

УДК 629.113
DOI:

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДАЛЬНОМЕРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ТОЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.М. Асхабов, Е.С. Воеводин, В.А. Зеер, А.С. Кашура
Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью проводимых исследований было определение параметров и характеристик лазерных измерительных систем, обеспечивающих снижение погрешностей измерения геометрических параметров транспортных средств.

Поставленная цель достигалась за счет решения актуальной задачи, связанной с исследованием параметров лазеросодержащего оборудования и определения требований к точности (паспортной погрешности) лазерных дальномеров, применяемых при контроле геометрических параметров транспортных средств.

Материалы и методы. Для выполнения сформулированной задачи был создан и использован алгоритм вычисления пространственных координат точек автомобиля и погрешностей их определения. В данном случае вычисления пространственного положения точки и ее погрешности было сведено к определению и решению системы уравнений второго порядка в программной среде *Mathcad*. В качестве контролируемых и измеряемых параметров при вычислении координат принимались расстояния от лазерных измерителей до исследуемых точек автомобиля.

Результаты. Среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками существенно снижается при уменьшении паспортной погрешности лазерных дальномеров. При величине паспортной погрешности лазерных дальномеров равной 0,8 мм – среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками (от 0 до 3 000 мм) составляет 2,2–2,9 мм, а погрешность определения контрольной точки 1,5–1,9 мм.

Обсуждение и заключение. Проведенные исследования показали, что необходимо сопоставлять достигаемые параметры точности при заданной конфигурации лазерной измерительной системы с предъявляемыми нормативными ограничениями на погрешность измерений. Дальнейшее улучшение характеристик точности измерительных систем возможно за счет прогрессивного снижения погрешности лазерных дальномеров в результате их технического совершенствования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортные средства, геометрические параметры, измерительные системы, погрешность измерений, повышение точности, лазерные измерители.

БЛАГОДАРНОСТИ: выражается особая благодарность коллективу кафедры транспорта ПИ СФУ, оказавшему значительную поддержку при подготовке материалов настоящей статьи.

© А.М. Асхабов, Е.С. Воеводин, В.А. Зеер, А.С. Кашура



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF RANGE FINDERS WITH THE IMPROVED CHARACTERISTICS ON THE ACCURACY OF GEOMETRICAL PARAMETERS CONTROL OF VEHICLES

A. M. Askhabov, E.S. Voevodin, V.A. Zeer, A.S. Kashura
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The purpose of the research is the determination of parameters and characteristics of the laser measuring systems providing decrease in errors of measurement of geometrical parameters of vehicles.

The goal is achieved at the expense of the solution of the relevant task connected with the parameters research of the laser equipment and definition of requirements to accuracy (a passport error) of the laser range finders applied at geometrical parameters control of vehicles.

Methods and materials. The algorithm of calculation of spatial coordinates of the car points and errors of their definition has been created and used for the research. In this case calculations of spatial provision of the point and its error have been reduced to definition and to the solution of the equations system of the second order in the MathCAD program environment. As the controlled and measured parameters at coordinates' calculation of distances from laser measuring instruments to the studied car points were accepted.

Results. As a result, the mean square error of measurement of distance between control points significantly decreases at reduction of the passport error of laser range finders. At the size of the passport error of laser range finders equals 0,8 mm, the mean square error of measurement of distance between control points (from 0 to 3000 mm) equals 2,2-2,9 mm, and an error of definition of the control point is 1,5-1,9 mm.

Discussion and conclusion. The conducted research demonstrates that it is necessary to compare the reached accuracy parameters at the set configuration of laser measuring system with the shown standard restrictions for an error of measurements. Therefore, further improvement of characteristics of accuracy of measuring systems is possible due to progressive decrease in an error of laser range finders as a result of their technical improvement.

KEYWORDS: vehicles, geometrical parameters, measuring systems, error of measurements, increase in accuracy, laser measuring instruments.

ACKNOWLEDGMENTS: The authors express special thanks to the staff of the Transport Department of the Siberian Federal University for providing significant support in the preparation of the article materials.

© A. M. Askhabov, E.S. Voevodin, V.A. Zeer, A.S. Kashura



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование контрольно-измерительного оборудования, применяемого для технологических операций при техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р) транспортных средств (ТС), часто достигается не только за счет применения новых идей и технологий, а в том числе и за счет эволюционного развития средств измерений и улучшения их качественных и потребительских характеристик¹. Сказанное выше применимо и к лазерным измерительным системам, предназначенным для проверки геометрических параметров ТС (геометрических параметров кузова и расположения осей, мостов и колесных тележек; углов установки колес (УУК) и пр.), характеристики которых могут серьезно корректироваться под воздействием различных сторонних факторов в процессе эксплуатации ТС. В настоящее время лазерные измерительные системы, наряду с механическими, ультразвуковыми и др., получили достаточное распространение в сфере контроля геометрических параметров ТС [1]. Применение лазеросодержащего оборудования на основе бесконтактных измерителей (лазерных измерителей, дальномеров) в сфере ТО и РТС в условиях их эксплуатации предполагает множественную вариативность его исполнения. Каждая вариация исполнения измерительной системы обладает определенной погрешностью получаемых результатов измерений. Отсутствие или недостаток сведений о зависимости точности результатов измерений от характеристик и параметров лазеросодержащего оборудования вызывает противоречие, ограничивающее его повсеместное применение в сфере ТО и Р автомобилей.

Особое внимание при анализе было уделено исследованиям, связанным с новыми перспективными технологиями на основе лазерного и оптического контроля, а также новым подходам при изучении вопросов контроля геометрических параметров. В настоящее время эти технологии могут применяться при: позиционировании объектов [2], контроле геометрии [3, 4], измерении формы колес с помощью оптических методов [5], определении габаритных параметров автомобилей [6], обеспечении параметров управляемости и устойчивости транспортных средств [7, 8],

а также обеспечении других параметров безопасности автомобиля [9]. Кроме этого, практической ценностью обладает опыт использования подобных измерений в других областях: точное расположение лазерного луча для измерения растительности [10], контроль технических структур в геодезии [11], применение лазерного сканера в техническом зрении [12], использование лазерных дальномеров в картографии [13], а также при анализе вопросов улучшения метрологических характеристик и точности измерений [14, 15, 16].

Следует отметить, что на сегодняшний день примеры использования лазера в техническом сервисе автомобилей практически неизвестны и его применение ограничено лишь измерениями геометрических параметров ТС, а его луч используется, как правило, только лишь в качестве визира.

Как показал анализ технической документации по обслуживанию ТС иностранного производства, замеры контролируемых параметров в основном производятся по точкам крепления узлов и агрегатов шасси (кузова) автомобиля. Допуски (погрешности измерения), в зависимости от марки и модели транспортного средства, в основном составляют от 1 до 3 мм. Отечественные нормативные документы имеют следующие допуски: ГОСТ 22748–77 «Автотранспортные средства. Номенклатура наружных размеров. Методы измерений» – 8–30 мм в зависимости от линейного размера; РД 37.009.024–92 «Приемка, ремонт и выпуск из ремонта кузовов легковых автомобилей предприятиями автотехобслуживания» устанавливает на большинство регламентируемых линейных размеров погрешность измерения более 2 мм. Помимо этого отечественные изготовители могут применять отдельные ТУ и РД, в которых учитываются допуски на линейные размеры до 3–5 мм.

Исходя из вышеуказанных показателей погрешности, а также с учетом экономической эффективности на сегодняшний день наибольшее распространение получили механические измерительные системы (использование шаблонов, измерительные линейки и т.п.), ультразвуковые и оптические системы повышенной точности.

Авторами настоящей статьи ранее был выполнен ряд работ и опубликованы материалы

¹ Солдатов А.А. Повышение качества контроля геометрических параметров кузова автомобиля путем автоматизации процесса: автореферат дис. кандидата техн. наук: 05.13.06 / А.А. Солдатов; Тольяттинский гос. ун-т; рук. работы О.И. Драчев. Тольятти: [б.и.], 2004. 17 с.

с результатами исследований, раскрывающих:

- вопросы оптимизации параметров лазерных систем контроля геометрических параметров ТС;

- проблемы создания лазерных систем контроля и погрешности проводимых измерений [17, 18];

- особенности разработки алгоритма измерений и методики исследования погрешности измерения, обеспечиваемых «3D-системами»² [19];

- алгоритмические нюансы вычисления погрешностей измерения координат контрольных точек ТС [20].

Следует учитывать, что измерительное оборудование с каждым годом совершенствуется и приобретает качества и характеристики, какими оно не обладало еще несколько лет назад. Это утверждение касается и ключевой составляющей лазерных измерительных систем – лазерного дальномера. Анализ различной продукции дальномеров показал, что за последнее время показатели точности некоторых действующих образцов существенно улучшились: среднеквадратическое отклонение (СКО) прямого измерения снизилось почти в два раза – с 1,5 мм до 0,8 мм, что требует изучения влияния снижения СКО на точность проводимых измерений координат контрольных точек ТС.

Исходя из вышесказанного целью проводимых исследований стало определение параметров и характеристик лазерных измерительных систем, обеспечивающих снижение среднеквадратических отклонений измерения геометрических параметров ТС.

Поставленная цель достигается за счет решения актуальной задачи, связанной с исследованием параметров лазеросодержащего оборудования и определения требований к точности (паспортной погрешности) лазерных дальномеров, применяемых при контроле геометрических параметров ТС, находящихся в эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс измерения и контроля геометрических параметров автомобиля представляется возможным рассмотреть с точки зрения системного подхода и сложных систем с учетом внутренних и внешних связей между техническими и организационными параметрами. Таким образом, в процессе измерения и контроля геометрических параметров ТС участвуют:

- исследуемое ТС (сложный многосоставной объект), обладающее определенными геометрическими параметрами конструкции;

- технический персонал, который устанавливает параметры измерительной системы и режимы измерений, с определенными психофизиологическими особенностями и индивидуальным пониманием процесса и методики проведения диагностических воздействий;

- измерительная система контроля и измерения геометрических параметров ТС с заданными (паспортными) техническими свойствами и техническим состоянием, действительным на момент проведения измерений;

- производственная зона или диагностический участок со специализированным технологическим оборудованием, инструментарием и оснасткой;

- факторы внешней среды, а также условия проведения технологических работ и методика измерений геометрических параметров.

Каждый из выше рассмотренных факторов как в отдельности может вносить значительный вклад в формирование неточности измерений, так и в случае совокупного действия факторов погрешность измерения может значительно увеличиваться.

Теория системного анализа представляет возможность рассматривать объект исследования как совокупность различных внутренних параметров. В том случае если объект испытания (процедуру измерения геометрических параметров автомобиля) рассмотреть как черный ящик, то входящие и выходящие связи при измерении геометрических параметров можно представить в соответствии со схемой, отображенной на рисунке 1.

² Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Методика исследования погрешностей измерения координат контрольных точек транспортных средств. Политранспортные системы Сибири : материалы VI Всероссийской науч.-техн. конференции (Новосибирск, 21–23 апр. 2009 г.). Новосибирск: СГУПС, 2009. С. 88–93.

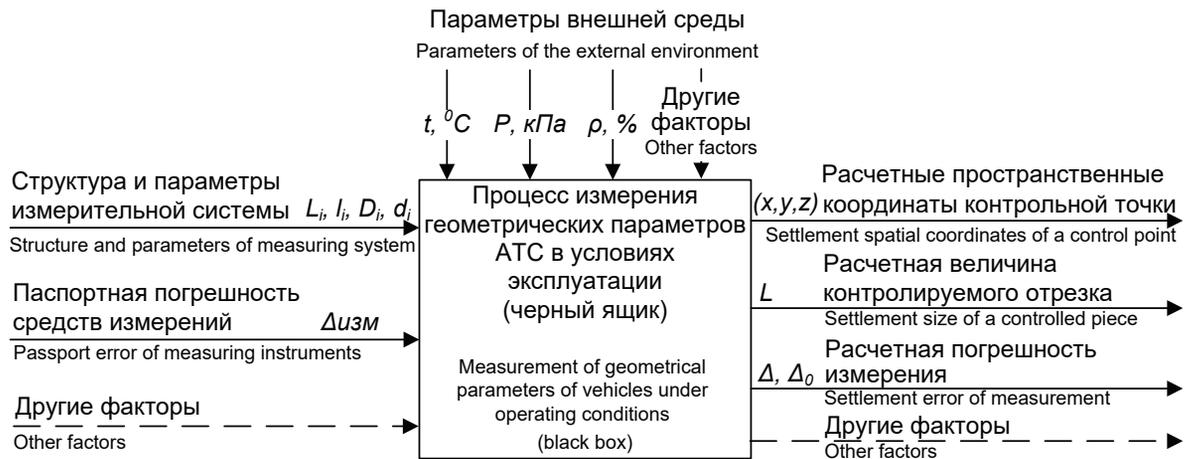


Рисунок 1 – Процесс измерения геометрических параметров ТС
Figure 1 – Process of measurement of the vehicle geometrical parameters

В таком представлении процедуры измерения параметров напрашивается мысль о том, что входные процессы непосредственно влияют и на выходные. Таким образом, если входные процессы будут корректироваться, то и на выходе системы будут формироваться различные варианты результатов измерения.

В результате коррекции входных сигналов формируются процессы отклика и на выходе системы: меняются вычисленные значения координат (x, y, z) контрольных точек объекта, преобразуется вычисленный размер длины контролируемого отрезка, меняется величина вычисленного отклонения измерения контролируемого параметра.

Визуализация процесса измерения и контроля геометрических параметров ТС с точки зрения системного подхода позволяет применить при исследовании и изучении систем измерения как глубокий анализ, так и целенаправленный параметрический синтез.

Выявление корректных (рабочих) параметров элементов систем, при установленных структуре и различных условиях применения, соответствует параметрическому синтезу, т.е. при параметрическом синтезе необходимо найти диапазоны значений внутренних параметров, в которых выполняются заданные условия, в рассматриваемой работе – минимум среднеквадратической погрешности измерения.

В рамках ранее опубликованных работ авторами были предложены и рассмотрены различные варианты лазерных измерительных систем [18]. В качестве перспективной для дальнейшего анализа выбрана система на основе трех лазерных дальномеров [19], схема-

тичное изображение которой представлено на рисунке 2.

Способ содержит определение координат (x, y, z) контрольных точек с использованием лучей измерительных элементов, которые сводятся на исследуемой точке D автомобиля. После определения координат искомой точки лазерные лучи наводятся на следующую контрольную точку. В роли измерительных элементов используются 3 лазерных дальномера, которые фиксируются с заданными базовыми координатами, фокусируют лучи на контролируемую точку, определяют длину лучей и вычисляют координаты точки. С целью оптимального замера лазерные измерители перемещаются до образования равносторонней пространственной пирамиды при каждом изменении.

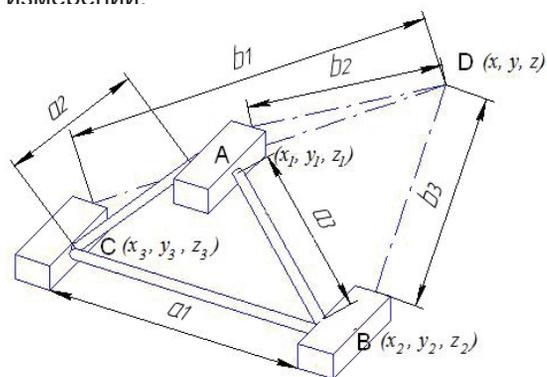


Рисунок 2 – Схематичное изображение измерения
Figure 2 – Scheme of measurement

Расчетные исследования основывались на определении погрешностей измерения положения контрольных точек ТС при использовании различных вариантов лазерных измерительных

систем. Погрешность измерения расстояния между контрольными точками ТС для всех вариантов вычисляется по формуле (1):

$$\Delta_o = \sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2)}, \quad (1)$$

где Δ_1, Δ_2 – СКО 1 и 2 точек отрезка.

Рассмотрим модель расчета положения контрольных точек и погрешностей их измерения. Для выполнения сформулированной задачи был создан и использован алгоритм [19] вычисления пространственных координат точек автомобиля и погрешностей их определения, расчетные элементы которого используются при решении различных навигационных задач, а если точнее – вариация вычисления теоретической погрешности с помощью активно-дальномерного метода определения координат пространственных точек. В данном случае вычисления пространственного положения точки и ее СКО было сведено к определению и решению системы уравнений второго порядка в программной среде Mathcad. В качестве контролируемых и измеряемых параметров при вычислении координат (x, y, z) принимались расстояния от лазерных измерителей до исследуемых точек ТС. Результат измерения можно выразить следующим образом:

$$R_{изм_i} = R_i + \Delta, \quad (2)$$

где Δ – паспортная погрешность измерения;

R_i – истинное расстояние от лазерного измерителя до исследуемой точки ТС.

Взаимосвязь расстояния с пространственными координатами определяется следующим образом:

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}, \quad (3)$$

где $i = 1...3$ – порядковый номер лазерного дальномера;

x_i, y_i, z_i – координаты i -го лазерного дальномера;

x, y, z – искомые координаты исследуемой точки.

В соответствии с формулой (3) составляется система уравнений с тремя неизвестными и решается с помощью итерационного метода Гаусса-Ньютона. Алгоритм является модификацией метода Ньютона для нахождения минимума функции [21]. В отличие от метода Ньютона алгоритм Гаусса-Ньютона может ис-

пользоваться только для минимизации суммы квадратов.

Пространственные координаты начального приближения x_0, y_0, z_0 , применяемые для начального решения системы, выбираются из предварительных данных о месте исследуемой точки.

Для линеаризации уравнений используется ряд Тейлора:

$$R_{изм_i} = R_i + \frac{\partial R_i}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial R_i}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial R_i}{\partial z} \cdot \Delta z, \quad (4)$$

где R_i – рассчитанное по уравнению (3) значение длины луча в точке с пространственными координатами начального приближения (x_0, y_0, z_0) ;

$\frac{\partial R_i}{\partial x}, \frac{\partial R_i}{\partial y}, \frac{\partial R_i}{\partial z}$ – частные производные по установленным переменным x, y, z в пространственной точке (x_0, y_0, z_0) ;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – поправки к подлежащим определению пространственным координатам начального приближения.

Для того чтобы выразить частные производные по координатам x, y, z воспользуемся следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} k_{x_i} &= \left(\frac{\partial R_i}{\partial x} \right)_{x_0} = \frac{x_0 - x_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}}, \\ k_{y_i} &= \left(\frac{\partial R_i}{\partial y} \right)_{y_0} = \frac{y_0 - y_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}}, \\ k_{z_i} &= \left(\frac{\partial R_i}{\partial z} \right)_{z_0} = \frac{z_0 - z_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Формула (4) может быть записана в следующем виде:

$$b = K \cdot n, \quad (6)$$

$$\text{где } K = \begin{pmatrix} k_{x_1} & k_{y_1} & k_{z_1} \\ k_{x_2} & k_{y_2} & k_{z_2} \\ k_{x_3} & k_{y_3} & k_{z_3} \end{pmatrix} \text{ – матрица коэффициентов;}$$

$$n = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \text{ – вектор неизвестных поправок системы к координатам начального приближения;}$$

$b = \begin{pmatrix} R_{ИЗМ1} - R_{01} \\ R_{ИЗМ2} - R_{02} \\ R_{ИЗМ3} - R_{03} \end{pmatrix}$ – вектор-столбец свободных членов, состоящий из ошибок вычислений между измеренными и рассчитанными по координатам начального приближения дальностями.

Вектор неизвестных определяется как итог решения формулы (4) методом последовательных приближений, начиная со значений координат начального приближения (x_0, y_0, z_0) . Затем путем ввода поправок $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ уточняются координаты начального приближения:

$$\begin{aligned} x_{0j} &= x_{0j-1} + \Delta x, \\ y_{0j} &= y_{0j-1} + \Delta y, \\ z_{0j} &= z_{0j-1} + \Delta z. \end{aligned} \quad (7)$$

где j – шаг итерационного процесса.

Далее координаты, которые получены в результате решения формулы (4), используются в качестве новых значений координат начального приближения. Итерационный процесс прекращается при достижении определенного значения точности ζ :

$$\zeta < \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (8)$$

Блок-схема алгоритма определения координат контрольных точек автотранспортного средства представлена на рисунке 3.

Для определения погрешности измерения контролируемого параметра с использованием имитационного моделирования процесса измерения предлагается следующий порядок вычислений, а именно: по формуле (2) определяется $R_{ИЗМi}$, где за Δ принимается вычисленная по нормальному закону распределения паспортная погрешность измерителя. Затем полученные значения дальностей $R_{ИЗМi}$ ($i=1...3$) подставляются в рассмотренный выше алгоритм расчета определения координат контролируемого параметра. Полученные значения пространственных координат контрольной точки обозначаются (x', y', z') .

Таким образом, отклонения по каждой координате в системе пространственных координат имеют следующий вид:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ – отклонения, соответственно по пространственным координатам x, y, z .

Среднеквадратическое отклонение точки представляется в следующем виде:

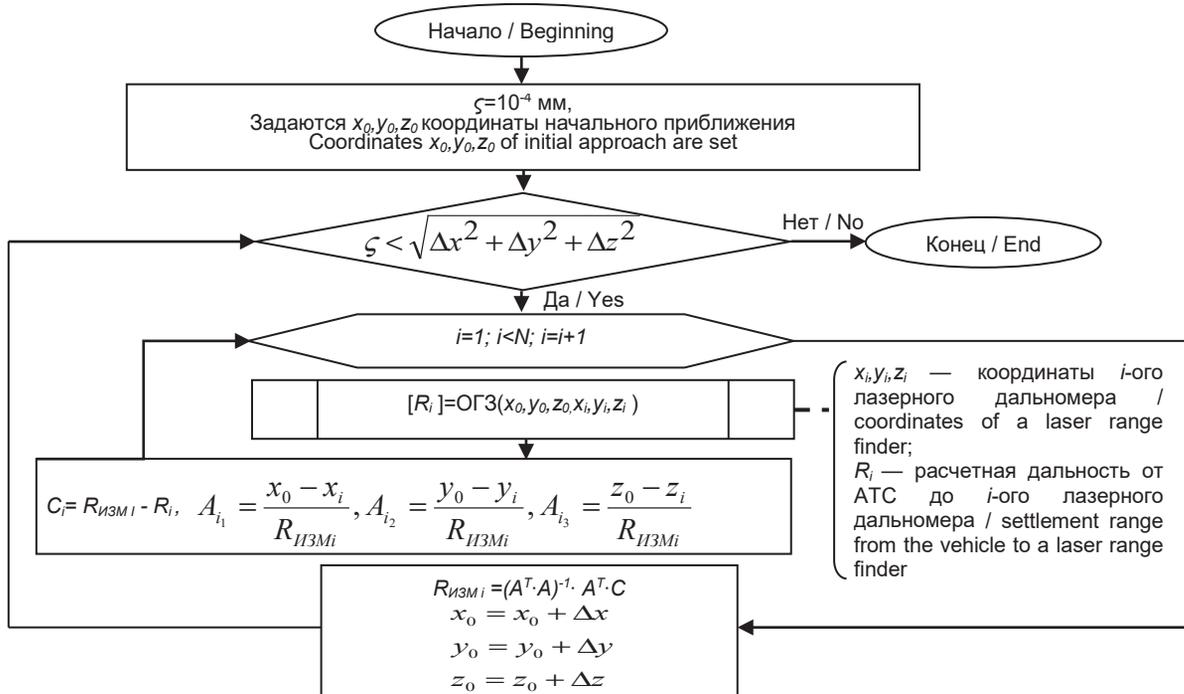


Рисунок 3 – Алгоритм определения координат контрольных точек автотранспортных средств

Figure 3 – Algorithm of the vehicle control points' definition

$$\sqrt{\sum_{i=1}^3 [(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]} =$$

$$= \sqrt{(\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2)} = \Delta \quad (10)$$

Погрешность измерения для контрольного отрезка Δ_o определяется по формуле (1).

Среднеквадратическое отклонение точки Δ или отрезка Δ_o является основным параметром оценки точности измерения контролируемого объекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На данном этапе исследований было рассмотрено влияние паспортной погрешности лазерных дальномеров на величину среднеквадратической погрешности измерения контрольных точек и расстояния между контрольными точками ТС. На сегодняшний день точность дальномеров, которые массово представлены на потребительском рынке и обладают доступной стоимостью, постоянно повышается. В последние несколько лет стали появляться измерительные инструменты с повышенной точностью измерений – 0,8–1 мм. Для дальнейших исследований были проанализированы характеристики действующих образцов продукции (см. таблицу).

При проведении расчетных исследований к начальным параметрам были добавлены условия: паспортная погрешность лазерных дальномеров изменяется в следующих пределах – 0,8 мм, 1,0 мм и 1,5 мм; измерительная система располагается напротив предполагае-

мого центра расстояния между контрольными точками; расстояние между лазерными дальномерами равно расстоянию от дальномеров до контрольной точки.

Зависимости среднеквадратической погрешности измерения расстояния между контрольными точками от паспортной погрешности лазерных дальномеров представлены на рисунке 4.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ представленных графиков показывает, что среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками существенно снижается при уменьшении паспортной погрешности лазерных дальномеров. При величине паспортной погрешности лазерных дальномеров, равной 0,8 мм, – среднеквадратическая погрешность измерения расстояния между контрольными точками (от 0 до 3 000 мм) составляет 2,2–2,9 мм, а погрешность определения контрольной точки 1,5–1,9 мм.

Обзор технической документации по обслуживанию ТС показал, что допуски (погрешности измерения), в зависимости от марки и модели транспортного средства, в основном составляют до 3 мм. В некоторых случаях могут предъявляться требования повышенной точности измерений до 1–2 мм.

Исходя из вышесказанного можно заключить, что необходимо сопоставлять достигаемые параметры точности при заданной конфигурации лазерной измерительной системы с предъявляемыми нормативными ограничениями на погрешность измерений. Дальнейшее улучшение характеристик точности измерительных систем возможно за счет про-

ТАБЛИЦА
Характеристики некоторых лазерных дальномеров
TABLE
Characteristics of some laser range finders

№	Модель дальномера Measuring instrument model	Диапазон измерений, м Measuring range, m	Точность измерения, ± мм Measurement accuracy, ± mm	Ориентировочная стоимость, тыс. руб. Estimated cost, ×10 ³ russian ruble
1	Dimetix FLS-C10	0,05-65	0,8 (режим увеличенной точности - команда настройки sNuc+0+2) 1,0 (обычный режим)	79,5
2	Leica Disto D810	0,1-200	1,0	62,6
3	Bosch GLM 150	0,05-150	1,0	15,3
4	Condrol XP1	0,15-50	1,5	4,2
5	Bosch PLR 25	0,05-25	2	3,75
6	Condrol Smart 20	0,2-20	3	2,0
7	Condrol Infiniter 30	0,05-30	5	1,99

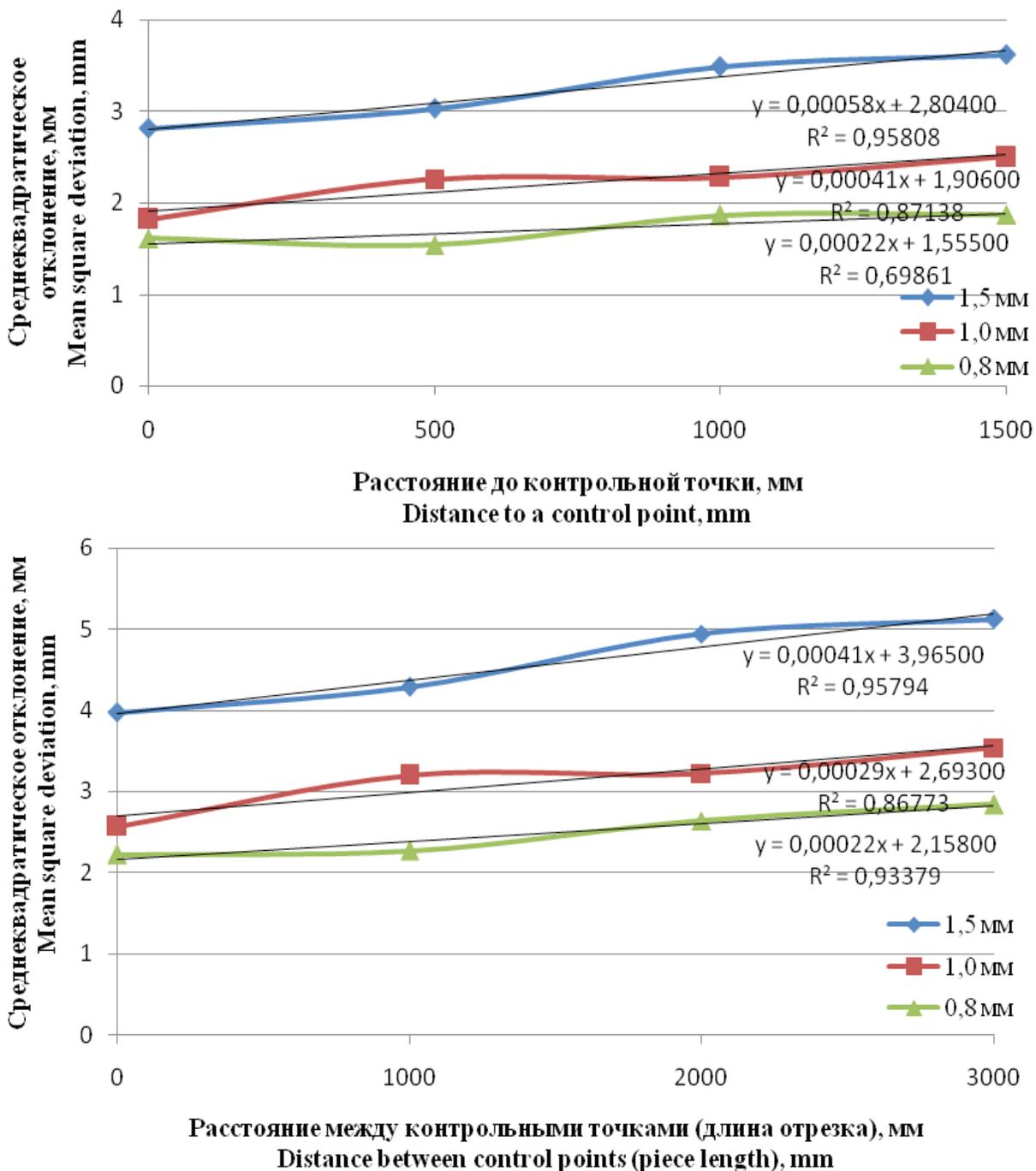


Рисунок 4 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения расстояния между контрольными точками от паспортной погрешности лазерных дальномеров

The figure 4 – Dependence of the mean square error of distance measurement between control points from the passport error of laser range finders

грессивного снижения погрешности лазерных дальномеров в результате их технического совершенствования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дамшен К. Ремонт автомобильных кузовов. М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2007. 240 с.

2. Real-Moreno O., Rodriguez-Quinonez J.C., Hernandez-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Sergiyenko O., Rivas-Lopez M., Basaca-Preciado L.C. Accuracy Improvement in 3D Laser Scanner Based on Dynamic Triangulation for Autonomous Navigation System. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 26. Ser. "Proceedings - 2017 IEEE International Symposium

on Industrial Electronics, ISIE 2017", 2017, pp. 1602-1608. DOI: 10.1109/ISIE.2017.8001486.

3. Borecki M., Prus P., Korwin-Pawlowski M.L., Rychlik A., Kozubel W. Sensor Set-Up for Wireless Measurement of Automotive Rim and Wheel Parameters in Laboratory Conditions. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Ser. "Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017", 2017, pp. 1044569. DOI: 10.1117/12.2280970.

4. Li X.-Q., Wang Z., Fu L.-H. A Laser-Based Measuring System for Online Quality Control of Car Engine Block. Sensors, 2016. vol. 16, no 11, p. 1877. DOI: 10.3390/s16111877.

5. S. Mohammad Mousavi G., Davood Younesian, Mehran Torabi. A High Accuracy Imaging and Measurement System for Wheel Diameter Inspection of Railroad Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018 (Early Access), p. 1 – 1. DOI: 10.1109/TIE.2018.2803780.

6. Xu Zewei, Peng Jieru, Chen Xianqiao. A method for vehicle three-dimensional size measurement based on laser ranging. 2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), IEEE Conferences, 2015, pp. 34 – 37. DOI: 10.1109/ICTIS.2015.7232075.

7. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of the Main Coordinates of the Car with Two-Level Spring Suspension. International Journal of Applied Engineering Research, 2016, vol. 11, no 20, pp. 10367-10373. Режим доступа: http://www.ripublication.com/ijaer16/ijaerv11n20_52.pdf.

8. Liangliang Yang, Yohei Hoshino, Soichiro Suzuki, Ying Cao. Calibration of an auto-steering system using a line-type laser and a camera without necessary of running the vehicle. 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2016, pp. 586 – 591. DOI: 10.1109/SII.2016.7844062.

9. Ho-Hsing Hsieh, Chi-Yao Hsu, Po-Yu Ke, Guang-Sheen Liu, Chih-Ping Lin. Applying Lidar-based obstacle detection and wireless image transmission system for improving safety at level crossings. 2015 International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST), IEEE Conferences, 2015, pp. 363 – 367. DOI: 10.1109/CCST.2015.7389711.

10. Lindner L., Sergiyenko O., Rivas-López M., Hernández-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Rodríguez-Quirón J.C., Ivanov M., Tyrsa V., Murieta-Rico F.N., Básaca-Preciado L.C. Exact Laser Beam Positioning for Measurement of Vegetation Vitality. Industrial Robot, 2017, vol. 44, no. 4, pp. 532-541. DOI: 10.1108/IR-11-2016-0297.

11. Malik T., Burachek V., Bryk Ya. Method Automatic Geodetic Total Control Deformation

of Engineering Structures. Technical Sciences and technologies, 2016, no 1 (3). pp. 145-152. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_27511623_64211709.pdf.

12. Shih-Jer Huang, Chien-Chang Tsai. Vehicle lane detection and following based on vision system and laser scanner. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), IEEE Conferences, 2017, pp. 1446 – 1449. DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988188.

13. Sun Peng, Wang Xinhua, Yang Yurong. Real-Time Onboard Mapping and Localization of an Indoor MAV Using Laser Range Finder. 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), IEEE Conferences, 2017, pp. 1612 – 1617. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336.

14. Guo J., Wu T., Liang Z., Wang Y., Han J. High Precision Absolute Distance Measurement with the Fiber Femtosecond Optical Frequency Comb. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7, New Century, New Technology and New Development. Ser. "Seventh International Symposium on Precision Mechanical Measurements", 2016, p. 99031L. DOI: 10.1117/12.2212626.

15. Yatsenko I.V., Antonyk V.S., Hordienko V., Kyrychenko O.V., Kholin V.V. Improvement of Metrological Specifications of Impulse Laser Rangefinders by Finishing Electron Ray Processing of Their Optical Elements. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Приладобудування, 2016, no 52 (2). pp. 52-58. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_29735841_46758553.pdf.

16. Guo Ming, Dong Shuzhuang, Sheng Xinxin, Cheng Cai, Pan Deng. Research on calibration technology of vehicle laser scanning system. 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), IEEE Conferences, 2017, pp. 2889 – 2893. DOI: 10.1109/CompComm.2017.8323060.

17. Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Анализ и синтез лазерных систем контроля геометрических параметров транспортных средств. Вестник СибАДИ: научный рецензируемый журнал. 2010. № 2 (16). С. 8–13. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_17888738_26193520.pdf.

18. Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Лазерные системы контроля геометрических параметров АТС. Автомобильная промышленность. 2010. № 8. С. 30–32.

19. Блянкинштейн И.М., Валиханов М.М., Кашура А.С. Алгоритм методика исследования погрешностей измерения геометрических

параметров АТС 3D-системами. Автомобильная промышленность. 2009. № 11. С. 31–35.

20. Блянкинштейн И.М., Кашура А.С. Алгоритмические нюансы исследования погрешностей измерения координат контрольных точек транспортных средств. Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. Иркутск: 2014. № 2 (85). С. 149-153. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_21249452_42241799.pdf.

21. Gratton S., Lawless A., Nichols N. Approximate Gauss–Newton Methods for Non-linear Least Squares Problems. *SIAM Journal on Optimization*, 2017, pp. 106-132. DOI: 10.1137/050624935.

REFERENCES

1. Damshen K. Repair of automobile bodies. Moscow, Book publishing house «Za rulem», 2007. 240 p. (In Russian)

2. Real-Moreno O., Rodriguez-Quinonez J.C., Hernandez-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Sergiyenko O., Rivas-Lopez M., Basaca-Preciado L.C. Accuracy Improvement in 3D Laser Scanner Based on Dynamic Triangulation for Autonomous Navigation System. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. 26. Ser. “Proceedings - 2017 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2017”, 2017, pp. 1602-1608. DOI: 10.1109/ISIE.2017.8001486.

3. Borecki M., Prus P., Korwin-Pawlowski M.L., Rychlik A., Kozubel W. Sensor Set-Up for Wireless Measurement of Automotive Rim and Wheel Parameters in Laboratory Conditions. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. Ser. “Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017”, 2017, pp. 1044569. DOI: 10.1117/12.2280970.

4. Li X.-Q., Wang Z., Fu L.-H. A Laser-Based Measuring System for Online Quality Control of Car Engine Block. *Sensors*, 2016. vol. 16, no 11, p. 1877. DOI: 10.3390/s16111877.

5. S. Mohammad Mousavi G., Davood Younesian, Mehran Torabi. A High Accuracy Imaging and Measurement System for Wheel Diameter Inspection of Railroad Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018 (Early Access), p. 1 – 1. DOI: 10.1109/TIE.2018.2803780.

6. Xu Zewei, Peng Jieru, Chen Xianqiao. A method for vehicle three-dimensional size measurement based on laser ranging. 2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), *IEEE Conferences*, 2015, pp. 34 – 37. DOI: 10.1109/ICTIS.2015.7232075.

7. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of

the Main Coordinates of the Car with Two-Level Spring Suspension. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no 20, pp. 10367-10373. Access mode: http://www.ripublication.com/ijaer16/ijaerv11n20_52.pdf.

8. Liangliang Yang, Yohei Hoshino, Soichiro Suzuki, Ying Cao. Calibration of an auto-steering system using a line-type laser and a camera without necessary of running the vehicle. 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2016, pp. 586 – 591. DOI: 10.1109/SII.2016.7844062.

9. Ho-Hsing Hsieh, Chi-Yao Hsu, Po-Yu Ke, Guang-Sheen Liu, Chih-Ping Lin. Applying Lidar-based obstacle detection and wireless image transmission system for improving safety at level crossings. 2015 International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST), *IEEE Conferences*, 2015, pp. 363 – 367. DOI: 10.1109/CCST.2015.7389711.

10. Lindner L., Sergiyenko O., Rivas-López M., Hernández-Balbuena D., Flores-Fuentes W., Rodríguez-Quinonez J.C., Ivanov M., Tyrsa V., Murrieta-Rico F.N., Basaca-Preciado L.C. Exact Laser Beam Positioning for Measurement of Vegetation Vitality. *Industrial Robot*, 2017, vol. 44, no. 4, pp. 532-541. DOI: 10.1108/IR-11-2016-0297.

11. Malik T., Burachek V., Bryk Ya. Method Automatic Geodetic Total Control Deformation of Engineering Structures. *Technical Sciences and technologies*, 2016, no 1 (3). pp. 145-152. Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_27511623_64211709.pdf.

12. Shih-Jer Huang, Chien-Chang Tsai. Vehicle lane detection and following based on vision system and laser scanner. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), *IEEE Conferences*, 2017, pp. 1446 – 1449. DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988188.

13. Sun Peng. Wang Xinhua. Yang Yurong. Real-Time Onboard Mapping and Localization of an Indoor MAV Using Laser Range Finder. 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), *IEEE Conferences*, 2017, pp. 1612 – 1617. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336. DOI: 10.1109/ICISCE.2017.336.

14. Guo J., Wu T., Liang Z., Wang Y., Han J. High Precision Absolute Distance Measurement with the Fiber Femtosecond Optical Frequency Comb. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 7*, New Century, New Technology and New Development. Ser. “Seventh International Symposium on Precision Mechanical Measurements”, 2016, p. 99031L. DOI: 10.1117/12.2212626.

15. Yatsenko I.V., Antonyk V.S., Hordienko V., Kyrychenko O.V., Kholin V.V. Improvement

of Metrological Specifications of Impulse Laser Rangefinders by Finishing Electron Ray Processing of Their Optical Elements. Bulletin of National technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ser. Instrument, 2016, no 52 (2). pp. 52-58. Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_29735841_46758553.pdf.

16. Guo Ming, Dong Shuzhuang, Sheng Xingwang, Cheng Cai, Pan Deng. Research on calibration technology of vehicle laser scanning system. 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), IEEE Conferences, 2017, pp. 2889 – 2893. DOI: 10.1109/CompComm.2017.8323060.

17. Blynkinshtein I.M., Kashura A.S. Analiz i sintez lazernykh sistem kontrol'ia geometricheskikh parametrov transportnykh sredstv [Analysis and synthesis of laser monitoring systems of vehicle geometrical parameters]. Vestnik SibADI, 2010, no 2 (16), pp. 8-13. Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_17888738_26193520.pdf. (In Russian)

18. Blynkinshtein I.M., Kashura A.S. Lazernye sistemy kontrolya geometricheskikh parametrov ATS [Laser monitoring systems of vehicles geometrical parameters]. Avtomobil'naya promyshlennost', 2010, no 8, pp. 30-32. (In Russian)

19. Blynkinshtein I.M., Valikhanov M.M., Kashura A.S. Algoritm i metodika issledovaniya pogreshnostej izmereniya geometricheskikh parametrov ATS 3D-sistemami [Algorithm and technique of probe of errors in measurement of vehicles geometrical parameters in «3D»-systems]. Avtomobil'naya promyshlennost', 2009, no 11, pp. 31-35. (In Russian)

20. Blynkinshtein I.M., Kashura A.S. Algoritmicheskie nyuansy issledovaniya pogreshnostej izmereniya koordinat kontrol'nykh toчек transportnykh sredstv [Algorithmic nuances of studying measurement errors of vehicle control points coordinates]. Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta, 2014, no 2 (85), pp. 149-153. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_21249452_42241799.pdf. (In Russian)

21. Gratton S., Lawless A., Nichols N. Approximate Gauss–Newton Methods for Non-linear Least Squares Problems. SIAM Journal on Optimization, 2017, pp. 106-132. DOI: 10.1137/050624935.

Поступила 30.05.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Асхабов Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: ashabovam@mail.ru).

Воеводин Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: ves_1981@mail.ru).

Зеер Владимир Андреевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедры транспортных и транспортно-технологических машин СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: zeer.vladimir@mail.ru).

Кашура Артем Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта СФУ (office@sfu-kras.ru, Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, e-mail: arka-23@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey M. Askhabov – candidate of technical science, associate professor of the Transport Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: ashabovam@mail.ru).

Evgeniy S. Voevodin – candidate of technical science, associate professor of the Transport Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: ves_1981@mail.ru).

Vladimir A. Zeer – candidate of technical science, associate professor, Head of the Transport and Transport-Technological Machines Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: zeer.vladimir@mail.ru).

Artem S. Kashura – candidate of technical science, associate professor of the Transport Department, Siberian Federal University (office@sfu-kras.ru, Russia, 660041, Krasnoyarsk, 79, Svobodnyj Av., e-mail: arka-23@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Авторы заявляют о равном участии в получении и оформлении научных результатов и в равной мере несут ответственность за плагиат.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Authors announce equal participation in receiving and registration of scientific results and equally bear responsibility for plagiarism.