

УДК 004.9:612.84

**В. В. Роженцов**, доктор технических наук, профессор, Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ НЕЙРОНОВ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА\*

*Предложен способ определения полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительного анализатора в Гц путем одновременного предъявления инкрементной и декрементной частот световых мельканий с использованием двух источников. По экспериментальным данным точность определения полосы пропускания с использованием двух источников по сравнению с традиционным использованием одного источника повышается по группе из 10 испытуемых от 19 до 34 %.*

**Ключевые слова:** нейрон, рецептивное поле, полоса пропускания.

Основной структурной и функциональной единицей нервной системы является нейрон. Каждый нейрон своей воспринимающей частью (дендриты) связан с несколькими нейронами нижнего уровня нервной системы или периферическими рецепторами. Та область рецепторной поверхности, с которой связан отдельный нейрон через нейроны нижнего уровня или непосредственно, называется рецептивным полем. Размеры рецептивных полей нейронов зрительной системы и их функциональные свойства зависят от расположения фоторецепторов поля данного нейрона на сетчатке. В середине сетчатки, где плотность колбочек максимальна, одна колбочка через отдельную биполярную клетку соединяется с отдельной ганглиозной клеткой. Таким образом, рецептивные поля ганглиозных клеток, связанные с центром сетчатки, узкие и не перекрываются. На периферии сетчатки отмечаются широкие перекрывающиеся рецептивные поля, когда множество рецепторов связано с одной ганглиозной клеткой [1].

С ганглиозных клеток сетчатки по волокнам зрительного нерва сигналы поступают в латеральное коленчатое тело, являющееся подкорковым центром зрения (первичные зрительные центры). Последний нейрон зрительного пути заканчивается в зрительной коре (корковые зрительные центры). Нейроны латерального коленчатого тела и зрительной коры совместно с нейронами нижнего уровня образуют свои рецептивные поля [2]. Таким образом, в восприятии зрительных изображений участвует совокупность рецептивных полей нейронов от сетчатки до зрительной коры.

Одной из гипотез описания изображений в зрительном анализаторе является гипотеза пространственно-частотной фильтрации, когда рецептивные поля нейронов рассматриваются как полосовые фильтры пространственных частот, имеющие определенную полосу пропускания, которая исследуется с помощью тонких светлых и темных полос, а также решеток с синусоидальным распределением яркости с разной пространственной частотой, под которой понимается число периодов (циклов) распределения яркости на один градус поля зрения (цикл/град) [3, 4].

Ответ на тонкую полосу, проходящую через рецептивное поле, характеризует профиль активности в этом направлении [5], или, с точки зрения теории линейных систем, весовую функцию поля [4]. Ее можно рассматривать как гармонический сигнал, промодулированный прямоугольным импульсом. Тогда ширина полосы пропускания рецептивного поля нейрона  $\Delta F$  равна расстоянию между нулями пространственно-частотной характеристики весовой функции [6].

Для измерения полосы пропускания рецептивного поля нейрона с использованием решеток с синусоидальным распределением яркости на его вход подается последовательный ряд изображений таких решеток с различной пространственной частотой. Глубина модуляции (контраст) ощущаемого изображения всегда отлична от входного. Значение модуля передаточной функции для каждой пространственной частоты равно отношению модуляции ощущаемой гармонической составляющей к данной гармонической составляющей во входном изображении и называется коэффициентом передачи модуляции. Совокупность коэффициентов передачи модуляции для разных пространственных частот определяет функцию передачи модуляции или пространственную модуляционную передаточную функцию. В литературе, посвященной физической и физиологической оптике, ее называют частотно-контрастной характеристикой [3]. Измерение пространственных модуляционных передаточных функций позволяет определить полосу пропускания рецептивного поля нейрона в цикл/град, при этом пространственные частоты, лежащие внутри полосы пропускания, не различаются [4].

Измерение полосы пропускания рецептивных полей нейронов является актуальным в теории сенсорных систем, в нейрофизиологии и психофизиологии, однако их определение путем измерения пространственных модуляционных передаточных функций требует специального оборудования и занимает длительное время.

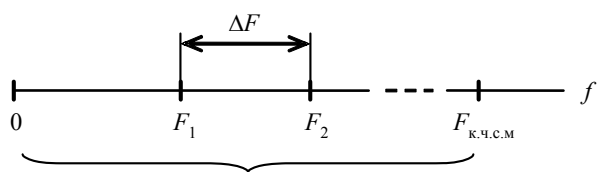
Целью работы является разработка метода исследования полосы пропускания рецептивных по-

лей нейронов зрительной системы и аппаратных средств его реализации, обеспечивающих более простую процедуру измерений и повышение их точности.

#### Способ определения полосы пропускания рецептивных полей нейронов

Зрительный анализатор воспринимает частоты световых мельканий в среднем от 0 до 50 Гц, при этом верхней граничной частотой является критическая частота световых мельканий  $F_{к.ч.с.м}$ , то есть частота перехода от видимости мельканий к ощущению их субъективного слияния.

Так как частоты, лежащие внутри полосы пропускания, рецептивным полем нейрона не различаются, ширину полосы пропускания в Гц можно определить путем оценки порога различения двух ближайших частот как минимальной разности  $\Delta F = F_2 - F_1$  между «верхней»  $F_2$  и «нижней»  $F_1$  частотами световых мельканий (см. рисунок), которая вызывает у испытуемого ощущение их различия [7].



диапазон видимых частот световых мельканий

Порог различения частот световых мельканий

Для определения полосы пропускания рецептивного поля нейрона испытуемому предъявляется начальная частота световых мельканий  $F_n$  с использованием одного источника. Затем попеременно с заданным периодом на этом источнике предъявляется инкрементная  $F_n$  и декрементная  $F_d$  частоты световых мельканий, разницу между предъявляемыми частотами увеличивают, пока испытуемый не определял различие предъявляемых попеременно инкрементной  $F_n$  и декрементной  $F_d$  частот световых мельканий.

Для определения полосы пропускания рецептивного поля нейрона предложено предъявлять испытуемому световые мелькания с заданной в видимом диапазоне частот начальной частотой  $F_n$  одновременно на двух источниках. Затем на первом источнике предъявляются световые мелькания с увеличенной по сравнению с начальной инкрементной частотой  $F_n$ , на втором источнике – с уменьшенной по сравнению с начальной декрементной частотой  $F_d$  [8]. В процессе определения полосы пропускания рецептивного поля нейрона разницу между предъявляемыми инкрементной  $F_n$  и декрементной  $F_d$  частотами световых мельканий вначале увеличивают, затем методом последовательного приближения [9] определяют порог различения между предъявляемыми частотами.

#### Результаты исследований и их обсуждение

В процессе исследования формирование предъявляемых частот световых мельканий, их изменение

и определение полосы пропускания выполнялось с использованием ПЭВМ *Pentium III*. источниками световых мельканий служили светодиоды желтого цвета диаметром 5 мм с силой света 3 мкд, размещаемые в районе ближней точки ясного видения.

В обследовании приняло участие 10 предварительно обученных испытуемых в возрасте от 18 до 22 лет с нормальным или скорректированным зрением, которые выполнили две серии по 10 измерений полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительного анализатора на начальной частоте 15 Гц. В первой серии измерений для 5 испытуемых инкрементная  $F_n$  и декрементная  $F_d$  частоты световых мельканий 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.

Измерения выполнялись бинокулярно в помещении, оборудованном в соответствии с требованиями СНиП 23–05–95 [10] в первой половине дня с 9 до 12 часов с перерывами от 25 до 30 минут на отдых между сериями измерений. По результатам измерений вычислялись среднее арифметическое значение и среднеквадратическое отклонение значений полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительного анализатора в каждой серии измерений. Анализ результатов вычислений показал, что индивидуальные среднее арифметические значения полосы пропускания рецептивных полей нейронов находятся в пределах от 0,7 до 1,3 Гц, значения среднеквадратических отклонений – от 0,081 до 0,122 Гц, различие между индивидуальными значениями среднее арифметических значений, полученное испытуемыми в 2 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, наблюдается для каждого испытуемого и составило по группе от 19 до 34 %.

Ощущение, в том числе ощущение различия частот воспринимаемых частот световых мельканий, есть факт нашего сознания, и ни психология, ни физиология не выработали методов его количественной оценки. Это связано с тем, что зрительный анализатор не формирует внутри себя изображение, так как в нем отсутствует гомункулус, смотрящий на это изображение, а анализирует параметры элементов входного изображения. По этой причине в случае предъявления частот световых мельканий с использованием одного светодиода испытуемый для определения, различаются или не различаются попеременно предъявляемые частоты, обращается к кратковременной логико-смысловой памяти. В предложенном способе световые мелькания предъявляются испытуемому с использованием двух светодиодов, на первом светодиоде предъявляется инкрементная частота, на втором – декрементная. В этом случае испытуемый для определения, разли-

чаются или не различаются предъявляемые частоты, анализирует одновременно предъявляемые частоты мельканий, что не требует обращения к кратковременной логико-смысловой памяти. В результате точность определения полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительного анализатора увеличивается.

#### Заключение

Предложен способ определения полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительного анализатора, 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 19 до 34 %.

#### Библиографические ссылки

1. Вартачан И. А. Физиология сенсорных систем : руководство. – СПб. : Лань, 1999. – 224 с.
2. Зрение / А. И. Богословский [и др.] // Большая медицинская энциклопедия : в 30 т. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1978. – Т. 8. – С. 479–485.
3. Шелепин Ю. Е., Колесникова Л. Н., Левкович Ю. И. Визоконтрастометрия: Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы. – Л. : Наука, 1985. – 103 с.
4. Глезер В. Д. Зрение и мышление. – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб. : Наука, 1993. – 284 с.
5. Bishop P. O., Coombs J. S., Henry G. H. Interaction effects of visual contours on the discharge frequency of simple neurons // J. Physiol. – 1971. – Vol. 219. – No. 3. – P. 659–687.
6. Куперман А. М. Анализ пространственных частотных характеристик сложных рецептивных полей // Биофизика. – 1977. – Т. 22. – Вып. 1. – С. 117–122.
7. Патент 2209028 РФ, МКИ А61В 3/00. Способ определения полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительной системы / В. В. Рожнецов, Т. А. Лежнина. – Оpubл. 27.07.2003, Бюл. № 21. – 4 с.
8. Патент 2347520 РФ, А61В 3/00, А61В 9/00, А61В 5/00, А61В 5/16. Способ определения полосы пропускания рецептивных полей нейронов зрительной системы / Рожнецов В. В. – Оpubл. 27.02.2009, Бюл. № 6.
9. Патент 2164778 РФ, А61В 5/16, 3/06. Способ оценки критической частоты слияния световых мельканий / В. В. Рожнецов. – Оpubл. 10.04.2001, Бюл. № 10.
10. СНИП 23–05–95. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы и правила Российской Федерации. – М. : Изд-во стандартов, 1995. – 30 с.

V. V. Rozhentsov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Mari State Technical University

#### Study of Pass Band of Visual System Neuron Receptive Fields

*The method of pass band (in Hz) determination of the visual analyzer neurons receptive fields by simultaneous presentation of incremental and decremental light flickers frequencies using two sources is proposed. According to experimental data, accuracy of pass band determination using two sources in comparison with conventional use of a single source is improved from 19 % to 34 % in a group of 10 testees.*

**Key words:** neuron, receptive field, pass band.

УДК 004.9

Л. Н. Кротов, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский государственный технический университет  
Е. Л. Кротова, кандидат физико-математических наук, Пермский государственный технический университет  
А. А. Малков, аспирант, Пермский государственный технический университет

## ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРОЛЕЙ ОТ УЧЕТНЫХ ЗАПИСЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

*Описаны существующие системы восстановления прав в информационных системах и предложен простейший вариант экспертной системы, удовлетворяющий принципиально новым требованиям защиты.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, информационная безопасность, аутентификация, автоматическое управление.

Любая информационная система (ИС) имеет в своем составе подсистему управления доступом, предназначенную для защиты от злоумышленников. Именно с этой целью на каждого пользователя заводится учетная запись, содержащая сведения о его привилегиях при пользовании системой, информацию, которую он сообщает о себе, включая набор данных для своей идентификации, как правило, пароль, пару «секретный вопрос – ответ», доверенные почтовые адреса или номера теле-

фонов. Причем если пароль используется для входа в систему и авторизации пользователя, то секретный вопрос и доверенный адрес нужны в случае восстановления утерянного пароля. При взломе учетной записи ситуация усложняется тем, что злоумышленник может сменить все эти данные, после чего вернуть права легальному пользователю без вмешательства администраторов ресурса станет невозможно.

При ближайшем рассмотрении существующих систем восстановления прав на учетную запись ока-