

ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЯРКОСТИ СВЕТОВЫХ ОБЪЕКТОВ И ФОНА НА УРОВНИ СВЕТОВОСПРИЯТИЯ

Ниже рассмотрены изменения показателей яркости световых объектов и яркости фона по стандарту ISO 12866:1999 (2008) «Приборы офтальмологические – периметры» в автоматических периметрах и их влияние на результаты периметрических исследований.

По ISO пределы нормируемых уровней яркости $\pm L_{sti}$ предъявляемых световых объектов должны лежать в пределах $+25\% / -20\%$ от уровня яркости предъявляемых световых объектов L_{sti} ($\pm \Delta L_{sti} = +25\% / -20\%$ от уровня яркости L_{sti}).

Среди допустимых отклонений нет таких, которые бы доминировали над остальными.

В этом случае (по Ляпунову) предполагаем, что сумма случайных отклонений распределена нормально и не имеет значения каковы функции распределения слагаемых.

Для оценки отклонений яркости по абсолютной величине рассматриваем в каждом из поддиапазонов шкалы интегралы вероятности $P(-\sigma < \delta < +\sigma)$ при $\psi(1) = 0.683$ и $P(-2\sigma < \delta < +2\sigma)$ при $\psi(2) = 0.955$.

Уровень $\psi(1) = 0.683$ указывает, что случайное отклонение по абсолютной величине не превышает **68.3%** среднего отклонения яркости светового объекта.

Вероятность того, что случайное отклонение не превышает удвоенного среднего **95.5%**.

Введём следующие характеристики и обозначения.

$L_{г-н} = 10000 \text{ Asb}$; $L_{st \max 1} = L_{г-н} / \pi = 3183 \text{ кд/м}^2$ – наибольший уровень яркости шкал периметров типа «Гольдмана», «Хемфри» и пр.

$L_{st \max 2} = 1006.6 \text{ кд/м}^2$ – наибольший уровень яркости шкалы периметров типа «ОКТО-ПУС» фирм «Хааг-Стрейт» и «Интерзиг», «ПЕРИКОМ» СКТЬ ОП ОПТИМЕД и др.

$L_{st \max 3} = 318 \text{ кд/м}^2$ – наибольший уровень яркости шкалы периметров «Окулюс» и др.

$L_{const 1} = 10 \text{ кд/м}^2$ – номинальный устанавливаемый **фотопический** уровень яркости фона.

$L_{const 2} = 1.0 \text{ кд/м}^2$ – номинальный устанавливаемый **мезопический** уровень яркости фона.

$+\Delta L_{const} = +25\% L_{const}$ – верхний допустимый предел отклонения установленной яркости фона (фотопического или мезопического уровня) по ISO.

$-\Delta L_{const} = -20\% L_{const}$ – нижний допустимый предел отклонения установленной яркости фона (фотопического или мезопического уровня) по ISO.

$+\Delta L_{st i} = +25\% L_{st i}$ – верхний предел допустимого отклонения яркости предъявляемого светового объекта по ISO.

$-\Delta L_{st i} = -20\% L_{st i}$ – нижний предел допустимого отклонения яркости предъявляемого светового объекта по ISO.

Клиническая оценка результатов периметрии осуществляется в дБ.

1. Фотопический уровень яркости фона

Номинальный **фотопический** уровень фоновой яркости в зарубежных **кинетических** периметрах составляет $L_{const} = 10 \text{ кд/м}^2$. Допускаемые отклонения яркости фона по ISO не должны превышать $+25\% / -20\%$ от номинального уровня 10 кд/м^2 , т.е. находиться в пределах $8.0 \text{ кд/м}^2 \dots 12.5 \text{ кд/м}^2$.

Используем далее для оценки периметрическую шкалу «ОКТОПУСА» (0 – 40) дБ.

Результаты рассматриваем относительно суммы наибольшего значения шкалы $L_{st \max 2} = L_{st \max} = 1006.6 \text{ кд/м}^2$ и номинального фотопического уровня яркости фона $L_{const} = 10 \text{ кд/м}^2$.

Для достижения **номинального** уровня пороговой оценки, соответствующей минимуму шкалы 40 дБ, необходимо установить дифференциальную яркость $L_{st i=40} - L_{const} = 0.10 \text{ кд/м}^2$, где $L_{st i} = 10.10 \text{ кд/м}^2$, $L_{const} = 10.00 \text{ кд/м}^2$, $L_{st \max} = 1006.6 \text{ кд/м}^2$.

При указанных показателях уровень яркости Δ (дБ) = 40 дБ составит:

$$\Delta \text{ (дБ)} = 10 \cdot \lg (Lst \text{ max} + Lconst) / (Lsti_{i=40} - Lconst) = 40 \text{ дБ.}$$

Определим соответствие параметров на произвольно выбранных уровнях, например, 39 дБ, 33 дБ, 26 дБ, 19 дБ, 15 дБ, 11 дБ и др. градуировочной характеристики при отсутствии отклонений яркости светового объекта от номинального значения ($\pm \Delta Lst i = 0$) и отклонении фоновой яркости $\pm \Delta Lconst = 0$:

$$\Delta \text{ (дБ)} = 10 \cdot \lg (Lst \text{ max} + Lconst) / (Lst i - Lconst).$$

При $Lconst = 10 \text{ кд/м}^2$ и $Lst \text{ max} = 1006.6 \text{ кд/м}^2$ достижения нижеприведённых уровней возможно при установке следующих значений яркости световых объектов:

- для достижения уровня 39 дБ $Lst i = Lst i_{=39} = 10.13 \text{ кд/м}^2$;
- для достижения уровня 33 дБ $Lst i = Lst i_{=33} = 10.50 \text{ кд/м}^2$;
- для достижения уровня 26 дБ $Lst i = Lst i_{=26} = 12.50 \text{ кд/м}^2$;
- для достижения уровня 19 дБ $Lst i = Lst i_{=19} = 22.70 \text{ кд/м}^2$;
- для достижения уровня 15 дБ $Lst i = Lst i_{=15} = 41.80 \text{ кд/м}^2$;
- для достижения уровня 11 дБ $Lst i = Lst i_{=11} = 89.90 \text{ кд/м}^2$.

Определим далее доверительные границы изменения световосприятия при различных значениях отклонений яркости световых объектов и фона $+ \Delta Lconst i$, $- \Delta Lconst i$, $+ \Delta Lst i$, $- \Delta Lst i$, допускаемых в ISO.

При оценках используем интегралы вероятности $\psi(1) = 0.683$ или $\psi(2) = 0.955$ и соответствующие им доверительных интервалы световосприятия.

1а) Уровень $\Delta = 39$ дБ (выбран ранее произвольно)

В соответствии со стандартом ISO, предельные значения отклонений $+25\%/-20\%$ обозначим как $+ \Delta Lst_{+25\%}$, $- \Delta Lst_{-20\%}$, $+ \Delta Lconst_{+25\%}$, $- \Delta Lconst_{-20\%}$.

Их значения составят:

$$\begin{aligned} Lst i_{=39} + \Delta Lst_{+25\%} &= 12.66 \text{ кд/м}^2; \\ Lst i_{=39} - \Delta Lst_{-20\%} &= 8.10 \text{ кд/м}^2; \\ Lconst + \Delta Lconst_{+25\%} &= 12.50 \text{ кд/м}^2; \\ Lconst - \Delta Lconst_{-20\%} &= 8.0 \text{ кд/м}^2. \end{aligned}$$

Оценку отклонений Δ (дБ) на всех уровнях выполним по формуле:

$$\Delta \text{ (дБ)} = 10 \cdot \lg (Lst \text{ max} + Lconst) / \{(Lst i \pm \Delta Lst i) - (Lconst \pm \Delta Lconst i)\}.$$

При указанных выше отклонениях доверительные границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683$ – (28.3...34.3) дБ, при $\psi(2) = 0.955$ – (25.3...37.3) дБ.

При снижении отклонений до $\pm 5\%$ ($+ \Delta Lst_{+5\%}$, $- \Delta Lst_{-5\%}$, $+ \Delta Lconst_{+5\%}$, $- \Delta Lconst_{-5\%}$), доверительные границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683$ – (33.2...36.4) дБ, при $\psi(2) = 0.955$ – (31.6...38.0) дБ.

При дальнейшем снижении отклонений до $\pm 2\%$ ($+\Delta L_{st+2\%}$, $-\Delta L_{st-2\%}$, $+\Delta L_{const+2\%}$, $-\Delta L_{const-2\%}$), доверительные границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (36.5...38.9)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (35.3...40.0)$ дБ.

1б) Уровень $\Delta = 33$ дБ (выбран ранее произвольно)

При установленных ISO пределах нормирования $+25\%/-20\%$ имеют место границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (26.6...30.0)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (24.9...31.7)$ дБ.

При снижении отклонений до $\pm 5\%$ ($+\Delta L_{st+5\%}$, $-\Delta L_{st-5\%}$, $+\Delta L_{const+5\%}$, $-\Delta L_{const-5\%}$), границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (30...32.6)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (28.7...33.9)$ дБ.

При дальнейшем снижении отклонений до $\pm 2\%$ ($+\Delta L_{st+2\%}$, $-\Delta L_{st-2\%}$, $+\Delta L_{const+2\%}$, $-\Delta L_{const-2\%}$), границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (32.3...33.5)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (31.7...34.1)$ дБ.

1в) Уровень $\Delta = 26$ дБ (выбран ранее произвольно)

При установленных ISO пределах $+25\%/-20\%$ имеют место границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (23.5...25.8)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (22.4...26.9)$ дБ.

При снижении отклонений до $\pm 5\%$ ($+\Delta L_{st+5\%}$, $-\Delta L_{st-5\%}$, $+\Delta L_{const+5\%}$, $-\Delta L_{const-5\%}$), границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (25.7...26.8)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (25.3...27.3)$ дБ.

При дальнейшем снижении отклонений до $\pm 2\%$ ($+\Delta L_{st+2\%}$, $-\Delta L_{st-2\%}$, $+\Delta L_{const+2\%}$, $-\Delta L_{const-2\%}$), границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (25.8...26.3)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (25.6...26.5)$ дБ.

1г) Уровень $\Delta = 19$ дБ (выбран ранее произвольно)

При установленных ISO пределах $+25\%/-20\%$ имеют место границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (18.5...20)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (17.8...20.8)$ дБ.

При снижении отклонений до $\pm 5\%$ ($+\Delta L_{st+5\%}$, $-\Delta L_{st-5\%}$, $+\Delta L_{const+5\%}$, $-\Delta L_{const-5\%}$), границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (18.8...19.2)$ дБ /при $\psi(2) = 0.955 - (18.6...19.4)$ дБ/.

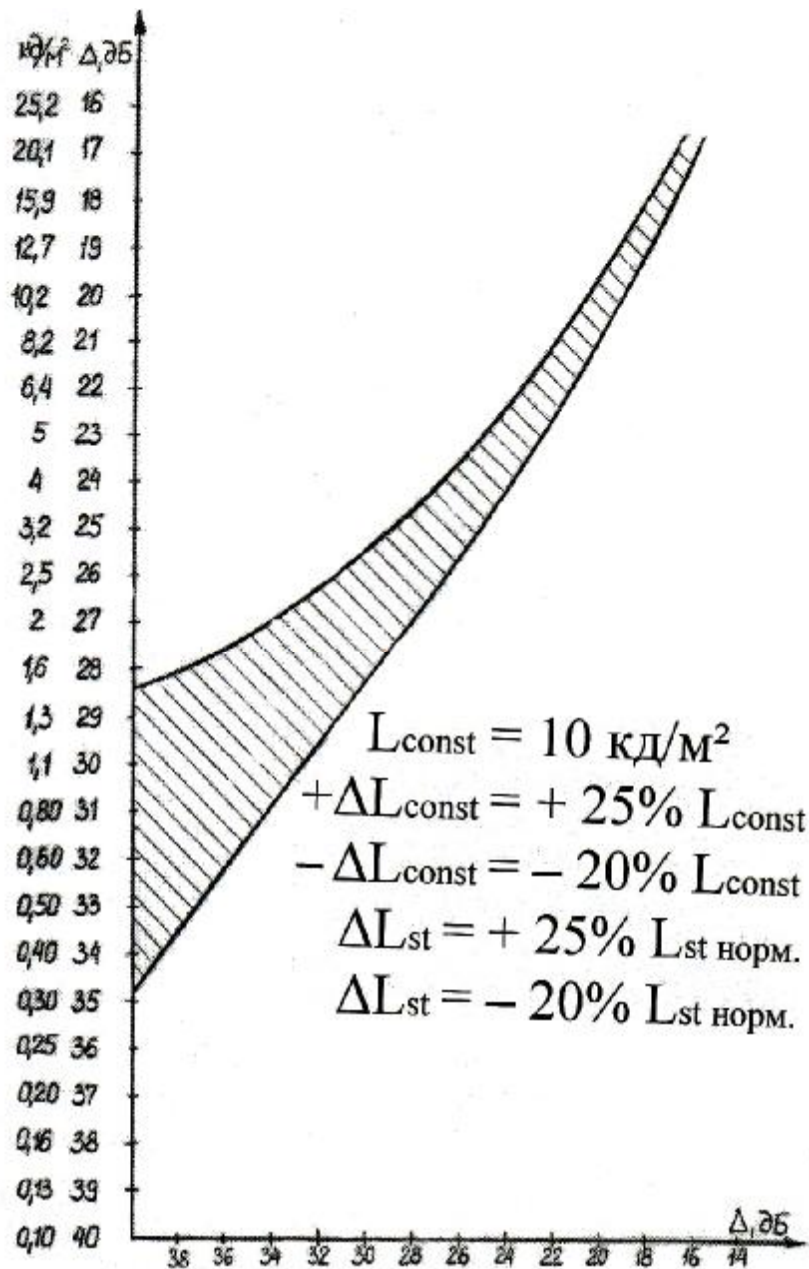
1д) Уровень $\Delta = 15$ дБ (выбран ранее произвольно)

При установленном ISO нормировании $+25\%/-20\%$ имеют место границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (14.6...15.6)$ дБ /при $\psi(2) = 0.955 - (14.1...16.1)$ дБ /.

1е) Уровень $\Delta = 11$ дБ (выбран ранее произвольно)

При установленном ISO нормировании $+25\%/-20\%$ имеют место границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (10.7...11.5)$ дБ /при $\psi(2) = 0.955 - (10.3...10.9)$ дБ /.

Оценки доверительных границ световосприятия при различных изменениях яркости в кинетических периметрах с фотопическим уровнем яркости фона при $\psi(1) = 0.683$ приведены на рис. 1 и рис. 2.



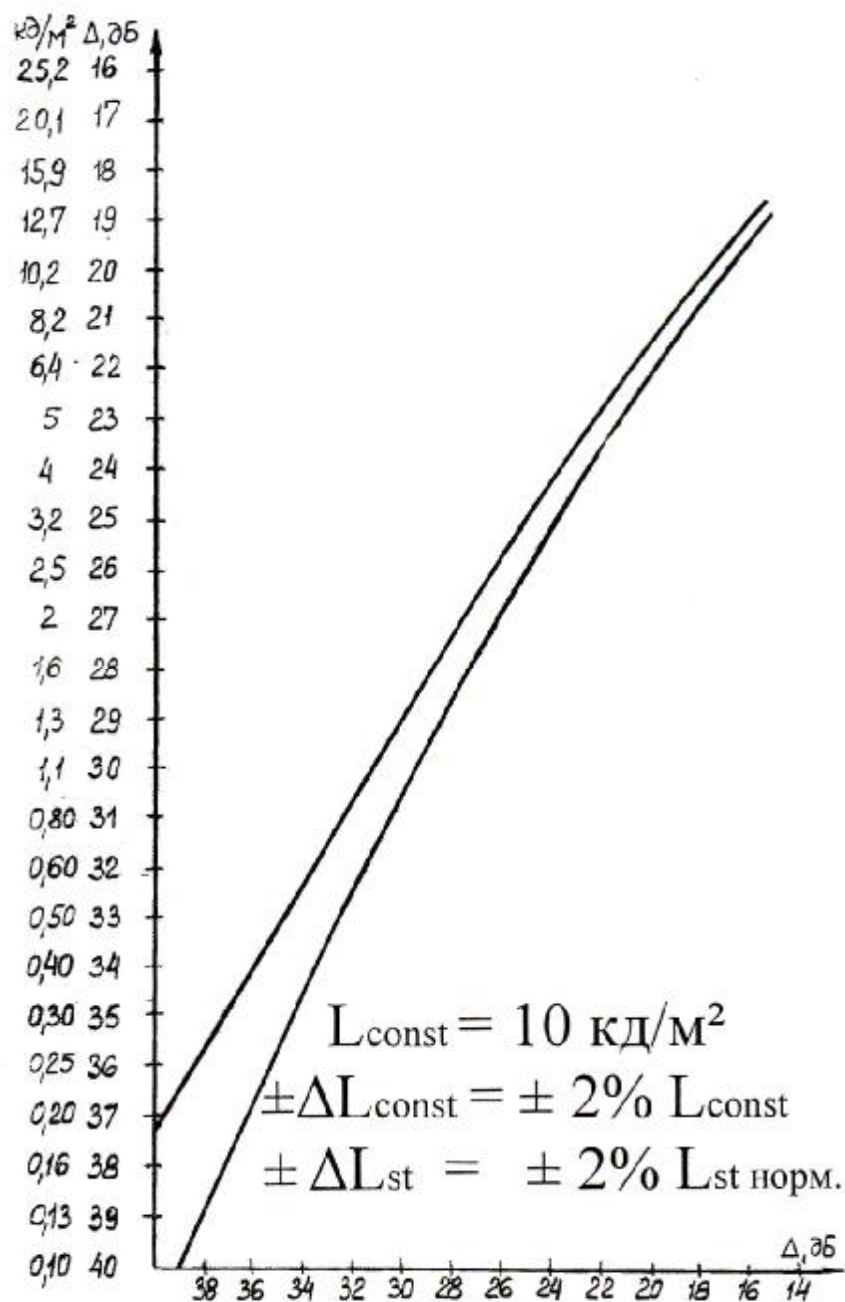
На **рис.1** приведены границы изменения световосприятия при изменении яркости объектов и фона в соответствии с нормами ISO.

На кривых видно, что нижняя граница может достигнуть наименьшей яркости только 35 дБ, а не номинального уровня 40 дБ. При исследовании не будет достигнут уровень световосприятия ниже 0.30 кд/м².

Вариабельность результатов высока. Например, если получен результат световосприятия объекта 34 дБ, то в ряду аналогичных приборов результат может находиться в границах от 31 дБ до 27 дБ (проведите ординату от цифры 34дБ на абсциссе до пересечения с кривыми и отсчитайте на оси ординат Δ (дБ) min 31 дБ и max 27дБ). Диапазон вариабельности - 4дБ. При увеличении яркости объектов вариабельность уменьшается.

При уменьшении яркости для достижения пороговых уровней вариабельность существенно возрастает.

Нормативы ISO не обеспечивают достижение пороговых уровней.



На **рис.2** приведены границы изменения световосприятия при ужесточении установленных ISO предельных отклонений яркости объектов и фона с $+25\%/-20\%$ до $\pm 2\%$.

По изменениям границ световосприятия видно, что нижняя граница может достигать значение яркости на уровне 40 дБ.

При исследовании будет достигнута вариабельность световосприятия 3 дБ и менее.

При уменьшении яркости возможно достижение пороговых уровней, начиная с 40 дБ с вариабельностью менее 3 дБ.

Для больших значений пороговых уровней вариабельность уменьшается до 2-х дБ.

2. Мезопический уровень яркости фона

Мезопический уровень фоновой яркости в **статических периметрах** предпочитают устанавливать на уровнях близких к $L_{const}=1.0$ кд/м². Допускаемые отклонения яркости фона по ISO не должны превышать **+25% / -20%** от **номинального уровня 1.0 кд/м²**, т.е. находиться в пределах **0.8 кд/м²...1.25 кд/м²**.

Используем далее для оценки периметрическую шкалу «ОКТОПУСА» (0 – 40) дБ.

Определим соответствие параметров на произвольно выбранных ранее уровнях 39 дБ, 33 дБ, 26 дБ, 19 дБ, 15 дБ, 11 дБ и др. градуировочной характеристики **при отсутствии отклонений яркости светового объекта от номинального значения ($\pm \Delta L_{st i} = 0$) и отклонении фоновой яркости $\pm \Delta L_{const} = 0$:**

$$\Delta \text{ (дБ)} = 10 \cdot \lg (L_{st \max} + L_{const}) / (L_{st i} - L_{const}).$$

Определим соответствие яркости нормируемой градуировочной характеристики допускаемым стандартом ISO при отклонении яркости $+\Delta L_{const i}$, $-\Delta L_{const i}$, $+\Delta L_{st i}$, $-\Delta L_{st i}$.

При значении интегралов вероятности $\psi(1) = 0.683$ или $\psi(2) = 0.955$ рассмотрим изменение доверительных границ нормируемых уровней яркости.

Результаты рассматриваем относительно суммы наибольшего значения шкалы $L_{st \max 2} = L_{st \max} = 1006.6$ кд/м² и мезопического уровня яркости фона $L_{const 2} = 1.0$ кд/м².

2а) Уровень $\Delta = 39$ дБ (выбран ранее произвольно)

$L_{st i=39} = 1.13$ кд/м² (учтён мезопический уровень яркости фона $L_{const 2} = 1.0$ кд/м²).

По ISO имеем аналогичные предельные уровни отклонений **+25%/-20%** :
 $+\Delta L_{st +25\%}$, $-\Delta L_{st -20\%}$, $+\Delta L_{const +25\%}$, $-\Delta L_{const -20\%}$:

$$\begin{aligned} L_{st i=39} + \Delta L_{st +25\%} &= 1.41 \text{ кд/м}^2; \\ L_{st i=39} - \Delta L_{st -20\%} &= 0.91 \text{ кд/м}^2; \\ L_{const} + \Delta L_{const +25\%} &= 1.25 \text{ кд/м}^2; \\ L_{const} - \Delta L_{const -20\%} &= 0.80 \text{ кд/м}^2. \end{aligned}$$

Введём директивное ограничение нижнего уровня яркости фона **1.0 кд/м²**.
Оценку отклонений Δ (дБ) выполняем по приведённой выше формуле:

$$\Delta \text{ (дБ)} = 10 \cdot \lg (L_{st \max} \pm L_{const}) / \{(L_{st i} \pm \Delta L_{st i}) - (L_{const} \pm \Delta L_{const i})\}.$$

При установленных значениях яркости имеем границы световосприятия $\psi(1) = 0.683$ – (36.2...37.4) дБ, при $\psi(2) = 0.955$ – (35.7...38) дБ.

При снижении отклонений $L_{st i=39}$ до $\pm 5\%$ ($+\Delta L_{st +5\%}$, $-\Delta L_{st -5\%}$)

$L_{st i=39} + \Delta L_{st +5\%} = 1.18$ кд/м² и $L_{st i=39} - \Delta L_{st -5\%} = 1.07$ кд/м² и отклонениях мезопического уровня яркости фона $L_{const} + \Delta L_{const +25\%} = 1.25$ кд/м² и $L_{const} + \Delta L_{const +0\%} = 1.0$ кд/м², имеем границы изменения световосприятия при $\psi(1) = 0.683$ – (39...39.8) дБ.

2б) Уровень $\Delta = 33$ дБ (выбран ранее произвольно)

Lst $i=33 = 1.5$ кд/м² (учтён мезопический уровень яркости фона $L_{const2} = 1.0$ кд/м²).

По ISO предельные уровни отклонений **+25%/–20%** :
+ $\Delta L_{st+25\%}$, – $\Delta L_{st-20\%}$, + $\Delta L_{const+25\%}$, – $\Delta L_{const-20\%}$:

$$\begin{aligned} \text{Lst } i=33 + \Delta \text{Lst } +25\% &= 1.875 \text{ кд/м}^2; \\ \text{Lst } i=33 - \Delta \text{Lst } -20\% &= 1.20 \text{ кд/м}^2; \\ \text{Lconst} + \Delta \text{Lconst } +25\% &= 1.25 \text{ кд/м}^2; \\ \text{Lconst} - \Delta \text{Lconst } -20\% &= 0.80 \text{ кд/м}^2. \end{aligned}$$

При установленных выше значениях, имеем границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (33...35)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (32...36)$ дБ.

При снижении отклонений **Lst $i=33$ до $\pm 5\%$** (**+ $\Delta L_{st+5\%}$, – $\Delta L_{st-5\%}$**) яркости объектов **Lst $i=33 + \Delta L_{st+5\%} = 1.575$ кд/м²** и **Lst $i=33 - \Delta L_{st-5\%} = 1.425$ кд/м²** и мезопических уровнях яркости фона **Lconst + $\Delta L_{const+25\%} = 1.25$ кд/м²** и **Lconst + $\Delta L_{const+0\%} = 1.0$ кд/м²**, имеем границы изменения световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (33.8...34.8)$ дБ.

2в) Уровень $\Delta = 26$ дБ (выбран ранее произвольно)

Lst $i=26 = 3.5$ кд/м² (учтён мезопический уровень яркости фона $L_{const2} = 1.0$ кд/м²).

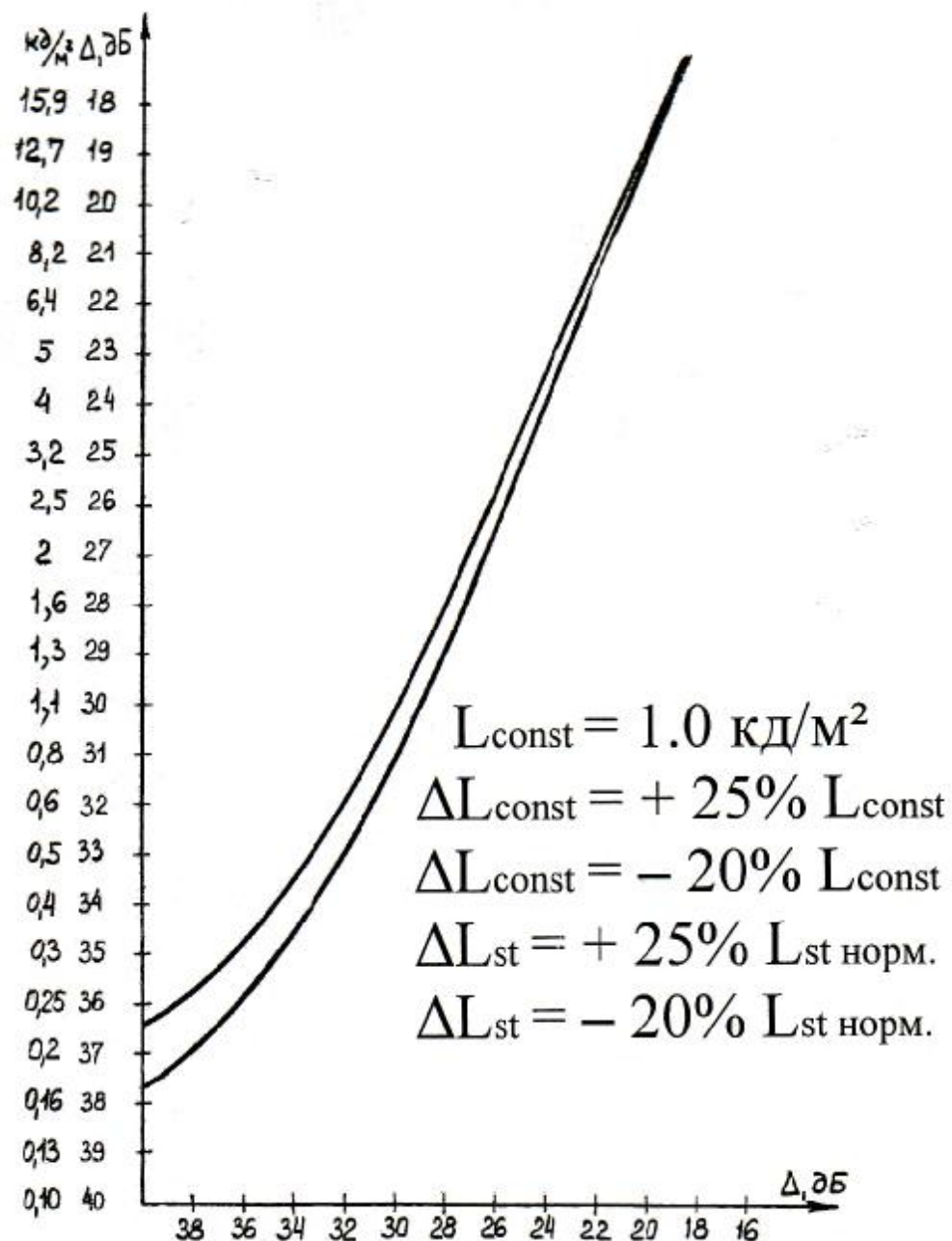
По ISO имеем стандартные уровни отклонений **+25%/–20%** : **+ $\Delta L_{st+25\%}$, – $\Delta L_{st-20\%}$, + $\Delta L_{const+25\%}$, – $\Delta L_{const-20\%}$:**

$$\begin{aligned} \text{Lst } i=26 + \Delta \text{Lst } +25\% &= 4.375 \text{ кд/м}^2; \\ \text{Lst } i=26 - \Delta \text{Lst } -20\% &= 2.80 \text{ кд/м}^2; \\ \text{Lconst} + \Delta \text{Lconst } +25\% &= 1.25 \text{ кд/м}^2; \\ \text{Lconst} - \Delta \text{Lconst } -20\% &= 0.80 \text{ кд/м}^2. \end{aligned}$$

При установленных выше значениях границ световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (25.8...26.4)$ дБ, при $\psi(2) = 0.955 - (25.5...26.6)$ дБ.

При снижении отклонений **Lst $i=26$ до $\pm 5\%$** (**+ $\Delta L_{st+5\%}$, – $\Delta L_{st-5\%}$**) яркости объектов **Lst $i=26 + \Delta L_{st+5\%} = 3.675$ кд/м²** и **Lst $i=26 - \Delta L_{st-5\%} = 3.325$ кд/м²** и мезопических уровнях яркости фона **Lconst + $\Delta L_{const+25\%} = 1.25$ кд/м²** и **Lconst + $\Delta L_{const+0\%} = 1.0$ кд/м²**, имеем границы световосприятия при $\psi(1) = 0.683 - (26.1...26.3)$ дБ /при $\psi(2) = 0.955 - (26.0...26.4)$ дБ/.

Оценки доверительных границ световосприятия при различных изменениях яркости в статических периметрах с мезопическим уровнем яркости фона при $\psi(1) = 0.683$ риведены на рис. 3 и рис. 4.

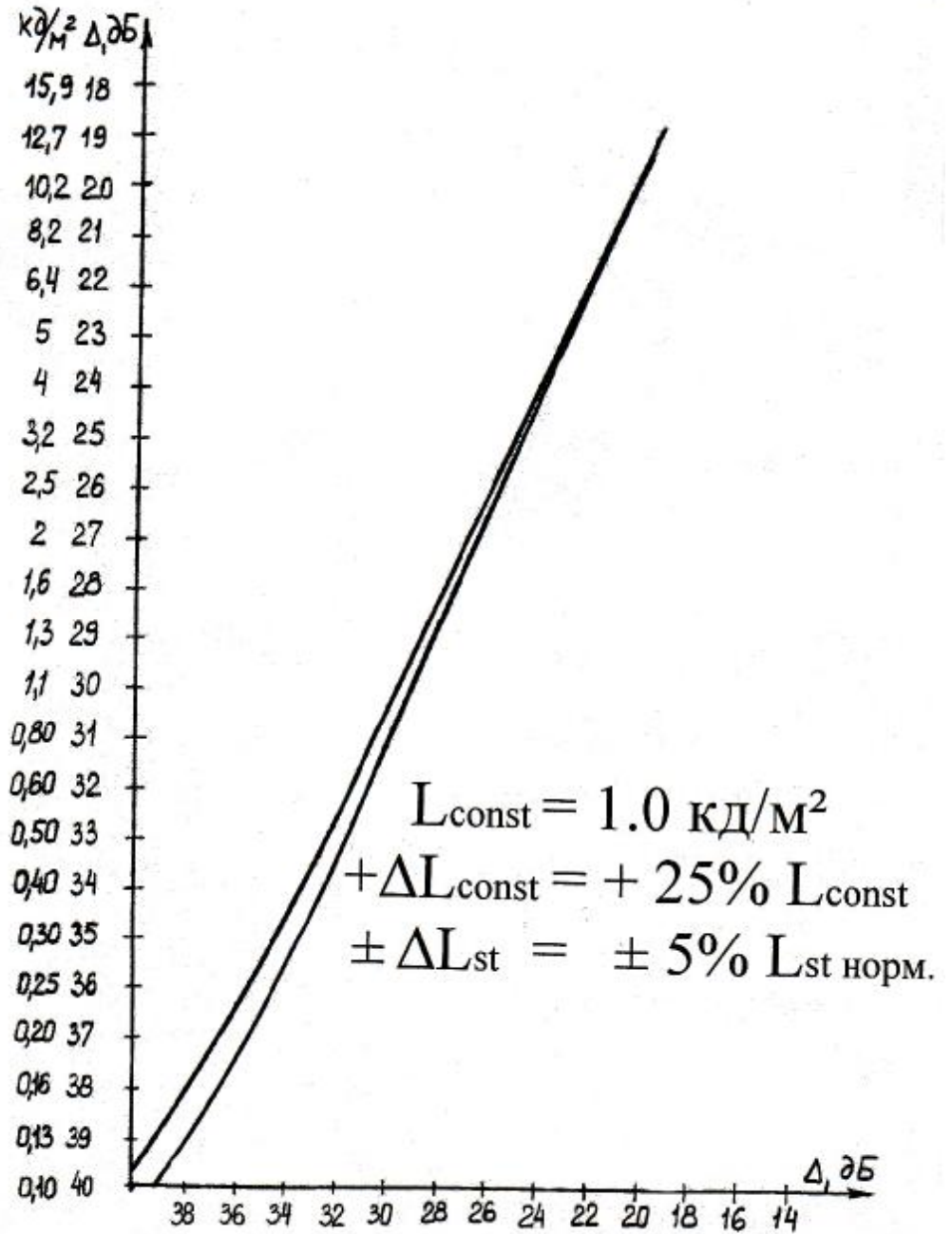


На **рис.3** приведены границы изменения световосприятия при изменении яркости объектов и мезопического фона в соответствии с нормами ISO.

На кривых видно, что нижняя граница может достигнуть минимальную яркости 38 дБ. При исследовании на группе аналогичных приборов, варибельность результатов не превышает 1 дБ. Так, если получен результат световосприятия объекта 34 дБ, то в отличие от рассмотренного на рис.1 примера с фотопическим уровнем яркости фона, варибельность результатов не превышает 1 дБ.

При увеличении яркости объектов варибельность менее 1 дБ.

Мезопический уровень яркости фона обеспечивает бóльшую надёжность результатов и меньшую варибельность результатов исследования.



На **рис.4** приведены границы изменения световосприятия при ужесточении установленных предельных отклонений яркости объектов и фона с +25%/-20% до +25% L_{const} и $\pm 5\% L_{st \text{ норм.}}$

По изменениям границ световосприятия видно, что границы могут достигнуть значение яркости превышающие 40 дБ.

При исследовании будет достигнута вариабельность световосприятия менее 1 дБ.

Для бóльших значений пороговых уровней вариабельность существенно уменьшается.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1) Для достижения сопоставимых результатов при проведении периметрии с использованием **автоматических кинетических периметров**, особенно данных на низких уровнях яркости, отметим следующее:

- необходима первоначальная **высокоточная юстировка номинальных уровней яркости** световых объектов и яркости фона;
- должна обеспечиваться **периодическая** проверка первоначальной установки номинальных уровней яркости световых объектов и фона;
- при проверке **должно быть использовано прецизионное оборудование** с нижним пределом измерения $0.001 \text{ кд/м}^2 \dots 0.01 \text{ кд/м}^2$ и погрешностью не более $\pm 1\% \dots \pm 2\%$ от измеряемой величины;
- самостоятельная и юстировка кинетических периметров обслуживающим персоналом лечебного учреждения не допускается.

2) **Статические автоматические периметры** имеют высокую надёжность и эксплуатационный ресурс (**устанавливаемые световые объекты ориентированы на 50 тысяч часов непрерывной работы**):

- в процессе эксплуатации не требуется отладка и юстировка приборов, нет необходимости привлечения для обслуживания дополнительного технического персонала;
- градуировка приборов осуществляется с использованием прецизионной аппаратуры с нижним пределом измерения 0.001 кд/м^2 и погрешностью не превышающей $\pm 2\%$ от измеряемого значения;
- автоматический статический прибор для исследования поля зрения «Периграф «ПЕРИКОМ» имеет оптимальные, проверенные длительной клинической практикой, эксплуатационные характеристики и надёжность, легко осваивается средним медперсоналом, не имеет ограничений при проведении периметрических исследований любых контингентов пациентов в офтальмологической практике;
- производство автоматических статических периметров для исследования поля зрения «Периграф ПЕРИКОМ» лицензировано. Прибор имеет регистрационное удостоверение, декларацию и сертификат соответствия.