В.В. Роженцов

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

Предложен способ измерения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы путем одновременного предъявления частот световых мельканий с использованием двух светодиодов. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие повышение точности измерения полосы пропускания по сравнению с использованием одного светодиода.

При изучении характеристик зрительной системы широкое распространение получили исследования с помощью решеток с синусоидальным распределением яркости с разной пространственной частотой, под которой понимается число периодов (циклов) распределения яркости на один градус поля зрения (цикл/град). В ходе исследований определяется передаточная функция зрительной системы, т. е. зависимость контрастного порога восприятия синусоидальной решетки от ее пространственной частоты [1], [2]. Моделью зрительной системы в этом случае служит полосовой пространственно-частотный фильтр, одним из параметров которого является полоса пропускания.

Вопросы измерения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы рассмотрены в работе [3], в которой предложено определять ширину полосы пропускания в герцах путем оценки порога различения частот световых мельканий как минимальной разности между частотами, которая вызывает у испытуемого ощущение их различения. Частоты световых мельканий предъявляются испытуемому попеременно, с использованием одного источника.

Цель работы – разработка способа измерения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы, позволяющего повысить точность измерений.

Способ измерения полосы пропускания

Для определения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы предложено предъявлять испытуемому световые мелькания с заданной в видимом диапазоне частот начальной частотой $F_Н$ одновременно на двух светодиодах [4], с изменением частот, как показано на *рис. 1*.

На начальном этапе измерений на обоих светодиодах устанавливают исходную частоту $F_Н$ (интервал времени $0–T_1$). Далее частоту световых мельканий первого светодиода не меняют, а частоту световых мельканий второго светодиода вначале непрерывно увеличивают с заданной постоянной скоростью до тех пор, пока испытуемый не определит субъективно разницу между предъявляемыми начальной $F_Н$ и инкрементной $F_И$ частотами (интервал времени $T_1–T_2$) и не зафиксирует первую инкрементную частоту световых мельканий $F_{И1}$ (момент времени T_2). Затем частоту световых мельканий второго светодиода уменьшают до тех пор, пока испытуемый не определит, когда предъявляемые световые мелькания с начальной $F_Н$ и инкрементной $F_И$ частотами перестанут различаться (интервал времени $T_3–T_4$), и не зафиксирует вторую инкрементную частоту световых мельканий $F_{И2}$ (момент времени T_4). После этого частоту световых мельканий второго светодиода увеличивают дискретно с шагом 0,1 Гц до тех пор, пока испытуемый не определит порог различения предъявляемых световых мельканий с начальной $F_Н$ и инкрементной $F_И$ частотами (интервал времени $T_5–T_6$) и не зафиксирует третью инкрементную частоту световых мельканий $F_{И3}$ (момент времени T_7). Значение порога различения частот $\Delta F_И$ вычисляют как разность между третьей инкрементной $F_{И3}$ и начальной $F_Н$ частотами световых мельканий:

$$\Delta F_И = F_{И3} - F_Н.$$

На втором этапе измерений на обоих светодиодах также устанавливается начальная частота $F_Н$ (интервал времени $T_7–T_8$). Далее частоту световых мельканий первого светодиода не меняют, частоту световых мельканий второго светодиода сначала непрерывно уменьшают с заданной постоянной скоростью до тех пор, пока испытуемый не определит субъективно разницу между предъявляемыми начальной $F_Н$ и декрементной $F_Д$ частотами (интервал времени $T_8–T_9$) и не зафиксирует первую декрементную частоту световых мельканий $F_{Д1}$ (момент времени T_9). Затем частоту световых мельканий второго светодиода увеличивают с меньшей постоянной скоростью до тех пор,

пока испытуемый не определит, когда предъявляемые световые мелькания с начальной $F_Н$ и декрементной $F_Д$ частотами перестанут различаться (интервал времени T_{10}–T_{11}), и не зафиксирует вторую декрементную частоту световых мельканий $F_{Д2}$ (момент времени T_{11}). После этого частоту световых мельканий второго светодиода уменьшают дискретно с шагом 0,1 Гц до тех пор, пока испытуемый не определит порог различения предъявляемых световых мельканий с начальной $F_Н$ и декрементной $F_Д$ частотами (интервал времени T_{12}–T_{13}) и не зафиксирует третью декрементную частоту световых мельканий $F_{Д3}$ (момент времени T_{14}). Значение порога различения частот $\Delta F_Д$ вычисляют как абсолютную разность между третьей декрементной $F_{Д3}$ и начальной $F_Н$ частотами световых мельканий:

$$\Delta F_Д = |F_{Д3} - F_Н|.$$

Полосу пропускания пространственно-частотного канала ΔF определяют как среднее арифметическое значений порогов различения частот световых мельканий $\Delta F_И$ и $\Delta F_Д$, вычисленных на первом и втором этапах измерений:

$$\Delta F = (\Delta F_И + \Delta F_Д) / 2.$$

Результаты исследований

В обследовании приняли участие 10 предварительно обученных испытуемых в возрасте от 18 до 22 лет с нормальным или скорректированным зрением, которые выполнили, в соответствии с рекомендациями [5], по две серии из 10 измерений полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы на начальной частоте 10 Гц. В первой серии измерений для 5 испытуемых частоты световых мельканий световые импульсы предъявлялись попеременно, с периодом, равным 1 с, на одном светодиоде, во второй серии измерений – с одновременным предъявлением на двух светодиодах. Для других 5 испытуемых порядок выполнения серий измерений был обратным.

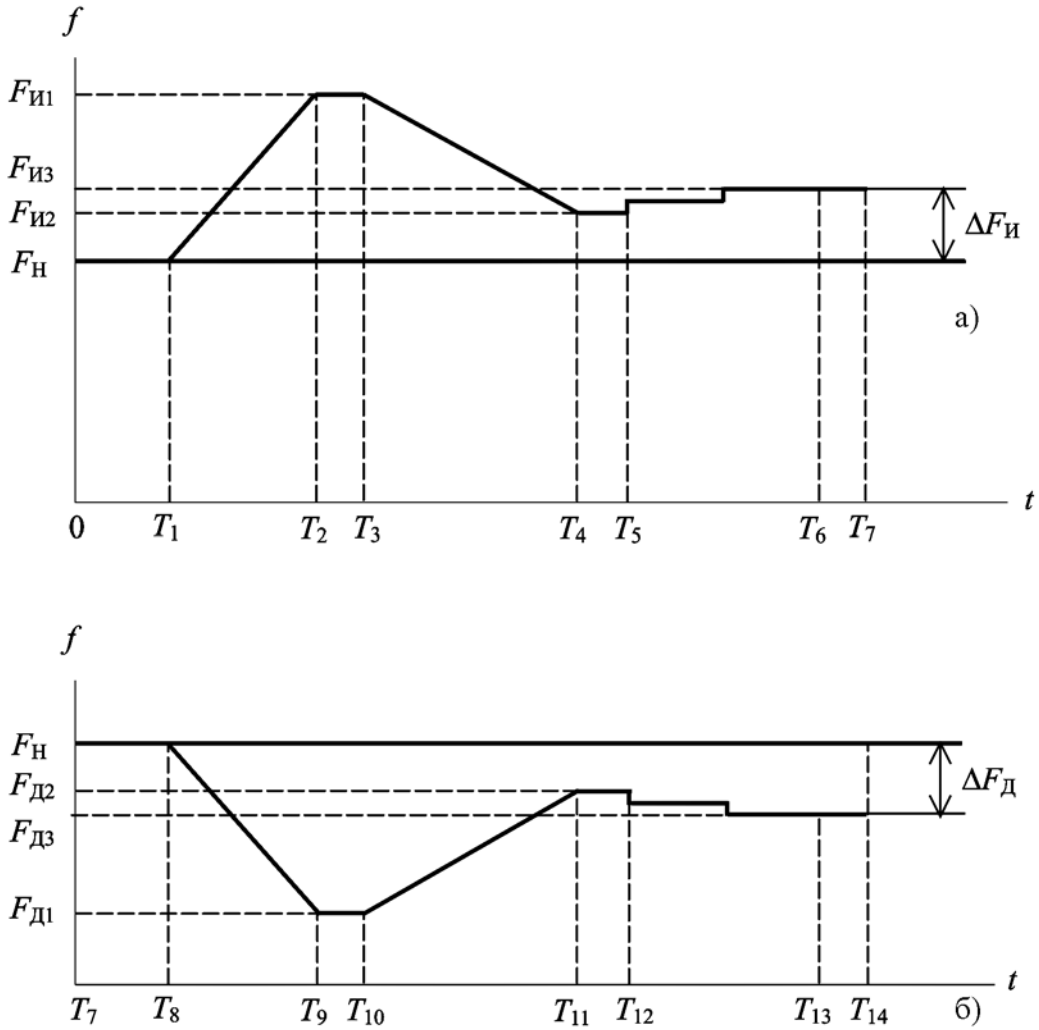

Рис. 1. Временная диаграмма изменения частот световых мельканий:
а) – первый этап измерений; б) – второй этап измерений (обозначения величин см. в тексте)

Измерения выполнялись бинокулярно в помещении, оборудованном в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95 [6], в первой половине дня, с 9 до 12 ч, с перерывами от 25 до 30 мин на отдых между сериями измерений. Излучателями служили светодиоды желтого цвета диаметром 5 мм с силой света 3 мкд, размещаемые в районе ближней точки ясного видения. Формирование предъявляемых частот световых мельканий, их изменение и определение полосы пропускания управлялись компьютером.

По результатам измерений вычислялись среднеарифметическое значение и среднеквадратическое отклонение значений полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы в каждой серии измерений. Анализ результатов вычислений показал, что различие между индивидуальными значениями среднеарифметических значений, полученное испытуемыми в 2-х сериях измерений, статистически недостоверно. Уменьшение случайной составляющей погрешности измерений, определяемое по уменьшению среднеквадратического отклонения, при выполнении измерений с использованием двух светодиодов по сравнению с измерениями, выполненными с использованием одного светодиода, наблюдалось для каждого испытуемого и составило по группе от 12 до 27 %.

Ощущение различия воспринимаемых частот световых мельканий отражается в нашем сознании, и к настоящему времени не выработано количественных методов его оценки [7]. Это связано с тем, что зрительная система не формирует внутри себя изображение, а анализирует электрофизиологические параметры его элементов [8]. По этой причине, в случае предъявления частот световых мельканий с использованием одного светодиода, испытуемый для определения их различия обращается подсознательно к кратковременной логико-смысловой памяти. В предложенном способе световые мелькания предъявляются испытуемому с использованием двух светодиодов. В этом случае испытуемый для определения различия предъявляемых частот анализирует одновременно предъявляемые частоты мельканий, что не требует обращения к кратковременной логико-смысловой памяти. В результате точность определения полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы увеличивается.

Заключение

Предложен способ измерения полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительной системы, позволяющий повысить точность измерений. По результатам экспериментальных исследований точность измерений с использованием двух светодиодов по сравнению с использованием одного светодиода повышается по группе из 10 испытуемых от 12 до 27 %.

Список литературы:

1. *Глезер В.Д.* Зрение и мышление / Изд. 2-е, испр. и доп. – С.-Пб.: Наука, 1993. 284 с.
2. *Шелепин Ю.Е., Колесникова Л.Н., Левкович Ю.И.* Визоконтрастометрия: измерение пространственных передаточных функций зрительной системы. – Л.: Наука, 1985. 103 с.
3. *Роженцов В.В.* Измерение полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы // Медицинская техника. 2009. № 3 (255). С. 33-35.
4. *Роженцов В.В.* Способ определения полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы человека / Патент 2357648 РФ, A61B 3/00, A61B 5/16, A61F 9/00. Опубл. 10.06.2009. Бюл. № 16.
5. *Шайтор Э.П., Шабанов А.И., Ухин В.М.* Описание стандартной методики измерения критической частоты слияния мельканий // Физиология человека. 1975. Т. 1. № 3. С. 570-572.
6. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. – М.: Изд-во стандартов, 1995. 30 с.
7. *Луизов А.В.* Глаз и свет. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. 144 с.
8. *Мазуров А.И.* Зрительная система как конечное звено систем медицинской интроскопии // Медицинская техника. 2006. № 2. С. 15-18.

Валерий Витальевич Роженцов,
д-р техн. наук,
профессор,
кафедра «Проектирование и производство электронно-вычислительных средств»,
Марийский государственный технический университет,
г. Йошкар-Ола,
e-mail: VRozhentsov@mail.ru

* * * * *