

В.В. Роженцов

## ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

### Аннотация

Предложен экспресс-метод определения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы в герцах путем одновременного предъявления частот световых мельканий с использованием 8 пар источников. По экспериментальным данным уменьшение времени с использованием 8 пар источников по сравнению с использованием 2 источников составило по группе из 10 испытуемых для одного измерения от 37 до 68 %.

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 1 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 были рассмотрены ранее в [3], где было 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 различия. Частоты световых мельканий предъявляются испытуемому попеременно, с использованием одного источника.

В [4] описан способ измерения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы путем одновременного предъявления частот световых мельканий с использованием двух источников, что позволяет увеличить точность измерений по сравнению с использованием одного источника.

Цель работы – разработка экспресс-метода определения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы, позволяющего сократить время измерений.

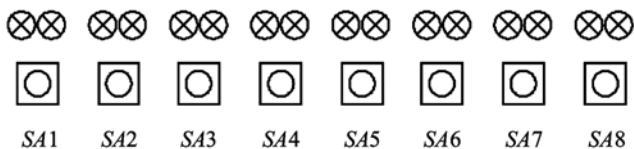


Рис. 1. Расположение пар светодиодов и соответствующих им кнопок (обозначения – в тексте)

Для сокращения времени измерений было предложено предъявлять испытуемому световые мелькания с заданной начальной частотой  $F_H$  одновременно

с использованием 8 пар светодиодов, каждой из которых соответствует одна из 8 кнопок SA1-SA8 (рис. 1) [5].

Начальную частоту световых мельканий  $F_H$  первых светодиодов в парах не меняют. На первом этапе измерений на второй светодиод первой пары подают световые мелькания с инкрементной частотой, увеличенной по сравнению с частотой первого светодиода на 0,7 Гц. На каждый второй светодиод последующей пары подают световые мелькания с инкрементной частотой, увеличенной по сравнению с частотой второго светодиода предыдущей пары на 0,7 Гц. Испытуемый определяет пару светодиодов с наименьшим номером, частоты световых мельканий которой различаются, и нажимает соответствующую ей кнопку.

На втором этапе измерений на второй светодиод первой пары подают световые мелькания с частотой, меньшей на 0,7 Гц частоты второго светодиода пары, определенной на первом этапе испытуемым как пара, частоты световых мельканий которой различаются. На каждый второй светодиод последующей пары подают световые мелькания с инкрементной частотой, увеличенной по сравнению с частотой второго светодиода предыдущей пары на 0,1 Гц. Испытуемый определяет пару светодиодов с наименьшим номером, частоты световых мельканий которой различаются, и нажимает соответствующую ей кнопку, фиксируя значение частоты световых мельканий  $F_H$  второго светодиода этой пары.

Значение порога различия предъявляемых частот световых мельканий  $\Delta F_1$  вычисляют как разность между зафиксированной на втором этапе частотой второго светодиода  $F_H$  и начальной частотой  $F_H$ :

$$\Delta F_1 = F_H - F_H$$

На третьем этапе измерений на второй светодиод первой пары подают световые мелькания с декрементной частотой, уменьшенной по сравнению с частотой первого светодиода  $F_H$  на 0,7 Гц. На каждый второй светодиод последующей пары подают световые мелькания с декрементной частотой, уменьшенной по сравнению с частотой второго светодиода предыдущей пары на 0,7 Гц. Испытуе-

мый определяет пару светодиодов с наименьшим номером, частоты световых мельканий которой различаются, и нажимает соответствующую ей кнопку.

На четвертом этапе измерений на второй светодиод первой пары подают световые мелькания с частотой, меньшей на 0,7 Гц частоты второго светодиода пары, определенной на третьем этапе испытуемым как пара, частоты световых мельканий которой различаются. На каждый второй светодиод последующей пары подают световые мелькания с декрементной частотой, уменьшенной по сравнению с частотой второго светодиода предыдущей пары на 0,1 Гц. Испытуемый определяет пару светодиодов с наименьшим номером, частоты световых мельканий которой различаются, и нажимает соответствующую ей кнопку, фиксируя значение частоты световых мельканий  $F_D$  второго светодиода этой пары.

Значение порога различения предъявляемых частот световых мельканий  $\Delta F_2$  вычисляют как разность между начальной частотой  $F_H$  и зафиксированной на четвертом этапе частотой второго светодиода  $F_D$ :

$$\Delta F_2 = F_H - F_D.$$

Полосу пропускания пространственно-частотного канала  $\Delta F$  определяют как среднеарифметическое значений порогов различения частот световых мельканий  $\Delta F_1$  и  $\Delta F_2$ , вычисленных на втором и четвертом этапах измерений:

$$\Delta F = (\Delta F_1 + \Delta F_2) / 2.$$

### Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментально установлено, что полоса пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы для здорового человека находится в пределах от 0,6 до 2,9 Гц [3]. Исходя из этих значений, на первом и третьем этапах измерений диапазон изменения частоты вторых светодиодов принят с некоторым запасом порядка 5 Гц. Для обеспечения принятой точности измерения, равной 0,1 Гц [6], шаг изменения частоты вторых светодиодов на втором и четвертом этапах измерений должен быть равным 0,1 Гц. Тогда для того, чтобы на втором и четвертом этапах разница между частотами световых мельканий вторых светодиодов первой и последней пар была не меньше шага изменения частоты между вторыми светодиодами пар на первом и третьем этапах, число пар светодиодов должно быть равным 8, шаг изменения частоты вторых светодиодов в парах на первом и третьем этапах – 0,7 Гц.

В обследовании приняли участие 10 предварительно обученных испытуемых в возрасте от 18 до 24 лет с нормальным или скорректированным зрением, которые выполнили, в соответствии с рекомендациями [7], две серии по 10 измерений полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы на начальной частоте 10 Гц.

В первой серии измерений для 5 испытуемых частоты световых мельканий предъявлялись одновременно на 8 парах светодиодов. Во второй серии измерений полоса пропускания пространственно-частотного канала определялась с использованием двух светодиодов по методике, описанной в [4]. Для других 5 испытуемых порядок выполнения серий измерений был обратным.

Измерения выполнялись бинокулярно в помещении, оборудованном в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95 [8], 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. Формирование предъявляемых частот световых мельканий, их изменение и определение полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы выполнялось с использованием ПЭВМ Pentium III.

На первом этапе измерений на вторые светодиоды пар подавались импульсы с частотами, приведенными в *табл. 1*.

Таблица 1

Номер пары	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота мельканий, Гц	10,7	11,4	12,1	12,8	13,5	14,2	14,9	15,6

Один из испытуемых на первом этапе определил пару светодиодов с наименьшим номером (№ 3), частоты световых мельканий которой различаются, и нажал соответствующую ей кнопку SA3, на что потратил 2,5 с.

На втором этапе измерений для этого испытуемого на вторые светодиоды пар подавались импульсы с частотами, приведенными в *табл. 2*.

Таблица 2

Номер пары	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота мельканий, Гц	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,1

Испытуемый определил пару светодиодов с наименьшим номером (№ 5), частоты световых мельканий которой различаются, и нажал соответствующую ей кнопку SA5, на что потратил 3 с. Компьютер вычислил значение порога различения предъявляемых частот световых мельканий  $\Delta F_1 = F_{II} - F_H = 11,8 - 10 = 1,8$  Гц.

На третьем этапе измерений на вторые светодиоды пар подавались импульсы с частотами, приведенными в *табл. 3*.

Таблица 3

Номер пары	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота мельканий, Гц	9,3	8,6	7,9	7,2	6,5	5,8	5,1	4,4

Испытуемый определил пару светодиодов с наименьшим номером (№ 3), частоты световых мельканий которой различаются, и нажал соответствующую ей кнопку SA3, на что потратил 2 с.

На четвертом этапе измерений на вторые светодиоды пар подавались импульсы с частотами, приведенными в табл. 4.

Таблица 4

Номер пары	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота мельканий, Гц	8,6	8,5	8,4	8,3	8,2	8,1	8,0	7,9

Испытуемый определил пару светодиодов с наименьшим номером (№ 3), частоты световых мельканий которой различаются, и нажал соответствующую ей кнопку SA3, на что потратил 2,5 с. Компьютер вычислил значение порога различения предъявляемых частот световых мельканий  $\Delta F_2 = F_H - F_D = 10 - 8,4 = 1,6$  Гц и значение полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы  $\Delta F = (\Delta F_1 + \Delta F_2) / 2 = (1,8 + 1,6) / 2 = 1,7$  Гц. В результате испытуемый определил значение полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы за 10 с.

При определении полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы по ранее предложенному способу [4] испытуемый потратил 15 с, то есть на 5 с или на 50 % времени больше.

По результатам измерений вычислялись среднеарифметическое значение и среднеквадратическое отклонение значений полосы пропускания пространственно-частотного канала в каждой серии измерений. Анализ результатов вычислений показал, что при начальной частоте, равной 10 Гц, для обследованной группы испытуемых полоса пропускания пространственно-частотного канала находится в пределах от 0,9 до 2,1 Гц, различие между индивидуальными значениями среднеарифметических значений и среднеквадратических отклонений, полученных испытуемыми в двух сериях измерений, статистически недостоверно.

Уменьшение времени измерений при определении полосы пропускания пространственно-частотного канала с использованием 8 пар светодиодов по сравнению с использованием двух светодиодов зафиксировано для каждого испытуемого и составило по группе испытуемых для одного измерения от 37 до 68 %.

При предъявлении световых мельканий с использованием как двух светодиодов, так и 8 пар светодиодов зрительная система человека сравнивает предъявляемые частоты световых мельканий. Однако при использовании двух светодиодов порог различения частот световых мельканий определяется методом последовательного приближения путем изменения разности предъявляемых частот, что занимает значительное время.

При предъявлении световых мельканий с использованием 8 пар светодиодов разность между предъявляемыми частотами в каждой паре увеличивается от первой пары до последней. Испытуемый при определении порога различения частот световых мельканий среди 8 пар находит пару светодиодов с наименьшим номером, частоты световых мельканий которой различаются, на что затрачивает меньше времени.

## Заключение

Предложен экспресс-метод определения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы. Выполнены экспериментальные исследования по измерению полосы пропускания на начальной частоте 10 Гц. Уменьшение времени одного измерения с использованием 8 пар светодиодов по сравнению с использованием 2 светодиодов составило по группе из 10 испытуемых для одного измерения от 37 до 68 %.

### Список литературы:

1. Глезер В.Д. Зрение и мышление / Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: 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. Рожнецов В.В. Измерение полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы // Медицинская техника. 2009. № 3 (255). С. 33-35.
4. Рожнецов В.В. Способ измерения полосы пропускания пространственно-частотных каналов зрительной системы // Медицинская техника. 2011. № 1 (255). С. 27-29.
5. Рожнецов В.В. Способ определения полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы человека / Патент 2341178 РФ, А61В 3/00. Оpubл. 20.12.2008. Бюл. № 35.
6. Рожнецов В.В., Лежнина Т.А. Способ определения полосы пропускания пространственно-частотного канала зрительной системы / Патент 2209027 РФ, А61В 3/00. Оpubл. 27.07.2003. Бюл. № 21.
7. 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.
8. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

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