

---

---

# ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

---

---

УДК 681.786, 681.5.011, 681.2-5  
DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-9-796-804

## ВЫСОКОТОЧНЫЙ АБСОЛЮТНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНОЙ ШТРИХОВОЙ МЕРЫ

А. В. ВАСИЛЬЕВА, А. С. ВАСИЛЬЕВ, Е. А. СЫЧЕВА, В. В. КОРОТАЕВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: easycheva@corp.ifmo.ru*

Представлен полный цикл исследования и разработки высокоточного абсолютного линейного датчика положения на основе стандартной штриховой меры из инвара, которая имеет интервал между штрихами 1 мм и является инкрементной шкалой. Абсолютные измерения реализованы посредством использования магнитного канала для нумерации штрихов и оптического канала для точной оценки текущего положения датчика. Разработан алгоритм обработки изображений для определения положения в реальном времени. Рассмотрена трехэтапная процедура калибровки датчика для устранения систематической погрешности измерений. По результатам измерения установлено, что разработанный датчик имеет точность 1,65 мкм (3 стандартных отклонения) при скорости перемещения до 3 м/с. Основная ценность разработки заключается в использовании стандартной штриховой меры, что обеспечивает унификацию и совместимость со стандартным метрологическим оборудованием.

**Ключевые слова:** *линейный датчик положения, высокоточные измерения, стандартная штриховая мера, оптические измерения, абсолютное позиционирование*

**Введение.** Развитие новых технологий производства определяет постоянное повышение сложности и точности операций механической обработки. Повышение точности позиционирования рабочего инструмента и обрабатываемой заготовки напрямую связано с контролем их относительного положения, часто в режиме реального времени. Линейные датчики положения являются эффективным средством решения таких задач, обеспечивая высокую точность измерения, скорость и надежность, а также множество вариантов математической обработки сигналов [1, 2].

По принципу работы и типу выходного сигнала линейные датчики положения условно делятся на инкрементные и абсолютные [3]. Инкрементные датчики определяют смещение объекта, последовательно подсчитывая количество дискретных импульсов [4]. Выходной сигнал абсолютных датчиков является линейным и может быть однозначно интерпретирован как искомое линейное смещение [4]. Таким образом, использование абсолютных датчиков положения является более эффективным.

По физическому принципу линейные датчики положения классифицируются на оптические, магнитные, емкостные, резистивные, ультразвуковые, индуктивные и механические. Оптические датчики обеспечивают максимальную точность и обладают преимуществами бесконтактных измерений [5]. Большинство оптических датчиков основаны на изображаю-

щей [6—8] или интерферометрической [9—12] схеме. Интерферометрические датчики имеют высокую позиционную чувствительность и большой диапазон измерения, однако при наличии возмущений в воздушном тракте их погрешность возрастает до нескольких десятков и сотен микрометров. Кроме того, интерферометрические датчики работают только в инкрементном режиме. Изображающие датчики положения обладают более высоким сопротивлением к изменению внешних условий, они более гибкие в эксплуатации и позволяют выполнять абсолютные измерения с использованием абсолютных шкал [9, 13, 14]. Такие шкалы чаще всего имеют псевдослучайный набор индексов [9, 10, 15] и разрабатываются специально, что не всегда технологически и экономически оправдано. В настоящей статье предлагается в качестве шкалы датчика использовать стандартную штриховую меру из инвара (ГОСТ 12069-90) с интервалом между штрихами 1 мм и толщиной штрихов от 18 до 23 мм. Поскольку штрихи одинаковые, абсолютное кодирование положения отсутствует, поэтому такая штриховая мера является инкрементной шкалой.

Таким образом, цель представленного в настоящей статье исследования — разработка оптического линейного датчика положения, основанного на изображающей схеме и функционирующего по абсолютному принципу. Особенность исследования заключается в возможности использования стандартной штриховой меры совместно с разработанным датчиком. Это упрощает разработку и снижает ее общую стоимость, а также обеспечивает унификацию и совместимость со стандартным метрологическим оборудованием.

**Генерация видимого излучения.** Предлагаемая структурная схема разрабатываемого датчика положения основана на комбинации двух каналов — точного, предназначенного для определения положения штриха в пределах заданной погрешности, и грубого — для определения абсолютного номера штриха. Грубый канал может быть реализован с использованием современных магнитных, ультразвуковых, оптических или импульсных лазерных датчиков. Наиболее рациональным подходом является использование магнитных датчиков, которые имеют большой диапазон измерения, компактные размеры и отличаются высокой скоростью работы [16, 17]. Таким образом, для реализации грубого канала был выбран магнитный датчик. Результирующая двухканальная структура абсолютного линейного датчика положения на основе стандартной штриховой меры показана на рис. 1.

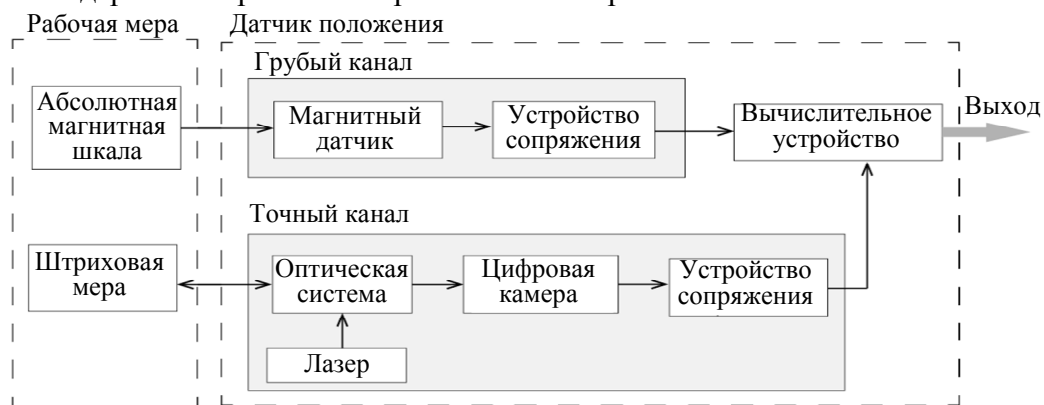


Рис. 1

Принцип работы датчика положения, реализованного по предложенной схеме, заключается в следующем. Рабочая мера фиксируется на неподвижном элементе станка, датчик установлен на его движущейся части и перемещается вместе с рабочим элементом относительно рабочей меры. Лазерный луч, проходящий через оптическую систему, проецируется на поверхность линейной штриховой меры. Свет, отраженный от штриховой меры, проходит через оптическую систему, и цифровая камера формирует изображение анализируемого участка штриховой меры.

Выходной сигнал точного канала соответствует точному положению текущего штриха  $x_{\text{prec}}$  в поле зрения оптической системы, а выходной сигнал грубого канала — абсолютному номеру этого штриха  $x_{\text{abs}}$ . Общий выходной сигнал  $X$  датчика положения задается в системе координат штриховой меры, которая связана с первым штрихом, и формируется вычислительным устройством следующим образом:

$$X = x_{\text{prec}} \left\{ K \left[ x_{\text{abs}}(C_{\text{zero}}), C_{\text{spacing}}, K_{\text{FOV}} \right] \right\},$$

где  $x_{\text{prec}}$  — функция формирования точного положения штриха;  $K$  — функция калибровки, которая учитывает коэффициент  $K_{\text{FOV}}$  нелинейности углового поля зрения, погрешность  $C_{\text{spacing}}$ , обусловленную неточностью нанесения штрихов на штриховую меру, и значение  $x_{\text{abs}}$ , полученное грубым каналом относительно нулевого штриха  $C_{\text{zero}}$ .

**Алгоритм обработки изображений.** Использование датчика положения в реальном производстве ограничивает продолжительность и, как следствие, сложность обработки изображения. В связи с этим был разработан алгоритм, адаптированный для высокоскоростной обработки и позволяющий получать информацию о текущей позиции датчика с высокой частотой опроса. Для проверки работы алгоритма были смоделированы изображения штриховой меры, формируемые оптической системой. Моделирование проводилось в программной среде Zemax. Пример смоделированного изображения штриховой меры показан на рис. 2.

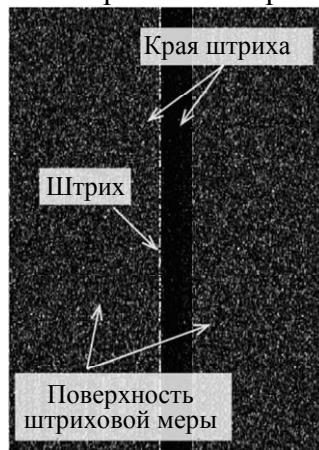


Рис. 2

Поскольку все штрихи ориентированы в вертикальном направлении, изображение может быть уменьшено от двумерного до одномерного путем поэлементного суммирования по столбцам. Одномерное представление штриха, полученное на основе смоделированного изображения (см. рис. 2), показано на рис. 3. Определение положения штриха, таким образом, сводится к оценке его горизонтальной координаты. Такое решение позволяет исключить влияние небольших дефектов изображения на возможность обнаружения его алгоритмом.

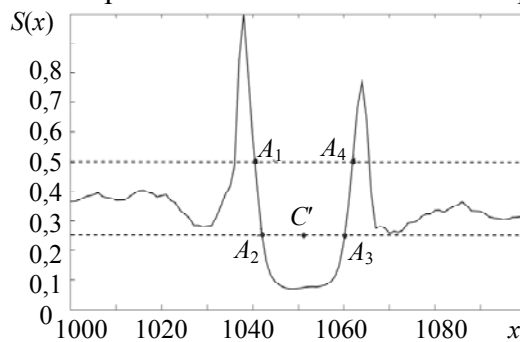


Рис. 3

Координата штриха оценивается путем поиска соответствующего ему локального минимума в одномерном сигнале. Для этого применен двухпороговый алгоритм, который заключается в идентификации четырех ключевых точек  $A_1...A_4$  на одномерном изображении (см. рис. 3).

Решение о наличии штриха  $x$  в поле зрения принимается, если уровень сигнала во всех четырех точках последовательно удовлетворяет следующим критериям:

$$\begin{aligned} A_1 = x, & S(x) < T_1 \wedge S(x-1) > T_1; \\ A_2 = x, & S(x) < T_2 \wedge S(x-1) > T_2; \\ A_3 = x, & S(x) > T_2 \wedge S(x-1) < T_2; \\ A_4 = x, & S(x) > T_1 \wedge S(x-1) < T_1, \end{aligned}$$

где  $S(x)$  — уровень смоделированного по строкам сигнала для каждого пиксела  $x$ , находящегося между точками  $A_1...A_4$ ;  $T_1=0,5$  и  $T_2=0,25$  — пороговые значения, гарантирующие надежное распознавание штриха на смоделированном изображении.

После определения местоположения четырех ключевых точек центр  $C'$  штриха может быть найден методом взвешенного суммирования:

$$C' = \frac{\sum_{x=A_1-1}^{A_4+1} S(x)x}{\sum_{x=A_1-1}^{A_4+1} S(x)},$$

где  $x = A_i \pm 1$  означает добавление одного пиксела к каждой стороне диапазона для уменьшения влияния фоновой составляющей [18].

Исследования алгоритма на смоделированном изображении показали, что его точность достигает  $\pm 0,9$  мкм.

**Конструктивная реализация датчика положения.** Разработанная конструкция датчика положения представлена на рис. 4.

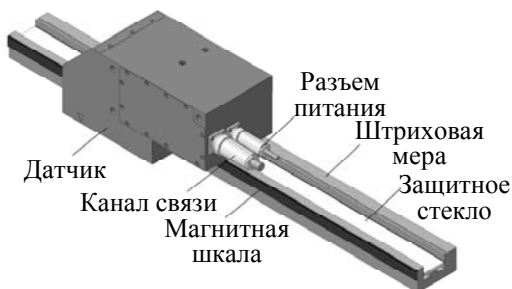


Рис. 4

К штриховой мере прикрепляются магнитная шкала, а также защитное стекло. Для грубого канала использован магнитный датчик M10A S5 528V фирмы „Givi Misure“ (Италия) с разрешением до 50 мкм, который встроен в разработанный корпус датчика положения. Для точного канала используется цифровая камера IMPERX ICL-B1921 с ПЗС-матрицей, которая имеет  $1952 \times 1112$  пкс размером  $5,5 \times 5,5$  мкм. Фокусное расстояние объектива 20 мм. Источник света — лазерный модуль с длиной волны 655 нм и оптической мощностью 10 мВт.

Теневое изображение штриховой меры, полученное датчиком, и его одномерное представление показаны на рис. 5.

Разница между реальным (см. рис. 5) и смоделированным (см. рис. 2) изображениями очевидна: поверхность штриховой меры имеет дефекты, царапины и загрязнения, которые находятся в фокусе оптической системы. Кроме того, освещенность штриховой меры по полю

зрения видеокамеры не является однородной. Средний уровень освещенности учитывался при расчете пороговых коэффициентов по всему полю зрения и сохранен в памяти датчика.

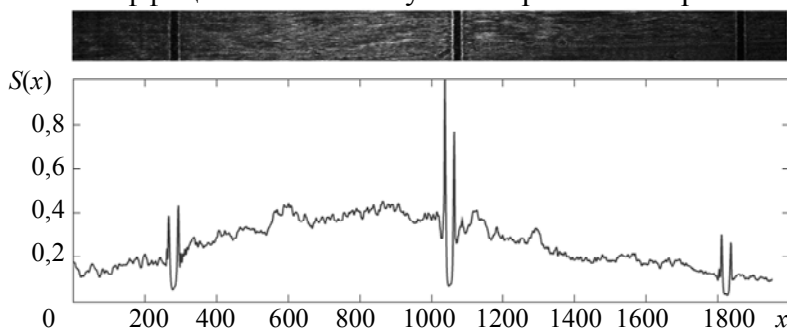


Рис. 5

Обработка изображений выполняется вычислительным устройством на основе ПЛИС Cyclone IV фирмы „Altera“ (США). Использование параллельных вычислений в ПЛИС обеспечивает высокую скорость обработки. Преобразование изображения из двумерного в одномерное осуществляется во время фиксации объекта видеокамерой, поэтому не требует дополнительного времени. Обработка одномерного изображения занимает не более 3 мкс. В результате относительно длительного времени считывания изображения и дополнительных сервисных операций общее время определения текущего положения датчика — около 9,6 мкс.

**Калибровка и эксперименты.** Калибровка датчика положения выполнялась на лабораторной установке с использованием лазерного интерферометра XD6 [19], который контролировал положение и ориентацию датчика. В ходе экспериментов датчик перемещался по штриховой мере с помощью моторизованной подвижки. Отражатель интерферометра перемещался вместе с датчиком.

Калибровка проводилась для устранения систематических ошибок и состояла из трех этапов:

- 1) калибровка нелинейности поля зрения видеокамеры;
- 2) калибровка нулевого штриха;
- 3) оценка погрешности между измеренным значением интервала между штрихами и номинальным (далее — отклонения интервалов).

Первый шаг калибровки исключает систематическую ошибку, которая обусловлена нелинейностью поля зрения видеокамеры и клиновидностью защитного стекла. Процедура основана на регрессионном анализе зависимости между выходным сигналом датчика и данными интерферометра. Датчик положения перемещался с шагом 200 мкм на расстояние ( $l$ ) 1 мм. На рис. 6, а показаны отклонения ( $\Delta X$ ) между результатами, регистрируемыми датчиком и интерферометром, на рис. 6, б — те же экспериментальные данные после вычитания аппроксимирующей полиномиальной функции. Аппроксимирующая полиномиальная функция служит для калибровки систематической составляющей нелинейности поля зрения видеокамеры. Остаточная ошибка после исключения систематической составляющей (см.рис. 6, б) не превышает 0,4 мкм.

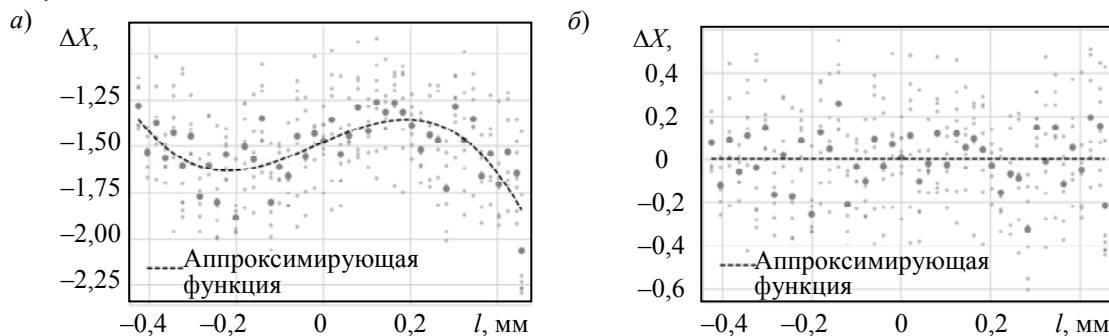


Рис. 6

На втором этапе калибровки оценивается позиция нулевого штриха. Датчик, помещенный перед первым штрихом, измеряет его положение 1000 раз. Усредненное значение принимается за положение нулевого штриха  $C_{zero}$ , которое хранится в памяти датчика.

Калибровка интервалов между штрихами выполнялась в контролируемых условиях, поскольку флуктуации температуры воздуха и механические вибрации значительно влияют на результат измерений. Датчик перемещался по штриховой мере, останавливаясь каждый раз, когда штрих оказывался в центре поля зрения видеокамеры (т.е. с шагом 1 мм). Операция повторялась 3 раза в обоих направлениях. Значение номинального шага штриховой меры сравнивалось с результатами интерферометра.

Усредненные отклонения интервалов между штрихами, как видно из рис. 7 (где  $N$  — номер штриха), имеют накопительный характер с абсолютным значением, достигающим 8 мкм при максимальной длине штриховой меры 2 000 мм. Измеренные отклонения хранятся в памяти датчика положения в качестве эталонного профиля для данной конкретной штриховой меры.

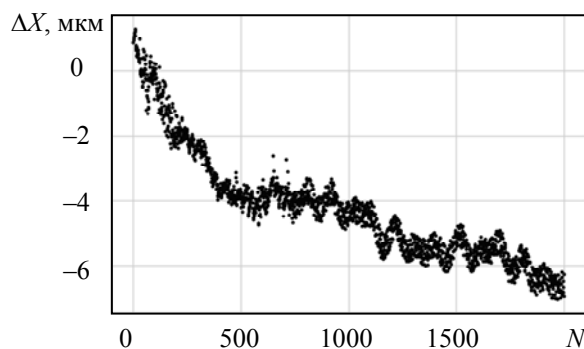


Рис. 7

Окончательные измерения проводились при скорости 1 и 3 м/с. Значения сигналов датчика и лазерного интерферометра снимались синхронно с частотой 100 Гц, полученная разность значений показана на рис. 8: *а* — при скорости 1 м/с, *б* — 3 м/с.

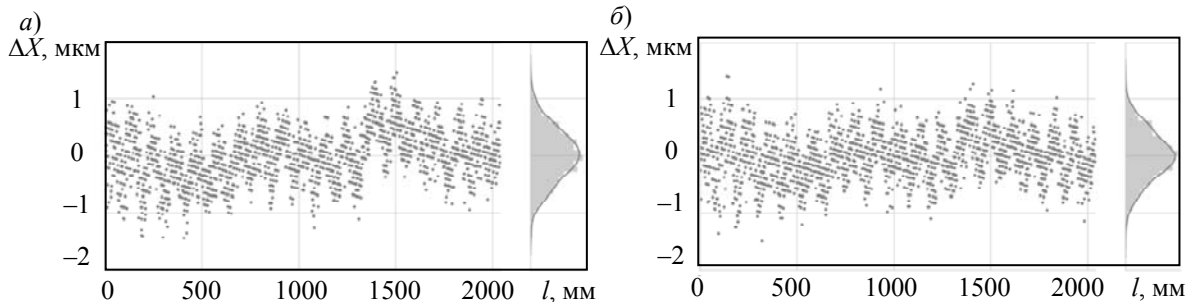


Рис. 8

Абсолютное значение отклонений не превышает 1,5 мкм на полном диапазоне измерений 2 000 мм при обеих скоростях. Также отсутствует значимая систематическая составляющая погрешности, что экспериментально доказывает эффективность калибровки. Распределения отклонений близки к нормальному со стандартным отклонением 0,58 и 0,6 мкм для скоростей 1 и 3 м/с соответственно. Поскольку максимальные погрешности и распределения одинаковы при обеих скоростях движения, производительность и погрешность разработанного датчика положения не зависят от скорости движения (при скорости до 3 м/с).

**Заключение.** Представлен полный цикл исследования и разработки высокоточного абсолютного линейного датчика положения на основе стандартной штриховой меры. Основной особенностью датчика является принцип работы, базирующийся на сочетании магнитного и оптического каналов, что обеспечивает возможность абсолютных линейных измерений с использованием инкрементной штриховой меры. Экспериментальные испытания показали, что точность разработанного датчика составляет 1,65 мкм (стандартное отклонение 0,6 мкм),

время расчета 3 мкс. Высокая точность достигается благодаря предложенной трехэтапной процедуре калибровки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Linear Encoders Improve the Machining Accuracy [Электронный ресурс]: <[http://www.auto-met.com/Globalspec/Linear Encoders Improve the Accuracy of Machine Tools.pdf](http://www.auto-met.com/Globalspec/Linear%20Encoders%20Improve%20the%20Accuracy%20of%20Machine%20Tools.pdf)>.
2. Encoder Products Company. Encoder Applications [Электронный ресурс]: <<http://encoder.com/applications/>>.
3. Heidenhain Linear Encoders for Numerically Controlled Machine Tools [Электронный ресурс]: <[http://www.heidenhain.de/fileadmin/pdb/media/img/571470-2B\\_Linear\\_Encoders\\_For\\_Numerically\\_Controlled\\_Machine\\_Tools.pdf](http://www.heidenhain.de/fileadmin/pdb/media/img/571470-2B_Linear_Encoders_For_Numerically_Controlled_Machine_Tools.pdf)>.
4. DYNAPAR Incremental and Absolute Encoders: What's the Best Solution for Your Application? [Электронный ресурс]: <<http://neffautomation.com/wp-content/uploads/Dynapar-Incremental-Encoder-Guide.pdf>>.
5. *Kimbrell J.* Fundamentals of Industrial Encoder Sensing Technologies, Motion Detection Theory and Methods, and Signal Output Styles. AutomationDirect.com Inc., 2013. 9 p.
6. *Das S., Sarkar T. S.* A new method of linear displacement measurement utilizing a gray scale image // J. of Electronics and Electrical Engineering. 2013. Vol. 1. P. 176—181.
7. *Kim J.-A., Kim J. W., Kang C.-S., Jin J., Eom T. B.* An optical absolute position measurement method using a phase-encoded single track binary code // Rev. of Scientific Instruments. 2012. N 83. P. 115115.
8. Renishaw RESOLUTE Encoder Series [Электронный ресурс]: <<http://neffautomation.com/wp-content/uploads/Dynapar-Incremental-Encoder-Guide.pdf>>.
9. *Li X., Wang H., Ni K., Zhou Q., Mao X., Zeng L., Wang X., Xiao X.* Two-probe optical encoder for absolute positioning of precision stages by using an improved scale grating // Opt. Express. 2016. Vol. 24, N 19. P. 21378—21391.
10. *Liu C. H., Cheng C. H.* Development of a grating based multi-degree-of-freedom laser linear encoder using diffracted light // Sensors and Actuators A: Physical. 2012. Vol. 181. P. 87—93.
11. *Ye G., Liu H., Shi Y., Yin L., Lu B., Hui X., Yang Y.* Optimizing design of an optical encoder based on generalized grating imaging // Measurement Science and Technology. 2016. Vol. 27, N 11. P. 115005.
12. *Lu Z., Wei P., Wang C., Jing J., Tan J., Zhao X.* Two-degree-of-freedom displacement measurement system based on double diffraction gratings // Measurement Science and Technology. 2016. Vol. 27, N 7. P. 074012.
13. *Wang H., Wang J., Chen B., Xiao P., Chen X., Cai N., Ling B. W. K.* Absolute optical imaging position encoder // Measurement. 2015. Vol. 67. P. 42—50.
14. *Anisimov A. G., Pantyushin A. V., Lashmanov O. U., Vasilev A. S., Timofeev A. N., Korotaev V. V., Gordeev S. V.* Absolute scale-based imaging position encoder with submicron accuracy // Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VIII. – Intern. Society for Optics and Photonics. 2013. Vol. 8788. P. 87882T.
15. *Denic D., Randelovic I., Miljkovic G.* Recent trends of linear and angular pseudorandom encoder development // IEEE Intern. Symp. on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2006). 2006. P. 746—750.
16. *Gordon S., Hillery M. T.* Development of a high-speed CNC cutting machine using linear motors // J. of Materials Processing Technology. 2005. Vol. 166, N 3. P. 321—329.
17. *Van Hoang H., Jeon J. W.* Signal compensation and extraction of high resolution position for sinusoidal magnetic encoders // IEEE Intern. Conf. on Control, Automation and Systems, ICCAS'07. 2007. P. 1368—1373.
18. В Physics & Cp Violation / Ed. *T. Ohshima, A. I. Sanda* // Всп4-Proc. of the Intern. Workshop. World Scientific, 2001.
19. XD Laser Measurement Solution [Электронный ресурс]: <[http://www.danaauto.co.kr/html/dwg/api\\_xdlaser.pdf](http://www.danaauto.co.kr/html/dwg/api_xdlaser.pdf)>.

#### Сведения об авторах

**Анна Владимировна Васильева**

— Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; инженер; E-mail: [avasileva@corp.ifmo.ru](mailto:avasileva@corp.ifmo.ru)

**Александр Сергеевич Васильев**

— канд. техн. наук; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; ассистент; E-mail: [a\\_s\\_vasilev@corp.ifmo.ru](mailto:a_s_vasilev@corp.ifmo.ru)



- Елена Александровна Сычева** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: [easycheva@corp.ifmo.ru](mailto:easycheva@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](mailto:korotaev@grv.ifmo.ru)

Поступила в редакцию  
20.08.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Васильева А. В., Васильев А. С., Сычева Е. А., Коротаев В. В. Высокоточный абсолютный линейный датчик положения на основе стандартной штриховой меры // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 9. С. 796—804.

## HIGH-PRECISION ABSOLUTE LINEAR POSITION SENSOR BASED ON A STANDARD LINE MEASURE

A. V. Vasileva, A. S. Vasilev, E. A. Sycheva, V. V. Korotaev

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: [easycheva@corp.ifmo.ru](mailto:easycheva@corp.ifmo.ru)

The full cycle of research and development of a high-precision absolute linear position sensor based on standard line measure is presented. The sensor uses a standard line measure of invar alloy, which is an incremental scale with 1 mm interval between strokes. Absolute measurements are realized using a magnetic channel for numbering of strokes and an optical channel for precise estimation of current sensor position. An image processing algorithm for calculating position in real time is developed. A three-step calibration procedure used to eliminate the systematic measurement error is described. According to performed test measurements, the developed sensor has an accuracy of 1.65  $\mu\text{m}$  (3 standard deviations) at a speed of up to 3 m/s. Application of a standard line measure is noted as the main advantage of the development, which ensures unification and compatibility with standard metrology equipment.

**Keywords:** linear position sensor, high-precision measurements, standard line measure, optical measurements, absolute positioning

### REFERENCES

1. *Linear Encoders Improve the Machining Accuracy*, [http://www.auto-met.com/Globalspec/Linear Encoders Improve the Accuracy of Machine Tools.pdf](http://www.auto-met.com/Globalspec/LinearEncodersImprovetheAccuracyofMachineTools.pdf).
2. *Encoder Products Company. Encoder Applications*, <http://encoder.com/applications/>.
3. *Heidenhain Linear encoders for numerically controlled machine tools*, 2B\_Linear\_Encoders\_For\_Numerically\_Controlled\_Machine\_Tools.pdf.
4. *DYNAPAR Incremental and Absolute Encoders: What's the Best Solution for Your Application?* <http://neffautomation.com/wp-content/uploads/Dynapar-Incremental-Encoder-Guide.pdf>.
5. Kimbrell J. *Fundamentals of Industrial Encoder Sensing Technologies, Motion Detection Theory and Methods, and Signal Output Styles*, AutomationDirect.com Inc, 2013, 9 p.
6. Das S., Sarkar T.S. *Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 2013, no. 1, pp. 176–181.
7. Kim J.-A., Kim J.W., Kang C.-S., Jin J., Eom T.B. *Review of Scientific Instruments*, 2012, no. 83, pp. 115115.
8. *Renishaw RESOLUTE encoder series*, <http://neffautomation.com/wp-content/uploads/Dynapar-Incremental-Encoder-Guide.pdf>.
9. Li X., Wang H., Ni K., Zhou Q., Mao X., Zeng L., Wang X., Xiao X. *Optics express*, 2016, no. 19(24), pp. 21378–21391.
10. Liu C.H., Cheng C.H. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2012, no. 181, pp. 87–93.
11. Ye G., Liu H., Shi Y., Yin L., Lu B., Hui X., Yang Y. *Measurement Science and Technology*, 2016, no. 11(27), pp. 115005.
12. Lu Z., Wei P., Wang C., Jing J., Tan J., Zhao X. *Measurement Science and Technology*, 2016, no. 7(27), pp. 074012.
13. Wang H., Wang J., Chen B., Xiao P., Chen X., Cai N., & Ling B.W.K. *Measurement*, 2015, vol. 67, pp. 42–50.
14. Anisimov A.G., Pantyushin A.V., Lashmanov O.U., Vasilev A.S., Timofeev A.N., Korotaev V.V., Gordeev S.V. *Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VIII*, International Society for Optics and Photonics, 2013, vol. 8788, pp. 87882T.
15. Denic D., Randelovic I., Miljkovic G. *Intern. Symp. on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, SPEEDAM 2006, IEEE, 2006, pp. 746–750.
16. Gordon S., Hillery M.T. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, no. 3(166), pp. 321–329.
17. Van Hoang H., Jeon J.W. *Intern. Conf. on Control, Automation and Systems*, ICCAS'07, IEEE, 2007, pp. 1368–1373.



18. Ohshima T., Sanda A.I., ed. *B Physics And Cp Violation: Bcp4-Proceedings of The International Workshop*, World Scientific, 2001.
19. *XD Laser Measurement Solution*, [http://www.danaauto.co.kr/html/dwg/api\\_xdlaser.pdf](http://www.danaauto.co.kr/html/dwg/api_xdlaser.pdf).

**Data on authors**

- |                              |   |  |
|------------------------------|---|--|
| <b>Anna V. Vasileva</b>      | — | ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Engineer; E-mail: <a href="mailto:avasileva@corp.ifmo.ru">avasileva@corp.ifmo.ru</a>                                |
| <b>Aleksander S. Vasilev</b> | — | PhD; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Assistant; E-mail: <a href="mailto:a_s_vasilev@corp.ifmo.ru">a_s_vasilev@corp.ifmo.ru</a>                      |
| <b>Elena A. Sycheva</b>      | — | Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: <a href="mailto:easycheva@corp.ifmo.ru">easycheva@corp.ifmo.ru</a>                   |
| <b>Valery V. Korotaev</b>    | — | Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Head of the Department; E-mail: <a href="mailto:korotaev@grv.ifmo.ru">korotaev@grv.ifmo.ru</a> |

**For citation:** Vasileva A. V., Vasilev A. S., Sycheva E. A., Korotaev V. V. High-precision absolute linear position sensor based on a standard line measure. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 9. P. 796—804 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-9-796-804