

---

# ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

---

УДК 681.7.08,681.78  
DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-9-771-778

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ С РЕТРОРЕФЛЕКТОРАМИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ

М. А. КЛЕЩЕНОК<sup>1</sup>, В. В. КОРОТАЕВ<sup>1</sup>, И. С. НЕКРЫЛОВ<sup>1</sup>, А. Н. ТИМОФЕЕВ<sup>1</sup>,  
Е. А. СЫЧЕВА<sup>1</sup>, А. А. БЛОХИНА<sup>1,2</sup>, Ж. РОДРИГЕШ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: mkleshchenok@corp.ifmo.ru

<sup>2</sup>ООО „Би Питрон“, 191014, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Национальный институт телекоммуникаций, 37540-000, Санта-Рита-ду-Сапукаи, Бразилия

Рассмотрены пути совершенствования опτικο-электронных датчиков контроля пространственного положения элементов турбоагрегатов. Предложена схема датчиков с двумя ретрорефлекторами. Исследовано влияние характеристик элементов датчика на преобразование измерительной информации. Выявлена взаимосвязь параметров оптической системы с параметрами и алгоритмами работы матричного фотоприемника. Сформирована физическая модель на базе опτικο-электронного датчика контроля поперечных смещений. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие соответствие полученных характеристик датчиков требуемым для цеховых условий применения.

**Ключевые слова:** опτικο-электронный датчик, авторефлексионная схема, контроль соосности, трипель-призма, матричный фотоприемник

**Введение.** Повышение эффективности эксплуатации объектов энергетики связано с необходимостью полипараметрического контроля энергетических установок при их создании и эксплуатации [1—3]. Такой комплексный контроль осуществляется с помощью различных датчиков, обеспечивающих получение информации об объекте контроля [4, 5].

Среди множества параметров энергетических установок имеется ряд параметров, которые контролируются опτικο-электронными датчиками линейных и угловых перемещений элементов. Эти датчики обеспечивают взаимное расположение элементов конструкции, соосность корпусов энергетической установки при ее монтаже, контроль деформаций фундаментов в процессе эксплуатации установок и другие параметры [6, 7]. Геометрия указанных установок и промышленных сооружений, в которых они эксплуатируются, обуславливает сложный характер самих датчиков и системы связей, обеспечивающей обмен информацией и ее обработку [8].

В настоящей статье рассматриваются пути совершенствования опτικο-электронных датчиков контроля пространственного положения (смещения) элементов турбоагрегатов (ОЭДКС), входящих в состав системы комплексного контроля параметров указанных объектов, и обосновывается выбор параметров датчиков.

**Принципиальные особенности построения схем ОЭДКС.** К ОЭДКС предъявляется ряд требований, основные из которых — возможность автономной работы и независимость от расстояния (дистанции) между измерительным блоком и контрольным элементом (КЭ).

Необходимо строить систему так, чтобы, во-первых, минимизировать энергопотребление с сохранением точностных характеристик, и, во-вторых, обеспечить инвариантность к изменению дистанции измерений [8].

Для обеспечения инвариантных преобразований измерительной информации при изменениях дистанции (обеспечения постоянной чувствительности) необходимо исключать погрешность фокусировки объектива и производить программную коррекцию дистанции путем использования датчика с несколькими КЭ, построение которого основано на внешнебазовом способе измерения дистанции.

Одним из решений для обеспечения инвариантности является установка тест-объекта перед оптической системой измерительного блока (рис. 1, а); тест-объект представляет собой пару полупроводниковых излучающих диодов (ПИД), отстоящих друг от друга на некоторое расстояние  $B$ , называемое базовым отрезком [8]. Контрольный элемент выполняется в виде трипль-призмы, возвращающей излучение от тест-объекта в оптическую систему измерительного блока. В результате на матричном фотоприемнике (МФП) формируется изображение тест-объекта, координаты которого служат основой для определения пространственного положения КЭ. Рассмотрим вариант, когда базовый отрезок  $B$  задан на контрольном элементе, который выполнен в виде двух трипль-призм (рис. 1, б) [9]. В этом случае за счет изменения геометрии хода лучей в оптической системе длина проекции базового отрезка на МФП удваивается. Поэтому исследуемая схема ОЭДКС [10, 11] должна обладать более высокой точностью, чем вышеприведенная (см. рис. 1, а) [8].

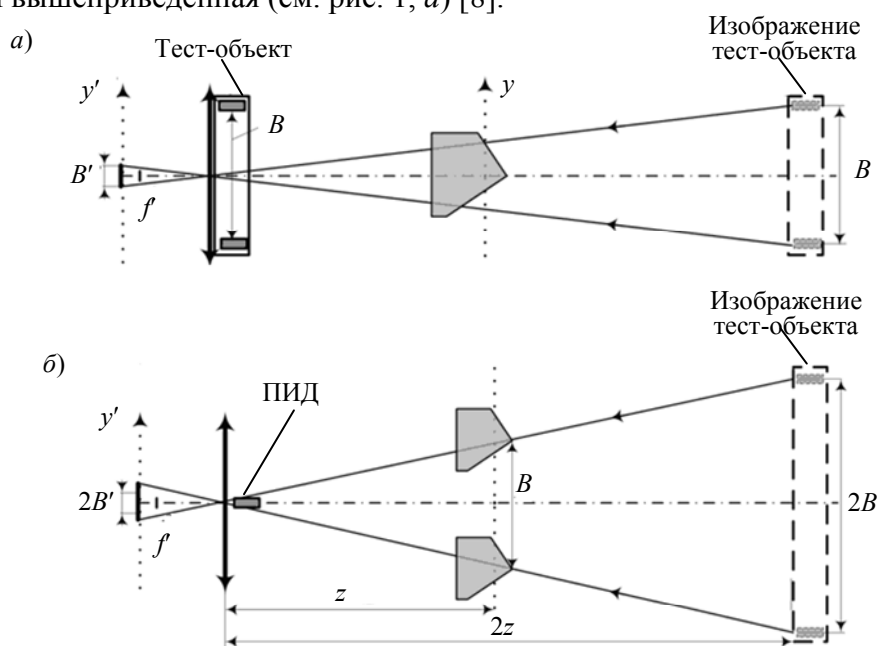


Рис. 1

**Математическое описание преобразования информации.** Рассмотрим схему построения внешнебазового авторефлексионного оптико-электронного датчика контроля соосности, где 1 — измерительный блок, 2 — матричный фотоприемник, 3 — объектив, 4 — полупроводниковый излучающий диод, 5 — трипль-призмы (рис. 2). В представленной схеме КЭ располагается таким образом, что каждая из трипль-призм 5 смещена относительно визирной линии на расстояние половины базы  $B$ . На МФП в этом случае формируются два изображения ПИД. За центр КЭ предлагается принять координаты  $(x_{КЭ}, y_{КЭ})$  середины базового отрезка  $B$  в пространстве предметов:

$$x_{КЭ} = \frac{x_1 + x_2}{2}; \quad y_{КЭ} = \frac{y_1 + y_2}{2}. \quad (1)$$

Изображения ПИД на МФП после отражения оптического излучения от трипель-призм 5 будем рассматривать как изображения точечного источника [12]. Координаты  $(x'_1, y'_1)$  и  $(x'_2, y'_2)$  центров изображений ПИД (рис. 3) сопряжены с координатами  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ . Тогда координаты КЭ в пространстве предметов можно выразить как

$$x_{\text{КЭ}} = \frac{(x'_1 + x'_2) \cdot (z / f' - 1/2)}{2}; \quad y_{\text{КЭ}} = \frac{(y'_1 + y'_2) \cdot (z / f' - 1/2)}{2}, \quad (2)$$

где  $z$  — расстояние от КЭ до объектива измерительного блока,  $f'$  — заднее фокусное расстояние объектива.

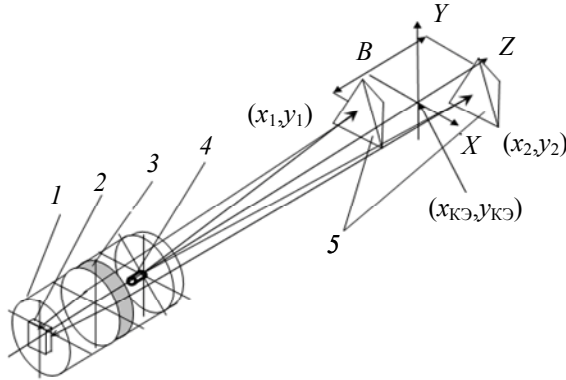


Рис. 2

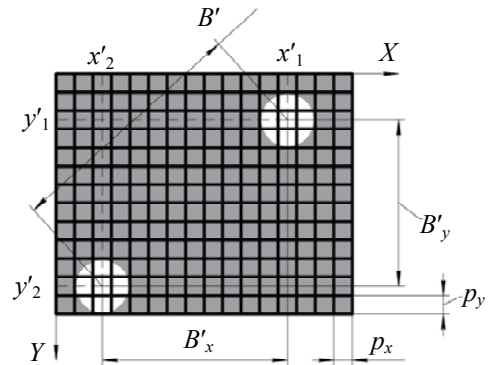


Рис. 3

Аналогично длину базового отрезка  $B$  можно выразить через величину  $B'$  в пространстве изображений:

$$B = B'(z / f' - 1/2), \quad (3)$$

при этом  $B'$  можно, в свою очередь, выразить через координаты центра КЭ согласно формулам (2):

$$B' = \sqrt{(x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2}. \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (3), получим

$$(z / f' - 1/2) = \frac{B}{\sqrt{(x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2}}. \quad (5)$$

Базовый отрезок  $B$  измеряется непосредственно на КЭ, следовательно, величину  $(z/f'-1/2)$  можно определить в процессе обработки сигнала без введения дополнительного оптико-электронного канала измерения дистанции до КЭ.

Координаты изображений ПИД на МФП можно выразить через линейный размер пикселя:

$$x'_1 = p_x n_1 \text{ и } y'_1 = p_y m_1; \quad (6)$$

$$x'_2 = p_x n_2 \text{ и } y'_2 = p_y m_2, \quad (7)$$

где  $p_x$  и  $p_y$  — горизонтальный и вертикальный размеры фоточувствительной площадки пикселя МФП;  $n_i, m_i$  — горизонтальные и вертикальные размеры пикселей МФП соответственно.

Как следует из рис. 3, изображения ПИД располагаются практически на диагонали МФП, что соответствует диагональному расположению трипель-призм в КЭ (см. рис. 2). Это необходимо для обеспечения одинакового диапазона контролируемых смещений КЭ в вертикальном и горизонтальном направлениях [9]. За счет поворота КЭ вокруг оси  $Z$  можно добиться разного диапазона контролируемых смещений.

В соответствии с формулами (6) и (7) выражение (5) можно представить как

$$(z / f' - 1/2) = \frac{B}{\sqrt{p_x^2 (n_1 - n_2)^2 + p_y^2 (m_1 - m_2)^2}}, \quad (8)$$

подставив которое в уравнения (1), получим соотношения, связывающие координаты КЭ с координатами изображений ПИД на МФП вне зависимости от расстояния  $z$ :

$$x = \frac{B(n_1 + n_2)}{2(n_1 - n_2) \sqrt{1 + M^2 \left( \frac{m_1 - m_2}{n_1 - n_2} \right)^2}}; \quad (9)$$

$$y = \frac{B(m_1 + m_2)}{2(m_1 - m_2) \sqrt{1 + \frac{1}{M^2} \left( \frac{n_1 - n_2}{m_1 - m_2} \right)^2}}, \quad (10)$$

где  $M = p_y/p_x$  — коэффициент линейного искажения.

Погрешность определения координат изображений ПИД существенно зависит от линейного размера пиксела [13], поэтому коэффициент  $M$  практически обуславливает погрешности системы, вызванные смещением КЭ в вертикальном и горизонтальном направлениях. При необходимости коэффициент  $M$  может быть использован для получения разных значений погрешности системы по направлениям смещения КЭ.

**Экспериментальные исследования.** Для проведения экспериментальных исследований была сформирована физическая модель внешнебазового авторефлексионного ОЭДКС (рис. 4), в состав которой входят: измерительный блок (ИБ), содержащий видеокамеру фирмы EVS с матричным фотоприемником OmniVision 5620 в связке с оптической системой ( $f' = 200$  мм) и полупроводниковый излучающий диод VSLB3948 фирмы Vishay; контрольный элемент, установленный на линейной двухкоординатной подвижной платформе; блок питания; устройства ввода и вывода информации; блок обработки (персональный компьютер — ПК).

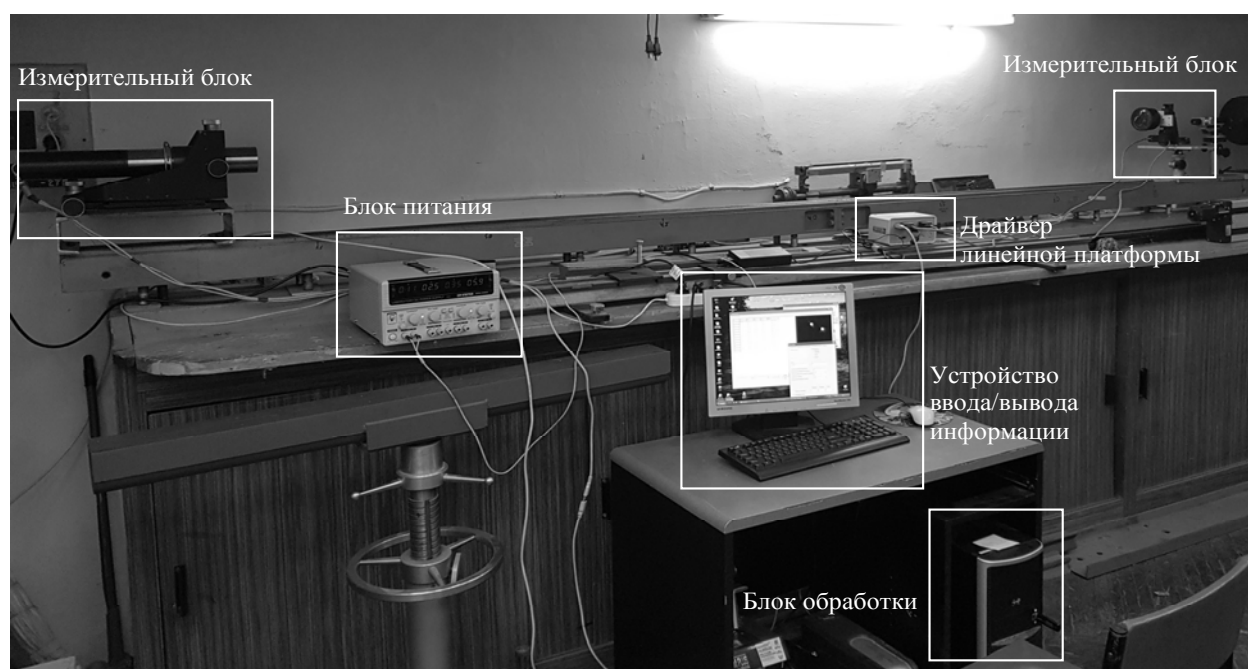


Рис. 4

Расстояние между измерительным блоком и контрольным элементом изменяется от 1,5 до 10 м. Управление яркостью ПИД, количеством измерений, параметрами видеокамеры и фокусировкой оптической системы на КЭ осуществляется посредством специального виртуального прибора, созданного в программной среде LabView. Обработка результатов измерений производится автоматизированно на ПК с помощью программы, написанной на языке Python, и в соответствии с рекомендациями и методиками, изложенными в работе [14].

На первом этапе эксперимента исследовалась зависимость среднего квадратического отклонения  $\sigma$  (СКО) определения координат энергетических центров (ЭЦ) изображений ПИД на МФП от яркости источника излучения. Для этого определение координат ЭЦ изображений ПИД производилось при изменении силы тока  $I$ , подаваемого к ПИД, в диапазоне от 20 до 120 мА с шагом 20 мА. Поиск энергетического центра осуществлялся по методу взвешенного суммирования, являющегося оптимальным как по точности, так и по производительности по сравнению с геометрическими алгоритмами, аппроксимацией функцией Гаусса и алгоритмами, основанными на обучении [15]. В результате при  $I = 120$  мА было получено наименьшее значение  $\sigma$  (рис. 5) и соответственно наибольшее значение отношения сигнал/шум.

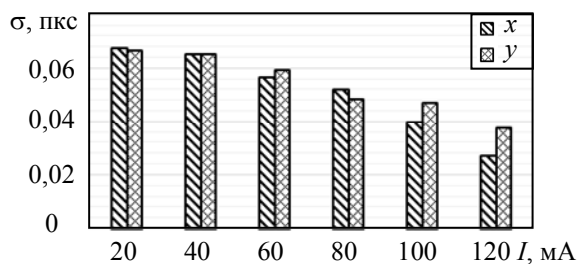


Рис. 5

При дальнейшем увеличении силы тока МФП формирует максимальный сигнал по всей площади изображения, в результате чего достоверное определение координат ЭЦ становится невозможным [14, 16]. Как следует из рис. 5, значение  $\sigma$  по оси  $OY$  выше, чем по оси  $OX$ . Такая расхожимость может объясняться влиянием вертикального градиента температуры воздушного тракта, флуктуациями яркости ПИД и вибрациями физической модели [16, 17].

На втором этапе эксперимента по методике, изложенной в работе [13], проводилось исследование статической характеристики ОЭДКС, позволяющей оценить систематическую составляющую погрешности контроля смещений КЭ и значение основной погрешности. Соответствующие кривые, описывающие зависимость погрешностей  $\delta X$  и  $\delta Y$  определения координат КЭ от его смещения, представлены на рис. 6, а, б.

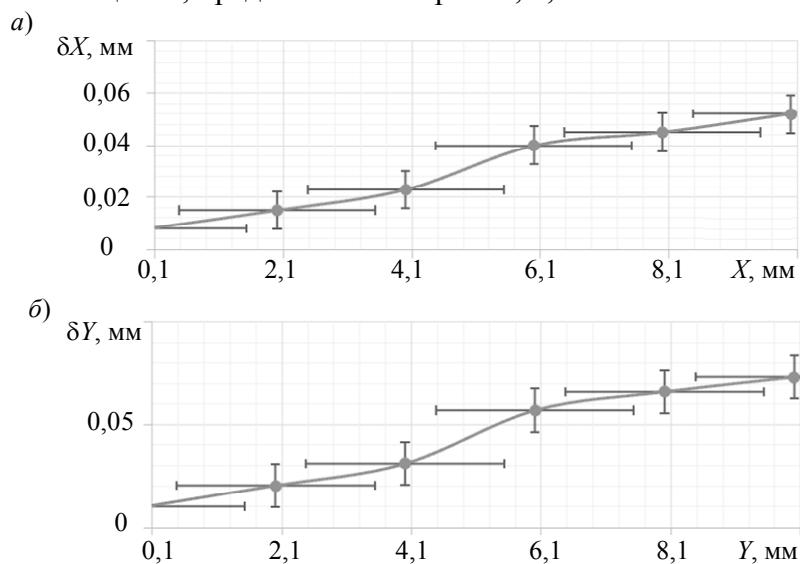


Рис. 6

В ходе измерений и последующей обработки результатов были определены максимальное значение основной составляющей погрешности контроля смещений КЭ: по оси  $X$  — 0,052 мм, по оси  $Y$  — 0,073 мм; максимальное значение вариаций показаний: по оси  $X$  — 0,016 мм, по оси  $Y$  — 0,023 мм; максимальное значение СКО случайной составляющей основной погрешности: по оси  $X$  — 0,0320 мм, по оси  $Y$  — 0,0460 мм.

**Обсуждение результатов и заключение.** В ходе работы достигнуты следующие научно-технические результаты:

— предложена схема ОЭДКС с двумя ретрорефлекторами, выполненными в виде двух триппель-призм;

— исследован алгоритм преобразования информации в системе на основе ОЭДКС, построенной по внешнебазовой авторефлексионной схеме; предложенный алгоритм обеспечивает инвариантность результатов контроля к изменению дистанции измерений.

Проведенные экспериментальные исследования на сформированной физической модели ОЭДКС показали ее более высокую точность по сравнению с системой на основе тест-объектов в виде двух источников излучения [8].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aujla G. S. et al.* Data offloading in 5G-enabled software-defined vehicular networks: a stackelberg-game-based approach // *IEEE Communications Magazine*. 2017. Vol. 55, N 8. P. 100—108.
2. *Pena E. H. M. et al.* Anomaly detection using the correlational paraconsistent machine with digital signatures of network segment // *Inform. Sciences*. 2017. Vol. 420. P. 313—328.
3. *Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E.* Wireless sensor networks: A survey // *Computer Networks*. 2002. N 38. P. 393—422.
4. *Maia J. E. B., Brayner A., Rodrigues F.* A framework for processing complex queries in wireless sensor networks // *SIGAPP Applied Computing Rev.* 2013. N 13. P. 30—41.
5. *Ren Q., Liang Q.* Energy and quality aware query processing in wireless sensor database systems // *Inform. Sciences*. 2007. N 177. P. 2188—2205.
6. *Konyakhin I. A., Turgalieva T. V.* Three-coordinate digital autocollimator // *J. of Optical Technology*. 2013. Vol. 80, N 12. P. 772—777.
7. *Pantyushin A. V., Serikova M. G., Timofeev A. N.* Optoelectronic system for monitoring displacements, based on LED fiducial marks // *J. of Optical Technology*. 2009. Vol. 76. N 8. P. 507—510.
8. *Anisimov A. G. et al.* Design and test of optoelectronic system of alignment control based on CCD camera // *Proc. of the 5th Intern. Symp. on Instrumentation Science and Technology*. 2009. Vol. 7133. P. 71333S.
9. Пат. 25677350 РФ, МПК G 01 B 11/00, G01S5/00. Устройство измерения линейного смещения объекта / В. В. Коротаев, А. Н. Тимофеев, М. А. Клещенко, М. А. Шаврыгина. Опубл. 10.11.2015. Бюл. № 31.
10. *Клещенко М. А., Тимофеев А. Н.* Разработка оптико-электронной системы контроля соосности с дуплексным отражателем // Сб. тр. X Междунар. конф. „Прикладная оптика-2012“. 2012. Т. 1. С. 81—84.
11. *Kleshchenok M. A. et al.* Alignment control optical-electronic system with duplex retroreflectors // *Proc. SPIE. Optical Modelling and Design, III*. 2014. Vol. 9131. P. 91311X.
12. *Anisimov A. G., Timofeev A. N., Korotaev V. V.* Choice of the reflector for the autocollimating alignment telescope // *Proc. SPIE*. 2011. Vol. 8082. P. 80823E.
13. *Schöberl M., Brückner A., Foessel S., Kaup A.* Photometric limits for digital camera systems // *J. of Electronic Imaging*. 2012. Vol. 21, N 2. DOI:10.1117/1.JEI.21.2.020501.
14. *Зверева Е. Н., Лебедько Е. Г.* Типовые расчеты по статистическим методам обработки результатов измерений в оптотехнике. СПб: НИУ ИТМО, 2016. 110 с.
15. *Андреев А. Л., Коротаев В. В., Паиковский Д. М.* Селекция изображений малоразмерных целей на неоднородном фоне в условиях помех // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2013. Т. 56, № 10. С. 88—93.
16. *Maraev A. A., Timofeev A. N.* Energetic sensitivity of optical-electronic systems based on polychromatic optical equisignal zone // *Proc. SPIE*. 2013. Vol. 8788. P. 878836.
17. *Anisimov A. G., Tsyganok E. A., Konyakhin I. A.* Study of the influence of the tetrahedral reflectors properties on autocollimating systems characteristics // *Proc. SPIE*. 2010. Vol. 7786. P. 77860V.

- Максим Андреевич Клещенко** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: mkleshchenok@corp.ifmo.ru
- Валерий Викторович Коротаев** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; заведующий кафедрой; E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
- Иван Сергеевич Некрылов** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: ivan.s.nekrylov@outlook.com
- Александр Николаевич Тимофеев** — канд. техн. наук, Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; ст. научный сотрудник; E-mail: timofeev@corp.ifmo.ru
- Елена Александровна Сычева** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: easycheva@corp.ifmo.ru
- Анастасия Александровна Блохина** — студентка; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; ООО „Би Питрон“, серийное конструкторское бюро; техник; E-mail: aablokhina@corp.ifmo.ru
- Жозл Родригеш** — канд. техн. наук, профессор; Национальный институт телекоммуникаций – Инател, Бразилия; E-mail: joeljr@ieee.org

Поступила в редакцию  
20.08.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Клещенко М. А., Коротаев В. В., Некрылов И. С., Тимофеев А. Н., Сычева Е. А., Блохина А. А., Родригеш Ж. Оптико-электронные датчики с ретрорефлекторами для контроля пространственного положения элементов турбоагрегатов // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 9. С. 771—778.

#### OPTICAL-ELECTRONIC SENSORS WITH RETROREFLECTORS FOR CONTROL OF SPATIAL POSITION OF TURBINE ELEMENTS

M. A. Kleshchenok<sup>1</sup>, V. V. Korotaev<sup>1</sup>, I. S. Nekrylov<sup>1</sup>, A. N. Timofeev<sup>1</sup>,  
E. A. Сычева<sup>1</sup>, A. A. Blokhina<sup>1,2</sup>, J. J. P. C. Rodrigues<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: mkleshchenok@corp.ifmo.ru

<sup>2</sup> Bee Pitron SP, Ltd., 191014, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> National Institute of Telecommunications, 37540-000, Santa Rita do Sapucaí, Brazil

The way to improve optical-electronic sensors used for monitoring spatial position of elements of turbine units are considered. A scheme of sensor with two retroreflectors is proposed. The influence of sensor elements characteristics on the transformation of measuring data is analyzed. A correlation of the optical system characteristics with parameters and algorithms of the matrix photodetector is revealed. A physical model is developed based on optical-electronic sensor for monitoring object displacements was formed. Presented results of experimental studies confirm the formulated requirements for characteristics of sensors operating under workshop conditions.

**Keywords:** optical-electronic sensor, auto-reflection scheme, alignment control, triple prism, matrix photodetector

#### REFERENCES

1. Aujla G.S. et al. *IEEE Communications Magazine*, 2017, no. 8(55), pp. 100–108.
2. Pena E.H.M. et al. *Information Sciences*, 2017, no. 420, pp. 313–328.
3. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramanian Y., Cayirci E. *Comput. Netw.*, 2002, no. 38, pp. 393–422.
4. Maia J.E.B., Brayner A., Rodrigues F. *SIGAPP Appl. Comput. Rev.*, 2013, no. 13, pp. 30–41.
5. Ren Q., Liang Q. *Inf. Sci.*, 2007, no. 177, pp. 2188–2205.
6. Konyakhin I.A., Turgalieva T.V. *Journal of Optical Technology*, 2013, no. 12(80), pp. 772–777. (in Russ.)
7. Pantyushin A.V., Serikova M.G., Timofeev A.N. *Journal of Optical Technology*, 2009, no. 8(76), pp. 507–510 (in Russ.)
8. Anisimov A.G. et al. *Fifth International Symposium on Instrumentation Science and Technology. International Society for Optics and Photonics*, 2009, no. 7133, pp. 71333S.
9. Patent 25677350RU, G 01 B 11/00, G01S5/00, *Ustroystvo izmereniya lineynogo smeshcheniya ob'yekta* (Device of Measurement of Linear Shift of an Object), Korotaev V.V., Timofeev A.N., Kleshchenok M.A., Shavrygina M.A. Published 10.11.2015, Bulletin 31. (in Russ.)

10. Kleshchenok M.A., Timofeev A.N. *Sbornik trudov X Mezhdunarodnoy konferentsii „Prikladnaya optika-2012“* (Proceedings of the X International Conference "Applied optics-2012"), 2012, no. 1, pp. 81–84. (in Russ.)
11. Kleshchenok M.A. et al. *Optical Modelling and Design III. – International Society for Optics and Photonics*, 2014, no. 9131, pp. 91311X.
12. Anisimov A.G., Timofeev A.N., Korotaev V.V. *Proc. SPIE*, 2011, no. 8082, pp. 80823E.
13. Schöberl M., Brückner A., Foessel S., Kaup A. *J. Electron. Imaging.*, 2001, no. 2(21), pp. 020501-1-020501-3. DOI:10.1117/1.JEI.21.2.020501.
14. Zvereva E.N., Lebed'ko E.G. *Tipovyye raschety po statisticheskim metodam obrabotki rezul'tatov izmereniy v optotekhnike* (Standard Calculations for Statistical Methods of Processing of Results of Measurements in an Optics Engineering), St. Petersburg, 2016, 110 p. (in Russ.)
15. Andreev A.L., Korotaev V.V., Paszkowski D.M. *Journal of Instrument Engineering*, 2013, no. 10(56), pp. 88–93. (in Russ.)
16. Maraev A.A., Timofeev A.N. *Proc. SPIE*, 2013, no. 8788, pp. 878836.
17. Anisimov A.G., Tsyganok E.A., Konyakhin I.A. *Proc. SPIE*, 2010, no. 7786, pp. 77860V.

#### Data on authors

<b>Maxim A. Kleshchenok</b>	—	Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: mkleshchenok@corp.ifmo.ru
<b>Valery V. Korotaev</b>	—	Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Head of the Department; E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
<b>Ivan S. Nekrylov</b>	—	Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: ivan.s.nekrylov@outlook.com
<b>Aleksander N. Timofeev</b>	—	PhD, Senior Scientist; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: timofeev@corp.ifmo.ru
<b>Elena A. Sycheva</b>	—	Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: easycheva@corp.ifmo.ru
<b>Anastasia A. Blokhina</b>	—	Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Bee Pitron SP, Ltd., Design Office of Serial Production; E-mail: aablokhina@corp.ifmo.ru
<b>Joel J. P. C. Rodrigues</b>	—	PhD, Professor; National Institute of Telecommunications, Inatel, Brazil; E-mail: joeljr@ieee.org

**For citation:** Kleshchenok M. A., Korotaev V. V., Nekrylov I. S., Timofeev A. N., Sycheva E. A., Blokhina A. A., Rodrigues J. Optical-electronic sensors with retroreflectors for control of spatial position of turbine elements. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 9. P. 771—778 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-9-771-778