

УДК 681.7.08:535.232.001.5

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-71-76

Поправка на «случайный успех» при проведении экспериментов по методу постоянных стимулов

Г.В. Боос, А.А. Григорьев, В.А. Рыбина

Создано новое выражение для «поправки на случайный успех», необходимое для обработки результатов экспериментальных исследований вероятностных характеристик зрительной системы, полученных по методу постоянных стимулов при наличии принудительного выбора. При проведении экспериментов по методу постоянных стимулов возможны пять вариантов ответов наблюдателя:

в поле зрения обнаружен объект — ответ: «есть объект»;

объект в поле зрения не обнаружен — ответ: «нет объекта»;

в поле зрения обнаружен фон без объекта — ответ: «есть фон»;

фон без объекта в поле зрения не обнаружен — ответ: «нет фона»;

непонятно, что находится в поле зрения — ответ: «непонятно, что это».

При наличии принудительного выбора, т. е. из пяти возможных вариантов наблюдатель должен давать только два варианта ответов:

в поле зрения обнаружен объект — ответ: «есть объект»;

в поле зрения обнаружен фон без объекта: — «ответ есть фон».

Поскольку давать ответ «непонятно, что это» нельзя, то наблюдатель вынужден прибегать к случайному угадыванию. Для исключения влияния случайного угадывания Х. Блеквелл получил выражение для поправки «на случайный успех» в следующем виде:

$P_{об} = (P_{об}^2 - P_{лт}^2) / (1 - P_{лт}^2)$. Анализ на основе статистической модели зрительной системы показал, что расчетное выражение для этой поправки должно иметь следующий вид: $P_{об} = P_{об}^2 - P_{лт}^2$.

Причина отличия полученного выражения от предложенной Х. Блеквеллом «поправки на случайный успех» в том, он ошибочно предположил, что при предъявлении фона наблюдатель всегда прибегает к случайному угадыванию. Проведенный в статье анализ показал, что наблюдатель с вероятностью, близкой к $P_{об}$, правильно обнаруживает наличие фона без объекта. Только в оставшихся $(1 - P_{об})$ случаях он прибегает к случайному угадыванию.

Отличие пороговых контрастов, рассчитанных с использованием нового и классического расчетных выражений, достигает 14%.

Ключевые слова: вероятности обнаружения и ложной тревоги, пороговый контраст, отношение правдоподобия, случайное угадывание.

Для цитирования: Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А. Поправка на «случайный успех» при проведении экспериментов по методу постоянных стимулов // Вестник МЭИ. 2019. № 6. С. 71—76. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-71-76.

The Correction for Chance Success in Carrying out Experiments According to the Method of Constant Stimuli

G.V. Boos, A.A. Grigoryev, V.A. Rybina

A new expression for the “correction for chance success” is derived, which is necessary for processing the results of experimental investigations into the probability characteristics of a vision system obtained according to the constant stimuli method under forced choice conditions. There may be five possible responses of the observer in conducting experiments according to the constant stimuli method:

An object has been detected in the field of view — the answer is “there is an object”.

No object has been detected in the field of view — the answer is “there is no object”.

A background without an object has been detected in the field of view — the answer is “there is a background”.

A background without an object has not been detected in the field of view — the answer is “there is no background”.

It is not clear what there is in the field of view — the answer is “it is not clear what it is”.

If there is a forced choice, the observer can give only two possible answers out of five possible versions:

An object has been detected in the field of view — the answer is “there is an object”.

A background without an object has been detected in the field of view — the answer is “there is a background”.

Since it is prohibited to give the answer “it is not clear what it is”, the observer is forced to resort to random guessing. To eliminate the influence of random guessing, H. Blackwell derived an expression for the “correction for chance success” in the following form:

$P_{об} = (P_{об}^3 - P_{лт}^3)(1 - P_{лт}^3)$. An analysis carried out based on the vision system statistical model has shown that the expression for calculating this correction should be as follows: $P_{об} = P_{об}^3 - P_{лт}^3$.

The reason why the obtained expression differs from the “correction for chance success” proposed by H. Blackwell is because he mistakenly conjectured that the observer always resorts to random guessing in seeing a background. The analysis carried out in the paper has shown that an observer correctly detects the presence of a background without an object with a probability close to $P_{об}$, and it is only in the remaining $(1 - P_{об}^3)$ cases that the observer resorts to random guessing.

The difference between the threshold contrasts calculated using the new and classical expressions reaches 14%.

Key words: detection probability, false alarm probability, threshold contrast, likelihood ratio, random guessing.

For citation: Boos G.V., Grigoryev A.A., Rybina V.A. A The Correction for Chance Success in Carrying out Experiments According to the Method of Constant Stimuli. Bulletin of MPEI. 2019;6:71—76. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-71-76.

Введение

При проведении экспериментальных исследований пороговых и вероятностных характеристик зрительной системы человека наиболее часто используются два метода — пределов (минимальных изменений) и постоянных стимулов [1, 4 — 9]. Второй метод обладает большей информативностью, поскольку позволяет определить не только пороговое значение стимула, но и построить рабочую характеристику наблюдателя, а также зависимость вероятности обнаружения стимула от его величины. При его использовании возникает необходимость предварительной обработки полученных экспериментальных результатов с целью исключения явления случайного угадывания.

Анализ классической «поправки на случайный успех»

В исследовании по методу постоянных стимулов возможны пять вариантов ответов наблюдателя:

- в поле зрения обнаружен объект — ответ: «есть объект»;
- объект в поле зрения не обнаружен — ответ: «нет объекта»;
- в поле зрения обнаружен фон без объекта — ответ: «есть фон»;
- фон без объекта в поле зрения не обнаружен — ответ: «нет фона»;
- непонятно, что находится в поле зрения — ответ: «непонятно, что это».

Для уменьшения дисперсии ответов наблюдателя данный метод используется в сочетании с принудительным выбором, т. е. из пяти возможных вариантов наблюдатель должен дать только два варианта ответов:

- в поле зрения обнаружен объект — ответ: «есть объект»;
- в поле зрения обнаружен фон без объекта — ответ: «есть фон».

Методика принудительного выбора приводит к тому, что при возникновении ситуации «непонятно,

что находится в поле зрения» — ответ: «непонятно, что это» дать невозможно, поэтому наблюдатель вынужден прибегать к случайному угадыванию, используя не-сенсорную информацию. Впервые с этим столкнулся Х. Блеквелл [2]. Для исключения влияния случайного угадывания он получил выражение для поправки «на случайный успех» в следующем виде:

$$P_{об} = \frac{P_{об}^3 - P_{лт}^3}{1 - P_{лт}^3}, \quad (1)$$

где $P_{об}$ — истинная вероятность обнаружения объекта, полученная за счет сенсорной информации; $P_{об}^3$ — вероятность обнаружения, полученная в экспериментах по обнаружению; $P_{лт}^3$ — вероятность ложных тревог, т. е. ответов наблюдателя, — объект при его отсутствии в поле зрения, полученная экспериментально.

До настоящего времени считалось, что рассуждения Х. Блеквелла при выводе (1) безупречны. Исходя из теории высокого порога зрительной системы человека, он считал, что в отсутствие объекта шумы зрительной системы настолько малы, что никогда не превысят значение порога. В этом случае на основе сенсорной информации наблюдатель никогда не сможет дать ответ «есть объект» при его отсутствии в поле зрения. Поскольку в экспериментах подобные ответы наблюдаются, то это связано со случайным угадыванием P_{cy} , которое не связано с получаемой сенсорной информацией. К случайному угадыванию наблюдатель прибегает с вероятностью $1 - P_{об}^3$, т. е. когда он не обнаруживает объект за счет сенсорной информации. При этом вероятность обнаружения объекта, полученная в экспериментах, выглядит следующим образом:

$$P_{об}^3 = P_{об} + P_{cy} = P_{об} + p_1(1 - P_{об}^3), \quad (2)$$

где p_1 — вероятность случайных ответов наблюдателя о наличии объекта (выдача ответа — есть объект) как при предъявлении объекта, так и фона.

Согласно теории высокого порога зрительной системы Х. Блеквелла ложные тревоги даются наблюдателем только за счет угадывания, поэтому $p_1 = P_{лт}^3$.

При этом из (2) следует (1). Неточность полученных Х. Блеквеллом результатов выявляется, если рассмотреть задачу обнаружения объекта, исходя из статистической модели зрительной системы, описанной в [3 — 9].

Анализ «поправки на случайный успех», исходя из статистической модели зрительной системы

Согласно статистической модели информация, содержащаяся в случайных реализациях, возникающих на выходе рецепторов зрительной системы, обуславливает вероятность обнаружения объекта и определяется следующими выражениями:

$$P_{об} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Lambda}^2}} \int_{\ln\Lambda_n}^{\infty} \exp\left[-\frac{z - m_{\Lambda}}{2\sigma_{\Lambda}^2}\right] dz = \Phi(y), \quad (3)$$

где $\Phi(y) = \int_{-\infty}^y \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ — интеграл вероятности;

$$y = \frac{m_{\Lambda} - \ln\Lambda_n}{\sigma_{\Lambda}}; \quad (4)$$

m_{Λ} , σ_{Λ}^2 — математическое ожидание и дисперсия $\ln(\Lambda)$;

$\Lambda = \frac{P[Y/S]}{P[Y/0]}$ — отношение правдоподобия, $P[Y/S]$ — ве-

роятность возникновения на выходе рецепторов статистической модели зрительной системы совокупности сигналов Y при условии, что в поле зрения наблюдателя находится объект; $P[Y/0]$ — вероятность возникновения на выходе рецепторов той же реализации Y при условии, что в поле зрения объект отсутствует; Λ_n — пороговое отношение правдоподобия, определяющее критерий принятия наблюдателем решения о наличии объекта, $\Lambda \geq \Lambda_n$.

Согласно статистической модели, в отсутствие принудительного выбора наблюдатель, работающий по алгоритму оптимального двумерного приемника изображения с фиксированным критерием принятия решения, может дать четыре варианта ответов в восьми возможных случаях.

При условии наличия объекта в поле зрения наблюдателя:

- $\Lambda \geq \Lambda_n$ — правильное обнаружение объекта, ответ: «есть объект»;

- $\Lambda \leq \Lambda_n$ — пропуск объекта, ответ: «нет объекта»;

- $\Lambda_1 = \frac{P[Y/0]}{P[Y/S]} \geq \Lambda_n$ — ложная тревога по фону — ответ: «есть фон»;

- $\Lambda_1 < \Lambda_n$ — правильная констатация отсутствия фона, ответ: «нет фона».

Остальные условия возникают, когда в поле зрения наблюдателя объект отсутствует, т. е. находится только фон:

- $\Lambda \geq \Lambda_n$ — ложная тревога, ответ: «есть объект»;

- $\Lambda < \Lambda_n$ — правильная констатация отсутствия объекта, ответ: «нет объекта»;

- $\Lambda_1 \geq \Lambda_n$ — правильное обнаружение фона, ответ: «есть фон»;

- $\Lambda_1 < \Lambda_n$ — пропуск фона, ответ: «нет фона».

При принудительном выборе из четырех возможных вариантов ответов у наблюдателя остаются только два — объект или фон находятся в поле его зрения. Для того, чтобы по установившемуся критерию Λ_n наблюдатель смог дать ответ «есть объект», необходимо, чтобы одновременно выполнялись условия правильного обнаружения объекта и правильной констатации отсутствия фона в случае наличия объекта в поле зрения, а также правильной констатации отсутствия объекта и правильного обнаружения фона при его отсутствии.

Эти условия непротиворечивы, поскольку $\Lambda_1 = \Lambda^{-1}$. Действительно, если выполняется условие правильного обнаружения объекта, т. е. $\Lambda \geq \Lambda_n$, то при $\Lambda_n > 1$ всегда выполняется условие правильной констатации отсутствия фона, так как из условия правильного обнаружения объекта следует, что $\Lambda_1 = \Lambda^{-1} < \Lambda_n^{-1}$ и, следовательно, меньше Λ_n . Аналогично с условиями правильной констатации отсутствия объекта и правильного обнаружения фона.

Для того, чтобы по выбранному критерию можно было дать ответ «есть фон», необходимо одновременное выполнение условий пропуска объекта и ложной тревоги по фону при условии наличия объекта в поле зрения и условий правильной констатации отсутствия объекта и правильного обнаружения фона при наличии фона. Нетрудно заметить, что и эти условия непротиворечивы в области $\Lambda_1 \geq \Lambda_n$ или $\Lambda \leq 1/\Lambda_n$. Однако, они охватывают лишь часть всех возможных значений Λ . Остается область значений, определяемая неравенством:

$$1/\Lambda_n \leq \Lambda \leq \Lambda_n. \quad (5)$$

В этой области наблюдатель по выбранному критерию не может отнести полученную реализацию ни к объекту, ни к фону. Если бы не было принудительного выбора, то он дал бы ответ: «непонятно, что это». Поскольку при принудительном выборе подобный ответ не допускается, то, стремясь наилучшим образом решить задачу, он вынужден прибегать к случайному угадыванию.

При проведении экспериментов наблюдателю априорно неизвестно, находится ли объект в его поле зрения, следовательно вероятность случайного угадывания им предъявления объекта выглядит как:

$$P_{cy} = p_1 P[\Lambda_n^{-1} \leq \Lambda \leq \Lambda_n/S],$$

где $P[\cdot/S]$ — вероятность выполнения (5) при условии предъявления объекта.

С учетом случайного угадывания, вероятность обнаружения объекта, получаемая экспериментально, определится выражением:

$$P_{об}^3 = P_{об} + P_{cy} = P[\Lambda \geq \Lambda_n/S] + p_1 P[\Lambda_n^{-1} \leq \Lambda \leq \Lambda_n/S]. \quad (6)$$

Величина $P_{об}$ рассчитывается по выражению (3).

Поскольку в пороговых условиях $P_{об} = 0,5$ — аргумент интеграла вероятности, определяемый (4), равен нулю, то $m_\Lambda = \ln(\Lambda_n)$.

Это позволяет найти вероятность случайного угадывания:

$$\begin{aligned} P_{cy} &= p_1 \left[P[\Lambda \leq \Lambda_n/S] - P[\Lambda \leq \Lambda_n^{-1}/S] \right] = \\ &= p_1 \left[1 - P_{об} - \Phi \left(-\frac{2 \ln \Lambda_n}{\sqrt{2 \ln \Lambda_n}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Для последующего анализа полученных выражений надо вычислить величину Λ_n , определяющую критерий принятия наблюдателем решения в статистической модели.

Рассмотрим выражение для аргумента интеграла вероятности (4) в случае обнаружения объекта с произвольным распределением яркости по его поверхности и поверхности фона.

Для этого случая в [3] получены выражения для m_Λ и σ_Λ^2 :

$$m_\Lambda = \iint_{\Omega} \left[X_o(\eta, \theta) \ln \left(\frac{X_o(\eta, \theta)}{X_\phi(\eta, \theta)} \right) - X_o(\eta, \theta) + X_\phi(\eta, \theta) \right] d\eta d\theta; \quad (8)$$

$$\sigma_\Lambda^2 = \iint_{\Omega} X_o(\eta, \theta) \ln^2 \left(\frac{X_o(\eta, \theta)}{X_\phi(\eta, \theta)} \right) d\eta d\theta, \quad (9)$$

где $X_o(\eta, \theta)$, $X_\phi(\eta, \theta)$ — плотности распределения математических ожиданий выходных сигналов приемников излучения статистической модели при условии предъявления объекта и фона; η, θ — угловые координаты в пределах поля зрения Ω .

Ограничимся случаем малых контрастов объекта с фоном, когда в разложении функции $X(\eta, \theta)$ в ряд по степеням L достаточно учесть только линейные члены:

$$X_o(\eta, \theta) = \frac{dX(\eta, \theta)}{dL} \Delta L(\eta, \theta) + X_\phi.$$

Разложив в (8), (9) логарифм в ряд и ограничившись (с учетом малого контраста) двумя членами разложения, получим:

$$y = \frac{\iint_{\Omega} \frac{1}{2X(\eta, \theta)} \left[\frac{dX}{dL} \right]^2 \Delta L^2(\eta, \theta) d\eta d\theta - \ln \Lambda_n}{\sqrt{\iint_{\Omega} \frac{1}{X(\eta, \theta)} \left[\frac{dX}{dL} \right]^2 \Delta L^2(\eta, \theta) d\eta d\theta}}. \quad (10)$$

При наблюдении равнояркого объекта на равномерном фоне $\Delta L(\eta, \theta) = KL_\phi$, где K — исходный яркостной контраст, тогда (10) примет вид:

$$y = \frac{K^2 Z - \ln \Lambda_n}{\sqrt{K^2 Z}}, \quad (11)$$

$$\text{где } Z = L^2 \iint_{\Omega} \frac{1}{X(\eta, \theta)} \left[\frac{dX}{dL} \right]^2 d\eta d\theta.$$

Следует отметить, что при малых контрастах объекта с фоном величина Z зависит от яркости фона, функции $X(\eta, \theta)$, размеров и формы объекта, но не зависит от его контраста. Запишем (11) в пороговых условиях ($y = 0$) и выразим Z через пороговый контраст K_n и Λ_n :

$$Z = \frac{2 \ln \Lambda_n}{K_n^2},$$

тогда (11) примет вид:

$$y = \sqrt{\frac{\ln \Lambda_n}{2} \left[\left| \frac{K}{K_n} \right| - \left| \frac{K_n}{K} \right| \right]}, \quad (12)$$

где $|\cdot|$ — абсолютное значение.

Из выражения (12) следует, что для определения $\ln \Lambda_n$ достаточно использовать зависимость вероятности обнаружения объекта от величины отношения наблюдаемого контраста объекта с фоном к его пороговому значению. Уровень яркости фона и тип объекта при этом безразличны. Единственное ограничение на условия проведения эксперимента следует из предположения, сделанного при выводе (12): контраст объектов и пороговый контраст должны быть много меньше единицы.

На рисунке приведены результаты экспериментальных исследований вероятности обнаружения прямоугольников на равномерном фоне в зависимости от отношения исследуемого контраста к пороговому при разных яркостях фона и угловых размерах прямоугольников. Расчеты показали, что с доверительной вероятностью 0,95 значение $\ln \Lambda_n$ статистически неотлично от 4,0. Сплошной кривой показаны результаты расчета по выражениям (3), (12) при значении $\ln \Lambda_n = 4,0$.

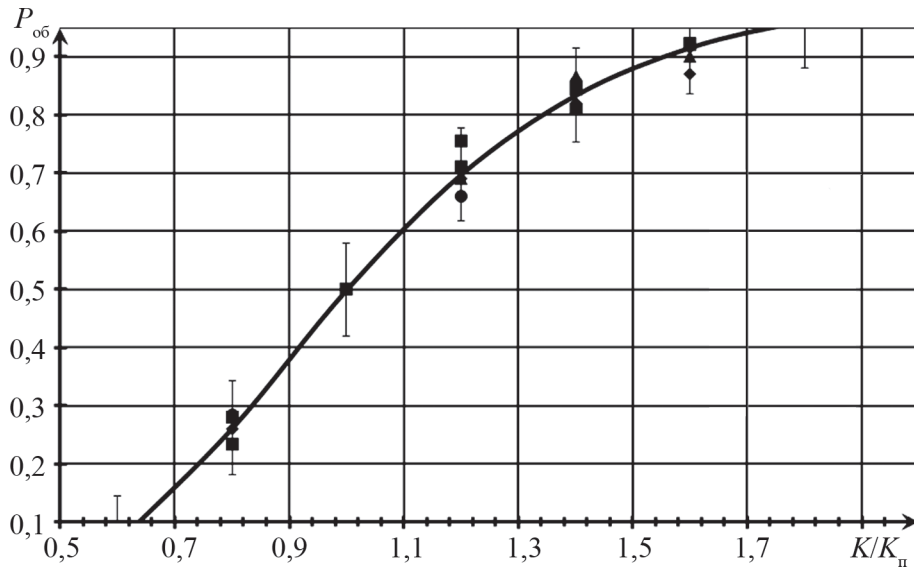
Поскольку величину $\ln \Lambda_n$ можно считать равной четырем, то значением интеграла вероятности

$$\left(\Phi \left[-\frac{2 \ln \Lambda_n}{\sqrt{2 \ln \Lambda_n}} \right] = \Phi \left[-\sqrt{8} \right] \approx 0,00235 \right)$$

в (7) можно пренебречь, тогда:

$$P_{cy} = p_1(1 - P_{об}). \quad (13)$$

После подстановки полученного выражения в (6) получим выражение, совпадающее с промежуточной формулой Х. Блеквелла (2). Это позволяет сделать вывод о том, что предположение Х. Блеквелла о высоком пороге зрительной системы вполне правомерно. Ошибка появляется на этапе расчета вероятности ложных



Зависимость вероятности обнаружения прямоугольников с отношением сторон 1:5 от отношения их контраста K к пороговому контрасту K_n (угловой размер большей стороны в угловых минутах/яркость фона в кд/м²):

— расчет; ■ — 180/20; ● — 180/2; ◆ — 180/0,2; ▲ — 25/25; ■ — 25/2,5

тревог, определяемых в эксперименте. Они появляются, когда в поле зрения наблюдателя находится фон без объекта. Выражения для математического ожидания и дисперсии $\ln \Lambda$ в этом случае будут равны:

$$m_{\Lambda}^1 = \iint_{\Omega} \left[X_{\phi}(\eta, \theta) \ln \left(\frac{X_{\phi}(\eta, \theta)}{X_o(\eta, \theta)} \right) - X_{\phi}(\eta, \theta) + X_o(\eta, \theta) \right] d\eta d\theta;$$

$$\sigma_{\Lambda}^1 = \sqrt{\iint_{\Omega} X_{\phi}(\eta, \theta) \ln^2 \left(\frac{X_{\phi}(\eta, \theta)}{X_o(\eta, \theta)} \right) d\eta d\theta}.$$

Вероятность ложных тревог, получаемая в эксперименте, определяется следующим образом:

$$P_{лт}^3 = P_{лт} + P_{сy}^1 = P[\Lambda \geq \Lambda_n/0] + p_1 P[\Lambda_n^{-1} \leq \Lambda \leq \Lambda_n/0], \quad (14)$$

где $P_{лт}$ — вероятность ложных тревог, возникающая за счет сенсорной информации (превышение Λ над Λ_n); $P_{сy}^1$ — вероятность ложных тревог, возникающая за счет случайного угадывания.

Для малых контрастов объекта с фоном $m_{\Lambda}^1 = -m_{\Lambda}$, $\sigma_{\Lambda}^1 = \sqrt{2m_{\Lambda}}$, тогда вероятность $P_{лт}$ можно описать выражением:

$$P_{лт} = \Phi \left(-\frac{m_{\Lambda} + \ln \Lambda_n}{\sqrt{2m_{\Lambda}}} \right).$$

В пороговых условиях величина m_{Λ} равна $\ln \Lambda_n$, а $P_{лт} \approx 0,00235$, и ею в расчетном выражении (14) можно пренебречь. Следовательно, вероятность ложных тревог, определяемая экспериментально, рассчитывается как:

$$P_{лт}^3 = p_1 P[\Lambda_n^{-1} \leq \Lambda \leq \Lambda_n/0] = p_1 \left[\Phi \left(-\frac{m_{\Lambda} - \ln \Lambda_n}{\sqrt{2m_{\Lambda}}} \right) - P_{лт} \right].$$

Повторно пренебрегая малым значением $P_{лт}$ и учитывая, что $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$, получим:

$$P_{лт}^3 = p_1 (1 - P_{об}^3). \quad (15)$$

Подставим (15) в (6) и с учетом (13) найдем новое выражение для «поправки на случайный успех»:

$$P_{об}^3 = P_{об}^2 - P_{лт}^3.$$

Заключение

Отличие полученного выражения от предложенной Х. Блеквеллом «поправки на случайный успех» заключается в том, что, сделав правильное предположение о высоком пороге зрительной системы, он ошибочно предположил, что при предъявлении фона наблюдатель всегда прибегает к случайному угадыванию. Анализ на основе статистической модели зрительной системы показал, что по установившемуся у наблюдателя критерию он с вероятностью, близкой к вероятности обнаружения объекта правильно обнаруживает наличие фона без объекта, и только в оставшихся $(1 - P_{об}^3)$ случаях вынужден прибегать к случайному угадыванию.

Расчеты с использованием новой «поправки на случайный успех» показывают, что полученные значения пороговых контрастов в среднем на 14% больше, чем при использовании «поправки на случайный успех» Х. Блеквелла.

Литература

References

1. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Blackwell H.R. Contrast Thresholds of the Human Eye // J. Optical Soc. America. 1946. V. 36. No. 11. Pp. 624—643.
3. Боос Г.В., Григорьев А.А. Новый подход к определению качественных характеристик установок наружного освещения // Светотехника. 2015. № 6. С. 21—26.
4. Григорьев А.А. Применение теории статистических решений к расчету вероятностных и пороговых характеристик органа зрения // Светотехника. 2000. № 6. С. 23—25.
5. Скорик Ю.А., Елисеев Н.П., Григорьев А.А. Анализ методик и совершенствование оценки зрительных функций наблюдателя // Вестник МЭИ. 2018. № 2. С. 95—101.
6. Архангельский Д.В., Снетков В.Ю. Исследования влияния света на зрительную работоспособность и утомление человека с учетом его циркадных ритмов // Вестник МЭИ. 2012. № 5. С. 104—108.
7. Ахмадеев Р.Р., Гирфаттулина Р.Р., Халфин Р.М., Егорова Н.Н. Взаимосвязь зрительной работоспособности и показателей функционального состояния зрительной системы при пользовании персональным компьютерами // Медицинский вестник Башкортостана. 2008. № 6. Т. 3. С. 17—20.
8. Атаев А.Е., Бынина М.В., Снетков В.Ю. Определение визуальных параметров индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. 2012. № 2. С. 122—124.
9. Скорик Ю.А., Бычин Е.Ф., Дубов В.Н. Комплексная оценка влияния светодиодного освещения на зрительную работоспособность, психоэмоциональное и физиологическое состояние учащихся высшей школы // Вестник МЭИ. 2018. № 4. С. 97—104.

1. Meshkov V.V., Matveev A.B. Osnovy Svetotekhniki. Ch. 2. Fiziologicheskaya Optika i Kolorimetriya. M.: Energoatomizdat, 1989. (in Russian).
2. Blackwell H.R. Contrast Thresholds of the Human Eye. J. Optical Soc. America. 1946;36;11:624—643.
3. Boos G.V., Grigor'ev A.A. Novyy Podkhod k Opredeleniyu Kachestvennykh Kharakteristik Ustanovok Naruzhnogo Osveshcheniya. Svetotekhnika. 2015;6: 21—26. (in Russian).
4. Grigor'ev A.A. Primenenie Teorii Statisticheskikh Resheniy k Raschetu Veroyatnostnykh i Porogovykh Kharakteristik Organa Zreniya. Svetotekhnika. 2000;6:23—25. (in Russian).
5. Skorik Yu.A., Eliseev N.P., Grigor'ev A.A. Analiz Metodik i Sovershenstvovanie Otsenki Zritel'nykh Funktsiy Nablyudatelya. Vestnik MEI. 2018;2:95—101. (in Russian).
6. Arkhangel'skiy D.V., Snetkov V.Yu. Issledovaniya Vliyaniya Sveta na Zritel'nuyu Rabotosposobnost' i Utomlenie Cheloveka s Uchetom Ego Tsirkadnykh Ritmov. Vestnik MEI. 2012;5:104—108. (in Russian).
7. Akhmadeev R.R., Girkattulina R.R., Khalfin R.M., Egorova N.N. Vzaimosvyaz' Zritel'noy Rabotosposobnosti i Pokazateley Funktsional'nogo Sostoyaniya Zritel'noy Sistemy pri Pol'zovanii Personal'nym Komp'yuterami. Meditsinskiy Vestnik Bashkortostana. 2008;6:3:17—20. (in Russian).
8. Ataev A.E., Bynina M.V., Snetkov V.Yu. Opredelenie Vizual'nykh Parametrov Individual'nykh Sredstv Otbrazheniya Informatsii. Vestnik MEI. 2012;2:122—124. (in Russian).
9. Skorik Yu.A., Bychin E.F., Dubov V.N. Kompleksnaya Otsenka Vliyaniya Svetodiodnogo Osveshcheniya na Zritel'nuyu Rabotosposobnost', Psikoemotsional'noe i Fiziologicheskoe Sostoyanie Uchashchikhsya Vysshey Shkoly. Vestnik MEI. 2018;4:97—104. (in Russian).

Сведения об авторах:

Боос Георгий Валентинович — кандидат технических наук, заведующий кафедрой светотехники НИУ «МЭИ»
Григорьев Андрей Андреевич — доктор технических наук, профессор кафедры светотехники НИУ «МЭИ», e-mail: aag.2010@yandex.ru
Рыбина Виктория Андреевна — аспирантка кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

Information about authors:

Boos Georgiy V. — Ph.D. (Techn.), Head of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI
Grigoryev Andrey A. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI, e-mail: aag.2010@yandex.ru
Rybina Viktoriya A. — Ph.D.-student of Lighting Engineering Dept., NRU MPEI

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 01.04.2019
 The article received to the editor: 01.04.2019