

УДК 681.7:[617.7+535]

## ОПТИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР СТИМУЛА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛИЯНИЯ МЕЛЬКАНИЙ

**Оруджова О.Н.**

*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Архангельск, e-mail: o.orudjova@narfu.ru*

В качестве критерия утомления может быть использован показатель критической частоты световых мельканий (КЧСМ), который объективно характеризует динамику работоспособности и развитие утомления организма. В настоящее время при исследовании КЧСМ широко применяются различные приборы, как заводского изготовления, так и оригинальные разработки. Поэтому исследование по определению оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты световых мельканий, при котором значения показателя КЧСМ будут сопоставимы со значениями КЧСМ, полученными с помощью заводских приборов, является актуальным. Приведены некоторые свойства фотопического (колбочкового) и скотопического (палочкового) зрения человека. В сетчатке содержатся колбочки трех видов, каждый из которых обладает максимальной чувствительностью к свету с определенной длиной волны. Световые лучи с разными длинами волн активируют колбочки разных видов по-разному. Целью исследования является подбор оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты слияния мельканий. В соответствии с этой целью определена критическая частота слияния мельканий с помощью оригинальных КЧСМ-очков для коротко-, средне- и длинноволновой частей спектра, в том числе и для полихроматического белого света при различных размерах стимула.

**Ключевые слова:** критическая частота слияния мельканий, диаметр стимула, сетчатка, фоторецепция, длина волны

## THE OPTIMUM SIZE OF AN INCENTIVE OF THE DEVICE FOR DEFINITION OF CRITICAL FREQUENCY OF MERGE OF FLASHINGS

**Orudzhova O.N.**

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,  
e-mail: o.orudjova@narfu.ru*

As criterion of exhaustion the indicator of the critical frequency of light flashings (CFLF) which objective characterizes dynamics of serviceability and development of exhaustion of an organism can be used. Now at research CFLF various devices as factory manufacture, and original developments are widely used. Therefore the research on determination of the optimum size of an incentive of the original device for definition of a critical frequency of light flashings at which values of an index of CFLF will be comparable to the CFLF values received by means of factory devices is relevant. Some properties of photopic (conical) and skotopicheskyy (bacillary) vision of the person. The retina contains flasks of three types, each of which has the maximal light sensitivity with a particular wavelength. Light rays with different lengths of waves activate flasks of different types differently. A research objective is selection of the optimum size of an incentive of the original device for definition of a critical frequency of merge of flashings. According to this purpose a critical frequency of merge of flashings is defined by original CFLF-points for short, average and long-wave parts of a range including for polychromatic this world at various sizes of an incentive.

**Keywords:** critical frequency of merge of flashings, diameter of an incentive, retina, photoreception, wavelength

Население Крайнего Севера является наиболее чувствительной группой к неблагоприятным климатическим влияниям, испытывающей дополнительные физиологические и психоэмоциональные стрессы, которые негативно отражаются на их здоровье. Специфичность воздействующих факторов и экологии северных районов вызывает необходимость исследования экологии, биологии, психофизиологии, патологии человека, организации здравоохранения. Эта проблема имеет особое значение для районов Крайнего Севера в связи с достаточно трудоемким освоением природных ресурсов, например вахтовыми методами освоения нефтегазовых месторождений, научно-исследовательскими экспедициями в арктические

моря. В связи с этим актуальной становится задача контроля уровня зрительного утомления у моряков, летчиков, авиадиспетчеров, операторов ЭВМ, водителей транспортных средств и других профессий.

### Цель исследования

В качестве критерия утомления может быть использован показатель критической частоты световых мельканий (КЧСМ), который объективно характеризует динамику работоспособности и развитие утомления организма. КЧСМ – это минимальная частота мелькания прерывистого светового излучения в единицу времени, при которой наблюдатель перестает видеть понижения и повышения яркости, источник света вос-

принимается им как монотонное светлое пятно. В настоящее время при исследовании КЧСМ широко применяются различные приборы, как заводского изготовления, так и оригинальные разработки. Поэтому исследование по определению оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты световых мельканий, при котором полученные значения показателя КЧСМ будут сопоставимы со значениями КЧСМ, полученными

необходимо знать размер проекции изображения на ней. Очевидно, что в случае, когда проекция изображения производится на сферическую поверхность, число фоторецепторов будет больше, чем на плоской поверхности.

Различают зрение фотопическое (колбочковое), в котором основную роль играют колбочки, и скотопическое (палочковое). Сведения о свойствах палочек и колбочек представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

Свойства фотопического (колбочкового) и скотопического (палочкового) зрения человека

Характеристика	Фотопическое зрение	Скотопическое зрение
Вид рецептора	Колбочки (количество около 7 млн)	Палочки (количество около 125 млн)
Положение на сетчатке глаза	Сконцентрированы в центральной ямке	Расположены на периферии сетчатки
Уровень светимости, необходимый для функционирования	Дневной свет	Ночной свет
Максимальная длина волны, нм	550	500
Цветное зрение	Да	Нет
Темновая адаптация	Быстро (примерно 5 мин)	Медленно (примерно 30 мин)
Пространственное разрешение	Низкая чувствительность, высокая острота	Высокая чувствительность, низкая острота

с помощью заводских приборов, является актуальным. Целью исследования является подбор оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты слияния мельканий.

#### Материалы и методы исследования

Оптическая система глаза – сложная структура. Свет, пройдя сквозь роговую оболочку глаза, строит изображение в среде с показателем преломления, отличающимся от показателя преломления воздуха, равного единице. Поэтому для глаза переднее фокусное расстояние отличается от заднего как по знаку, так и по абсолютному значению. В глазе несколько преломляющих поверхностей, причем форма каждой из них отличается от сферической, а центры их не лежат на одной прямой, т.е. такая система – нецентрирована.

В связи с этим для упрощения принимают преломляющие поверхности в глазе сферическими, центры сфер лежат достаточно близко к некоторой линии, которую считают оптической осью глаза. Фоторецепция – восприятие света и переработка его энергии в другие виды энергии (химическую и электрическую) – происходит в сетчатке. В сетчатке имеются два вида фоторецепторов – палочки и колбочки. Для оценки доли вовлеченных в процесс восприятия фоторецепторов сетчатки глаза,

Наивысшей чувствительностью обладают те участки сетчатки, на которых плотность палочек максимальна. Таким образом, абсолютный световой порог зависит от того, какой участок сетчатки глаза стимулируется (т.е. палочки или колбочки), а также от длины волны светового стимула. Кроме того, в сетчатке содержатся колбочки трех видов, каждый из которых обладает максимальной чувствительностью к свету с определенной длиной волны:

1. Колбочки S-типа лучше всего поглощают коротковолновой свет с длиной волны примерно 445 нм.

2. Колбочки M-типа лучше всего поглощают средневолновой свет с длиной волны примерно 535 нм.

3. Колбочки L-типа лучше всего поглощают длинноволновой свет с длиной волны примерно 570 нм.

Колбочки всех трех типов поглощают световые лучи с длинами волн, лежащими в широком диапазоне, их абсорбционные кривые накладываются друг на друга (рис. 1), т.е. многие длины волн активируют колбочки разных видов.

Колбочковые фотопигменты, максимально поглощающие средне- и длинноволновой свет (фотопигменты колбочек M- и L-типа), чувствительны по отношению к большей части видимого спектра, а колбочковый пигмент, чувствительный к коротковолновому

свету (пигмент колбочек S-типа), реагирует меньше чем на половину волн, входящих в спектр. Поэтому световые лучи с разными длинами волн активируют колбочки разных видов по-разному. Три разных вида колбочек, для каждого из которых характерен свой определенный фотопигмент, отличаются друг от друга по количеству, по местоположению в центральной ямке сетчатки глаза. Колбочки, содержащие фотопигменты, чувствительные к средне- и длинноволновому свету, сконцентрированы в середине центральной ямки, а колбочки, чувствительные к коротковолновому свету сосредоточены на ее периферии, в центре их очень мало. Полное рецептивное поле включает две перекрывающиеся системы (рис. 2). Колбочки М- и L-типа распределены по широкой круговой области, причем их количество максимально в центре и убывает по мере удаления

от него. В центре колбочки L-типа сильно преобладают, но к периферии их количество падает значительно быстрее числа колбочек М-типа. Поэтому небольшое пятнышко, вспыхивающее в центре и содержащее длинноволновую компоненту, будет мощным стимулом именно для красной системы, несмотря на то, что происходит стимулирование и «зеленых колбочек».

В настоящее время при исследовании показателя КЧСМ широко применяются различные приборы и аппараты: «Свето-Тест», «Хиазма-01», «Хиазма-02», «КЧСМ-цвет», «КЧСМ – У» и «КЧСМ – Д» и другие. Указанные приборы позволяют исследовать показатель КЧСМ при воздействии стимулом разного цвета: красным, синим, зеленым и другими. Цвет сигнала стимула для регистрации показателя КЧСМ определяется в соответствии с целью и задачами исследования [1].

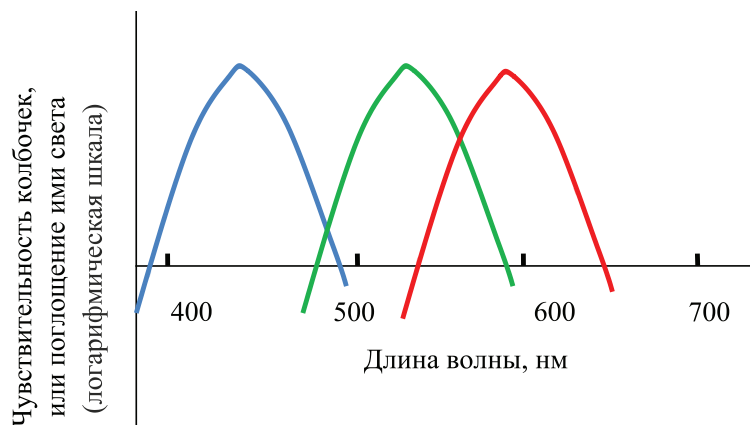


Рис. 1. Чувствительность колбочек

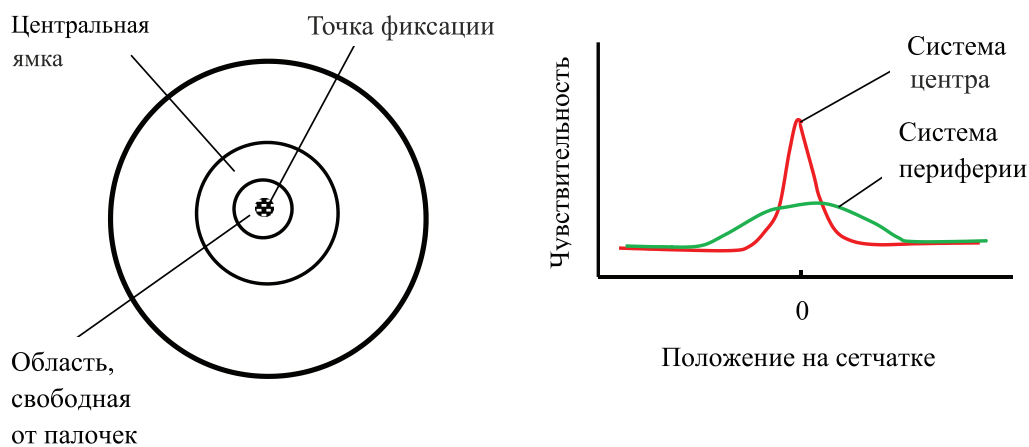


Рис. 2. Зависимость чувствительности нейрона от положения стимула на сетчатке вдоль линии, проходящей через центр рецептивного поля

Исследуемому последовательно предъявляются дискретные световые сигналы определенного цвета (красного, зеленого, оранжевого, синего, белого или другого) по возрастающей от 10 до 70 Гц или убывающей частоте от 70 до 10 Гц. Значимым критерием диагностики заболеваний является отклонение полученных показателей КЧСМ от нормы, а также величина разницы показателей КЧСМ, полученных при стимуляции импульсами красного и зеленого света. Нормальной считается разница между показателями КЧСМ, полученными при стимуляции красным и зеленым цветом, равная 3–4 Гц; она является достоверной для всех возрастных групп, за исключением исследуемых старше 50 лет. В табл. 2 представлены средние значения и диапазоны изменения показателя КЧСМ, указанные в описании прибора «Свето-Тест» (фирмы «Окулюс») и основанные на измерениях показателя КЧСМ для нескольких тысяч исследуемых.

Показатель КЧСМ зависит от таких факторов, как размер стимула прибора для определения показателя КЧСМ, размер проекции источника стимула на сетчатке глаза, освещенности, интенсивности, спектрального состава источника стимула и другими. Значение показателя КЧСМ зависит от функционального физиологического состояния испытуемого, параметров, характеризующих среду, в которой находится человек [2, 3]. Известно, что колбочки определенного фотопигмента отличаются как по количеству, так и по местоположению в центральной, парацентральной и периферической зонах сетчатки глаза.

В центральной зоне большее количество колбочек, отвечающих за восприятие красного (2/3 общего числа) и зеленого (1/3 общего числа) цветов, в парацентральной зоне увеличивается количество колбочек, ответственных за средневолновое излучение, при движении к периферии увеличивается количество колбочек, отвечающих за вос-

приятие коротковолнового излучения. Такое неравномерное расположение колбочек различных типов влияет на значения показателя КЧСМ для зеленого и красного цветов.

Для определения критической частоты слияния мельканий используем метод, основанный на применении оригинальных КЧСМ-очков [4, 5]. Длина волны для красного источника составляла  $630 \pm 15$  нм, для зеленого источника  $525 \pm 15$  нм, для синего источника  $470 \pm 10$  нм. Расстояние источника до поверхности глаза составляет в среднем 20 мм. Для всех режимов работы трехцветного светодиода яркость составляла 30% от номинальной, что составляет, в среднем, 4–5 Кд/м<sup>2</sup>. В качестве испытуемых выступали юноши и девушки возрастом от 18 до 20 лет в равном количестве, общее число которых составило 40 человек. КЧСМ-очки имеют подключение к персональному компьютеру посредством USB-интерфейса, управление осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения «Eye Light» (рис. 3), позволяющего задавать спектральный состав, интенсивность, глубину и длительность стимула. Метод исследований заключается в том, что перед глазами испытуемого размещается светозащитная очковая оправа со встроенными в переднюю панель трехцветными светодиодами.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проводились в сторону увеличения частоты при скорости 1 Гц/с при стимулировании белым, красным, зеленым и синим цветами отдельно для правого и левого глаза при диаметрах стимула 4,0; 3,2; 2,8; 2,2; 1,8; 1,4; 1,0; 0,6 мм. Зависимость показателя КЧСМ от размера диаметра стимула при предъявлении световых сигналов красного, зеленого, синего и белого цветов представлена в табл. 3, величина разности показателей КЧСМ в табл. 4.

Таблица 2

Средние значения и диапазоны изменения показателя КЧСМ при некоторых патологиях зрительной системы

Диагноз	Острога зрения			Диапазон изменения показателя КЧСМ, Гц
	<0,1	0,1–0,5	0,6–1	
Норма	–	–	43	40–45
Катаракта	40	40	40	36–45
Заболевание сетчатки	31	34	38	28–41
Ретикулярный неврит	19	25	32	15–36
Атрофия зрительного нерва	22	29	31	18–35
Нарушение кровообращения в зрительном нерве	20	26	31	18–35

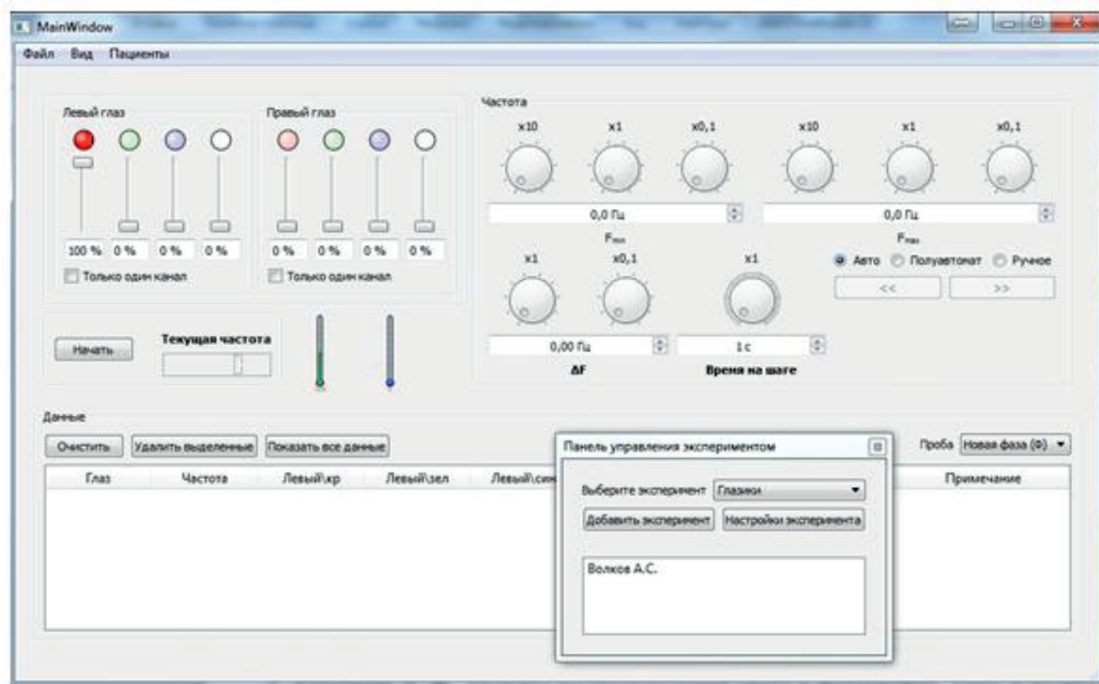


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения «Eye Light»

Таблица 3

Зависимость показателя КЧСМ от диаметра стимула

Размер диаметра стимула, мм	Показатель КЧСМ, Гц, при предъявлении стимула по цвету			
	красный	зеленый	синий	белый
4,0	45,5	47,6	43,4	47,8
3,2	39,6	42,7	37,1	42,3
2,8	33,9	34,9	34,1	36,1
2,2	34,7	36,5	34,2	37,1
1,8	33,3	34,5	34,1	36,0
1,4	33,9	35,2	34,6	35,2
1,0	34,0	34,9	34,9	35,2
0,6	30,8	32,4	31,9	32,0

Таблица 4

Величина разности показателей КЧСМ, Гц

Размер диаметра стимула, мм	Величина разностей показателя КЧСМ, Гц		
	красный – зеленый	зеленый – синий	красный – синий
4,0	2,1	4,2	2,1
3,2	3,1	5,6	2,5
2,8	1,0	0,8	0,2
2,2	1,8	2,3	0,5
1,8	1,2	0,4	0,8
1,4	1,3	0,6	0,7
1,0	0,9	0	0,9
0,6	1,6	0,5	1,1



### Заключение

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. При исследовании показателя КЧСМ с помощью оригинальных очков при размере диаметра стимула равного 3,2 мм значения показателя КЧСМ сопоставимы со средними значениями, полученными при обследовании большой выборки (согласно табл. 2).

2. Величина разности показателей КЧСМ, полученных при стимуляции красным и зеленым цветом при диаметре стимула 3,2 мм, является нормальной, так как находится в диапазоне 3–4 Гц.

3. Оптимальным размером стимула прибора для определения показателя КЧСМ является значение 3,2 мм.

### Список литературы

1. Рогатина Е.В. Критическая частота слияния мельканий на цветные стимулы в диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва у детей: пособие для врачей / Е.В. Рогатина, А.А. Яковлева, Т.С. Егорова, А.В. Хватова, К.В. Голубцов. – М., 2001. – 16 с.

2. Волков А.С. КЧСМ как метод психофизиологического исследования зрительного анализатора / А.С. Волков, Л.В. Морозова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 2–3. – С. 310–312.

3. Морозова Л.В. Особенности чтения текста с бумажных и электронных носителей / Л.В. Морозова, Ю.В. Новикова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 1. – С. 81–88.

4. Лагунов А.Ю. Программный комплекс для управления блоком для измерения КЧСМ / А.Ю. Лагунов, Д.А. Федин, А.В. Орлов // Научные труды SWorld. – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 89–93.

5. Лагунов А.Ю. Полихромный светодиодный блок для измерения КЧСМ / А.Ю. Лагунов, Д.А. Федин, А.В. Орлов // Научные труды SWorld. – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 83–89.