

*К. ф.-м. н. В. В. БРАЙЛОВСКИЙ, к. ф.-м. н. М. Г. РОЖДЕСТВЕНСКАЯ,  
И. В. ПИСЛАР, О. В. ПОШАК*

Украина, Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича  
E-mail: brailovsky@ukr.net

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА ОПТИЧЕСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

*Описаны методика и результаты экспериментального исследования чувствительности зрения человека в центральном и периферическом полях к световым импульсам видимого диапазона. Установлены параметры световых импульсов, при которых возможна скрытая передача информации с помощью световых лучей видимого диапазона.*

*Ключевые слова: светодиод, световой импульс, фоновое освещение, чувствительность центрального зрения, чувствительность периферического зрения.*

Разработка и выпуск современных светодиодов, лазеров, характеризующихся высоким быстродействием и большой излучаемой мощностью, стимулируют формирование нового взгляда на системы передачи информации с использованием оптического излучения видимого диапазона [1]. Такие системы имеют определенные преимущества:

- передача данных с помощью света не сопровождается радиоизлучением;
- их развертывание проще по сравнению, например, с кабельными линиями;
- видимый диапазон света обеспечивает удобство настройки оборудования в отличие от существующих инфракрасных систем.

Коммерческие версии систем передачи данных на световых лучах видимого диапазона, известных как Li-Fi-системы, по аналогии с Wi-Fi, уже предлагаются на рынке. Например, британская компания «PureLiFi» (Эдинбург) выпустила продукт Li-1st, который представляет собой LED-систему беспроводного обмена данными с помощью модулированного светового луча [2].

Преимущества Li-Fi-систем будут еще более весомыми, если обеспечить скрытый режим их работы, при котором возможности человеческого зрения не позволят наблюдателю установить факт передачи информации. Это сделает реальным проектирование специализированных охранных систем, систем передачи информации с новыми элементами защиты, а также может найти свое применение в интеллектуальных осветительных комплексах [3, 4].

Из физиологии известно [5, 6], что критическая частота мельканий (минимальная частота проблесков, при которой возникает их слитное восприятие) зависит от яркости, размеров и конфигурации наблюдаемых объектов, спектрального состава мелькающего изображения и при обычных условиях наблюдения находится в ин-

тервале 15–25 Гц. Для целей кино и телевидения частота смены информации должна превышать эти значения и составлять не менее 40 Гц. В [4] автор указывает, что и при частоте импульсов света свыше 50 Гц наблюдатели все еще замечали мерцание светодиодного источника.

Очевидно, что влияние указанных факторов на способность человека различать световые импульсы центральным и периферическим зрением должно учитываться при проектировании оптических информационных систем.

Цель данной работы состоит в определении параметров световых сигналов (оптических импульсов видимого диапазона), при которых возможна незаметная для человека передача информации. Для этого проведены исследования восприятия человеком различных по частоте и длительности световых импульсов при различных уровнях фонового освещения.

### Описание эксперимента

В процессе проведения исследований диапазон изменения фонового освещения задавался в пределах от 50 до 600 лк, что соответствует диапазону значений уровня освещенности при тех или иных видах жизнедеятельности человека. В каждом конкретном случае уровень освещенности определялся согласно стандарту ISO 8995 [7]. Уровень фонового освещения измерялся сертифицированным люксметром ТЕС0693. Источником прямоугольных импульсов служил генератор, реализованный с помощью микроконтроллера PIC18F2550. Соответствие формы светового импульса форме прямоугольного электрического импульса, питающего светодиод, являлось критерием выбора диапазона изменения длительности импульсов. Необходимые параметры электрических импульсов вводились с помощью клавиатуры и отображались на дисплее. Сигнал генератора подавался на усили-

тель (транзистор  $VT1$  на рис. 1) с коэффициентом усиления по напряжению 5 и на эмиттерный повторитель ( $VT2$ ). К выходу эмиттерного повторителя подключался светодиод  $HL1$  марки CREE XM-L2, на котором обеспечивалась мощность электрического импульса порядка 10 Вт.

При проведении исследований центрального поля зрения источником фонового освещения служила лампа дневного света PHILIPS TL-D 36W/54-765. Уровень фонового освещения регулировался путем изменения расстояния между экраном, где размещался источник световых импульсов, и источником фонового света, а также использованием нейтральных фильтров.

При исследовании чувствительности периферического зрения к световым импульсам использовался проекционный периметр стандарта ISO 12866:2008 (Ophthalmic instruments — Perimeters) с механической системой фиксации угла поворота дуги периметра с шагом  $15^\circ$ . В общем случае, проекционный периметр — устройство, предназначенное для определения световой и цветовой чувствительности сетчатки глаза в условиях световой и цветовой адаптации для дневного, сумеречного и ночного зрения. Взгляд испытуемого должен быть направлен в центр дуги периметра, куда вмонтирована видеокамера. С ее помощью контролируется направление взгляда, и если оно выходит за пределы фиксированной области, результаты измерений считаются недействительными.

В эксперименте исследовалась чувствительность периферического зрения к стимулам (тест-объектам) с непрерывным и импульсным световым потоком отдельно правого и левого глаз человека. Необходимый уровень фонового освещения дуги периметра задавался лампой MAXUS 1-ESL-230-12 с равномерным свечением светоизлучающей поверхности. Изменение уровня фоновой освещенности обеспечивалось с помощью нейтральных светофильтров.

Поскольку восприятие световых импульсов разными людьми носит достаточно выраженный субъективный характер [4], для повышения достоверности полученных результатов при одних и тех же параметрах световых импульсов и фонового освещения исследования проводились не

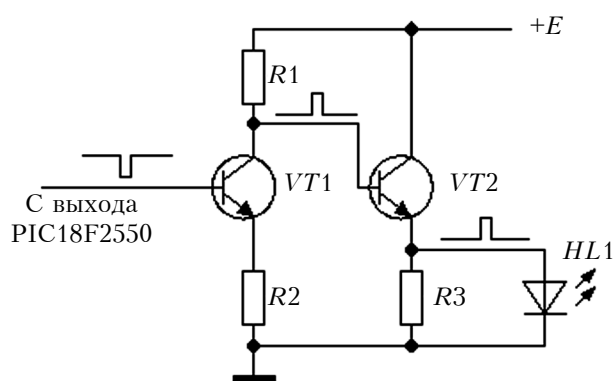


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема усилителя мощности генератора импульсов

менее чем с тремя испытуемыми, а полученные данные усреднялись.

### Результаты исследования

При исследованиях чувствительности центрального зрения человека было экспериментально установлено, что чем выше уровень фонового освещения  $E$ , тем шире диапазон частот  $F$  следования световых импульсов заданной длительности, при которых обеспечивается скрытность («невидимость») работы Li-Fi-системы (рис. 2). При этом была обнаружена скрытность двух типов:

- импульсы света неразличимы при заданном уровне фонового освещения — они сливались с фоном и не воспринимались как световые импульсы (область 2 на рис. 2);

- сформированные светодиодами импульсные последовательности воспринимались как непрерывный яркий свет, превышающий уровень фоновой освещенности (область 3 на рис. 2).

Область 1 на рис. 2 соответствует условиям, когда наблюдатель однозначно видит импульсы света (сюда относится и нулевой уровень освещения).

Таким образом, заштрихованная область на рис. 2 отражает люкс-частотные параметры невидимых для центрального зрения световых импульсов.

И минимальная частота следования световых импульсов ( $F_n$ ), при которой начинает проявляться эффект «невидимости», и максимальная ( $F_v$ ), при которой этот эффект еще присутствует, существенно зависят от длительности импульсов  $\tau$ . Как видно из рис. 3, рост  $\tau$  сопровождается уменьшением  $F_v$  и ростом  $F_n$ , т. е. сужением частотного интервала «невидимости» световых импульсов  $\Delta F = F_v - F_n$ .

Основные закономерности, полученные при исследовании периферического поля зрения, можно нагляднее отобразить не в общепринятой в офтальмологии полярной системе координат, а в декартовой. При переходе от одной системы координат к другой были использованы принятые в радиолокации термины: угол места ( $\phi$ ),

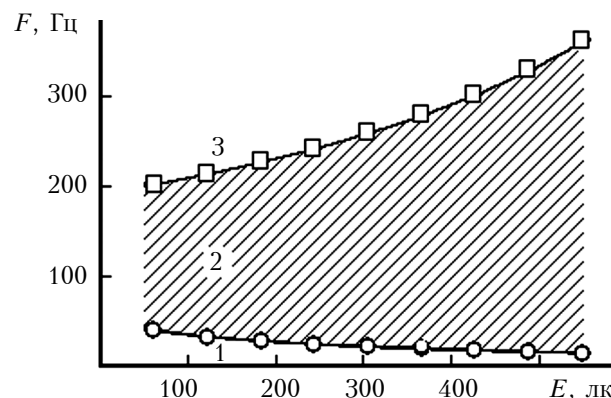


Рис. 2. Границы областей чувствительности центрального зрения человека к световым импульсам длительностью 5 мкс

под которым понимался угол положения стимула на дуге проекционного периметра, и азимутальный угол ( $\alpha$ ) — угол наклона самой дуги проекционного периметра относительно горизонта. Азимутальный угол был фиксированным, наиболее характерные его значения составляли 0, 60, 180 и 330°. Вдоль оси абсцисс декартовой системы откладывались значения того или иного параметра светового импульса стимула, а вдоль оси ординат — значения угла места  $\varphi$ , при котором испытуемый начинал воспринимать световой импульс стимула.

Результаты экспериментального исследования показали, что границы периферического поля зрения левого и правого глаз несколько различны, но общие закономерности для обоих глаз одинаковы. Для человека с нормальным зрением среднестатистическая область чувствительности периферического зрения к световым стимулам импульсного света отличается от чувствительности к стимулам непрерывного света. В случае импульсного излучения периферическое поле зрения человека существенно уже, чем при непрерывном. Необходимо отметить, что при низком уровне фонового освещения (не более 10–15 лк), а тем более при отсутствии освещения дуги периметра, периферическое поле зрения испытуемого было практически одинаковым при непрерывном и импульсном свете стимула.

Для периферического зрения, так же как и для центрального, существуют свои границы  $F_v$  и  $F_n$  «невидимости» световых импульсов. Для

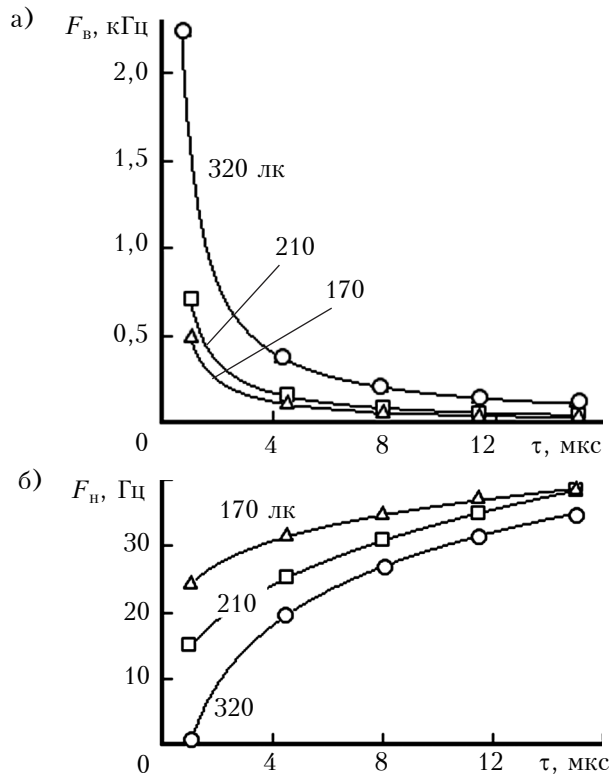


Рис. 3. Зависимость верхней (а) и нижней (б) частот области «невидимости» световых импульсов от их длительности при разных уровнях освещенности

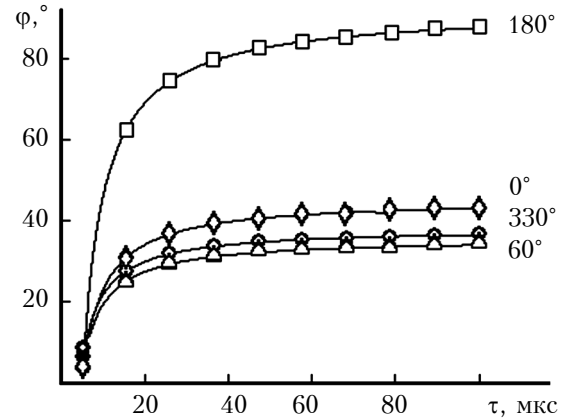


Рис. 4. Зависимость угла места от длительности импульсов при их частоте 10 Гц и фоновом освещении 50 лк для различных значений азимутального угла  $\alpha$

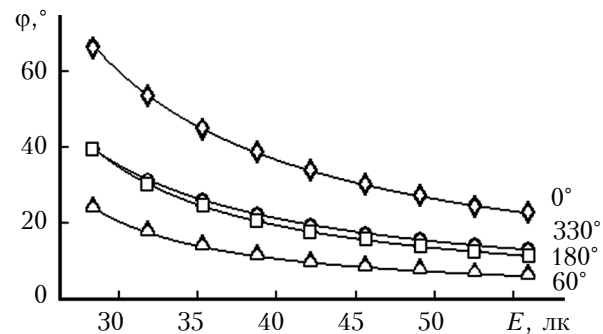


Рис. 5. Зависимость угла места от уровня фонового освещения при длительности импульсов 10 мкс и частоте 10 Гц для различных значений азимутального угла  $\alpha$

исследований периферического поля зрения параметры световых импульсов стимула выбирались из «видимой» области (1 на рис. 2).

При освещенности дуги периметра 50 лк и частоте следования импульсов 10 Гц увеличение длительности импульса более 20 мкс мало влияло на угол места для всех значений азимутального угла для обоих глаз (рис. 4). Что касается фонового освещения, то увеличение его уровня приводило к снижению  $\varphi$  (рис. 5).

Исследования периферического поля зрения проводились в соответствии с существующим стандартом при расстоянии от глаз испытуемого до дуги периметра 0,333 м. Его увеличение сопровождается уменьшением угла поля зрения вплоть до проявления закономерностей, характерных для центрального поля зрения.

### Заключение

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что скрытая работа систем передачи информации на световых лучах видимого диапазона возможна. Для этого при нулевом уровне освещенности необходимо использовать неспособность наблюдателя различать импульсный характер процесса передачи информации при больших частотах и длительностях световых импульсов (область 3 на рис. 2).

Оптический передатчик может быть выполнен, например, как «обычный» осветительный прибор.

При наличии фонового освещения, уровень которого соответствует принятым нормам, световые лучи видимого диапазона для прямого и периферического зрения человека могут стать невидимыми при определенных значениях длительности и частоты импульсов. Например, при длительности световых импульсов 5 мкс диапазон частот «невидимых» импульсов находится в пределах от 20 до 200 Гц (область 2 на рис.2).

Попытка обобщить полученные данные и установить аналитическую зависимость скважности световых импульсов от уровня фонового освещения и непосредственно параметров импульсов (длительность, интенсивность и др.) на данном этапе исследований не дала положительного результата. Дальнейшие исследования будут направлены на решение этой задачи.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Петрусь И.П., Гузенкова Е.А. Аспекты практического использования беспроводной оптической технологии передачи данных // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 2. — <http://naukovedenie.ru/PDF/85TVN214.pdf>
2. <http://www.purelifi.com/li-fire/li-1st/>
3. Пат. 86236 України. Імпульсний оптичний бар'єр на світлових променях видимого діапазону / Браїловський В.В., Пислар І.В. — 2013. — Бюл. № 24.
4. Баранов В. Визуальная различимость миллисекундного выключения светодиодного источника света // Полупроводниковая светотехника. — 2011. — № 1. — С. 41–43.
5. Алефиренко В.М. Инженерная психология. Конспект лекций. — Минск: БГУИР, 2008.
6. William F. Ganong. Review of medical physiology. — New York : McGraw-Hill Medical, 2005.
7. ISO 8995-1:2002 (CIE S 008/E:2001)

Дата поступления рукописи  
в редакцию 10.08 2014 г.

В. В. БРАЙЛОВСЬКИЙ, М. Г. РОЖДЕСТВЕНСЬКА,  
І. В. ПИСЛАР, О. В. ПОШАК

Україна, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
E-mail: brailovsky@ukr.net

## ФІЗІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА ОПТИЧНОМУ ВИПРОМІНЮВАННІ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ

Описано методіку та результати експериментального дослідження чутливості центрального та периферичного зору людини до світлових імпульсів видимого діапазону. Встановлено параметри світлових імпульсів, при яких можлива прихована передача інформації за допомогою світлових променів видимого діапазону.

Ключові слова: світлодіод, світловий імпульс, фонове освітлення, чутливість прямого зору, чутливість периферійного зору.

DOI: 10.15222/ТКЕА2015.1.13  
UDC 628.94

V. V. BRAILOVSKII, M. G. ROZHDESTVENSKAYA,  
I. V. PISLAR, O. V. POSHAK

Ukraine, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University  
E-mail: brailovsky@ukr.net

## PHYSIOLOGIC ASPECTS OF DESIGNING HIDDEN INFORMATION SYSTEMS BASED ON VISIBLE OPTICAL RADIATION

The paper presents the methodology and experimental results of the study of human eye sensitivity in central and peripheral vision field to the visible light pulses. The experimental results show that transmission systems based on visible rays can work in hidden mode. Conditions providing hidden transmission differ significantly for day and night light levels. At low light levels (at night) the non-perceptive nature of the pulsed light which is applied in the information transfer process should be used. In this case an optical transmitter is perceived as «usual» illuminant. In daylight, light pulse can be invisible at certain values of duration and frequency of the light pulses for central and peripheral vision. For example, light pulses with the duration of  $5 \cdot 10^{-6}$  s in the range from 20 to 200 Hz are «invisible».

Keywords: LED, light pulse, backlight, central vision sensitivity, peripheral vision sensitivity.

## REFERENCES

1. Petrus I., Guzenkova E. [Aspects of practical using of wireless optical technology data transfer]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2014, no 2, <http://naukovedenie.ru/PDF/85TVN214.pdf>
2. <http://www.purelifi.com/li-fire/li-1st/>
3. Patent 86236 UA. [Pulsed optical barrier with using of visible light rays]. Brailovsky V. V., Pyslar I. V., 2013, bul. no 24.
4. Baranov V. [Visual distinction of millisecond switching of LED light source]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2011, no 1, pp. 41-43. (in Russian)
5. Alefirenko V. M. *Inzhenernaya psikhologiya [Engineering psychology. Summary of lectures]*. Minsk: BSUIR, 2008, 230 p. (in Russian)
6. William F. Ganong. *Review of medical physiology*. USA, NY, McGraw-Hill Medical, 2005, 928 p.
7. ISO 8995-1:2002 (CIE S 008/E:2001)