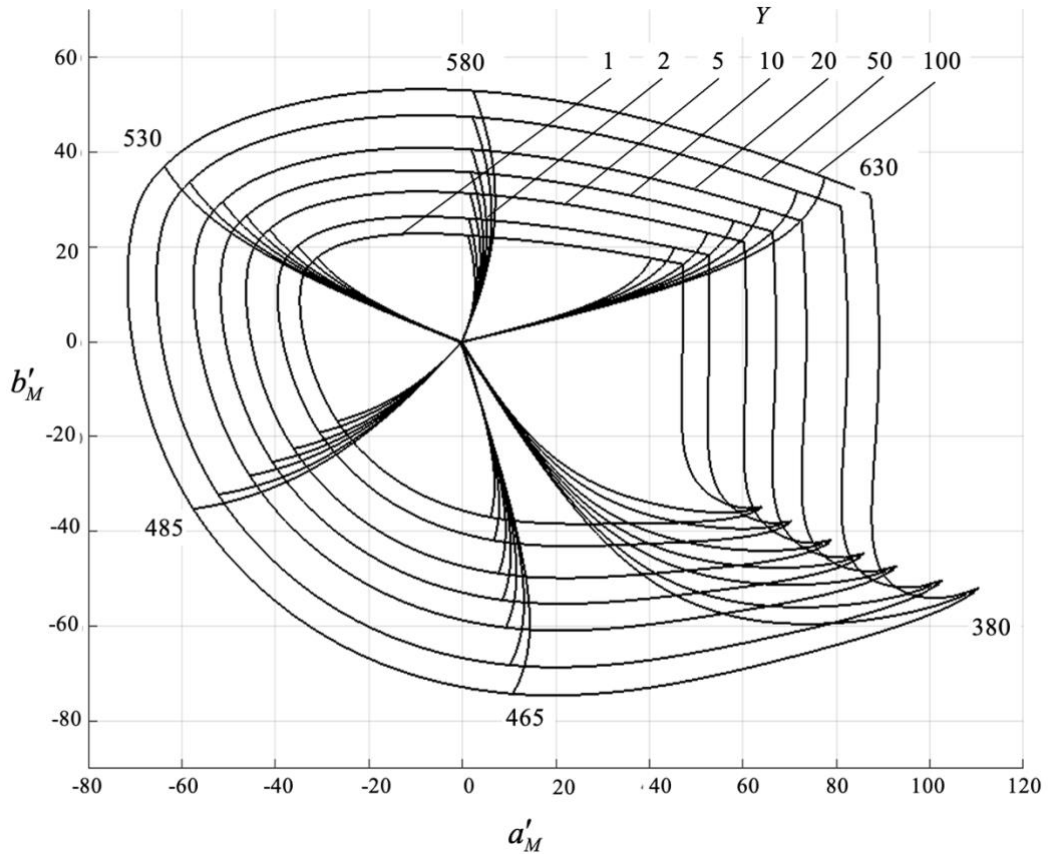


Figure 2 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for adapting luminance  $L_A = 200 \text{ cd/m}^2$  and varying relative luminance  $Y$

Figures 3-6 show the effect of adaptation brightness on color rendition, data are given for three possible cases,  $20 \text{ cd / m}^2$  - for cinematography and transmission / playback systems at low brightness,  $200 \text{ cd / m}^2$  - for broadcast, multimedia and other applications, as well as  $2000 \text{ cd / m}^2$  - for cases when the transmission takes place with the presence of glare with high brightness in the transmission zone or on the reproducing device. The  $L_A$  parameter is the adaptation of vision to the brightness of the stimulus.

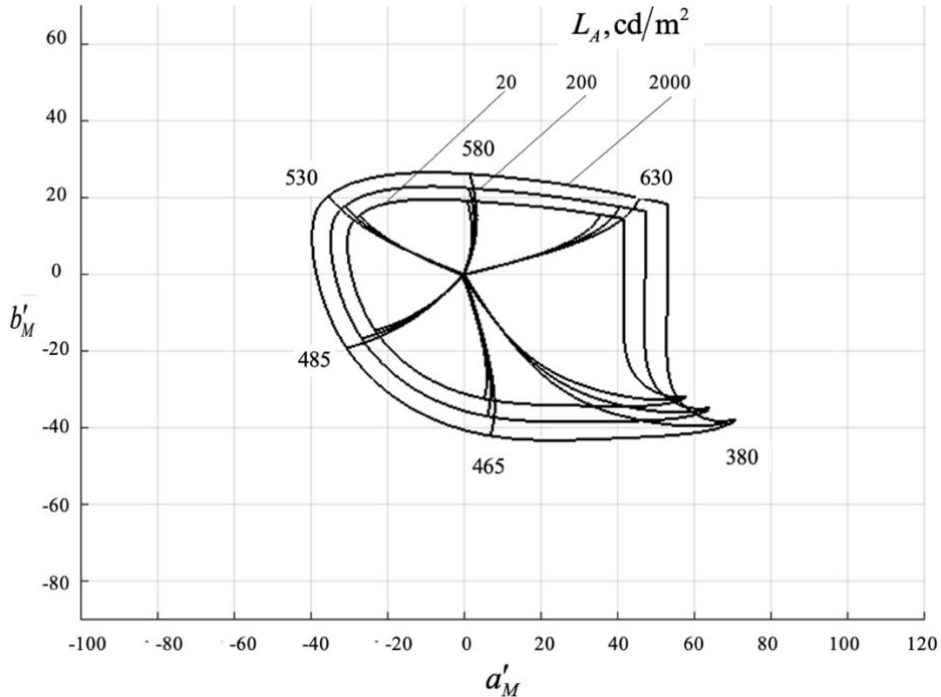


Figure 3 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 1$  and varying level of adaptive luminance  $L_A$

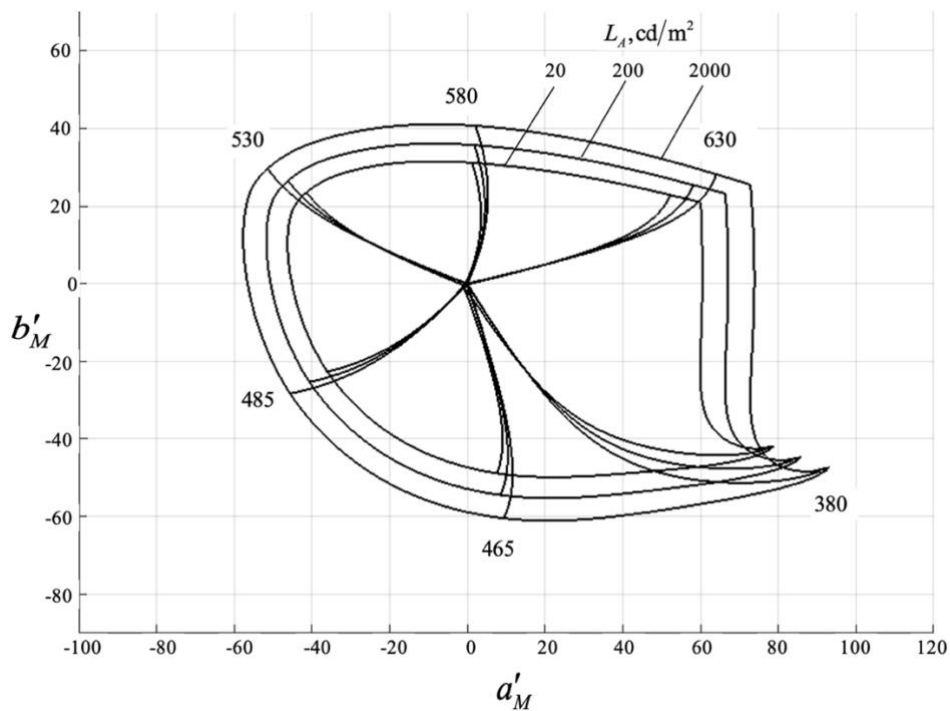


Figure 4 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 10$  and varying level of adaptive luminance  $L_A$

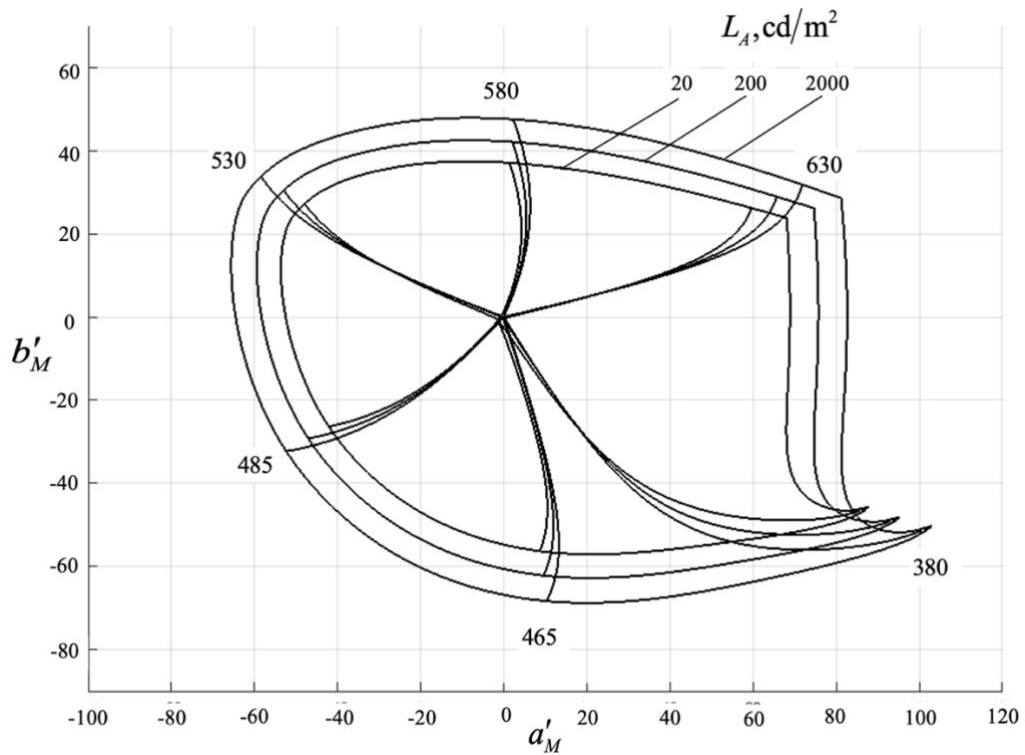


Figure 5 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 25$  and varying level of adaptive luminance  $L_A$

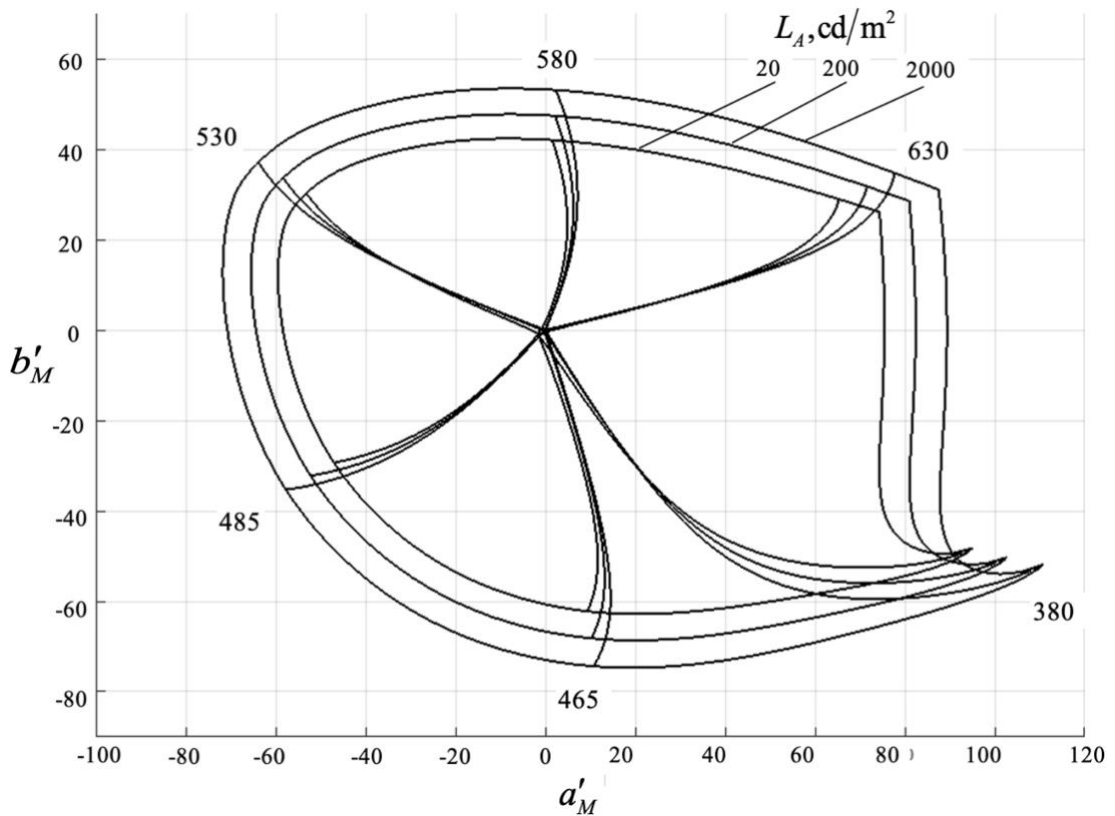


Figure 6 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 50$  and varying level of adaptive luminance  $L_A$

Figures 7-12 show cases in which shooting and / or observation conditions change. The viewing conditions should include three options reflected in the standards - dark, dull and medium. The figures show the amount of color rendition change at brightness 10 and 50 and adaptation brightness 20 and 200 cd / m<sup>2</sup>.

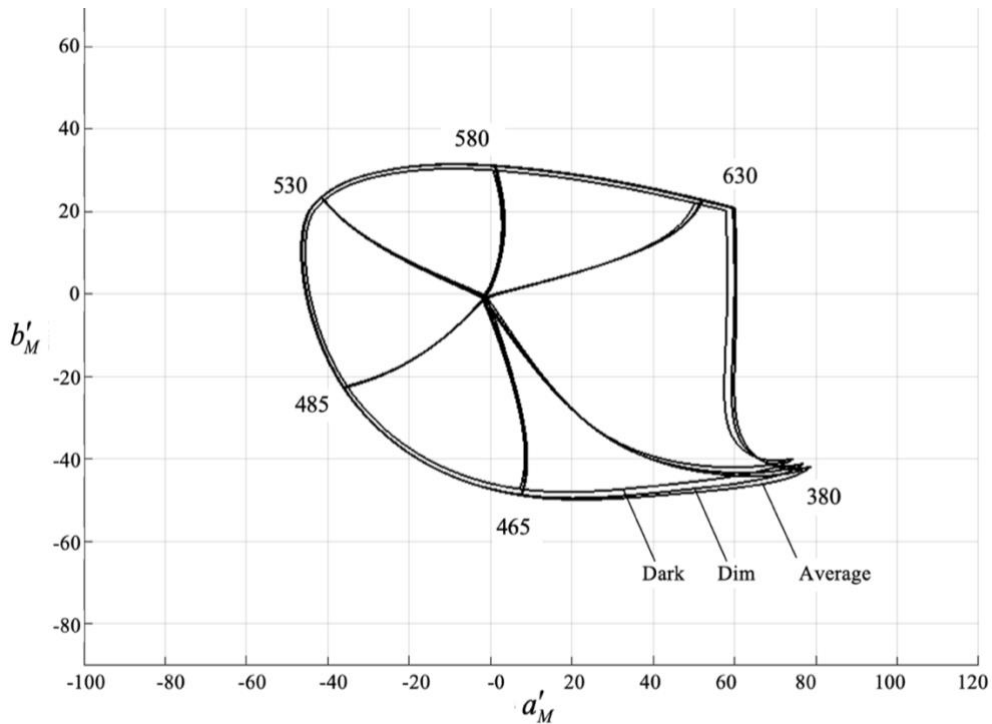


Figure 7 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 10$ , adaptive luminance  $L_A = 20 \text{ cd/m}^2$  and varying surround

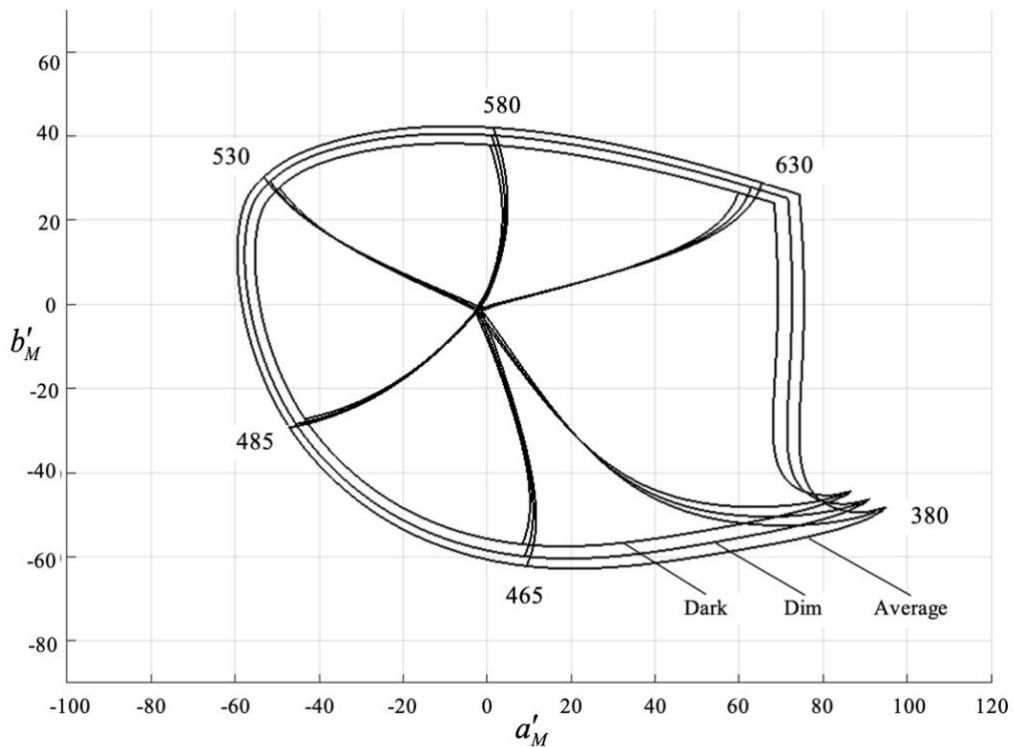


Figure 8 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 50$ , adaptive luminance  $L_A = 200 \text{ cd/m}^2$  and varying surround

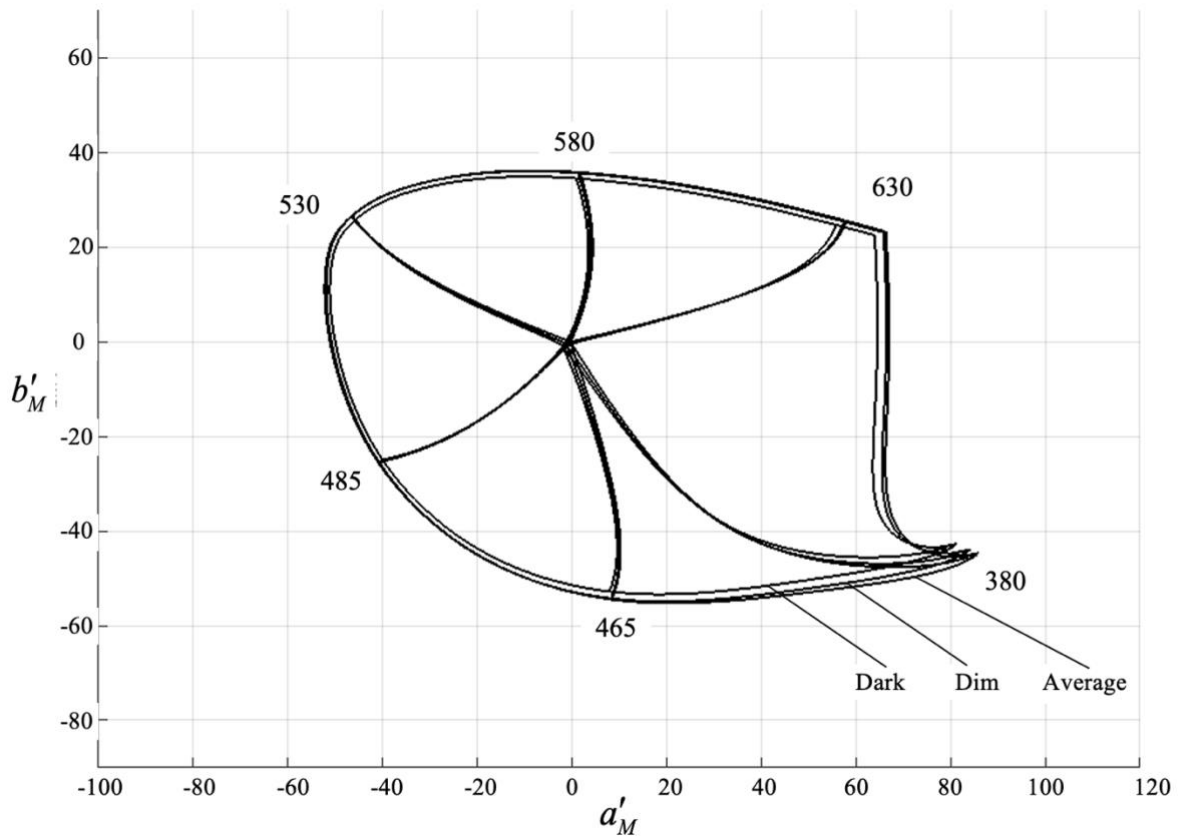


Figure 9 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y=10$ , adaptive luminance  $L_A = 200 \text{ cd/m}^2$  and varying surround

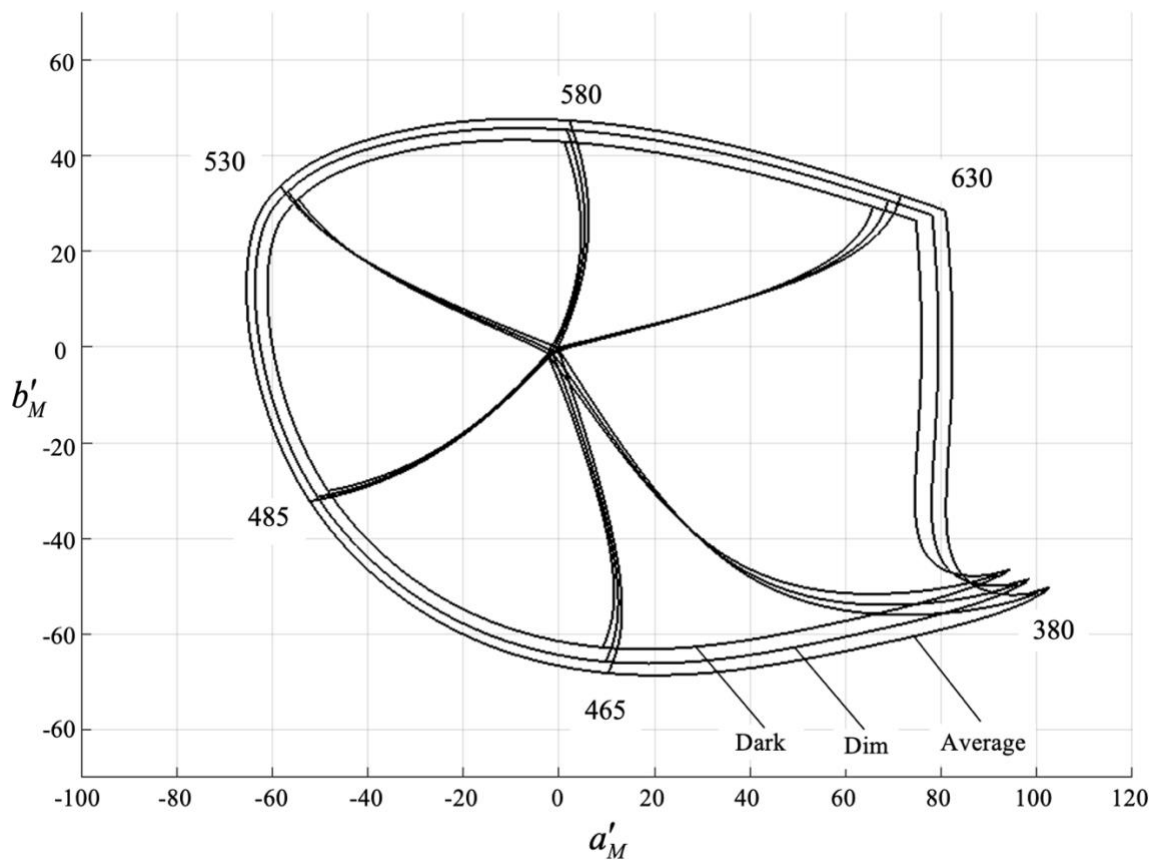




Figure 10 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 50$ ,  
 adaptive luminance  $L_A = 200 \text{ cd/m}^2$  and varying surround

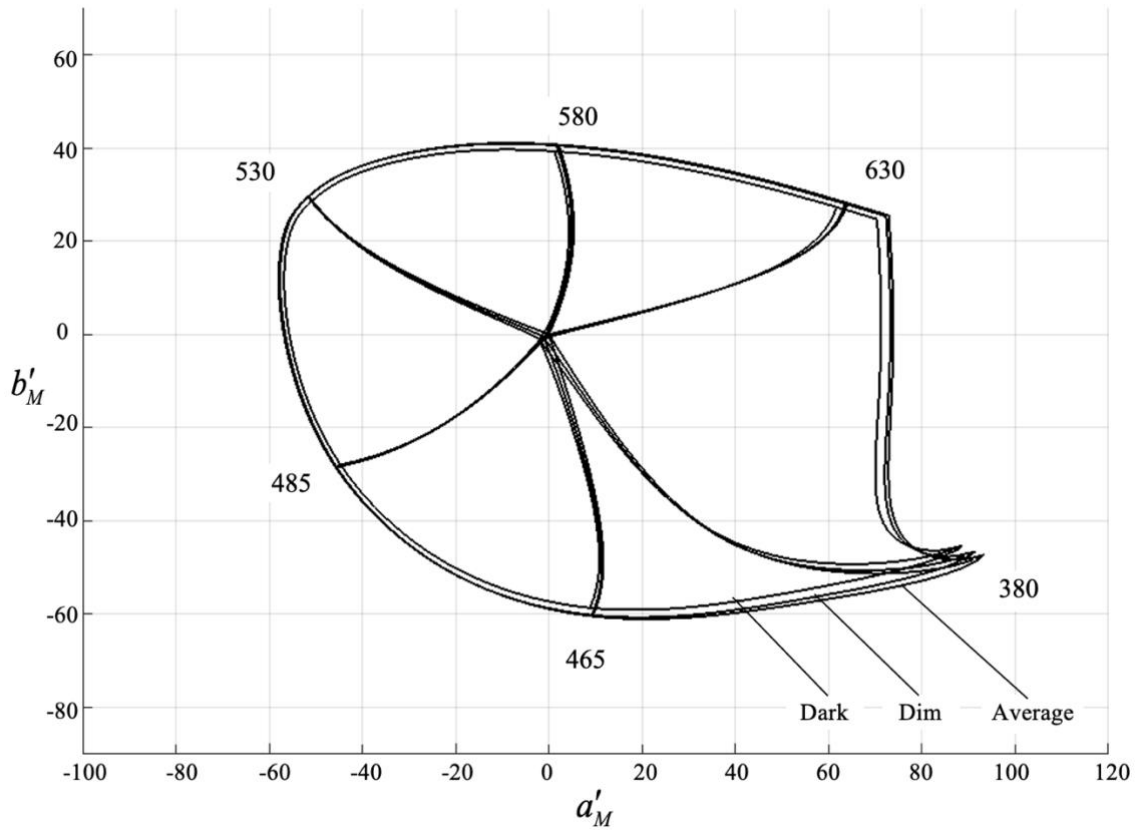


Figure 11 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 10$ ,  
 adaptive luminance  $L_A = 2000 \text{ cd/m}^2$  and varying surround

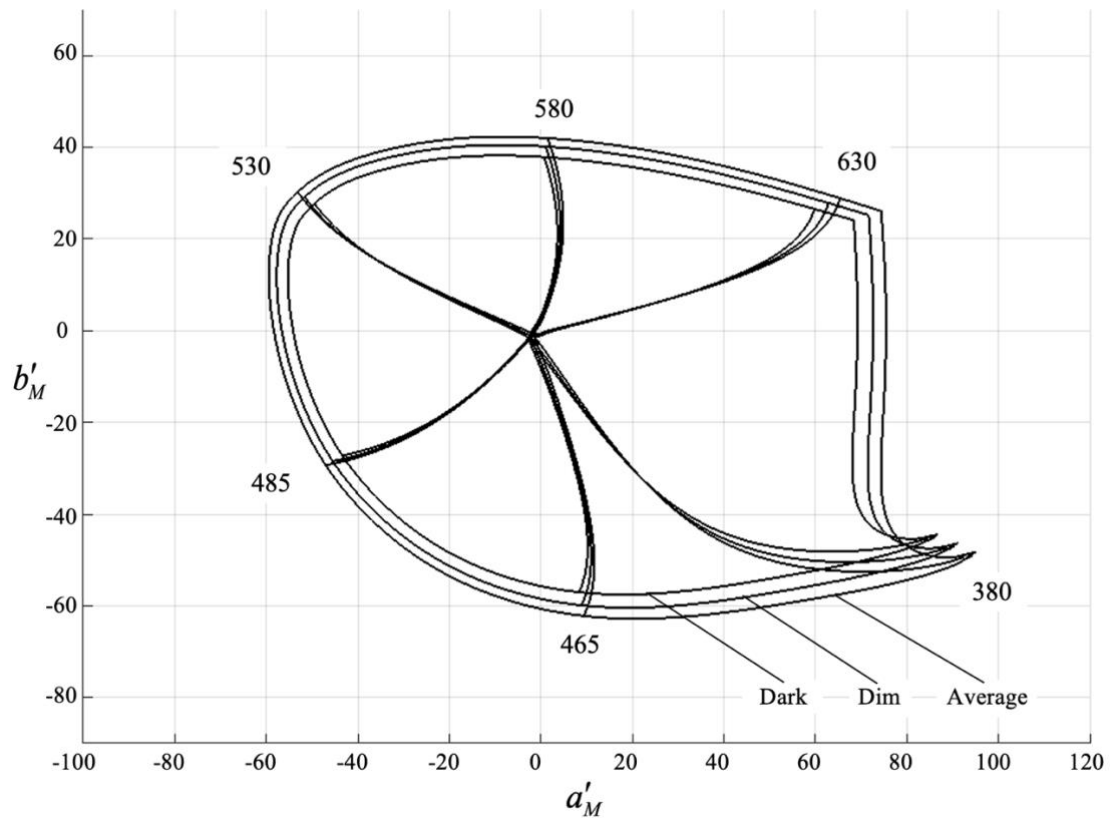


Figure 12 – Chromaticity diagram in the CAM16-UCS space for relative luminance  $Y = 50$ , adaptive luminance  $L_A = 2000 \text{ cd/m}^2$  and varying surround

Table 1 shows the white coordinates of the D65 type for various brightness and an adaptive parameter - the brightness of adaptation. It should be noted that the data cover the mesopic, scotopic, and photopic areas of vision.

Table 1 – Coordinates  $J', a'_M, b'_M$  of D65 halftone grey scale dots in uniform colour space CAM16-UCS for given values  $Y$  and  $L_A$

$Y$	$L_A = 20 \text{ кД/М}^2$			$L_A = 200 \text{ кД/М}^2$			$L_A = 2000 \text{ кД/М}^2$		
	$J'$	$a'_M$	$b'_M$	$J'$	$a'_M$	$b'_M$	$J'$	$a'_M$	$b'_M$
0.01	1.02	-0.15	-0.09	1.03	-0.32	-0.02	1.05	0	0
0.02	1.50	-0.18	-0.10	1.52	-0.04	-0.02	1.54	0	0
0.05	2.49	-0.24	-0.13	2.52	-0.05	-0.03	2.57	0	0
0.1	3.66	-0.29	-0.16	3.70	-0.06	-0.03	3.76	0	0
0.2	5.33	-0.35	-0.20	5.40	-0.07	-0.04	5.49	0	0
0.5	8.77	-0.45	-0.25	8.87	-0.09	-0.05	9.00	0	0
1	12.68	-0.54	-0.31	12.81	-0.11	-0.07	13.00	0	0
2	18.20	-0.66	-0.37	18.37	-0.14	-0.08	18.62	0	0
5	28.82	-0.84	-0.48	29.06	-0.18	-0.10	29.38	0	0
10	40.08	-1.02	-0.58	40.35	-0.21	-0.12	40.72	0	0
20	54.57	-1.22	-0.69	54.84	-0.26	-0.15	55.20	0	0
50	78.71	-1.56	-0.88	78.88	-0.33	-0.19	79.11	0	0
100	100	-1.87	-1.05	100	-0.39	-0.22	100	0	0

Table 2-4 presents data that indicate the degree of difference in the perceived coordinates of the transmitted color, depending on the adaptation factors. Estimates are given for visual stimuli for brightness from 0.01 to 100 units, as well as for relative saturation equal to 50 and 100%. The size of the changes is presented in a three-dimensional coordinate system for each axis separately, and in conventional units expressed by the length of the vector in space. The evaluation criteria should be applied from [20], in the tables the criteria are applied only for the vector  $\Delta E$ , since they are a complex change in the color value over three planes. The tables show: yellow - noticeable, but acceptable color changes, red - noticeable, inadmissible color changes. It should be noted that unacceptable changes in the coordinates of the stimulus color are those that are fundamentally different from the true color.

Table 2 – The dependence of change correlates of lightness  $J'$ , colorfulness  $M'$  and hue  $h'$  in CAM16-UCS color space with change of adapting luminance  $L_A$  between levels of 200 cd/m<sup>2</sup> and 20 cd/m<sup>2</sup> from colour stimulus purity  $p$  and relative luminance  $Y$

$p, \%$	$Y$	$\Delta J'_{200-20}$	$\Delta M'_{200-20}$	$\Delta h'_{200-20}$	$\Delta E_{200-20}$
$\lambda=380 \text{ nm}$					
50	1	0,14	2,88	0,28	2,90
	2	0,18	3,25	0,33	3,26
	5	0,24	3,72	0,40	3,75
	10	0,27	4,07	0,47	4,10
	20	0,26	4,40	0,54	4,44
	50	0,16	4,77	0,64	4,82
	100	-0,02	4,99	0,73	5,04
100	1	0,16	5,27	0,22	5,27
	2	0,20	5,61	0,26	5,62
	5	0,25	6,01	0,34	6,02
	10	0,26	6,25	0,42	6,26
	20	0,21	6,44	0,51	6,46
	50	0,04	6,58	0,69	6,61
	100	-0,20	6,59	0,87	6,65
$\lambda=465 \text{ nm}$					
50	1	0,14	2,52	0,28	2,54
	2	0,18	2,85	0,32	2,87
	5	0,24	3,30	0,39	3,33
	10	0,27	3,64	0,45	3,67
	20	0,26	3,96	0,52	4,00
	50	0,16	4,33	0,61	4,38
	100	-0,01	4,55	0,69	4,60
100	1	0,14	4,22	0,12	4,23
	2	0,18	4,59	0,14	4,60
	5	0,23	5,04	0,15	5,05
	10	0,26	5,34	0,16	5,35
	20	0,24	5,58	0,16	5,59
	50	0,12	5,80	0,15	5,80
	100	-0,07	5,86	0,12	5,86
$\lambda=485 \text{ nm}$					
50	1	0,13	2,29	0,01	2,30
	2	0,17	2,60	0,01	2,61
	5	0,23	3,03	0,01	3,04
	10	0,26	3,36	0,01	3,37
	20	0,27	3,67	0,01	3,68
	50	0,17	4,05	-0,01	4,06
	100	0,01	4,29	-0,02	4,29

Table 2 -Continue

$p, \%$	$Y$	$\Delta J'_{200-20}$	$\Delta M'_{200-20}$	$\Delta h'_{200-20}$	$\Delta E_{200-20}$
100	1	0,12	3,84	-0,07	3,85
	2	0,16	4,23	-0,08	4,23
	5	0,22	4,72	-0,11	4,72
	10	0,25	5,06	-0,13	5,07
	20	0,26	5,36	-0,17	5,37
	50	0,18	5,70	-0,23	5,70
	100	0,02	5,87	-0,30	5,88
$\lambda=530 \text{ nm}$					
50	1	0,13	3,27	-0,19	3,28
	2	0,17	3,64	-0,22	3,65
	5	0,23	4,12	-0,27	4,14
	10	0,26	4,47	-0,31	4,49
	20	0,27	4,79	-0,36	4,81
	50	0,19	5,14	-0,42	5,164
	100	0,03	5,34	-0,49	5,36
100	1	0,13	4,31	-0,17	4,31
	2	0,17	4,69	-0,19	4,69
	5	0,23	5,16	-0,24	5,17
	10	0,26	5,47	-0,27	5,49
	20	0,27	5,75	-0,32	5,76
	50	0,19	6,03	-0,39	6,05
	100	0,04	6,17	-0,46	6,18
$\lambda=580 \text{ nm}$					
50	1	0,14	1,63	-0,22	1,65
	2	0,18	1,89	-0,26	1,92
	5	0,24	2,29	-0,32	2,32
	10	0,27	2,61	-0,38	2,65
	20	0,27	2,95	-0,44	2,99
	50	0,17	3,40	-0,52	3,45
	100	0,00	3,73	-0,59	3,78
100	1	0,14	2,89	-0,25	2,90
	2	0,18	3,26	-0,28	3,28
	5	0,24	3,78	-0,34	3,80
	10	0,27	4,16	-0,38	4,19
	20	0,27	4,54	-0,42	4,57
	50	0,17	4,99	-0,47	5,02
	100	0,00	5,29	-0,49	5,31

Table 2 – End

$p, \%$	$Y$	$\Delta J'_{200-20}$	$\Delta M'_{200-20}$	$\Delta h'_{200-20}$	$\Delta E_{200-20}$
$\lambda=630 \text{ nm}$					
50	1	0,14	3,43	0,04	3,43
	2	0,19	3,83	0,04	3,83
	5	0,25	4,36	0,05	4,36
	10	0,28	4,74	0,06	4,75
	20	0,27	5,10	0,08	5,10
	50	0,16	5,50	0,09	5,50
	100	-0,03	5,73	0,11	5,73
100	1	0,15	5,06	-0,01	5,06
	2	0,19	5,45	-0,01	5,45
	5	0,25	5,90	0,00	5,90
	10	0,28	6,19	0,01	6,20
	20	0,26	6,43	0,02	6,44
	50	0,13	6,66	0,06	6,66
	100	-0,07	6,73	0,10	6,73

Table 3 – The dependence of change correlates of lightness  $J'$ , colorfulness  $M'$  and hue  $h'$  in the CAM16-UCS color space with change surround between ‘average’ and ‘dark’ from colour stimulus purity  $p$ , relative luminance  $Y$  and adapting luminance  $L_A$

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{ cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta E_{\text{av.-dark}}$
$\lambda=380 \text{ nm}$						
50	1	20	-9,75	-1,51	0,38	9,87
		200	-9,78	-1,70	0,51	9,94
		2000	-9,83	-1,88	0,60	10,02
	2	20	-10,89	-0,94	0,43	10,95
		200	-10,92	-1,04	0,58	10,99
		2000	-10,96	-1,13	0,68	11,04
	5	20	-11,61	0,05	0,51	11,62
		200	-11,61	0,07	0,68	11,63
		2000	-11,61	0,11	0,80	11,64
	10	20	-11,07	0,99	0,58	11,13
		200	-11,05	1,10	0,77	11,13
		2000	-11,02	1,23	0,90	11,12
	20	20	-9,22	2,09	0,66	9,48
		200	-9,18	2,29	0,86	9,50
		2000	-9,12	2,50	1,00	9,51
	50	20	-4,51	3,78	0,77	5,94
		200	-4,48	4,08	1,00	6,14
		2000	-4,43	4,39	1,15	6,34
	100	20	0,45	5,23	0,86	5,32
		200	0,45	5,59	1,10	5,71

Table 3 – Continue

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av-dark}}$	$\Delta E_{\text{av-dark}}$
		2000	0,44	5,93	1,26	6,08
100	1	20	-10,37	-2,03	0,24	10,57
		200	-10,40	-2,15	0,31	10,62
		2000	-10,44	-2,24	0,35	10,68
	2	20	-11,31	-0,86	0,26	11,35
		200	-11,33	-0,89	0,34	11,37
		2000	-11,35	-0,89	0,39	11,39
	5	20	-11,49	0,91	0,30	11,53
		200	-11,48	0,99	0,39	11,52
		2000	-11,48	1,09	0,44	11,52
	10	20	-10,33	2,41	0,33	10,61
		200	-10,29	2,56	0,42	10,61
		2000	-10,25	2,70	0,47	10,61
	20	20	-7,74	4,03	0,36	8,73
		200	-7,70	4,22	0,46	8,79
		2000	-7,64	4,41	0,51	8,84
	50	20	-2,15	6,31	0,40	6,68
		200	-2,14	6,54	0,51	6,90
		2000	-2,13	6,75	0,56	7,10
	100	20	3,15	8,12	0,44	8,72
		200	3,10	8,36	0,54	8,93
		2000	3,04	8,56	0,60	9,10
$\lambda=465 \text{ nm}$						
50	1	20	-9,68	-1,49	0,37	9,80
		200	-9,72	-1,69	0,50	9,88
		2000	-9,77	-1,89	0,60	9,97
	2	20	-10,85	-0,99	0,43	10,90
		200	-10,88	-1,12	0,57	10,95
		2000	-10,91	-1,23	0,68	11,00
	5	20	-11,61	-0,11	0,51	11,62
		200	-11,61	-0,13	0,68	11,63
		2000	-11,61	-0,12	0,81	11,64
	10	20	-11,13	0,73	0,58	11,17
		200	-11,11	0,80	0,77	11,16
		2000	-11,07	0,90	0,91	11,15
	20	20	-9,347	1,74	0,66	9,53
		200	-9,30	1,89	0,87	9,53
		2000	-9,25	2,08	1,02	9,53
	50	20	-4,73	3,31	0,77	5,82
		200	-4,69	3,56	1,02	5,99
		2000	-4,64	3,85	1,18	6,14

Table 3 – Continue

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta E_{\text{av.-dark}}$	
	100	20	0,19	4,67	0,87	4,75	
		200	0,19	4,98	1,13	5,11	
		2000	0,19	5,32	1,31	5,48	
100	1	20	-9,83	-2,20	0,19	10,07	
		200	-9,86	-2,40	0,25	10,16	
		2000	-9,91	-2,57	0,29	10,25	
	2	20	-10,96	-1,31	0,21	11,04	
		200	-10,99	-1,41	0,28	11,08	
		2000	-11,02	-1,48	0,32	11,12	
	5	20	-11,62	0,13	0,25	11,62	
		200	-11,62	0,15	0,32	11,68	
		2000	-11,62	0,20	0,37	11,62	
	10	20	-11,01	1,40	0,28	11,10	
		200	-10,98	1,50	0,36	11,09	
		2000	-10,95	1,62	0,42	11,08	
	20	20	-9,07	2,82	0,31	9,50	
		200	-9,01	2,98	0,40	9,52	
		2000	-8,97	3,16	0,46	9,53	
	50	20	-4,25	4,88	0,35	6,49	
		200	-4,23	5,11	0,46	6,65	
		2000	-4,19	5,34	0,52	6,81	
	100	20	0,76	6,57	0,39	6,62	
		200	0,74	6,81	0,51	6,87	
		2000	0,72	7,06	0,58	7,12	
	$\lambda=485 \text{ nm}$						
	50	1	20	-9,54	-1,65	0,02	9,68
			200	-9,581	-1,91	0,03	9,77
			2000	-9,63	-2,15	0,04	9,87
		2	20	-10,74	-1,20	0,03	10,81
			200	-10,77	-1,39	0,04	10,86
2000			-10,81	-1,55	0,04	10,92	
5		20	-11,60	-0,39	0,03	11,61	
		200	-11,60	-0,49	0,04	11,61	
		2000	-11,61	-0,53	0,05	11,62	
10		20	-11,24	0,40	0,04	11,25	
		200	-11,22	0,38	0,05	11,23	
		2000	-11,19	0,43	0,06	11,20	
20		20	-9,61	1,35	0,04	9,71	
		200	-9,578	1,41	0,06	9,68	
		2000	-9,52	1,55	0,07	9,64	
50		20	-5,20	2,85	0,05	5,93	

Table 3 – Continue

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av-dark}}$	$\Delta E_{\text{av-dark}}$	
		200	-5,17	3,00	0,07	5,98	
		2000	-5,11	3,24	0,08	6,06	
	100	20	-0,39	4,17	0,06	4,18	
		200	-0,39	4,37	0,08	4,39	
		2000	-0,38	4,67	0,09	4,69	
100	1	20	-9,34	-2,41	-0,07	9,65	
		200	-9,38	-2,67	-0,09	9,75	
		2000	-9,43	-2,89	-0,11	9,87	
	2	20	-10,58	-1,64	-0,08	10,71	
		200	-10,61	-1,80	-0,10	10,77	
		2000	-10,65	-1,92	-0,12	10,83	
	5	20	-11,57	-0,36	-0,09	11,58	
		200	-11,58	-0,40	-0,12	11,59	
		2000	-11,58	-0,39	-0,14	11,60	
	10	20	-11,37	0,80	-0,10	11,40	
		200	-11,36	0,85	-0,13	11,39	
		2000	-11,34	0,94	-0,15	11,38	
	20	20	-9,96	2,12	-0,11	10,18	
		200	-9,92	2,24	-0,14	10,17	
		2000	-9,87	2,40	-0,16	10,16	
	50	20	-5,84	4,07	-0,12	7,12	
		200	-5,81	4,28	-0,16	7,22	
		2000	-5,75	4,50	-0,18	7,31	
	100	20	-1,19	5,70	-0,13	5,82	
		200	-1,18	5,94	-0,17	6,05	
		2000	-1,17	6,19	-0,19	6,30	
	$\lambda=530 \text{ nm}$						
	50	1	20	-9,43	-2,095	-0,25	9,67
			200	-9,47	-2,34	-0,34	9,76
			2000	-9,53	-2,57	-0,40	9,88
		2	20	-10,66	-1,44	-0,29	10,76
			200	-10,69	-1,61	-0,38	10,81
2000			-10,73	-1,74	-0,45	10,87	
5		20	-11,58	-0,33	-0,34	11,59	
		200	-11,59	-0,37	-0,45	11,60	
		2000	-11,60	-0,38	-0,53	11,61	
10		20	-11,31	0,71	-0,38	11,34	
		200	-11,29	0,75	-0,50	11,33	
		2000	-11,26	0,84	-0,59	11,31	
20		20	-9,79	1,90	-0,43	9,98	
		200	-9,75	2,02	-0,56	9,97	



Table 3 – Continue

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av-dark}}$	$\Delta E_{\text{av-dark}}$	
	50	2000	-9,70	2,19	-0,65	9,96	
		20	-5,53	3,71	-0,50	6,68	
		200	-5,49	3,92	-0,65	6,78	
	100	2000	-5,44	4,17	-0,74	6,89	
		20	-0,80	5,24	-0,55	5,33	
		200	-0,79	5,50	-0,71	5,60	
		2000	-0,78	5,78	-0,81	5,89	
100	1	20	-9,32	-2,71	-0,22	9,71	
		200	-9,36	-2,96	-0,29	9,82	
		2000	-9,42	-3,17	-0,33	9,94	
	2	20	-10,6	-1,83	-0,24	10,73	
		200	-10,63	-1,98	-0,32	10,79	
		2000	-10,64	-2,09	-0,37	10,85	
	5	20	-11,56	-0,40	-0,28	11,58	
		200	-11,57	-0,43	-0,37	11,58	
		2000	-11,57	-0,41	-0,42	11,59	
	10	20	-11,37	0,87	-0,31	11,41	
		200	-11,36	0,92	-0,41	11,40	
		2000	-11,33	1,01	-0,47	11,39	
	20	20	-9,97	2,28	-0,35	10,23	
		200	-9,93	2,41	-0,45	10,23	
		2000	-9,88	2,56	-0,51	10,22	
	50	20	-5,87	4,35	-0,40	7,32	
		200	-5,83	4,54	-0,51	7,41	
		2000	-5,78	4,75	-0,57	7,50	
	100	20	-1,22	6,04	-0,43	6,18	
		200	-1,21	6,26	-0,55	6,40	
		2000	-1,20	6,48	-0,62	6,62	
	$\lambda=580 \text{ nm}$						
	50	1	20	-9,65	-0,57	-0,31	9,67
			200	-9,69	-0,63	-0,41	9,72
2000			-9,74	-0,71	-0,49	9,78	
2		20	-10,83	-0,28	-0,36	10,84	
		200	-10,85	-0,27	-0,47	10,87	
		2000	-10,89	-0,29	-0,57	10,91	
5		20	-11,61	0,27	-0,44	11,62	
		200	-11,61	0,38	-0,57	11,63	
		2000	-11,61	0,46	-0,69	11,64	
10		20	-11,15	0,82	-0,50	11,19	
		200	-11,12	1,02	-0,66	11,19	
		2000	-11,09	1,20	-0,79	11,18	

Table 3 – Continue

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av-dark}}$	$\Delta E_{\text{av-dark}}$	
	20	20	-9,39	1,50	-0,58	9,53	
		200	-9,35	1,81	-0,76	9,55	
		2000	-9,29	2,07	-0,90	9,56	
	50	20	-4,82	2,63	-0,70	5,53	
		200	-4,78	3,07	-0,90	5,75	
		2000	-4,73	3,46	-1,05	5,95	
	100	20	0,09	3,66	-0,79	3,74	
		200	0,09	4,20	-1,02	4,32	
		2000	0,09	4,67	-1,18	4,81	
100	1	20	-9,65	-1,37	-0,35	9,76	
		200	-9,69	-1,53	-0,46	9,82	
		2000	-9,74	-1,69	-0,55	9,90	
	2	20	-10,83	-0,82	-0,41	10,87	
		200	-10,85	-0,88	-0,53	10,90	
		2000	-10,89	-0,95	-0,62	10,95	
	5	20	-11,60	0,15	-0,47	11,61	
		200	-11,61	0,21	-0,62	11,62	
		2000	-11,61	0,27	-0,73	11,63	
	10	20	-11,14	1,07	-0,54	11,21	
		200	-11,12	1,23	-0,70	11,21	
		2000	-11,09	1,39	-0,82	11,20	
	20	20	-9,39	2,16	-0,61	9,65	
		200	-9,34	2,41	-0,79	9,68	
		2000	-9,29	2,65	-0,91	9,70	
	50	20	-4,81	3,84	-0,71	6,19	
		200	-4,77	4,20	-0,91	6,42	
		2000	-4,72	4,54	-1,04	6,63	
	100	20	0,10	5,28	-0,79	5,34	
		200	0,10	5,71	-1,00	5,80	
		2000	0,09	6,10	-1,13	6,20	
	$\lambda=630 \text{ nm}$						
	50	1	20	-9,82	-1,29	0,05	9,90
			200	-9,86	-1,40	0,07	9,95
2000			-9,90	-1,521	0,08	10,02	
2		20	-10,95	-0,61	0,06	10,97	
		200	-10,97	-0,63	0,07	11,00	
		2000	-11,01	-0,65	0,09	11,03	
5		20	-11,60	0,52	0,07	11,62	
		200	-11,60	0,65	0,09	11,62	
		2000	-11,60	0,75	0,10	11,62	
10		20	-10,99	1,57	0,08	11,11	
		200	-10,97	1,80	0,10	11,12	

Table 3 – End

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dark}}$	$\Delta E_{\text{av.-dark}}$
	20	2000	-10,93	2,00	0,11	11,11
		20	-9,05	2,78	0,08	9,47
		200	-9,01	3,11	0,11	9,53
	50	2000	-8,95	3,38	0,13	9,57
		20	-4,23	4,62	0,10	6,26
		200	-4,20	5,04	0,13	6,56
	100	2000	-4,15	5,39	0,15	6,81
		20	0,78	6,16	0,11	6,21
		200	0,78	6,64	0,14	6,69
100	1	2000	0,76	7,02	0,16	7,07
		20	-9,94	-2,04	-0,03	10,15
		200	-9,98	-2,16	-0,04	10,21
	2	2000	-10,03	-2,26	-0,05	10,28
		20	-11,04	-0,98	-0,04	11,08
		200	-11,06	-0,99	-0,05	11,11
	5	2000	-11,09	-1,00	-0,05	11,14
		20	-11,59	0,67	-0,04	11,61
		200	-11,58	0,78	-0,05	11,61
	10	2000	-11,58	0,87	-0,06	11,61
		20	-10,86	2,08	-0,05	11,05
		200	-10,83	2,27	-0,06	11,06
	20	2000	-10,79	2,43	-0,07	11,06
		20	-8,77	3,63	-0,05	9,49
		200	-8,72	3,88	-0,06	9,55
	50	2000	-8,66	4,09	-0,07	9,60
		20	-3,76	5,85	-0,06	6,96
		200	-3,73	6,15	-0,07	7,19
100	2000	-3,70	6,39	-0,08	7,38	
	20	1,33	7,62	-0,06	7,74	
	200	1,32	7,94	-0,08	8,05	
		2000	1,29	8,18	-0,08	8,28

Table 4 – The dependence of change correlates of lightness  $J'$ , colorfulness  $M'$  and hue  $h'$  in theCAM16-UCS color space with change surround between ‘average’ and ‘dim’ from colour stimulus purity  $p$ , relative luminance  $Y$  and adapting luminance  $L_A$

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$
$\lambda=380 \text{ nm}$						
50	1	20	-5,30	-1,29	0,19	5,46
		200	-5,33	-1,46	0,25	5,53
		2000	-5,36	-1,62	0,30	5,61
	2	20	-6,07	-1,00	0,22	6,16
		200	-6,09	-1,11	0,29	6,20

Table 4 – Continuation

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$
	5	2000	-6,11	-1,22	0,34	6,24
		20	-6,66	-0,46	0,26	6,68
		200	-6,66	-0,50	0,34	6,69
	10	2000	-6,66	-0,53	0,41	6,70
		20	-6,47	0,07	0,30	6,48
		200	-6,46	0,08	0,39	6,47
	20	2000	-6,44	0,11	0,46	6,46
		20	-5,48	0,69	0,34	5,53
		200	-5,45	0,76	0,44	5,52
	50	2000	-5,42	0,84	0,51	5,51
		20	-2,72	1,68	0,40	3,22
		200	-2,70	1,81	0,51	3,29
	100	2000	-2,67	1,94	0,59	3,36
		20	0,27	2,53	0,44	2,59
		200	0,27	2,70	0,57	2,77
100	1	2000	0,27	2,86	0,65	2,95
		20	-5,71	-1,94	0,12	6,03
		200	-5,73	-2,06	0,15	6,09
	2	2000	-5,76	-2,17	0,18	6,16
		20	-6,37	-1,28	0,13	6,50
		200	-6,39	-1,35	0,17	6,53
	5	2000	-6,40	-1,40	0,20	6,56
		20	-6,65	-0,26	0,15	6,66
		200	-6,65	-0,26	0,20	6,65
	10	2000	-6,65	-0,24	0,22	6,65
		20	-6,09	0,61	0,17	6,12
		200	-6,07	0,66	0,21	6,11
	20	2000	-6,04	0,71	0,24	6,09
		20	-4,63	1,57	0,19	4,89
		200	-4,60	1,64	0,23	4,89
	50	2000	-4,57	1,72	0,26	4,89
		20	-1,30	2,92	0,21	3,21
		200	-1,30	3,02	0,26	3,30
	100	2000	-1,29	3,12	0,29	3,38
		20	1,91	4,00	0,22	4,44
		200	1,88	4,11	0,28	4,53
		2000	1,84	4,20	0,31	4,60

Table 4 – Continuation

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$	
$\lambda=465 \text{ nm}$							
50	1	20	-5,26	-1,23	0,18	5,41	
		200	-5,29	-1,39	0,25	5,47	
		2000	-5,32	-1,56	0,30	5,55	
	2	20	-6,04	-0,98	0,21	6,12	
		200	-6,06	-1,10	0,29	6,16	
		2000	-6,08	-1,22	0,34	6,21	
	5	20	-6,65	-0,50	0,26	6,67	
		200	-6,65	-0,56	0,35	6,69	
		2000	-6,66	-0,61	0,41	6,70	
	10	20	-6,50	-0,03	0,30	6,50	
		200	-6,48	-0,04	0,40	6,50	
		2000	-6,47	-0,03	0,47	6,49	
	20	20	-5,55	0,54	0,34	5,58	
		200	-5,52	0,58	0,45	5,57	
		2000	-5,49	0,65	0,52	5,55	
	50	20	-2,85	1,45	0,40	3,22	
		200	-2,83	1,56	0,53	3,27	
		2000	-2,80	1,68	0,61	3,32	
	100	20	0,12	2,25	0,45	2,30	
		200	0,11	2,40	0,59	2,47	
		2000	0,11	2,55	0,68	2,64	
	100	1	20	-5,36	-1,90	0,09	5,68
			200	-5,38	-2,07	0,12	5,77
			2000	-5,41	-2,23	0,15	5,85
2		20	-6,11	-1,41	0,11	6,27	
		200	-6,13	-1,53	0,14	6,32	
		2000	-6,15	-1,62	0,16	6,37	
5		20	-6,67	-0,60	0,12	6,70	
		200	-6,67	-0,64	0,17	6,70	
		2000	-6,67	-0,66	0,19	6,71	
10		20	-6,44	0,13	0,14	6,44	
		200	-6,43	0,14	0,18	6,43	
		2000	-6,41	0,17	0,21	6,42	
20		20	-5,39	0,95	0,15	5,48	
		200	-5,37	1,01	0,20	5,47	
		2000	-5,34	1,07	0,24	5,45	
50		20	-2,57	2,17	0,18	3,36	
		200	-2,55	2,26	0,24	3,42	
		2000	-2,53	2,36	0,27	3,47	
100		20	0,46	3,17	0,20	3,21	

		200	0,45	3,28	0,26	3,32
		2000	0,44	3,39	0,30	3,43

Table 4 – Continuation

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$
$\lambda=485 \text{ nm}$						
50	1	20	-5,17	-1,30	0,01	5,33
		200	-5,20	-1,49	0,02	5,40
		2000	-5,23	-1,67	0,02	5,49
	2	20	-5,96	-1,07	0,01	6,06
		200	-5,98	-1,22	0,02	6,10
		2000	-6,01	-1,37	0,02	6,16
	5	20	-6,63	-0,64	0,02	6,66
		200	-6,63	-0,74	0,02	6,67
		2000	-6,64	-0,81	0,03	6,69
	10	20	-6,55	-0,20	0,02	6,55
		200	-6,54	-0,25	0,02	6,54
		2000	-6,53	-0,27	0,03	6,53
	20	20	-5,70	0,34	0,02	5,71
		200	-5,67	0,33	0,03	5,68
		2000	-5,64	0,37	0,03	5,65
	50	20	-3,13	1,21	0,03	3,36
		200	-3,11	1,26	0,03	3,36
		2000	-3,08	1,36	0,04	3,37
	100	20	-0,23	1,98	0,03	1,99
		200	-0,23	2,07	0,04	2,08
		2000	-0,23	2,20	0,05	2,21
100	1	20	-5,05	-1,97	-0,03	5,42
		200	-5,07	-2,18	-0,05	5,52
		2000	-5,10	-2,36	-0,05	5,62
	2	20	-5,85	-1,56	-0,04	6,06
		200	-5,87	-1,70	-0,05	6,12
		2000	-5,90	-1,83	-0,06	6,18
	5	20	-6,59	-0,85	-0,05	6,64
		200	-6,60	-0,92	-0,06	6,66
		2000	-6,60	-0,97	-0,07	6,68
	10	20	-6,61	-0,19	-0,05	6,61
		200	-6,60	-0,21	-0,07	6,61
		2000	-6,59	-0,20	-0,08	6,60
	20	20	-5,89	0,57	-0,06	5,91
		200	-5,87	0,60	-0,07	5,90
		2000	-5,84	0,65	-0,08	5,88
	50	20	-3,51	1,72	-0,06	3,91
		200	-3,49	1,80	-0,08	3,93
		2000	-3,46	1,89	-0,09	3,95
	100	20	-0,72	2,68	-0,07	2,77
		200	-0,72	2,78	-0,09	2,88
		2000	-0,71	2,90	-0,10	2,98

Table 4 – Continuation

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$
$\lambda=530 \text{ nm}$						
50	1	20	-5,11	-1,69	-0,13	5,38
		200	-5,13	-1,89	-0,17	5,47
		2000	-5,16	-2,08	-0,20	5,57
	2	20	-5,90	-1,36	-0,14	6,06
		200	-5,92	-1,50	-0,19	6,11
		2000	-5,95	-1,64	-0,23	6,18
	5	20	-6,61	-0,75	-0,17	6,65
		200	-6,61	-0,82	-0,23	6,67
		2000	-6,62	-0,88	-0,27	6,69
	10	20	-6,58	-0,17	-0,20	6,58
		200	-6,57	-0,19	-0,26	6,58
		2000	-6,56	-0,18	-0,30	6,57
	20	20	-5,79	0,52	-0,22	5,82
		200	-5,77	0,55	-0,29	5,81
		2000	-5,74	0,60	-0,33	5,78
	50	20	-3,33	1,58	-0,26	3,69
		200	-3,31	1,66	-0,33	3,72
		2000	-3,27	1,77	-0,38	3,74
	100	20	-0,48	2,48	-0,28	2,54
		200	-0,48	2,59	-0,37	2,66
		2000	-0,47	2,72	-0,42	2,79
100	1	20	-5,04	-2,21	-0,11	5,50
		200	-5,06	-2,41	-0,14	5,61
		2000	-5,09	-2,59	-0,17	5,72
	2	20	-5,84	-1,73	-0,12	6,10
		200	-5,86	-1,87	-0,16	6,19
		2000	-5,89	-1,99	-0,19	6,22
	5	20	-6,58	-0,93	-0,14	6,65
		200	-6,59	-1,00	-0,19	6,67
		2000	-6,59	-1,04	-0,21	6,68
	10	20	-6,61	-0,21	-0,16	6,61
		200	-6,60	-0,22	-0,21	6,61
		2000	-6,59	-0,21	-0,24	6,60
	20	20	-5,89	0,61	-0,18	5,93
		200	-5,87	0,65	-0,23	5,91
		2000	-5,84	0,70	-0,26	5,89
	50	20	-3,53	1,83	-0,20	3,98
		200	-3,51	1,91	-0,26	4,00
		2000	-3,47	1,99	-0,30	4,02
	100	20	-0,74	2,83	-0,22	2,93
		200	-0,73	2,93	-0,28	3,03
		2000	-0,73	3,03	-0,32	3,13

Table 4 – Continuation

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$	
$\lambda=580 \text{ nm}$							
50	1	20	-5,24	-0,56	-0,15	5,28	
		200	-5,27	-0,64	-0,20	5,32	
		2000	-5,30	-0,73	-0,24	5,36	
	2	20	-6,02	-0,41	-0,18	6,04	
		200	-6,04	-0,46	-0,24	6,06	
		2000	-6,07	-0,52	-0,28	6,09	
	5	20	-6,64	-0,13	-0,22	6,65	
		200	-6,65	-0,11	-0,29	6,65	
		2000	-6,65	-0,11	-0,34	6,66	
	10	20	-6,51	0,18	-0,25	6,51	
		200	-6,49	0,24	-0,33	6,51	
		2000	-6,48	0,29	-0,40	6,50	
	20	20	-5,57	0,56	-0,30	5,61	
		200	-5,55	0,68	-0,38	5,60	
		2000	-5,52	0,79	-0,45	5,59	
	50	20	-2,90	1,20	-0,36	3,16	
		200	-2,88	1,41	-0,46	3,24	
		2000	-2,85	1,59	-0,54	3,31	
	100	20	0,05	1,81	-0,41	1,85	
		200	0,05	2,07	-0,52	2,14	
		2000	0,05	2,30	-0,61	2,38	
	100	1	20	-5,25	-1,21	-0,17	5,39
			200	-5,27	-1,36	-0,23	5,45
			2000	-5,30	-1,51	-0,27	5,52
2		20	-6,02	-0,92	-0,20	6,10	
		200	-6,04	-1,02	-0,26	6,13	
		2000	-6,07	-1,12	-0,31	6,18	
5		20	-6,64	-0,40	-0,24	6,66	
		200	-6,66	-0,42	-0,31	6,67	
		2000	-6,65	-0,44	-0,37	6,68	
10		20	-6,50	0,11	-0,27	6,51	
		200	-6,49	0,15	-0,36	6,50	
		2000	-6,48	0,19	-0,41	6,49	
20		20	-5,57	0,73	-0,31	5,63	
		200	-5,55	0,83	-0,40	5,62	
		2000	-5,51	0,92	-0,46	5,61	
50		20	-2,90	1,71	-0,36	3,38	
		200	-2,87	1,87	-0,46	3,46	
		2000	-2,84	2,02	-0,53	3,53	
100		20	0,06	2,56	-0,41	2,59	
		200	0,06	2,76	-0,52	2,81	
		2000	0,06	2,94	-0,58	3,00	



Table 4 – End

$p, \%$	$Y$	$L_A, \text{cd/m}^2$	$\Delta J'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta M'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta h'_{\text{av.-dim}}$	$\Delta E_{\text{av.-dim}}$
$\lambda=630 \text{ nm}$						
50	1	20	-5,35	-1,23	0,02	5,49
		200	-5,37	-1,37	0,03	5,54
		2000	-5,41	-1,50	0,04	5,61
	2	20	-6,11	-0,88	0,03	6,17
		200	-6,13	-0,95	0,04	6,20
		2000	-6,15	-1,03	0,04	6,23
	5	20	-6,66	-0,26	0,03	6,67
		200	-6,66	-0,25	0,04	6,67
		2000	-6,67	-0,25	0,05	6,67
	10	20	-6,43	0,33	0,04	6,44
		200	-6,42	0,40	0,05	6,43
		2000	-6,40	0,46	0,06	6,42
	20	20	-5,38	1,03	0,04	5,48
		200	-5,36	1,16	0,06	5,48
		2000	-5,32	1,26	0,07	5,47
	50	20	-2,55	2,10	0,05	3,31
		200	-2,53	2,29	0,07	3,42
		2000	-2,51	2,45	0,08	3,50
100	20	0,47	3,01	0,06	3,04	
	200	0,47	3,24	0,07	3,27	
	2000	0,46	3,41	0,08	3,45	
100	1	20	-5,43	-1,91	-0,02	5,76
		200	-5,46	-2,05	-0,02	5,83
		2000	-5,49	-2,17	-0,02	5,90
	2	20	-6,17	-1,33	-0,02	6,31
		200	-6,19	-1,40	-0,02	6,34
		2000	-6,21	-1,46	-0,03	6,38
	5	20	-6,67	-0,39	-0,02	6,68
		200	-6,67	-0,38	-0,03	6,68
		2000	-6,67	-0,37	-0,03	6,68
	10	20	-6,36	0,43	-0,02	6,38
		200	-6,35	0,49	-0,03	6,37
		2000	-6,33	0,54	-0,03	6,35
	20	20	-5,22	1,34	-0,03	5,39
		200	-5,19	1,44	-0,03	5,39
		2000	-5,16	1,52	-0,04	5,38
	50	20	-2,27	2,65	-0,03	3,49
		200	-2,25	2,78	-0,04	3,58
		2000	-2,23	2,89	-0,04	3,65
100	20	0,81	3,70	-0,03	3,79	
	200	0,80	3,85	-0,04	3,93	
	2000	0,78	3,96	-0,04	4,04	

Table 5 – The dependence of change correlates of lightness  $J'$ , colorfulness  $M'$  and hue  $h'$  in the CAM16-UCS color space from colour stimulus purity  $p$  and relative luminance  $Y$  with combined change surround between 'average' and 'dark' and adapting luminance  $L_A$  between 200 cd/m<sup>2</sup> and 20 cd/m<sup>2</sup>

$p, \%$	$Y$	$\Delta J'_{av.200-dark20}$	$\Delta M'_{av.200-dark20}$	$\Delta h'_{av.200-dark20}$	$\Delta E_{av.200-dark20}$
$\lambda=380 \text{ nm}$					
50	1	-9,61	1,37	0,70	9,73
	2	-10,72	2,30	0,80	10,99
	5	-11,37	3,77	0,96	12,02
	10	-10,80	5,06	1,09	11,98
	20	-8,96	6,49	1,23	11,13
	50	-4,36	8,56	1,43	9,71
	100	0,43	10,22	1,60	10,35
100	1	-10,21	3,24	0,48	10,72
	2	-11,11	4,75	0,55	12,10
	5	-11,24	6,92	0,65	13,21
	10	-10,07	8,66	0,76	13,30
	20	-7,52	10,46	0,88	12,92
	50	-2,12	12,89	1,09	13,11
	100	2,95	14,71	1,29	15,06
$\lambda=465 \text{ nm}$					
50	1	-9,55	1,03	0,69	9,63
	2	-10,67	1,86	0,79	10,86
	5	-11,37	3,19	0,94	11,85
	10	-10,86	4,37	1,07	11,76
	20	-9,09	5,70	1,21	10,79
	50	-4,57	7,64	1,41	9,01
	100	0,18	9,23	1,57	9,36
100	1	-9,69	2,02	0,33	9,91
	2	-10,78	3,29	0,37	11,27
	5	-11,38	5,17	0,42	12,51
	10	-10,75	6,74	0,45	12,70
	20	-8,82	8,40	0,48	12,19
	50	-4,13	10,68	0,52	11,46
	100	0,69	12,43	0,52	12,46
$\lambda=485 \text{ nm}$					
50	1	-9,41	0,64	0,04	9,43
	2	-10,57	1,40	0,04	10,67
	5	-11,37	2,64	0,05	11,67
	10	-10,98	3,76	0,05	11,60
	20	-9,35	5,03	0,05	10,61
	50	-5,03	6,91	0,05	8,54
	100	-0,38	8,46	0,04	8,46

Table 5 – Continue

$p, \%$	$Y$	$\Delta J'_{av.200-dim20}$	$\Delta M'_{av.200-dim20}$	$\Delta h'_{av.200-dim20}$	$\Delta E_{av.200-dim20}$
100	1	-9,22	1,43	-0,14	9,33
	2	-10,42	2,58	-0,16	10,75
	5	-11,35	4,35	-0,20	12,16
	10	-11,12	5,86	-0,24	12,57
	20	-9,70	7,48	-0,30	12,25
	50	-5,67	9,77	-0,35	11,30
	100	-1,17	11,57	-0,43	11,64
$\lambda=530 \text{ nm}$					
50	1	-9,31	1,18	-0,47	9,39
	2	-10,49	2,20	-0,54	10,73
	5	-11,35	3,79	-0,63	11,99
	10	-11,04	5,17	-0,72	12,21
	20	-9,52	6,69	-0,81	11,67
	50	-5,35	8,85	-0,94	10,39
	100	-0,77	10,58	-1,05	10,66
100	1	-9,20	1,60	-0,41	9,35
	2	-10,40	2,86	-0,46	10,80
	5	-11,34	4,76	-0,54	12,31
	10	-11,11	6,34	-0,61	12,81
	20	-9,70	8,03	-0,68	12,61
	50	-5,68	10,38	-0,79	11,86
	100	-1,19	12,21	-0,89	12,30
$\lambda=580 \text{ nm}$					
50	1	-9,52	1,05	-0,56	9,59
	2	-10,65	1,62	-0,66	10,79
	5	-11,37	2,56	-0,80	11,68
	10	-10,87	3,43	-0,92	11,44
	20	-9,12	4,45	-1,05	10,20
	50	-4,64	6,03	-1,25	7,71
	100	0,09	7,39	-1,41	7,52
100	1	-9,52	1,52	-0,63	9,66
	2	-10,65	2,45	-0,72	10,95
	5	-11,36	3,93	-0,85	12,05
	10	-10,87	5,24	-0,95	12,10
	20	-9,12	6,70	-1,06	11,36
	50	-4,64	8,83	-1,20	10,05
	100	0,09	10,57	-1,30	10,65
$\lambda=630 \text{ nm}$					
50	1	-9,68	2,14	0,09	9,91
	2	-10,76	3,21	0,11	11,23
	5	-11,36	4,88	0,13	12,36
	10	-10,72	6,31	0,14	12,44
	20	-8,79	7,88	0,16	11,80

Table 5 – End

$p, \%$	$Y$	$\Delta J'_{av.200-dim20}$	$\Delta M'_{av.200-dim20}$	$\Delta h'_{av.200-dim20}$	$\Delta E_{av.200-dim20}$
	50	-4,08	10,11	0,19	10,91
	100	0,75	11,89	0,22	11,91
100	1	-9,80	3,02	-0,05	10,25
	2	-10,8	4,46	-0,05	11,73
	5	-11,34	6,56	-0,05	13,10
	10	-10,58	8,28	-0,04	13,43
	20	-8,51	10,07	-0,03	13,18
	50	-3,63	12,50	-0,01	13,02
	100	1,26	14,36	0,03	14,41

CONCLUSION

The presented results allow obtaining a complete analysis of the CAM16 model in the entire range of perceived brightness, as well as depending on the adaptive factors. Figures 1-12 show the degree of change in the region of perceived colors, and the example of five primary colors shows estimates for the relative saturation from 0 to 1. At the same time, it should be concluded that if the conditions on the transmitting and receiving sides are different, then there is a difference in coordinates perceived color. This difference can be categorized as "not noticeable", "noticeable but acceptable" and "not acceptable". From the presented data in table. 1-5, it can be seen that preferential data is classified as "noticeable" and "not acceptable". For example, if it is assumed that on the transmitting side the ambient conditions are classified as dark, and on the receiving side as average, then the difference in stimulus perception will not be acceptable. Therefore, it can be concluded that for multimedia and related applications, the conditions at the transmitting and receiving sides should be taken into account and, if possible, adjusted.

REFERENCES

- 1 CIE. A Colour Appearance Model for Color Management Systems: CIECAM02, CIE TC8-01 Technical Report, CIE Pub. No. 159 (2004)
- 2 CIE. The CIE 1997 Interim Colour Appearance Model (Simple Version), CIECAM97s, CIE Pub. No. 131 (1998) Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange
- 3 Ming Ronnier Luo and Changjun Li, CIECAM02 and Its Recent Developments, Chapter 2 of C. Fernandez-Maloigne (ed.), Advanced Color Image Processing and Analysis, DOI 10.1007/978-1-4419-6190-7 2, © Springer Science+Business Media New York 2013
- 4 Li Changjun; Chorro-Calderon Elisabeth; Luo M. Ronnier; Pointer Michael R. Recent Progress with Extensions to CIECAM02, 17<sup>th</sup> Colour Imaging Conference, Final Program and Proceedings, 2009, P. 69–74
- 5 Brill M.H. Irregularity in CIECAM02 and its avoidance, Color Research and Application, 2006, V. 31, Issue 2; P. 142–145
- 6 Brill M.H. Repairing gamut problems in CIECAM02: A progress report, Color Research and Application; v. 33, issue 5; DOI:10.1002/col.20432
- 7 Michael Brill, Marc Mahy, Visualization of mathematical inconsistencies in CIECAM02, Color Research and Application; 2013, v. 38, issue 3, p.188-195; DOI:10.1002/col.20432
- 8 Changjun Li, Zhiqiang Li, Zhifeng Wang, Yang Xu, Ming Ronnier Luo, Guihua Cu, Manuel Melgosa, Michael H. Brill, Michael Pointer Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16, and CAM16-UCS, Color Research and Application, December 2017, Pages 703-718
- 9 CIE. JTC 10 (D8/D1): A New Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM16 <http://www.cie.co.at/technicalcommittees/new-colour-appearance-model-colour-management-systems-ciecam16>
- 10 Ebner F.; Fairchild M.D. (1998), Development and Testing of a Color Space with Improved Hue Uniformity, Proc. IS&T 6th Color Imaging Conference, Scottsdale, AZ, pp. 8–13.
- 11 Recommendation ITU-R BT.2100-2 (07/2018) Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange

- 12 Muhammad Safdar, Guihua Cui, Youn Jin Kim, Ming Ronnier Luo, Perceptually uniform color space for image signals including high dynamic range and wide gamut, *Optics Express*, Vol. 25, Issue 13, pp. 15131-15151 (2017) <https://doi.org/10.1364/OE.25.015131>
- 13 Gofaizen O.V. The conception of image quality management in TV systems of future. "Pratzi of the UNIIRT" ("Proceedings of the UNIIRT"), 1996. – № 2 (6). – С. 97
- 14 Recommendation ITU-R BT.1691-1 (2009) – Adaptive image quality control in digital television systems
- 15 Recommendation ITU-R BT.1692-1 (2009) – Optimization of the quality of colour reproduction in digital television
- 16 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V., Problem questions of TV colorimetry / *Digital Technologies*, 2014. – No. 16. – P. 104–110
- 17 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V., Digital television systems colour gamut / *Digital technologies*, 2012. – No 11, P. 47–70
- 18 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. Colorimetric characteristics of new video applications: Digital cinema and digital television systems matching / *Digital technologies*, 2012. – No 1, – P. 85–99
- 19 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. Matching of some color spaces for use in different industries and spaces of color television systems / *Proceedings of ONAT n.a. A.S. Popov.* – 2013. – No 2. – P. 33-40
- 20 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. TV image colour appearance characteristics: Perception adaptive properties / *Digital Technologies*, 2011. – No. 10. – P. 86–105
- 21 O.V Gofaizen, V.V. Pilyavskiy, S.V. Osetsky Colorimetric characteristics of through light-to-light TV path: calculation spectral sensitivity characteristics of primary color channels of video cameras / *Digital Technologies*, 2016. – No. 17. – P. 101-125.
- 22 Gofaizen O.V., Pyliavskiy V.V. Color rendition quality problem in digital television systems and related applications / 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), 1-16 Sept. 2016, Conference proceedings, IEEE, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2016.7739635
- 23 Recommendation ITU-R BT.2020-2 (10/2015) Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange

#### REFERENCES

- 1 CIE. A Colour Appearance Model for Color Management Systems: CIECAM02, CIE TC8-01 Technical Report, CIE Pub. No. 159 (2004)
- 2 CIE. The CIE 1997 Interim Colour Appearance Model (Simple Version), CIECAM97s, CIE Pub. No. 131 (1998) Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange
- 3 Ming Ronnier Luo and Changjun Li, CIECAM02 and Its Recent Developments, Chapter 2 of C. Fernandez-Maloigne (ed.), *Advanced Color Image Processing and Analysis*, DOI 10.1007/978-1-4419-6190-7 2, © Springer Science+Business Media New York 2013
- 4 Li Changjun; Chorro-Calderon Elisabeth; Luo M. Ronnier; Pointer Michael R. Recent Progress with Extensions to CIECAM02, 17<sup>th</sup> Colour Imaging Conference, Final Program and Proceedings, 2009, P. 69–74
- 5 Brill M.H. Irregularity in CIECAM02 and its avoidance, *Color Research and Application*, 2006, V. 31, Issue 2; P. 142–145
- 6 Brill M.H. Repairing gamut problems in CIECAM02: A progress report, *Color Research and Application*; v. 33, issue 5; DOI:10.1002/col.20432
- 7 Michael Brill, Marc Mahy, Visualization of mathematical inconsistencies in CIECAM02, *Color Research and Application*; 2013, v. 38, issue 3, p.188-195; DOI:10.1002/col.20432
- 8 Changjun Li, Zhiqiang Li, Zhifeng Wang, Yang Xu, Ming Ronnier Luo, Guihua Cu, Manuel Melgosa, Michael H. Brill, Michael Pointer Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16, and CAM16-UCS, *Color Research and Application*, December 2017, Pages 703-718
- 9 CIE. JTC 10 (D8/D1): A New Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM16 <http://www.cie.co.at/technicalcommittees/new-colour-appearance-model-colour-management-systems-ciecam16>
- 10 Ebner F.; Fairchild M.D. (1998), Development and Testing of a Color Space with Improved Hue Uniformity, *Proc. IS&T 6th Color Imaging Conference*, Scottsdale, AZ, pp. 8–13.
- 11 Recommendation ITU-R BT.2100-2 (07/2018) Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange
- 12 Muhammad Safdar, Guihua Cui, Youn Jin Kim, Ming Ronnier Luo, Perceptually uniform color space for image signals including high dynamic range and wide gamut, *Optics Express*, Vol. 25, Issue 13, pp. 15131-15151 (2017) <https://doi.org/10.1364/OE.25.015131>

- 13 Gofaizen O.V. The conception of image quality management in TV systems of future. “Pratzi of the UNIIRT” (“Proceedings of the UNIIRT”), 1996. – № 2 (6). – С. 97
- 14 Recommendation ITU-R BT.1691-1 (2009) – Adaptive image quality control in digital television systems
- 15 Recommendation ITU-R BT.1692-1 (2009) – Optimization of the quality of colour reproduction in digital television
- 16 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V., Problem questions of TV colorimetry / Digital Technologies, 2014. – No. 16. – P. 104–110
- 17 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V., Digital television systems colour gamut / Digital technologies, 2012. – No 11, P. 47–70
- 18 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. Colorimetric characteristics of new video applications: Digital cinema and digital television systems matching / Digital technologies, 2012. – No 1, – P. 85–99
- 19 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. Matching of some color spaces for use in different industries and spaces of color television systems / Proceedings of ONAT n.a. A.S. Popov. – 2013. – No 2. – P. 33-40
- 20 Gofaizen O.V., Pilyavskiy V.V. TV image colour appearance characteristics: Perception adaptive properties / Digital Technologies, 2011. – No. 10. – P. 86–105
- 21 O.V Gofaizen, V.V. Pilyavskiy, S.V. Osetsky Colorimetric characteristics of through light-to-light TV path: calculation spectral sensitivity characteristics of primary color channels of video cameras / Digital Technologies, 2016. – No. 17. – P. 101-125.
- 22 Gofaizen O.V., Pyliavskiy V.V. Color rendition quality problem in digital television systems and related applications / 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), 1-16 Sept. 2016, Conference proceedings, IEEE, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2016.7739635
- 23 Recommendation ITU-R BT.2020-2 (10/2015) Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange