

УДК 681.786

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТИ КООРДИНАТОУКАЗАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНОЙ СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРЫ

А.Г. Оболенсков<sup>а</sup>, С.М. Латыев<sup>а</sup>, Б.Г. Подласкин<sup>б</sup>, Е.Г. Гук<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

<sup>б</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

Адрес для переписки: [bgp.holo@mail.ioffe.ru](mailto:bgp.holo@mail.ioffe.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию 02.06.16, принята к печати 10.07.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-757-763

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Оболенсков А.Г., Латыев С.М., Подласкин Б.Г., Гук Е.Г. Экспериментальные исследования компенсации погрешности координатуказания оптического сигнала с помощью двойной синтезированной апертуры // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 5. С. 757–763. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-757-763

### Аннотация

**Предмет исследования.** Приведены теоретический и экспериментальный анализ зависимости погрешности определения координаты модулированного оптического сигнала в присутствии мощных фоновых засветок от величины взаимного сдвига двух вольт-амперных характеристик при использовании двойной синтезированной апертуры на позиционно-чувствительном датчике мультискан. **Метод.** Исследования проведены на специально созданной установке, позволяющей сканировать фоточувствительную зону позиционно-чувствительного датчика мультискан оптическим лучом, имитирующим мощную солнечную засветку. При этом измерялась погрешность определения координаты слабого модулированного оптического сигнала при различном взаимном положении сигнала и засветки, а также ее мощности. **Основные результаты.** Экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы. Показано, что использование двойной синтезированной апертуры на позиционно-чувствительном датчике мультискан с напряжением смещения вольт-амперной характеристики, равным 0,4 В, позволяет снизить на порядок ошибку определения положения слабого модулированного сигнала. **Практическая значимость.** Результаты исследования открывают возможность повышения точности позиционно-чувствительных систем для систем, работающих в условиях фоновых засветок, превосходящих уровень информационного оптического сигнала.

### Ключевые слова

позиционно-чувствительный датчик, синтезированная апертура, фоновая засветка

## EXPERIMENTAL STUDIES OF ERROR COMPENSATION FOR OPTICAL SIGNAL COORDINATE DETERMINATION BY DOUBLE SYNTHESIZED APERTURE

A.G. Obolenskov<sup>а</sup>, S.M. Latyev<sup>а</sup>, B.G. Podlaskin<sup>б</sup>, E.G. Guk<sup>б</sup>

<sup>а</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

<sup>б</sup> Ioffe Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation

Corresponding author: [bgp.holo@mail.ioffe.ru](mailto:bgp.holo@mail.ioffe.ru)

### Article info

Received 02.06.16, accepted 10.07.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-757-763

Article in Russian

**For citation:** Obolenskov A.G., Latyev S.M., Podlaskin B.G., Guk E.G. Experimental studies of error compensation for optical signal coordinate determination by double synthesized aperture *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 5, pp. 757–763. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-757-763

### Abstract

**Subject of Research.** The paper presents theoretical and experimental analysis of dependence of the determination error of a modulated optical signal under intense background illumination on the value of mutual shift of two current-voltage characteristics if using a double synthesized aperture on multiscan position-sensitive detector. **Method.** The studies have been carried out on a specially designed setup, that allows scanning photosensitive area of multiscan position-sensitive detector by an optical beam that imitates intense solar illumination. At the same time the position error of determination of weak modulated optical signal coordinate is measured at different relative position of signal and background illumination, and background power. **Main Results.** Experimental studies have confirmed the theoretical conclusions. It is shown that the

use of double synthesized aperture of multiscan position-sensitive detector with the voltage shift of the current-voltage characteristics equal to 0.4 V enables to reduce position determination error of a weak modulated signal by an order of magnitude. **Practical Relevance.** Research results have opened the opportunity of accuracy increase for position-sensitive systems operating under background illuminations exceeding the level of information optical signal.

**Keywords**

position-sensitive detector, synthesized aperture, background illumination

**Введение**

Известно, что наличие фоновой засветки при определении пространственных координат оптического сигнала существенно затрудняет достижение необходимой точности измерений. Так, в условиях прямого солнечного освещения мощность фоновой засветки может достигать величины  $1,2 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>2</sup> и превышать мощность оптического сигнала на три и более порядков. Использование модулированного оптического сигнала с дальнейшей фильтрацией в электрической цепи постоянной или медленно меняющейся фоновой составляющей во многом решает эту задачу. Реализация такого режима требует использования позиционно-чувствительных датчиков (ПЧД) с прямым детектированием оптического сигнала, существенно ограничивая применения приборов с зарядовой связью (ПЗС), таких как ПЗС-линейки и матрицы. К ПЧД с прямым детектированием оптического сигнала в настоящее время можно отнести латеральные ПЧД [1–3], в том числе широко применяемые *p-i-n*-приборы фирмы Hamamatsu [4], и ПЧД-мультискан [5, 6].

В латеральных ПЧД определение координат сигнала производится путем сравнения разновеликих значений фототоков, снимаемых с противоположных участков фоточувствительного слоя прибора [7, 8]. В случае, когда оптический сигнал попадает в зону, удаленную от центра фоточувствительной зоны ПЧД, производится сравнение малого тока, снимаемого с одного из участков ПЧД, с большим током, снимаемым с противоположного участка. При этом шумы большего тока становятся соизмеримыми с величиной малого тока, что приводит к значительным ошибкам. Это явление ограничивает точность вычисления координаты оптического сигнала на уровне порядка  $10^{-3}$  от длины фоточувствительной области ПЧД, под которым понимается длина фоточувствительной зоны ПЧД в миллиметрах по каждой из координат *X* и *Y* [7].

Принцип работы ПЧД-мультискан [9] основан на свойствах его вольт-амперной характеристики (ВАХ). Точка перегиба ВАХ обладает подвижностью и автоматически устанавливается в такой координате светочувствительной области прибора, в которой значения фототоков справа и слева от нее равны между собой [10]. Таким образом, измерение токов справа и слева от точки перегиба ВАХ происходит при одинаковом значении отношения сигнал/шум, что значительно снижает влияние шумовых составляющих сравниваемых фототоков на точность координатуказания [11, 12]. Это обстоятельство позволяет получить разрешающую способность до  $10^{-5}$  от длины фоточувствительной области ПЧД (т.е. 0,2 мкм при длине фоточувствительной области ПЧД-мультискан 20 мм).

В случае формирования составных структур ПЧД-мультискан, в которых взаимодействуют несколько сдвинутых друг относительно друга ВАХ с различной крутизной переходной области, происходит синтезирование сложной апертуры как результирующей функции, описывающей преобразование оптического сигнала в фототок (передаточной функции) по всей фоточувствительной площади ПЧД.

Однако в условиях неравномерной фоновой засветки, характерной для формирования сигнала с помощью оптической щели, сохраняется погрешность координатуказания, обусловленная нарушением линейности люкс-амперной характеристики датчиков при воздействии на *p-n*-переходы мощной засветки [13, 14]. Такая ошибка присуща всем типам ПЧД, и возможность уменьшения ее связана или с повышением линейности люкс-амперной характеристики приборов в динамическом диапазоне 5–6 порядков, или с возможностью симметризации влияния фоновой помехи на значение фототока полезного сигнала [15, 16].

**Двухапертурный синтез вольт-амперной характеристики**

В работе [16] на основе ПЧД-мультискан предложен двухапертурный синтез ВАХ, под которым понимается формирование с помощью суммирования ВАХ сложного распределения чувствительности на фоточувствительной области ПЧД. Теоретически показано, что двухапертурный синтез ВАХ, основанный на введении взаимного пространственного сдвига подвижных ВАХ в двоякной структуре датчика, позволяет скомпенсировать погрешность координатуказания из-за неравномерного воздействия фона на разные участки фоточувствительной площадки ПЧД-мультискан.

Однако в работе [16] с целью получения решения в общем виде теоретический анализ компенсации погрешности проведен для случая аппроксимации оптического сигнала импульсом прямоугольной формы. При этом не проводился подробный анализ зависимости величины результирующей погрешно-

сти от величины взаимного сдвига ВАХ ( $\pm \epsilon$ ) для случая, когда форма оптического сигнала приближена к реальной.

В настоящей работе приведен дополнительный теоретический анализ зависимости точности определения координаты модулированного оптического сигнала от величины взаимного сдвига ВАХ, а также экспериментальные исследования, подтверждающие теоретические выводы.

На рис. 1 приведена модернизированная схема формирования двойной синтезированной апертуры на ПЧД-мультикан. При этом с помощью регулирования ширины оптического сигнала (ширины оптической щели), мощности фоновой засветки и величины взаимного сдвига ВАХ ( $\pm \epsilon$ ) были проведены исследования зависимости ошибки координатуказания от этих параметров в широком диапазоне взаимного расположения ВАХ.

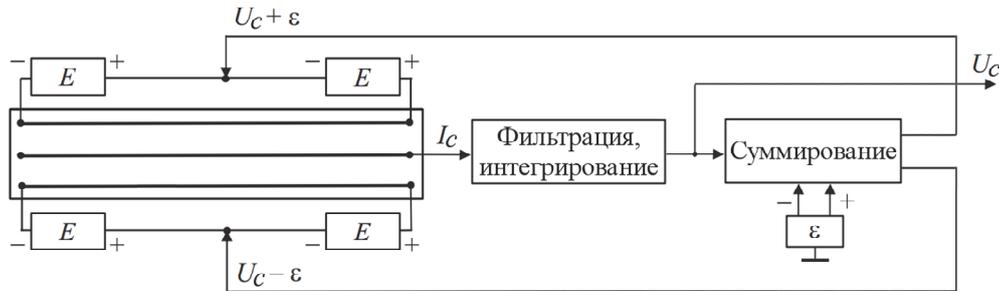


Рис. 1. Блок схема включения ПЧД-мультикан для формирования двойной синтезированной апертуры:  $E$  – источники напряжения питания ПЧД-мультикан;  $I_c$  – суммарный ток ПЧД-мультикан;  $U_c - \epsilon$  и  $U_c + \epsilon$  – напряжение на выходе интегратора, определяющее значение координатного отсчета как положение медианы распределения фототока модулированного сигнала

Впервые эксперименты проводились на опытной модификации приборов ПЧД-мультикан, представляющей собой двоякую структуру с двумя резистивными делительными шинами, общей сигнальной шиной и двумя группами встречно включенных фотодиодов. В приведенной схеме формирование  $U_c - \epsilon$  и  $U_c + \epsilon$  производится непосредственно на выходе интегратора, что позволяет сохранить традиционную схему подачи напряжения на резистивные шины прибора и регулировать взаимный сдвиг ВАХ с помощью автономного источника питания  $\epsilon$ .

### Расчетное моделирование и экспериментальные измерения

В отличие от [11], где используется прямоугольная форма модели оптического сигнала, заданная с помощью пределов интегрирования, представим модель оптического сигнала в виде распределения фототока  $f_c(u)$ , где  $u$  – напряжение, пропорциональное длине фоточувствительной области датчика:

$$f_c(u) = 7 \exp\left(\frac{-(u-0,3)^2}{0,01}\right) + 12,8 \exp\left(\frac{-u^2}{0,12}\right) + 6 \exp\left(\frac{-(u+0,3)^2}{0,01}\right) + 2 \exp\left(\frac{-(u+0,15)^2}{0,01}\right) + 3 \exp\left(\frac{-(u-0,15)^2}{0,01}\right).$$

Модель построена на основе набора экспонент. Их параметры подобраны так, чтобы модель обладала положительным и отрицательным фронтами, достаточно плоской средней частью и позволяла ввести асимметрию его правой и левой частей, имитирующую искажения, возникающие при воздействии на фоточувствительную область неравномерной фоновой засветки. Полученная форма сигнала представлена на рис. 2 (кривая 1). Положение  $U_c$  медианы искаженного сигнала  $f_c(u)$  смещено относительно положения медианы неискаженного сигнала  $U_0$  на  $\Delta U=0,0125$  В, что по порядку величины эквивалентно характерной ошибке 20–30 мкм, возникающей при воздействии на сигнал фона, превышающего мощность оптического сигнала на 2 порядка.

Каноническое уравнение, описывающее механизм формирования координатного отсчета  $U_0$ , имеет вид [9]

$$\int_{-E}^E f(u) \tanh \frac{u + \epsilon - U_0}{A_u} du + \int_{-E}^E f(u) \tanh \frac{u - \epsilon - U_0}{A_u} du = 0.$$

Здесь  $\pm E$  – напряжение, приложенное к резистивным слоям ПЧД-мультикан;  $A_u$  – ширина переходной зоны ВАХ;  $\pm \epsilon$  – напряжение, управляющее взаимным расположением ВАХ;  $U_0$  – напряжение на выходе интегратора, определяющее значение координатного отсчета как положение медианы распределения фототока модулированного сигнала.

На рис. 2 представлены графики, иллюстрирующие процессы, которые описываются уравнением (1) для искаженного сигнала:

$$\int_{-E}^E f_c(u) \tanh \frac{u + \varepsilon - U_c}{A_u} du + \int_{-E}^E f_c(u) \tanh \frac{u - \varepsilon - U_c}{A_u} du = 0. \quad (1)$$

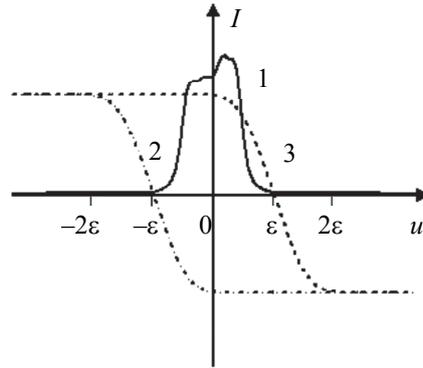


Рис. 2. Взаимное расположение сигнала (1), а также ВАХ-1 (2) и ВАХ-2 (3) (в координатах ток ( $I$ ) – напряжение ( $u$ ))

Здесь кривая 1 – форма искаженного оптического сигнала  $f_c(u)$ , кривые 2 и 3 – первая и вторая ВАХ, описываемые гиперболическими тангенсами, смещенными друг относительно друга на величину  $2\varepsilon$ . Видно, что заданный сигнал обрабатывается целиком положительной ветвью ВАХ-2 и целиком отрицательной ветвью ВАХ-1, что и позволяет в значительной мере скомпенсировать несимметричность искажений оптического сигнала.

При заданной форме  $f_c(u)$  уравнение (1) доступно для прямого вычисления, т.е. определения  $U_c$ , при котором соблюдается равенство

$$\int_{-E}^E f_c(u) \tanh \frac{u + \varepsilon - U_c}{A_u} du = - \int_{-E}^E f_c(u) \tanh \frac{u - \varepsilon - U_c}{A_u} du$$

при различных  $\varepsilon$ , и величины получаемой погрешности  $\Delta U$ .

На рис. 3 приведены расчетные данные по зависимости этой погрешности от величины смещения ВАХ  $\varepsilon$  для оптических сигналов различной ширины  $D$ .

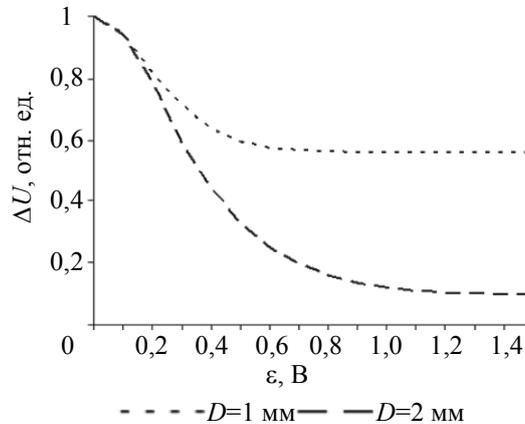


Рис. 3. Зависимость погрешности координатуказания при неравномерном воздействии фона от величины смещения ВАХ  $\varepsilon$  для оптических сигналов различной ширины  $D$

Видно, что при более широком сигнале (2 мм) компенсация погрешности происходит наиболее интенсивно – уменьшение погрешности на порядок происходит при  $\varepsilon$  около 1 В. При ширине сигнала 1 мм погрешность падает на 40% при  $\varepsilon$ , равном 0,4 В, и при дальнейшем увеличении  $\varepsilon$  не уменьшается.

Этот факт объясняется тем, что возможная степень компенсации погрешности в значительной степени зависит от соотношения между шириной сигнала и величиной  $A_u$ , т.е. крутизны ВАХ. Поскольку  $A_u$  представляет собой константу, равную 0,2 В, крутизна ВАХ находится в прямой зависимости от величины напряжения  $2E$ , приложенной к резистивному слою ПЧД-мультикан. При использованном в нашем случае стандартном напряжении  $2E$ , равном 10 В, более узкий сигнал шириной 1 мм на большей его части обрабатывается в переходной области ВАХ, что не позволяет получить значительный уровень компенсации погрешности. При чрезмерном увеличении  $\varepsilon$ , т.е. при размещении сигнала на плоских частях ВАХ, снижается координатная чувствительность системы, т.е. падение значения производной  $dU_0/dU_c$ , что подтверждается графиками, приведенными на рис. 4. Видно, что для сигнала шириной 1 мм, расположенного в центре синтезированной апертуры при  $\varepsilon$ , равном 0,5 В, величина этой производной

опасно приближается к нулю, для сигнала шириной 2 мм при  $\epsilon$ , равном 0,5 В, величина производной еще сохраняет достаточно большое значение.

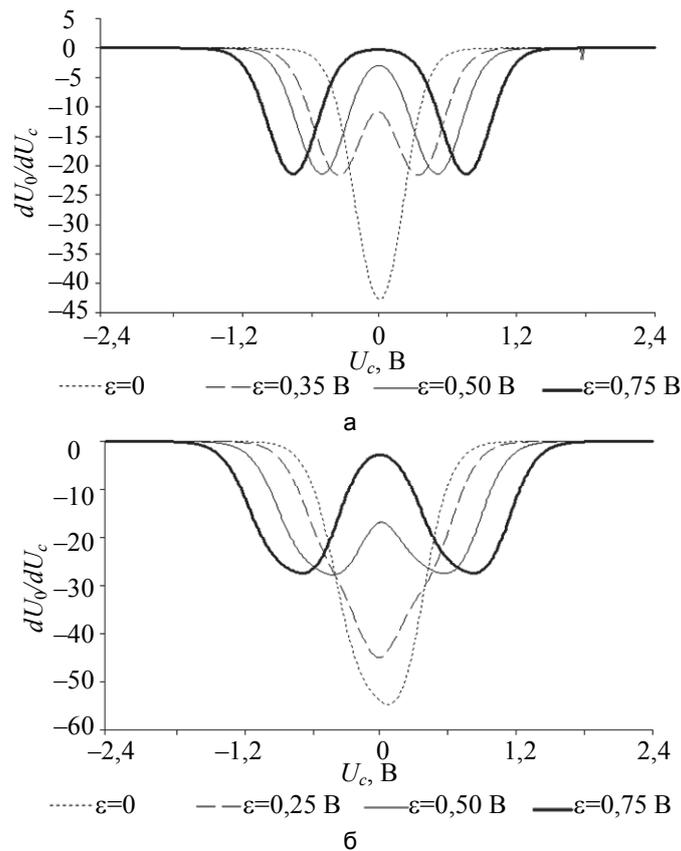


Рис. 4. Зависимость производной  $dU_0/dU_c$  от координаты сигнала  $U_c$  при различных  $\epsilon$  для сигнала шириной: 1 мм (а); 2 мм (б)

На рис. 5 приведены экспериментальные измерения точности определения положения медианы светового сигнала  $\zeta$  для случая использования двойной синтезированной апертуры.

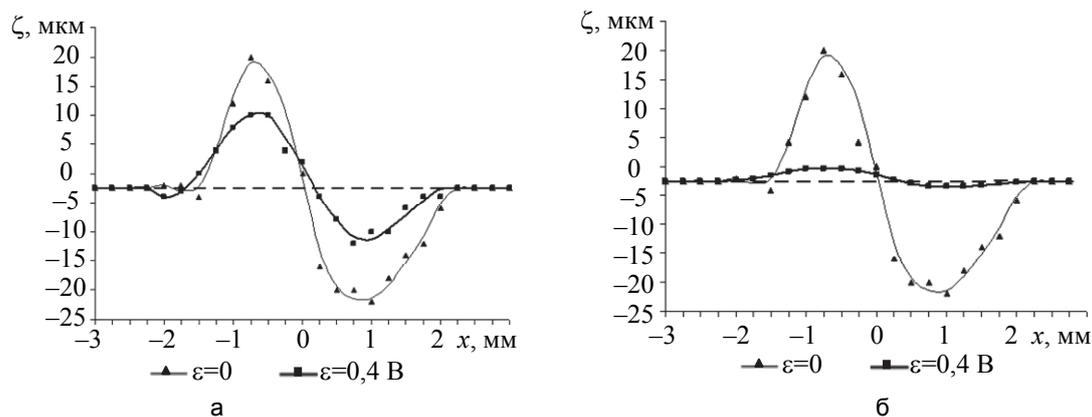


Рис. 5. Зависимость погрешности координатуказания  $\zeta$  от взаимного расположения  $x$  оптического сигнала шириной: 1 мм (а); 2 мм (б) и фоновой засветки

В этом эксперименте излучение источника мощного постоянного света надвигалось на область, освещенную слабым модулированным сигналом. Отклонение измеренной при этом величины  $U_c$  от величины, зарегистрированной при отсутствии фонового освещения  $U_0$ , регистрировалось как величина искомой погрешности  $\Delta U$ .

Данные измерений качественно подтверждают результаты, полученные расчетным путем. Так, при ширине сигнала 2 мм и при значении  $\epsilon$ , равном 0,4 В, был получен оптимальный результат подавления погрешности на порядок. При ширине сигнала 1 мм и при том же значении  $\epsilon$  подавление погрешности оказалось существенно меньшим, что подтверждает результаты, полученные расчетным путем. Ко-

личественные их различия обусловлены невозможностью формирования в эксперименте оптических сигналов с очень крутыми фронтами.

### Заключение

В результате проведенных расчетов и экспериментальных измерений подтверждено, что использование двойной синтезированной апертуры на позиционно-чувствительном датчике мультискан с напряжением смещения вольт-амперной характеристики  $\epsilon$  около 0,4 В позволяет снизить влияние постоянной фоновой засветки на точность координатуказания модулированного слабого сигнала примерно на порядок. Определены пределы, ограничивающие величину сдвига вольт-амперной характеристики в зависимости от ширины сигнала и напряжения питания позиционно-чувствительного датчика мультискан.

### Литература

### References

1. Salvatori S., Mazzeo G., Conte G. Voltage division position sensitive detectors based on photoconductive materials – Part I: Principle of operation // *IEEE Sensors Journal*. 2008. V. 8. P. 188–193. doi: 10.1109/JSEN.2007.913014
2. Blank S., Shen Y., Xi N., Zhang C., Wejinya U.C. High precision PSD guided robot localization: design, mapping, and position control // *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*. San Diego, USA, 2007. P. 52–57. doi: 10.1109/IROS.2007.4399621
3. Nejad S.M., Olyae S., Jouyandeh N., Pourmahyabadi M. Modeling and simulation of lateral effect position-sensitive detector responsivity to optical stimulators // *Journal of Applied Sciences*. 2008. V. 8, N 9. P. 1781–1785. doi: 10.3923/jas.2008.1781.1785
4. Yoshizawa T. *Handbook of Optical Metrology. Principles and Applications*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, 2015. 744 p.
5. Гук Е.Г., Подласкин Б.Г. Принципиально новый позиционно-чувствительный датчик мультискан // Тезисы докладов 10 международного семинара «Российские технологии для индустрии. Нанотехнологии и оптоэлектроника в биологии, медицине и экологии». СПб., 2006. С. 21.
6. Абакшина О.А., Егоров Г.В., Латыев С.М., Митрофанов С.С. Фотоэлектрические приборы и устройства, основанные на позиционно-чувствительных приемниках // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2012. Т. 55. №4. С. 88–97.
7. Andersson H. *Position Sensitive Detectors: Device Technology and Applications in Spectroscopy*. Diss. Institutionen för informationsteknologi och medier, 2008.
8. Song H.X., Wang X.D., Ma L.Q., Cai M.Z., Cao T.Z. Design and performance analysis of laser displacement sensor based on position sensitive detector (PSD) // *Journal of Physics: Conference Series*. 2006. V. 48, N 1. P. 217–222. doi: 10.1088/1742-6596/48/1/040
9. Подласкин Б.Г., Гук Е.Г. Позиционно-чувствительный фотодетектор-мультискан // *Измерительная техника*. 2005. №8. С.31–34.
10. Подласкин Б.Г., Гук Е.Г. Статистическая обработка изображений на основе интегральных функционалов, формируемых с помощью интегрального фотоприемника нового типа мультискан // *Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения»*. Москва, 2006. Ч. 3. С. 288–291.
11. Podlaskin B., Guk E., Sukharev A. Registration technique for detection of optical signal position under intense background illumination // *Proc. 3<sup>rd</sup> Mediterranean Conference on Embedded Computing*. Budva, Montenegro, 2014. P. 232–235. doi: 10.1109/MECO.2014.6862703
12. Podlaskin B., Guk E. New optical sensor with continuous field of view for real-time signal processing // *Proc. Mediterranean Conference on Embedded Computing*. Bar, Montenegro, 2012. P. 104–107.
13. Podlaskin B., Guk E. New optical sensor with continuous field of view for real-time signal processing // *Proc. 1<sup>st</sup> Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2012*. Bar, Montenegro, 2012. P. 104–107.
14. Refaat T.F., Jonson D.G. Absolute linearity measurement of photodetectors using sinusoidal modulated radiation // *Applied Optics*. 2012. V. 51. N 19. P. 4420–4429. doi: 10.1364/AO.51.004420
15. Podlaskin B.G., Guk E.G. Analysis of optical signal distortion compensation with a Multiskan position-sensitive
1. Salvatori S., Mazzeo G., Conte G. Voltage division position sensitive detectors based on photoconductive materials – Part I: Principle of operation. *IEEE Sensors Journal*, 2008, vol. 8, pp. 188–193. doi: 10.1109/JSEN.2007.913014
2. Blank S., Shen Y., Xi N., Zhang C., Wejinya U.C. High precision PSD guided robot localization: design, mapping, and position control. *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*. San Diego, USA, 2007, pp. 52–57. doi: 10.1109/IROS.2007.4399621
3. Nejad S.M., Olyae S., Jouyandeh N., Pourmahyabadi M. Modeling and simulation of lateral effect position-sensitive detector responsivity to optical stimulators. *Journal of Applied Sciences*, 2008, vol. 8, no. 9, pp. 1781–1785. doi: 10.3923/jas.2008.1781.1785
4. Yoshizawa T. *Handbook of Optical Metrology. Principles and Applications*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, 2015, 744 p.
5. Guk E.G., Podlaskin B.G. Fundamentally new position-sensitive sensor multiskan. *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Symposium on Russian Technologies for Industry. Optoelectronics and Nanotechnology in Biology, Medicine and Ecology*. St. Petersburg, Russia, 2006, p. 21. (In Russian)
6. Abakshina O.A., Egorov G.V., Latyev S.M., Mitrofanov S.S. Photoelectric instruments and devices based on position-sensitive detectors. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, vol. 55, no. 4, pp. 88–97.
7. Andersson H. *Position Sensitive Detectors: Device Technology and Applications in Spectroscopy*. Diss. Institutionen för informationsteknologi och medier, 2008.
8. Song H.X., Wang X.D., Ma L.Q., Cai M.Z., Cao T.Z. Design and performance analysis of laser displacement sensor based on position sensitive detector (PSD). *Journal of Physics: Conference Series*, 2006, vol. 48, no. 1, pp. 217–222. doi: 10.1088/1742-6596/48/1/040
9. Podlaskin B.G., Guk E.G. The multiskan position-sensitive photodetector. *Measurement Techniques*, 2005, no. 8, pp. 779–783. doi: 10.1007/s11018-005-0220-z
10. Podlaskin B.G., Guk E.G. Statistical image processing on the basis of integral functionals generated by new type of integral photodetector multiskan. *Proc. Int. Conf. Fundamental Problems of Radio-Electronic Instrumentmaking*. Moscow, 2006, part 3, pp. 288–291.
11. Podlaskin B., Guk E., Sukharev A. Registration technique for detection of optical signal position under intense background illumination. *Proc. 3<sup>rd</sup> Mediterranean Conference on Embedded Computing*. Budva, Montenegro, 2014, pp. 232–235. doi: 10.1109/MECO.2014.6862703
12. Podlaskin B., Guk E. New optical sensor with continuous field of view for real-time signal processing. *Proc. Mediterranean Conference on Embedded Computing*. Bar, Montenegro, 2012, pp. 104–107.
13. Podlaskin B., Guk E. New optical sensor with continuous field of view for real-time signal processing. *Proc. 1<sup>st</sup> Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2012*. Bar, Montenegro, 2012, pp. 104–107.
14. Refaat T.F., Jonson D.G. Absolute linearity measurement of photodetectors using sinusoidal modulated radiation. *Applied Optics*, 2012, vol. 51, no. 19, pp. 4420–4429. doi: 10.1364/AO.51.004420
15. Podlaskin B.G., Guk E.G. Analysis of optical signal distortion compensation with a Multiskan position-sensitive

- 10.1364/AO.51.004420
15. Подласкин Б.Г., Гук Е.Г. Анализ компенсации искажений оптических сигналов с помощью позиционно-чувствительного фотоприемника мультискан методом формирования квазимедианы // ЖТФ. 2007. Т. 77. № 2. С. 95–98.
16. Подласкин Б.Г., Гук Е.Г., Оболенсков А.Г., Сухарев А.А. Подавление влияния мощной фоновой засветки на точность координатуказания оптического сигнала // ЖТФ. 2015. Т. 85. № 9. С. 128–131.
- photodetector by the quasi-median technique. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 2007, vol. 52, no. 2, pp. 239–243. doi: 10.1134/S1063784207020156
16. Podlaskin B.G., Guk E.G., Obolenskov A.G., Sukharev A.A. Suppression of the effect of high-power background illumination on the precision of determination of the optical signal coordinates. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 2015, vol. 60, no. 9, pp. 1384–1387. doi: 10.1134/S1063784215090170

### Авторы

**Оболенсков Антон Геннадьевич** – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, obolenskov@kipop.ru

**Латыев Святослав Михайлович** – доктор технических наук, профессор, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, smlatyev@yandex.ru

**Подласкин Борис Георгиевич** – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, bgp.holo@mail.ioffe.ru

**Гук Елена Григорьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, nnova@holo.ioffe.ru

### Authors

**Anton G. Obolenskov** – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, obolenskov@kipop.ru

**Svyatoslav M. Latyev** – D.Sc., Professor, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, smlatyev@yandex.ru

**Boris G. Podlaskin** – D.Sc., Leading research scientist, Ioffe Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, bgp.holo@mail.ioffe.ru

**Elena G. Guk** – PhD, Senior scientific researcher, Ioffe Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, nnova@holo.ioffe.ru