

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

ФАМ НГОК ТУАН, Е. Н. ПАНТЮШИНА, А. Н. ТИМОФЕЕВ,
А. С. ВАСИЛЬЕВ, ДИНЬ БА МИНЬ

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

Представлены результаты исследований по влиянию стереоскопической оптико-электронной системы на составляющие погрешности контроля положения железнодорожного пути при различных скоростях движения системы. Приведены выражения для оценки составляющих погрешности контроля положения реперных меток в вертикальной плоскости и по дистанции. Показано, что негативное воздействие скоростного смаза изображения на погрешности определения координат реперных меток может быть компенсировано посредством вариации размера зрачков оптической системы либо времени экспозиции видеокамер. Приведены результаты экспериментальных исследований опытных образцов системы в статичном положении и при движении.

Ключевые слова: *стереоскопическая оптико-электронная система, контроль пространственного положения, динамическая погрешность, реперная метка, железнодорожный путь*

Введение. При строительстве и ремонте железнодорожного пути определение его фактического положения и оценка полученных результатов являются важными аспектами эффективной эксплуатации пути [1—3]. При этом сроки технического обслуживания железнодорожного пути являются определяющим фактором с экономической точки зрения. Время обслуживания напрямую зависит от скорости путевой машины, производящей анализ участка пути. Для повышения эффективности эксплуатации железнодорожного пути применяются различные технические средства, позволяющие сократить время обслуживания железнодорожного пути.

В Университете ИТМО на кафедре оптико-электронных приборов и систем разработана оптико-электронная система контроля положения реперных меток (ОЭС КПРМ). Система позволяет в процессе движения выправочной машины определять просадки рельсовой нити в вертикальной плоскости, взаимное положение рельсовых нитей по уровню и положение в плане (рихтовка) относительно инфракрасных реперных меток, расположенных на опорах контактной сети и сопряженных с геодезической опорной сетью [4—8].

Основные погрешности подобных систем (погрешности измерения фокусных расстояний и базовых размеров, непараллельности матричных полей в каналах и прочие погрешности, присущие стереоскопическим схемам) достаточно хорошо изучены и отражены в работах [9—12], однако негативное воздействие скорости движения фотоприемного блока системы на определение координат реперных меток и пути компенсации этого воздействия ранее не рассматривались.

В настоящей статье исследуется влияние скорости движения ОЭС КПРМ на погрешность контроля координат реперных меток (РМ) и предлагаются способы нивелирования этой погрешности.

В состав системы ОЭС КПРМ [8, 9] входят фотоприемный блок 1 (ФБ), РМ 5 и блок обработки информации (рис. 1, а). Фотоприемный блок содержит фотомодули 2 и 3 с видеока-

мерами на матричных КМОП-структурах и индикатор опор 4. Реперная метка состоит из контрольного элемента 6 положения опор, используемого индикатором опор, и светодиода 7, относительно которого измеряются смещения базового блока.

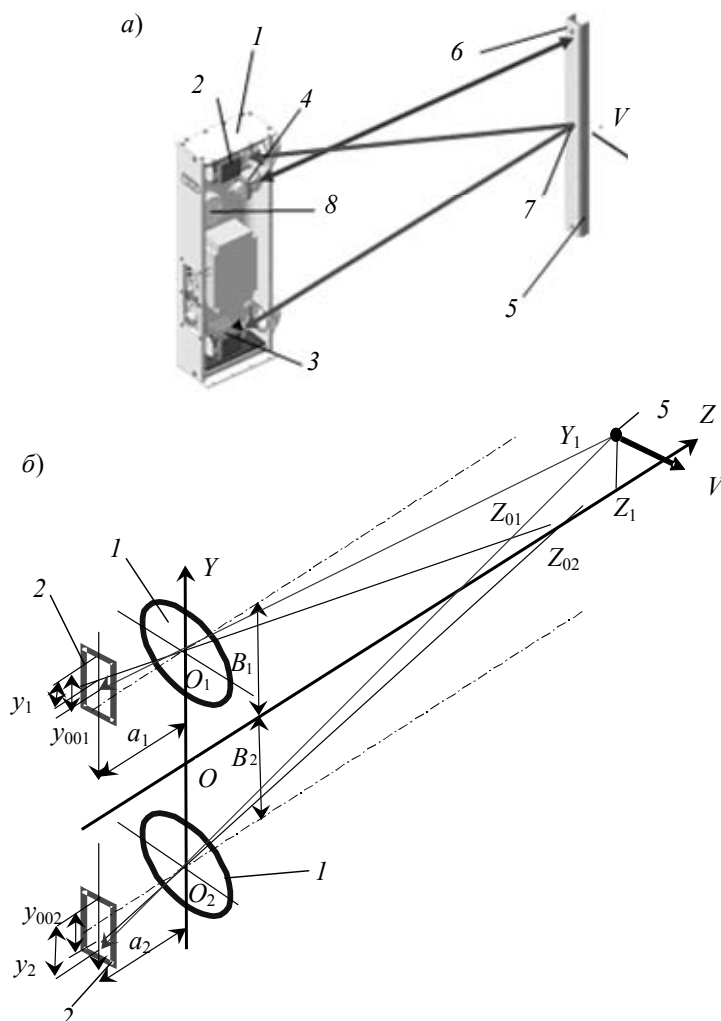


Рис. 1

Принцип работы системы заключается в том, что при проезде измерительной тележки по пути ФБ 1 регистрирует излучение светодиода 7 точно в створе с реперной меткой 5, закрепленной на опоре железнодорожной контактной сети. При этом индикатор опор 4 вырабатывает управляющий сигнал, по которому фотомодули 2 и 3 захватывают изображения светодиода и преобразуют его в цифровые электрические сигналы, поступающие в блок обработки. Блок обработки преобразует полученные сигналы с учетом сигналов от электронного устройства 8, определяющего положение пути по уровню, и выдает микропроцессорной системе управления выправкой пути три координаты (смещение, дистанция, наклон), определяющие положение ФБ относительно реперной метки 5. Полученные координаты характеризуют реальное положение железнодорожного пути относительно меток [5, 11]. Микропроцессорная система преобразует полученные координаты в координаты положения пути, необходимые для работы выправочной машины. Искажение (смаз) формируемых видеокамерами изображений меток зависит от скорости перемещения ФБ и вызывает в системе дополнительную динамическую погрешность.

В рассматриваемой внутрибазовой схеме ОЭС КПРМ [9, 10] координаты y_1 и y_2 (рис. 1, б) изображений реперной метки 5 формируются объективами 1 на матричном поле фотоприемников 2, которые входят в состав фотомодулей 2, 3 (см. рис. 1, а). По этим координатам

вычисляются координаты Y_1 и Z_1 (выправка и рихтовка) положения железнодорожного пути в профиле и плане:

$$Y_1 = [B_1(B_2/Z_{02} - y_2/a_2) - B_2(B_1/Z_{01} - y_1/a_1)] / (B_2/Z_{02} - y_2/a_2 + B_1/Z_{01} - y_1/a_1); \quad (1)$$

$$Z_1 = (B_1 + B_2) / (B_2/Z_{02} - y_2/a_2 + B_1/Z_{01} - y_1/a_1), \quad (2)$$

где B_1 и B_2 — расстояния (базы) от оси приборной системы координат до оптических осей объективов I в верхнем и нижнем каналах системы; a_1 и a_2 — задние отрезки объективов; Z_{01} , Z_{02} — расстояние до плоскости фокусировки объектива фотоприемной матрицы; y_1 и y_2 — координаты энергетических центров изображений реперной метки, измеренные в верхнем и нижнем каналах в системе координат фотоприемных матриц.

На результаты вычислений оказывают воздействие различные факторы. Так, точность измерений обусловлена погрешностями Δy_1 и Δy_2 определения координат центров изображений меток на матричном поле фотомодулей [13, 14]. Тогда относительные частичные погрешности $\Delta Z_{1\Delta y_i}$, $\Delta Y_{1\Delta y_i}$ измерения координат смещений пути определяются выражениями:

$$\Delta Z_{1\Delta y_i} = \Delta y_i / a_i (N + M); \quad (3)$$

$$\Delta Y_{1\Delta y_i} = N^{(2-i)} (-M)^{(i-1)} (B_1 + B_2) \cdot \Delta y_i / a_i (B_1 N - B_2 M) (N + M), \quad (4)$$

где $i=1$ соответствует верхнему каналу, $i=2$ — нижнему каналу, $N = [B_2/Z_{02} - y_2/a_2]$; $M = [B_1/Z_{01} - y_1/a_1]$.

Как показали расчеты, при отсутствии движения фотоприемного блока с учетом характеристик элементов, примененных в схеме ОЭС КПРМ (КМОП-матрица OV5610 Color CMOS QSXGA фирмы „Omni Vision“, размер пиксела $5,55 \times 5,55$ мкм; объектив Гелиос 33 с $f' = 35$ мм; светодиод SFH 485 P фирмы „Siemens“ диаметром $d_{CB} = 5$ мм, с $\lambda = 880$ нм), и значений $B_1 = B_2 = 150$ мм, $Z_{01} = Z_{02} = 3000$ мм, погрешность определения координат меток для $Z_1 = 2000$ мм не превышала 0,016 мм при определении смещения и 0,33 мм при определении дистанции. По результатам экспериментальных исследований модулей ОЭС КПРМ на лабораторных стендах (Университет ИТМО), отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 5 % [10, 15].

Комплексные испытания образца ОЭС КПРМ с семью штатными метками, проведенные в рабочих условиях при статичном положении и при скорости ФБ $V = 8$ км/ч, показали, что погрешности определения координат Y_1 и Z_1 при движении (см. рис. 1, б) увеличились в 5 раз [9]. Такое увеличение погрешностей обусловлено искажением (смазом) цифровых изображений меток, формируемых матричным фотоприемником, что, в свою очередь, вызывает снижение облученности на его матричном поле [11, 16], уменьшая тем самым отношение сигнал/шум при определении координат y_1 и y_2 .

Максимальная облученность изображений РМ на фотоприемнике при неподвижном фотоприемном блоке ($V=0$) для круглого выходного зрачка его объектива с энергетической яркостью L_e метки определяется выражением [4, 14, 17]

$$E_{\max} = L_e \pi \tau D_{\text{вх}}^2 / a^2, \quad (5)$$

где τ — интегральный коэффициент пропускания воздушного тракта и оптической системы, a — расстояние от главной плоскости объектива до плоскости анализа, $D_{\text{вх}}$ — диаметр входного зрачка объектива ФБ.

Согласно положениям геометрической оптики можно записать линейную величину l смаза изображения РМ, обусловленную скоростью движения ФБ и временем экспозиции фотоприемника $t_{\text{эксп}}$:

$$l = V t_{\text{эксп}} a / Z_1, \quad (6)$$

что и вызывает уменьшение количества энергии, приходящей на пиксел фотоприемника.

Эффективная облученность $E_{\text{эф}}$ изображения будет меньше облученности E_{max} фотоприемника при статичном положении ФБ в k_b раз:

$$E_{\text{эф}} = E_{\text{max}} k_b, \quad (7)$$

где коэффициент изменения облученности в первом приближении можно рассчитать по формуле

$$k_b = \pi d_{\text{СВ}} / (4V t_{\text{эксп}} + \pi d_{\text{СВ}}). \quad (8)$$

Из этого выражения следует, что коэффициент k_b практически обратно пропорционален скорости движения (рис. 2) при $t_{\text{эксп}}$, равном 0,02 и 0,005 с (кривые 1 и 2 соответственно), и $d_{\text{СВ}}=5$ мм и характеризует уменьшение отношения сигнал/шум в схеме обработки информации.

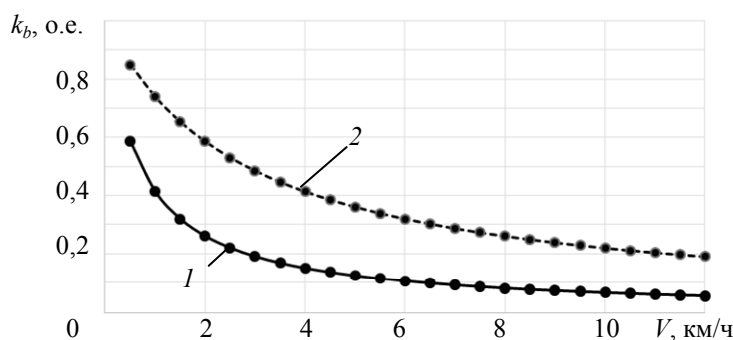


Рис. 2

Поскольку скорость движения путевой машины известна, появляется возможность корректировать воздействие смаза изображения за счет изменения размера зрачка оптической системы $D_{\text{вх}}$ или изменения времени экспозиции $t_{\text{эксп}}$.

Для надежной работы системы эффективная облученность $E_{\text{эф}}$ не должна превышать порог насыщения $E_{\text{нас}}$ матричного фотоприемника [18]; с учетом выражений (5) и (8) $E_{\text{эф}}$ определяется как

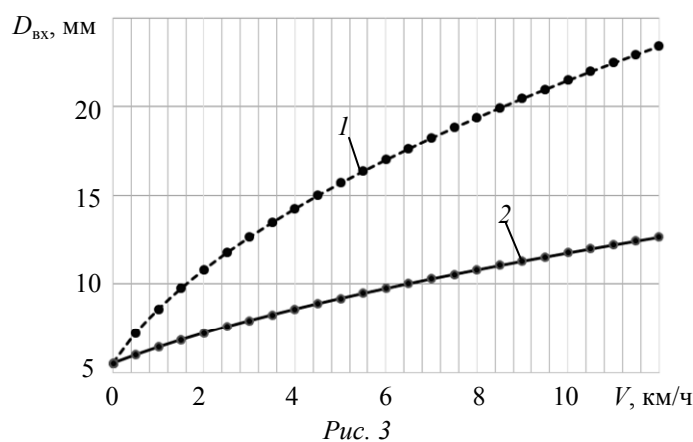
$$E_{\text{эф}} = L_e \pi^2 \tau d_{\text{СВ}} D_{\text{вх}}^2 / (4V t_{\text{эксп}} + \pi d_{\text{СВ}}) a^2, \quad (9)$$

тогда при известном значении V и выбранной экспозиции

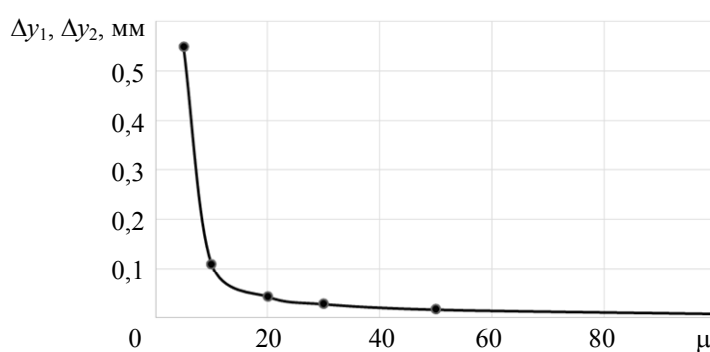
$$D_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{E_{\text{нас}} a^2}{k_b \pi \tau L_e}} = \sqrt{\frac{E_{\text{нас}} a^2 (4V t_{\text{эксп}} / \pi d_{\text{СВ}} + 1)}{\pi \tau L_e}}. \quad (10)$$

Таким образом, регулировка величины $D_{\text{вх}}$ должна осуществляться обратно пропорционально корню квадратному от k_b или при выбранном значении $t_{\text{эксп}}$ в первом приближении прямо пропорционально корню квадратному от скорости движения V .

С помощью компьютерного моделирования для разработанной схемы ОЭС КПРМ построены зависимости $D_{\text{вх}}(V)$ (рис. 3) при $a_1 = a_2 = 35$ мм, $Z_1 = 2500$ мм, $t_{\text{эксп}} = 0,02$ с и $t_{\text{эксп}} = 0,005$ с (кривые 1 и 2 соответственно).



Как видно из графиков, при $V = 2 \dots 10$ км/ч величина зрачка $D_{\text{вх}}$ должна быть увеличена почти в 2 раза. При этом если размер зрачка не увеличивать в 2 раза, то уменьшится отношение сигнал / шум (μ), что и вызовет дополнительную погрешность. Согласно выражениям (3) и (4) с учетом представленной на рис. 4 зависимости погрешности системы составляют 0,068 мм при определении смещений и 1,22 мм при определении дистанции.



Из выражения (8) следует, что компенсации воздействия смаза изображения на определение координат y_1 и y_2 в случае регулировки величины $t_{\text{эксп}}$ должна осуществляться обратно пропорционально скорости движения и может обеспечиваться электронными средствами. Если использовать предложенные способы коррекции воздействия, то проведенная на компьютерной модели оценка дополнительной погрешности определения координат смещения ФБ при $V = 2 \dots 10$ км/ч, обусловленной неточностью задания скорости движения, равной $\delta V = 0,05$, не будет превышать 0,05 мм.

Для подтверждения методического подхода к оценке влияния смаза изображения на определение координат РМ были проведены экспериментальные исследования на разработанном стенде (рис. 5), содержащем: фотоприемный блок 1; гониометрическую подвижку 2, которая может перемещаться от 0 до 5 м по направляющей 3 в направлении оси OZ ; лазерный дальномер 4, контролирующий координату подвижки 2 с погрешностью 0,1 мм; поперечную подвижку 6, позволяющую задавать поперечные смещения (OX) с линейной скоростью до 3,5 м/с; направляющую 5, расположенную в вертикальной плоскости перпендикулярно направлению движения подвижки 6 и позволяющую задавать перемещение вдоль оси OY в диапазоне от -140 до 140 мм; индикатор опор 7 и фотоприемные модули 8, сигналы с которых поступают на блок обработки 9. Исследования проводились при разрешении видеокамер

1280×200 пкс, частоте кадров в каналах, равной 60 Гц, и количестве измерений на каждой дистанции не менее 50.

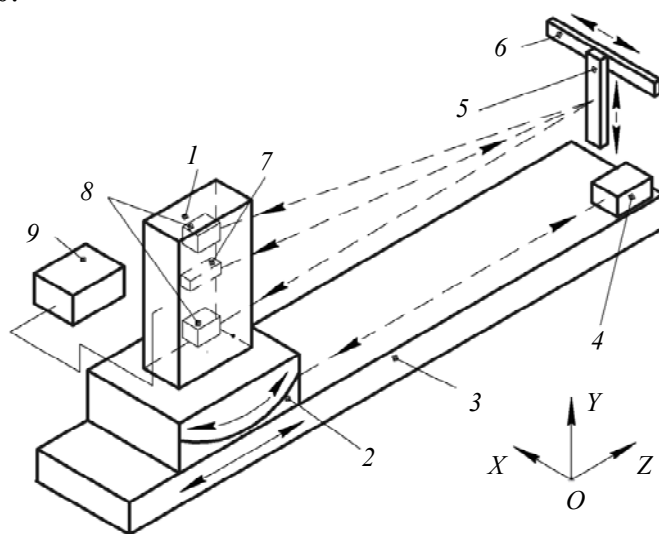


Рис. 5

После статистической обработки результатов, измеренных в двух противоположных направлениях движения фотоприемного блока, получены зависимости вариации показаний системы от задаваемой дистанции до РМ: см. рис. 6, где график 1 — разность средних значений выборок при измерении Z_1 , полученных при прямом и обратном ходе, график 2 — разность средних значений выборок при измерении вертикального смещения в тех же условиях.

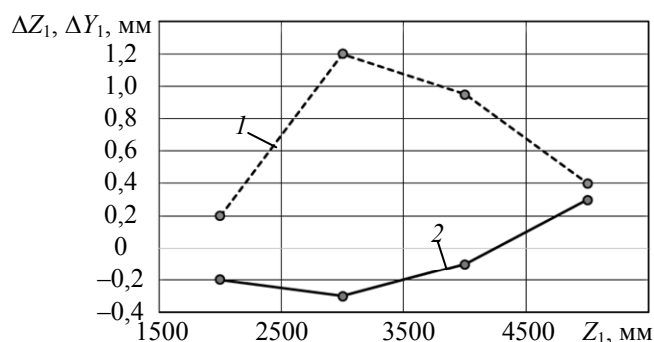


Рис. 6

При определении величины Z_1 средние арифметические значения выборок, полученные при прямом и обратном ходе, сопоставимы. Максимальное расхождение результатов, составляющее 1,2 мм, соответствует $Z_1=3000$ мм, тогда как для максимальной дистанции измерений расхождение составляет 0,35 мм.

Итак, среди основных причин, вызывающих вариацию показаний ОЭС КПРМ при изменении ее скорости, следует отметить смаз изображений РМ, формируемых на матричном поле фотоприемника.

Расчеты по формулам (8)—(10) и экспериментальные исследования показали, что для опытного образца системы при скорости фотоприемного блока от 2 до 10 км/ч без компенсации влияния смаза изображений погрешность определения координат РМ увеличится в 5 раз. Предложено влияние смаза изображения компенсировать путем изменения времени экспозиции либо изменения размера зрачка оптической системы.

Экспериментальные исследования, проведенные на стенде, показали, что погрешности контроля положения пути зависят от направления движения системы и носят систематический характер, который может быть учтен. Динамические испытания образца системы

со штатными метками подтвердили правильность оценок погрешности по предложенной методике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самратов У. Д., Сакович Л. А., Кривдин Д. Г. О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью автоматизированных путеизмерительных комплексов // *Геопрофи.* 2008. № 7. С. 28—32.
2. Актуальные проблемы выправки и приемки пути после ремонта / А. Я. Коган, К. Б. Еришова, В. В. Петуховский и др. // *Путь и путевое хозяйство.* 2007. № 5. С. 7—9.
3. Боронахин А. М., Гупалов В. И., Филипеня Н. С. К вопросу о синтезе путеизмерительных комплексов нового поколения // *Железные дороги мира.* 2004. № 8.
4. Коротаев В. В., Мараев А. А., Тимофеев А. Н. Телеориентирование в луче с оптической равносигнальной зоной: Монография / Под общ. ред. А. Н. Тимофеева. СПб: Ун-т ИТМО, 2015. 326 с.
5. Precision system for motion path parameters measurement of wheel and rail transport / I. A. Konyakhin, A. N. Timofeev, K. G. Arakantsev // *Proc. of the Intern. Symp. on Instrumentation Science and Technology; Institute of Physics Publishing.* 2006. Ser. 48. P. 998—1002. DOI:10.1088/1742-6596/48/1/186.
6. Пат. 2387561 РФ, МПК B61K 9/08. Оптико-электронная система для контроля пространственного положения железнодорожного пути / К. Г. Араканцев, В. В. Коротаев, А. Н. Тимофеев и др. Оpubл. 27.04.2010. Бюл. № 12.
7. Пат. 2424932 РФ, МПК B61K 9/08. Оптико-электронная система для контроля пространственного положения железнодорожного пути / В. В. Коротаев, А. В. Пантюшин, А. Н. Тимофеев и др. Оpubл. 27.07.2011. Бюл. № 21.
8. Pantyushin A., Korotaev V. Control measurement system for railway track position // *Proc. SPIE 8486. Current Developments in Lens Design and Optical Engineering XIII.* 2012. N 11. 84861B. DOI:10.1117/12.930503.
9. Коротаев В. В., Пантюшин А. В., Тимофеев А. Н. Оптико-электронные системы контроля положения реперных меток // *Путь и путевое хозяйство.* 2012. № 11. С. 34—37.
10. Алеев А. М., Араканцев К. Г., Тимофеев А. Н., Еришова К. Б., Петуховский В. В., Петуховский С. В. Оптико-электронная система контроля положения железнодорожного пути относительно реперных меток // *Изв. вузов. Приборостроение.* 2008. Т. 51, № 9. С. 18—22.
11. 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, iss. 8. P.507—510.
12. Arakantsev K. G., Koniakhin I. A., Timofeev A. N. Inner-base optoelectronic system for the control of linear displacements // *Proc. of the 9th Intern. Symp. on Measurement Technology and Intelligent Instruments.* Saint Petersburg, Russia, 29 June — 2 July, 2009. St. Petersburg, 2009. P. 253—257.
13. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во „Лань“, 2015. 400 с.
14. Якушенков Ю. Г. Основы оптико-электронного приборостроения: Учебник. М.: Логос, 2013. 376 с.
15. Алеев А. М., Араканцев К. Г. Экспериментальная оценка систематических погрешностей измерения смещений внутрибазной оптико-электронной системой контроля положения железнодорожного пути // *Тр. Пятой междунар. конф. молодых ученых и специалистов „Оптика-2007“.* Санкт-Петербург, 15—19 окт. 2007. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. С. 230—231.
16. Жуков Д. В., Пантюшин А. В., Серикова М. Г. Повышение точностных характеристик методом оптимизации параметров алгоритма в оптико-электронной системе контроля положения реперных меток // *Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО.* 2008. Вып. 49. С. 183—188.
17. Ишанин Г. Г., Козлов В. В. Источники оптического излучения: Учеб. пособие. СПб: Политехника, 2009. 415 с.
18. Ишанин Г. Г., Челибанов В. П. Приемники оптического излучения: Учеб. пособие. СПб: Изд-во „Лань“, 2014. 304 с.

Сведения об авторах

Фам Нгок Туан

— аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: ngoctuan1301@gmail.com

Екатерина Николаевна Пантюшина

— аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: enkuleshova@mail.ru

- Александр Николаевич Тимофеев** — канд. техн. наук, Университет ИТМО; кафедра опτικο-электронных приборов и систем; ст. научный сотрудник; E-mail: timofeev@grv.ifmo.ru
- Александр Сергеевич Васильев** — канд. техн. наук; Университет ИТМО; кафедра опτικο-электронных приборов и систем; E-mail: a_s_vasilev@corp.ifmo.ru
- Динь Ба Минь** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра опτικο-электронных приборов и систем; E-mail: dinhbaminh@mail.ru

Поступила в редакцию
20.08.18 г.

Ссылка для цитирования: Фам Нгок Туан, Пантюшина Е. Н., Тимофеев А. Н., Васильев А. С., Динь Ба Минь. Влияние скорости движения опτικο-электронной системы на погрешность контроля положения железнодорожного пути // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 9. С. 814—822.

INFLUENCE OF THE SPEED OF THE OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM MOVEMENT ON THE CONTROL ERROR OF THE RAILWAY TRACK POSITION

Pham Ngoc Tuan, E. N. Pantyushina, A. N. Timofeev,
A. S. Vasilev, Dinh Ba Minh

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia E-mail: timofeev@grv.ifmo.ru

The effects of movement of a stereoscopic optoelectronic system on error components in monitoring the railway position at various speeds of the system are studied. Formulas for estimating the reference marks position errors in the vertical plane and along the track are derived. It is shown that the negative effects of motion-related image blurry on accuracy of reference mark coordinates measurements can be compensated by variation of the optical system pupil size or the video camera exposure time. Results of experimental studies of the system prototypes both in a stationary position and in motion are presented.

Keywords: stereoscopic optoelectronic system, control of spatial position, dynamic error, reference mark, railroad track

REFERENCES

1. Samratov U.D., Sakovich L.A., Krivdin D.G. *Geoprofi*, 2008, no. 7, pp. 28–32. (in Russ.)
2. Kogan A.Ya., Ershova K.B., Petukhovskiy V.V. et al. *Railway Track and Facilities*, 2007, no. 5, pp. 7–9. (in Russ.)
3. Boronakhin A. M., Gupalov V. I., Filipenya N. S. *Zheleznyye dorogi mira*, 2004, no. 8. (in Russ.)
4. Korotaev V.V., Maraev A.A., Timofeev A.N. *Teleorientirovanie v luche s opticheskoy ravnosignal'noy zonoj* (Teleorientation in a Beam with an Optical Equal-Signal Zone), St. Petersburg, 2015, 339 p. (in Russ.)
5. Konyakhin I.A., Timofeev A.N., and Arakantsev K.G. *International Symposium on Instrumentation Science and Technology*, Institute of Physics Publishing, Journal of Physics: Conference, Ser. 48, 2006, pp. 998–1002. DOI:10.1088/1742-6596/48/1/186
6. Patent 2387561 RU, B61K 9/08 (2006.01) E01B 35/00 (2006.01), *Optiko-elektronnaya sistema dlya kontrolya prostranstvennogo polozheniya zheleznodorozhnogo puti* (Optoelectronic System to Control the Spatial Position of the Railway Track), Arakantsev K.G., Korotayev V.V., Timofeyev A.N. et al. Patent application no. 23.03.2009, Published 27.04.2010. Bulletin 12. (in Russ.)
7. Patent 2424932 RU, B61K 9/08, E01B 35/00, G 01B 11/00, *Optiko-elektronnaya sistema dlya kontrolya prostranstvennogo polozheniya zheleznodorozhnogo puti* (Optoelectronic System to Control the Spatial Position of the Railway Track), V.V. Korotayev, A.V. Pantyushin, A.N. Timofeyev et al. Priority 30.12.2009, Published 27.07.2011, Bulletin 21. (in Russ.)
8. Pantyushin A. and Korotaev V. *Proc. SPIE, Current Developments in Lens Design and Optical Engineering XIII*, October 11, 2012, vol. 8486, pp. 84861B. DOI:10.1117/12.930503; <http://dx.doi.org/10.1117/12.930503>
9. Korotayev V.V., Pantyushin A.V., Timofeyev A.N. *Railway Track and Facilities*, 2012, no. 11, pp. 34–37. ISSN 0033-4715 (in Russ.)
10. Aleyev A.M., Arakantsev K.G., Timofeyev A.N., Ershova K.B., Petukhovskiy V.V., Petukhovskiy S.V., Kholin A.E. *Journal of Instrument Engineering*, 2008, no. 9(51), pp. 18–22. (in Russ.)
11. Pantyushin A.V., Serikova M.G., Timofeev A.N. *Journal of Optical Technology*, 2009, no. 8(76), pp. 507–510.
12. Arakantsev K.G., Koniakhine I.A., Timofeev A.N. *Proceedings of the 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments*, St. Petersburg, Russia, 29 June–2 July, 2009, 2009, pp. 253–257. (in Russ.)
13. Latyev S.M. *Konstruirovaniye tochnykh (opticheskikh) priborov* (Designing of Precision (Optical)

- Instruments), St. Petersburg, 2015, 400 p. (in Russ.)
14. Yakushenkov Yu.G. *Osnovy optiko-elektronного priborostroyeniya* (Fundamentals of Optical-Electronic Instrument Making), Moscow, 2013, 376 p. (in Russ.)
 15. Aleyev A.M., Arakantsev K.G. *Trudy 5-y mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov "Optika-2007"* (Proceedings of the Fifth International Conference of Young Scientists and Specialists "Optics-2007"), St. Petersburg, 15–19 October 2007, pp. 230–231. (in Russ.)
 16. Zhukov D.V., Pantyushin A.V., Serikova M.G. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2008, pp. 183–188. (in Russ.)
 17. Ishanin G.G., Kozlov V.V. *Istochniki opticheskogo izlucheniya* (Sources of Optical Radiation), St. Petersburg, 2009, 415 p. (in Russ.)
 18. Ishanin G.G., Chelibanov V.P. *Priyemniki opticheskogo izlucheniya* (Receivers of Optical Radiation), St. Petersburg, 2014, 304 p. (in Russ.)

Data on authors

- | | | |
|---------------------------------|---|--|
| Pham Ngoc Tuan | — | Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: ngoctuan1301@gmail.com |
| Ekaterina N. Pantyushina | — | Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: enkuleshova@mail.ru |
| Alexander N. Timofeev | — | PhD, ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Senior Scientist; E-mail: timofeev@grv.ifmo.ru |
| Aleksander S. Vasilev | — | PhD; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: a_s_vasilev@corp.ifmo.ru |
| Dinh Ba Minh | — | Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: dinhbaminh@mail.ru |

For citation: Pham Ngoc Tuan, Pantyushina E. N., Timofeev A. N., Vasilev A. S., Dinh Ba Minh. Influence of the speed of the optical-electronic system movement on the control error of the railway track position. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 9. P. 814–822 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-9-814-822