



УДК 623.09

## ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ 0,35–2,5 мкм

Т.К. Королёв<sup>a,b</sup>, А.А. Платонов<sup>a</sup>, С.А. Ваганов<sup>c</sup><sup>a</sup> АО «Опытный завод «Интеграл», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация<sup>b</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация<sup>c</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

Адрес для переписки: sv.exciton@mail.ioffe.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 29.11.18, принята к печати 26.12.18

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-1-47-51

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Королёв Т.К., Платонов А.А., Ваганов С.А. Формирование высокоинтенсивных импульсных некогерентных визуально-оптических сигналов в диапазоне 0,35–2,5 мкм // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 1. С. 47–51. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-1-47-51

### Аннотация

**Предмет исследования.** Рассмотрена задача формирования импульсных помеховых оптических сигналов в широком спектральном диапазоне для противодействия визуально-оптическим и оптико-электронным средствам наблюдения и визирования, работающим в разных участках оптического спектра. **Метод.** Для создания высокоинтенсивного источника оптического излучения применена малогабаритная короткодуговая ксеноновая лампа высокого давления в металлокерамическом корпусе со встроенным отражателем. Для получения значений плотности энергии выше заданных критериальных уровней на дистанциях подавления в излучателе применено мультиплицирование ламп.

**Основные результаты.** Создан излучатель визуально-оптических помех в спектральном диапазоне 0,35–2,5 мкм с частотой низкочастотной модуляции 5–15 Гц и высокочастотной модуляцией 5 кГц низкочастотных импульсов при глубине модуляции 60 %. Достигнута максимальная интенсивность светового потока  $95 \cdot 10^5$  кд и энергетическая освещенность 120 Вт/м<sup>2</sup> на удалении 10 метров. Ширина луча изменяется от 6 до 15°. Излучатель может эксплуатироваться при температуре от –40 до +50 °С и влажности воздуха до 98 %. **Практическая значимость.** Применение короткодуговых ксеноновых ламп в металлокерамическом корпусе с интегрированным внутренним фиксированным отражателем позволяет создавать малогабаритные формирователи импульсных оптических сигналов высокой мощности. Лампы взрывобезопасны, не подвержены расстекловыванию и разгерметизации. Излучатели на их основе не требуют юстировки в процессе эксплуатации, надежны и долговечны. Для размещения на носителях с различным энергоресурсом излучатель может создаваться в конфигурациях с различной мощностью ламп и их количеством.

### Ключевые слова

визуально-оптические помехи, импульсные оптические помехи, некогерентные оптические помехи, ксеноновая лампа, короткодуговая лампа, лампа высокого давления, металлокерамический корпус, излучатель визуально-оптических помех, функциональное подавление

## GENERATION OF HIGH-INTENSITY PULSE INCOHERENT VISUAL OPTICAL SIGNALS IN 0.35–2.5 μm SPECTRAL RANGE

Т.К. Korolev<sup>a,b</sup>, А.А. Platonov<sup>a</sup>, С.А. Vaganov<sup>c</sup><sup>a</sup>JSC Experimental plant "Integral", Saint Petersburg, 197376, Russian Federation<sup>b</sup>ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation<sup>c</sup>Ioffe Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation

Corresponding author: sv.exciton@mail.ioffe.ru

### Article info

Received 29.11.18, accepted 26.12.18

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-1-47-51

Article in Russian

**For citation:** Korolev T.K., Platonov A.A., Vaganov S.A. Generation of high-intensity pulse incoherent visual optical signals in 0.35–2.5 μm spectral range. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 47–57 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-1-47-51

**Abstract**

**Subject of research.** The paper considers the approach to generation of pulse optical jamming signals in broad range of wavelengths aimed to suppress visual optical and electro-optical channels of surveillance equipment operating in different spectral bands. **Method.** The high-intensity emission optical source was created utilizing compact cermet case short-arc high-pressure xenon lamps with internal reflectors. Optical emitter with multiplication of lamps was used in order to attain the values of energy density above the specified criterion levels at the distances of suppression. **Main results.** The emitter was constructed for visual-optical jamming in the spectral range of 0.35-2.5  $\mu\text{m}$  with maximum light intensity of  $95 \cdot 10^5$  cd and irradiance of  $120 \text{ W/m}^2$  at 10 meters. The low-frequency modulation varies from 5 to 15 Hz while the high-frequency modulation of low-frequency pulses is kept constant at 5 kHz with 60 % modulation depth. The beam width can be mechanically switched from 6 to 15°. The emitter is embodied in all-climate type of enclosure and can be operated from -40 to +50 °C and air humidity up to 98 %. **Practical relevance.** Implementation of cermet case short-arc high-pressure xenon lamps with fixed integrated reflector provides an opportunity to construct compact high-power emitters of pulsed optical signals. The lamps are explosion-proof and not prone to devitrification and depressurization. The emitters utilizing the lamps with internal reflectors do not require in-service adjustment, have high reliability and durability. The emitter can be configured with the lamps of variant optical power in order to satisfy the electrical power availability of delivery vehicle of all kinds.

**Keywords**

visual optical jamming, pulse optical jamming, incoherent optical jamming, xenon lamp, short-arc lamp, high-pressure lamp, metal-to-ceramic case, visual optical jamming emitter, function suppression

**Введение**

Некогерентные высокоинтенсивные источники оптического излучения используются для формирования помеховых сигналов в широком спектральном диапазоне с целью противодействия визуально-оптическим и оптико-электронным средствам наблюдения и визирования, работающим в разных участках оптического спектра. По сравнению с лазерными генераторами плотность потока энергии некогерентных ламповых источников света недостаточна для нарушения функционирования фоточувствительных приборов и элементов оптического тракта. Тем не менее для снижения эффективности применения, если требуется обеспечить широкий сектор засветки, тактико-технические характеристики излучателей оптических помех на основе некогерентных источников превосходят характеристики лазерных систем, обладая существенно меньшей стоимостью и простотой технического исполнения. Кроме того, помеховое излучение одиночного монохроматического лазерного источника не способно полностью подавить многоканальные мультиспектральные системы [1], оно неэффективно при защите оптических трактов от излучения при помощи специализированных покрытий с высоким коэффициентом рефлексии на длинах волн используемых лазеров [2].

Диапазон 0,35–2,5 мкм включает видимый спектр, ближние ультрафиолетовую (УФ) и инфракрасную (ИК) части оптического спектра. В визуально-оптических и оптико-электронных каналах, работающих в этом спектральном диапазоне, могут использоваться различные фоточувствительные сенсоры. К ним, в частности, относятся зрительный анализатор глаза, электронно-оптические преобразователи (ЭОП) приборов ночного видения [3, 4], чувствительные в УФ, видимом и ИК спектральных диапазонах ПЗС- и КМОП-матрицы цифровых видео- и фотокамер [5].

**Принцип построения излучателя некогерентных визуально-оптических помех  
в диапазоне 0,35–2,5 мкм**

Эффективное противодействие рассмотренным средствам наблюдения и визирования, работающим в спектральном диапазоне 0,35–2,5 мкм, достигается воздействием на них низкочастотного амплитудно-модулированного оптического излучения с высокочастотным заполнением. В качестве источника высокоинтенсивного импульсного оптического излучения, удовлетворяющего поставленным требованиям, использована малогабаритная короткодуговая ксеноновая лампа в металлокерамическом корпусе со встроенным внутренним параболическим отражателем.

Оптический спектр излучения ксеноновых ламп (рис. 1) начинается в УФ-диапазоне (200–300 нм), практически постояен в видимой области и после высокоинтенсивных дискретных линий в коротковолновой области ближнего ИК-диапазона спадает к началу средневолновой области ИК-диапазона. Дискретные линии в спектре обусловлены переходами между связанными состояниями атомов и ионов ксенона, а сплошные первично образованы рекомбинационным излучением переходов захвата ионами ксенона свободных электронов и тормозным излучением свободных электронов.

Ксеноновые лампы с короткой дугой обладают высокой светоотдачей, высокой стабильностью спектра излучения и цветопередачи, имеют малую инерционность, что позволяет использовать их в режиме временной модуляции излучения.

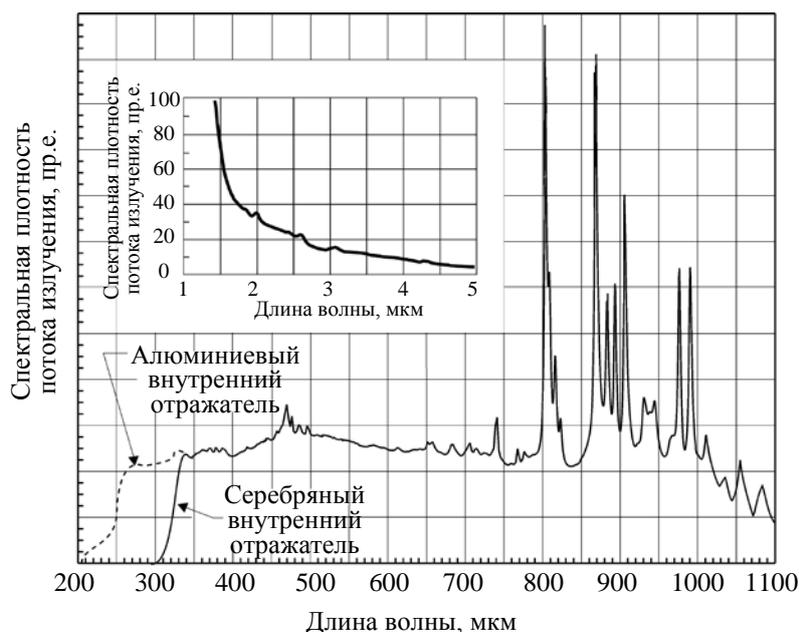


Рис. 1. Спектральная плотность потока излучения ксеноновой лампы [6], на вставке спектральная плотность в среднем ИК-диапазоне

Основные характеристики короткодуговой ксеноновой лампы в металлокерамическом корпусе со встроенным внутренним отражателем приведены ниже.

Полный световой поток видимого (390–770 нм) выходного излучения, лм	6000
Полный поток излучения в УФ-диапазоне (ниже 390 нм), Вт	7
Полный поток излучения в ИК-диапазоне (выше 770 нм), Вт	30
Максимальная сила света, кд	$5 \cdot 10^5$
Цветовая температура, К	5600
Междуговой промежуток, мм	1,2
Расфокусировка катода, не более, мм	0,1
Ширина (расходимость) светового луча по половинной мощности, град	5
Диаметр выходного окна, мм	25
Диапазон рабочих токов постоянного напряжения, А	10–23
Диапазон рабочих напряжений питания, В	12–18

На основе короткодуговой ксеноновой лампы в металлокерамическом корпусе со встроенным отражателем создан излучатель визуально-оптических помех (рис. 2). Излучатель предназначен для подавления визуально-оптических и оптико-электронных каналов наблюдения, работающих в спектральном диапазоне 0,35–2,5 мкм, также он может применяться в качестве малогабаритного источника высокоинтенсивного светового излучения в осветительных и светосигнальных целях.



Рис. 2. Излучатель визуально-оптических помех

Для повышения отказоустойчивости и получения больших значений плотности энергии на больших дистанциях применено мультиплицирование ламп по две ряд. Такое расположение обеспечивает равномерное распределение энергии излучения по всей плоскости пятна в режиме узкого луча. Жидкостное

охлаждение ламп позволяет использовать излучатель в широком диапазоне температур окружающей среды в различных климатических условиях. Каждая лампа имеет индивидуальный блок питания со схемой поджига. Контроль значений рабочих токов, температур ламп и охлаждающей жидкости осуществляет микропроцессорный блок управления.

Длительность и интенсивность светового помехового излучения изменяется по случайному равномерному закону с периодом 1,5–2 с (в пределах длительности каждого низкочастотного импульса осуществляется модуляция импульсами высокой частоты). Диапазон частоты низкочастотной модуляции 5–15 Гц. Частота высокочастотной модуляции 5 кГц, при глубине модуляции низкочастотными и высокочастотными импульсами не менее 60 % и скважности следования высокочастотных импульсов 2–3. Ширина излучения в горизонтальной плоскости в режиме формирования узкого луча  $6 \pm 2^\circ$ , в режиме формирования широкого луча  $15 \pm 5^\circ$ . Расширение светового луча осуществляется механически при помощи малогабаритных оптических клиньев, размещенных за выходными окнами ламп на поворотном диске. Максимальная интенсивность светового потока  $95 \cdot 10^5$  кд, а максимальный уровень энергетической освещенности в режиме формирования узкого луча (прожектор) на расстоянии 10 м составляет 120 Вт/м<sup>2</sup>.

Излучатель установлен на поворотном устройстве, это обеспечивает дистанционное изменение направления излучаемого светового потока в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Изменение режимов работы, ширины луча, а также направления светового потока производится с помощью выносных пультов управления. Средняя наработка на отказ излучателя не менее 400 ч при времени непрерывного функционирования в рабочем режиме не более 2 ч. Излучатель может эксплуатироваться в диапазоне температур  $-40$  до  $+50$  °С и влажности воздуха 98 %.

### **Преимущества применения малогабаритной короткодуговой ксеноновой лампы**

По сравнению с короткодуговыми ксеноновыми лампами в корпусе из кварцевого стекла, лампы в металлокерамическом корпусе более компактны, имеют более высокую яркость из-за меньших размеров дуги и более высоких значений рабочих токов, что позволяет интегрировать в их конструкцию внутренний фиксированный отражатель. Металлокерамический корпус наиболее взрывобезопасен, не подвержен расстекловыванию и разгерметизации, позволяет организовать эффективный контактный теплоотвод. Встроенный внутренний отражатель не требует юстировки в процессе эксплуатации. Лампа безопасно извлекается из излучателя для замены.

Применение малогабаритных короткодуговых ксеноновых ламп в металлокерамическом корпусе со встроенным внутренним отражателем позволило повысить надежность и долговечность излучателя. Мультиплицирование ламп повысило отказоустойчивость излучателя. Выход из строя одной или даже двух ламп не приводит к потере работоспособности излучателя в целом. Малый диаметр выходного окна лампы позволяет выполнять быструю перестройку ширины луча излучения от  $6$  до  $15^\circ$  менее чем за 2 с. Варьируя мощность применяемых ламп и их число, можно выбрать конфигурацию излучателя для размещения его на носителях с различным энергоресурсом.

Использование современных короткодуговых ксеноновых ламп в металлокерамическом корпусе со встроенным внутренним отражателем позволяет создавать малогабаритные коллимированные источники высокоинтенсивных импульсных некогерентных визуально-оптических сигналов в спектральном диапазоне 0,25–2,5 мкм со световым потоком излучения до  $4 \cdot 10^4$  лм, способные работать в течение долгого времени в режиме с глубиной модуляции 80–90 % при частоте модуляции до десятков килогерц. Для снижения нижней границы УФ-диапазона спектра излучения лампы до 0,25 мкм покрытие внутреннего встроенного отражателя лампы выполняют из алюминия.

Лампы с внутренним эллиптическим отражателем, формирующие на выходе сфокусированный луч, обеспечивают большую концентрацию светового потока, имеют большую яркость из-за меньшего размера дуги и более подходят для создания источников с узконаправленным лучом. Лампа с внутренним параболическим отражателем и диаметром выходного окна 50 мм позволяет достичь силы света  $4 \cdot 10^6$  кд при ширине луча  $5^\circ$  без применения вторичной оптики.

В настоящее время создан излучатель визуально-оптических помех с непрерывно изменяемой шириной луча от  $1$  до  $30^\circ$ . Размеры четырехлинзовой оптической системы не превышают 400 мм при диаметре выходного окна лампы 50 мм и апертуре выходной линзы системы 150 мм.

### **Заключение**

В статье рассмотрены практические вопросы создания излучателя высокоинтенсивных импульсных некогерентных оптических помеховых сигналов визуально-оптическим и оптико-электронным каналам технических средств, работающих в спектральном диапазоне 0,35–2,5 мкм. Приведены основные характеристики излучателя на основе малогабаритной короткодуговой ксеноновой лампы высокого давления в металлокерамическом корпусе со встроенным параболическим отражателем. Отмечены преимущества применения малогабаритных ламп в металлокерамическом корпусе со встроенным отражателем. Намечены пути дальнейшего развития формирователей на их основе.

## Литература

1. Медведев А., Гринкевич А., Князева С. Мультиспектральные системы различного назначения // Фотоника. 2015. № 5. С. 68–81.
2. Алексеева О. Наноструктурные оптические покрытия для защиты пилотов самолетов от лазерных атак // Фотоника. 2015. № 5. С. 98–105.
3. Николаев Д.Н. Электронно-оптические преобразователи. История развития и виды поколений // Доклады ТУСУР. 2007. № 1 (15). С. 29–33.
4. Бухаров П.В. Фотокатоды современных ЭОП // Доклады ТУСУР. 2011. № 2 (24). С. 106–109.
5. Вишневицкий Г., Выдревич М., Нестеров В., Ривкинд В. Отечественные УФ и ИК ФПЗС и цифровые камеры на их основе // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2003. № 8. С. 18–22.
6. Cermax Lamp Engineering Guide [Электронный ресурс]. 1998. Режим доступа: [http://prolight.info/pdf\\_specs/PE\\_CermaxLampEngineering.pdf](http://prolight.info/pdf_specs/PE_CermaxLampEngineering.pdf), свободный. Яз. англ. (дата обращения: 01.05.2018).

## Авторы

**Королёв Тимофей Константинович** – инженер, АО «Опытный завод «Интеграл», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация; студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 57194473530, ORCID ID: 0000-0002-5175-8765, tkkorolev@yandex.ru

**Платонов Александр Андреевич** – инженер, АО «Опытный завод «Интеграл», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-9215-627X, Platonovalexander1990@yandex.ru

**Ваганов Сергей Анатольевич** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, Scopus ID: 8874638700, ORCID ID: 0000-0001-5059-8563, sv.exciton@mail.ioffe.ru

## References

1. Melvedev A., Grinkevich A., Knyazeva S. Multispectral systems of different propose. *Photonics*, 2015, no. 5, pp. 68–81. (in Russian)
2. Alekseeva O. Nanostructured optical coatings in pilots defense of "laser attack". *Photonics*, 2015, no. 5, pp. 98–105. (in Russian)
3. Nikolaev D.N. Electron-optical converters. History of development and types of generations. *Proceedings of TUSUR*, 2007, no. 1, pp. 29–33. (in Russian)
4. Buharov P.V. Photocathodes of modern image intensifier. *Proceedings of TUSUR*, 2011, no. 2, pp. 106–109. (in Russian)
5. Vishnevskiy G., Vidrevitch M., Nesterov V., Rivkind V. Domestic ultra-violet and IR photosensitive CCDs and digital cameras on their base. The way to success. *Electronics: Science, Technology, Business*, 2003, no. 8, pp. 18–22. (in Russian)
6. *Cermax Lamp Engineering Guide*. 1998. Available at: [http://prolight.info/pdf\\_specs/PE\\_CermaxLampEngineering.pdf](http://prolight.info/pdf_specs/PE_CermaxLampEngineering.pdf) (accessed: 01.05.2018).

## Authors

**Timofey K. Korolev** – engineer, JSC Experimental plant "Integral", Saint Petersburg, 197376, Russian Federation; student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 57194473530, ORCID ID: 0000-0002-5175-8765, tkkorolev@yandex.ru

**Alexander A. Platonov** – engineer, JSC Experimental plant "Integral", Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0001-9215-627X, Platonovalexander1990@yandex.ru

**Sergey A. Vaganov** – PhD, Scientific researcher, Ioffe Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, Scopus ID: 8874638700, ORCID ID: 0000-0001-5059-8563, sv.exciton@mail.ioffe.ru