



Перспективный метод проверки нивелиров различных групп точности перед выполнением геодезических работ

М.А. Конюхов¹, О.А. Воейко² ✉

¹ Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации, Мытищи, Россия

² Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова, Королев, Россия

✉ voeйко@ut-mo.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Конюхов М.А., Воейко О.А. Перспективный метод проверки нивелиров различных групп точности перед выполнением геодезических работ // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 4. С 21–29. DOI:10.30533/GiA-2025-050.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА юстировка, плоскость горизонта, поверка, метрологические характеристики, визирная ось, нивелир

АННОТАЦИЯ Разработан принципиально новый метод оценки соответствия метрологических характеристик высокоточных, точных или технических нивелиров, применяемых непосредственно перед выполнением инженерно-геодезических работ различного уровня сложности, основанный на измерении с помощью высокоточного электронного тахеометра (вместо нивелирных реек) отклонения визирной оси зрительной трубы нивелира от горизонтальной плоскости (плоскости горизонта). Разработанный метод в сравнении с существующим повышает точность определения действительных значений характеристик нивелиров благодаря исключению ряда дополнительных погрешностей, вызванных недостатками способа, применяемого в настоящее время (погрешность наведения и снятия отсчета с нивелирной рейки, погрешность измерения высоты от поверхности земли до окуляра нивелира, погрешность измерений расстояния между нивелиром и рейкой). Кроме того, новый метод уменьшает трудоемкость за счет проведения проверки путем определения метрологических характеристик методом прямых измерений без использования нивелирных реек, также в несколько раз снижает время проведения юстировки (ремонта) неисправных нивелиров за счет качества выполняемых юстировочных операций, а в дальнейшем может найти широкое применение в подготовке нивелиров различных групп точности перед проведением инженерно-геодезических работ.

1 Введение

Средства измерений (СИ) в случае определения их метрологических характеристик в стационарных условиях необходимо транспортировать в места проведения поверочных работ. Например, определение метрологических характеристик нивелиров или СИ геометрического нивелирования (СИ ГН) осуществляется только в стационарных условиях на вторичном эталоне единицы плоского угла. При транспортировании СИ ГН подвергаются резким перепадам температуры, влиянию осадков, пыли, механическим воздействиям, вибрации. Проведенные лабораторные испытания показали, что основные метрологические характеристики СИ ГН при указанных внешних факторах ведут себя крайне нестабильно, следовательно, могут оказать существенное влияние на результаты проведенных измерений [1]. Из-за большого объема СИ ГН, поступающих на поверку, эталон постоянно находится в рабочем состоянии. В связи с этим происходит быстрый износ подвижных частей, старение элементной базы, расход ресурса эксплуатации [2]. В настоящее время требуется разработка современной эталонной базы, удовлетворяющей требованиям различных методов с необходимой точностью в различных условиях эксплуатации [3]. Следовательно, актуальной задачей является разработка метода передачи единицы плоского угла в местах эксплуатации СИ ГН силами выездных метрологических групп.

2 Материалы и методы

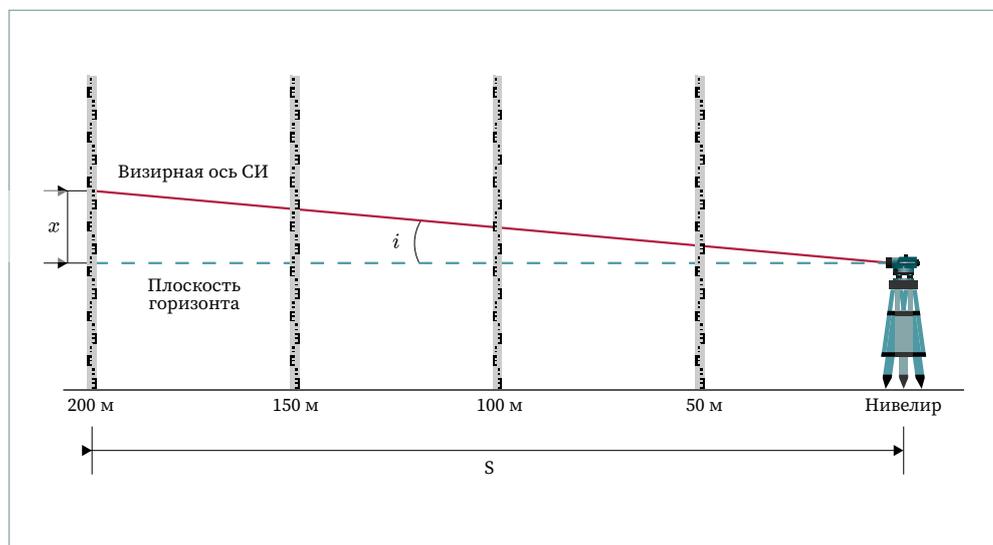
К основным метрологическим характеристикам нивелиров различных групп точности и конструктивного исполнения относится угол между визирной осью зрительной трубы и плоскостью горизонта (угол i) и средняя квадратическая погрешность (СКП) измерения превышения на 1 км двойного хода. В зависимости от сложности выполняемых геодезических работ применяются нивелиры (СИ ГН) различных классов точности. По классу точности нивелиры разделяются на высокоточные (СКП на 1 км двойного хода — 0,3–0,5 мм), точные (СКП на 1 км — 2–3 мм) и технические (СКП на 1 км — 5 мм) [4]. Негативное влияние угла i на результаты измерений заключается в том, что из-за отклонения визирной оси нивелира от плоскости горизонта определение высот точек местности осуществляется с ошибкой, значение которой возрастает при увеличении расстояния от применяемого нивелира (СИ ГН) до нивелирной рейки (рис. 1). Так, при значении угла i , равном $10''$, ошибка в измерениях превышений составит 2,42 мм для 50 м, 4,85 мм для 100 м, 7,27 мм для 150 м и 9,7 мм для 200 м.

Рис. 1 ➤

Негативное влияние угла i на измерения превышений

Fig. 1

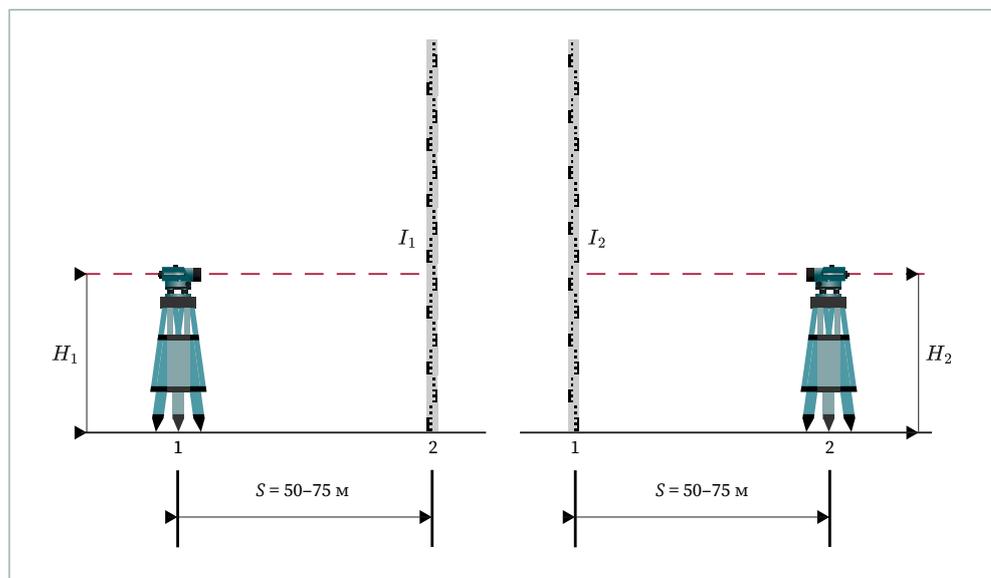
The negative effect of the i angle on the measurement of exceedances



В целях периодической поверки используется эталонный компаратор для поверки нивелиров типа ЭКПН, а также различные коллиматорные стенды типа ВЕГА УКС, установки автоколлимационные типа АУПНТ и т. д. [5]. В то же время, в соответствии с руководством по эксплуатации, для подготовки нивелиров к работе должна выполняться проверка установочного уровня, фокусировки, установки сетки нитей, а самое главное — проверка положения визирной оси нивелира относительно плоскости горизонта. Для этого в руководстве описан следующий способ: на удалении 50–75 м друг от друга забиваются два ориентира, поверяемый нивелир устанавливается в точке, обозначенной ориентиром 1, нивелирную рейку — в точке, обозначенной ориентиром 2, нивелир приводят в рабочее положение, после чего измеряют с погрешностью не более 1 мм его высоту H_1 и берут отсчет по рейке I_1 (рис. 2).

Рис. 2 Проверка положения визирной оси нивелира

Fig. 2 Checking the position of the sighting axis of level



Затем меняют нивелир и рейку местами и выполняют аналогичные измерения H_2 и I_2 , значение угла i вычисляется по формуле

$$i = \frac{((H_1+H_2)-(I_1+I_2))p''}{2S},$$

где i — отклонение визирной оси зрительной трубы нивелира от плоскости горизонта (угол i);
 I_1, I_2 — отсчеты по нивелирной рейке;
 H_1, H_2 — высоты от поверхности земли до окуляра нивелира;
 S — расстояние от нивелира до нивелирной рейки;
 p'' — коэффициент пересчета, равный 206 265.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение трех измерений. Если значение угла i превышает $10''$, проверяемый нивелир подлежит юстировке. У проверки положения визирной оси нивелира относительно плоскости горизонта с помощью нивелирных реек те же недостатки, что и у метода поверки в полевых условиях с помощью высотного стенда: значительные трудозатраты на размещение нивелирных станций (реек), большое количество вспомогательного оборудования, зависимость от погодных условий (дождь, снег, порывы ветра, палящее солнце и т. д.), отсутствие возможности оборудовать рабочее место для поверки СИ ГН из-за особенностей ландшафта местности, препятствующих разворачиванию нивелирной сети, обеспечению прямой видимости станций, а также их стабильности [6]. Кроме того, процесс юстировки занимает долгое время, т. к. после каждой попытки настройки необходимо повторить полностью всю процедуру измерений. Таким образом, определение фактического значения угла i перед работой является важнейшей операцией для выполнения корректных измерений превышений точек, но в то же время существующий метод характеризуется трудоемкостью и малой точностью.

Для повышения оперативности и упрощения подготовки нивелиров к работе разрабатываемый метод проверки СИ ГН различных групп точности в полевых условиях перед началом выполнения инженерно-геодезических работ должен соответствовать ряду требований. Для передачи единицы плоского угла на местах эксплуатации специальной техники новый метод должен отличаться от существующего возможностью проведения поверки не только в необорудованных помещениях или ангарах, но и в кузове-фургоне автомобиля. Для этого в предлагаемом методе должен быть рассмотрен вариант использования рабочего эталона, позволяющего передавать единицу плоского угла с требуемой точностью в широком температурном диапазоне и отличающегося стойкостью к внешним факторам, независимостью от электропитания, а также возможностью определения метрологических характеристик СИ ГН без использования специального программного обеспечения для ЭВМ [7].

Проблема метрологического обеспечения СИ ГН заключается в том, что их периодическая поверка осуществляется в нормальных климатических условиях ($20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) из-за жестких условий эксплуатации применяемых в настоящее время рабочих эталонов, однако условия эксплуатации СИ ГН — от -40 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ [8].

Повышение оперативности поверочных работ осуществляется за счет отказа от применения нивелирных реек, а сам метод строится на определении отклонения визирной оси зрительной трубы поверяемого нивелира относительно плоскости горизонта с помощью электронного тахеометра методом прямых измерений. Благодаря тому, что внутренний компенсатор тахеометра автоматически поддерживает визирную ось в заданном направлении, установка значения вертикального угла $90^\circ 0' 00''$ дает возможность использовать его визирную ось в качестве эталонной горизонтальной плоскости (плоскости горизонта) [9]. При совмещении визирной оси тахеометра с визирной осью поверяемого средства измерений методом «труба в трубу» отклонение значения вертикального угла тахеометра от 90° будет являться отклонением визирной оси поверяемого нивелира относительно плоскости горизонта.

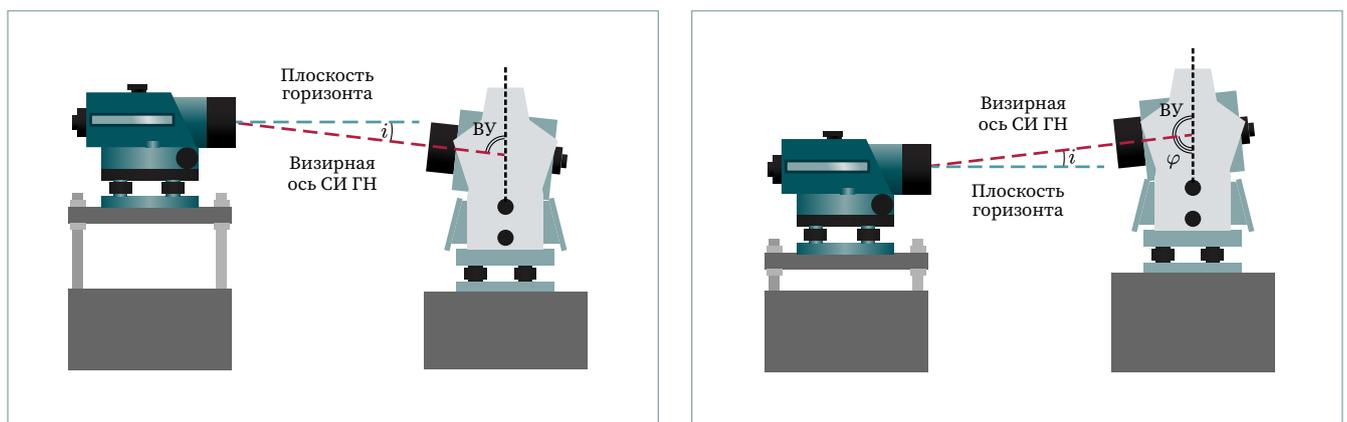
Для фактических измерений значения угла i с целью определения необходимости юстировки нивелира тахеометр устанавливается напротив поверяемого СИ методом «труба в трубу», после чего зрительную трубу нивелира фокусируют на бесконечность и за его окуляром устанавливают источник света. Далее визирную ось электронного тахеометра совмещают с осью нивелира путем наведения его сетки нитей зрительной трубы на изображение сетки нитей поверяемого СИ. Отклонение значения вертикального угла, измеренного тахеометром, от $90^\circ 0' 00''$ и будет углом i поверяемого нивелира (СИ ГН) (рис. 3).

Рис. 3 

Определение отклонения визирной оси зрительной трубы нивелира от плоскости горизонта при положительных и отрицательных значениях угла i

Fig. 3

Determination of the deviation of the sighting axis of the levelling telescope from the horizon plane at positive and negative values of the angle i



Сумма углов в треугольнике составляет 180° , соответственно, значение угла i (с положительным знаком) вычисляется по формуле

2 

$$i = 180^\circ - (90^\circ + \text{ВУ}),$$

где ВУ — вертикальный угол электронного тахеометра.

Если показания вертикального угла электронного тахеометра превышают значение 90° , то значение угла i (с отрицательным знаком) вычисляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} 3 \quad \blacktriangleright \quad & i = 180^\circ - (90^\circ + \varphi), \\ 4 \quad \blacktriangleright \quad & \varphi = 180^\circ - ВУ, \end{aligned}$$

где φ — вертикальный угол, смежный с вертикальным углом электронного тахеометра.

3 Результаты и обсуждение

В существующем методе проверки положения визирной оси нивелиров относительно плоскости горизонта кроме погрешности самого нивелира из-за применения нивелирных реек присутствуют дополнительные погрешности, вызванные оператором-геодезистом при наведении и снятии отсчета с нивелирной рейки, при измерении высоты от поверхности земли до окуляра нивелира, а также при измерении расстояния между нивелиром и рейкой [10]. Все эти факторы уменьшают точность и увеличивают вариацию значений измеренного угла i , что, в свою очередь, затрудняет выполнение точной юстировки. Поскольку разработанный метод исключает применение нивелирных реек, то к основной погрешности измерений угла i относится только погрешность применяемого тахеометра, равная $0,5''$ или $1''$ (в зависимости от точности тахеометра).

На дистанции 100 м после юстировки существующим методом (при значении угла $i = 2,5''$) погрешность определения превышения будет равна 1,21 мм, а с юстировкой разработанным методом (при значении угла $i = 1,7''$) — всего 0,84 мм (разность составляет 0,37 мм), на 200 м после юстировки существующим методом (при значении угла $i = 2,5''$) погрешность определения превышения будет равна 2,42 мм, а с юстировкой разработанным методом (при значении угла $i = 1,7''$) — всего 1,69 мм (разность составляет уже 0,73 мм).

Апробация разработанного метода была проведена путем сравнения полученных результатов определения угла i нивелиров с помощью электронного тахеометра в полевых условиях и определения угла i нивелиров существующим методом в лабораторных условиях на вторичном эталоне единицы плоского угла. Анализ апробации показал, что полученные результаты не превышают предела допускаемых значений.

4 Выводы

Реализация разработанного метода проверки отклонения визирной оси зрительной трубы нивелиров с помощью электронного тахеометра позволит не только упростить процесс подготовки нивелиров к выполнению инженерно-геодезических работ, но и повысить ее оперативность в 2,5 раза, а точность — в 1,4 раза.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Решетников А.А. Определение метрологических характеристик средств измерений геометрического нивелирования в местах выполнения специальных задач // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Совершенствование средств и методов сбора и обработки геопространственной информации и системы подготовки специалистов». СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2022. С. 129–133.
2. Троицкий Д.Б. Метод передачи единицы плоского угла средствам измерений геометрического нивелирования // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение обороны»

- и безопасности в Российской Федерации». Поведники: ГНМЦ МО РФ, 2020. С. 241–243.
3. Решетников А.А., Троицкий Д.Б. Метрологическое обеспечение средств измерений геометрического нивелирования в местах выполнения специальных задач // Материалы военно-научной конференции «Способы получения, обработки, верификации и использования данных из открытых источников для геоинформационного обеспечения». Кубинка: МВТФ, 2022. С. 149–154.
 4. Решетников А.А. Исследования метрологических характеристик оптико-механических и цифровых нивелиров в полевых условиях // Материалы научно-практической конференции «Цель и задачи геоинформационного обеспечения современной высокотехнологичной армии». Кубинка: МВТФ, 2021. С. 102–106.
 5. Мосолков Г.Ю. Состояние и перспективы развития метрологического обеспечения средств измерений геометрического нивелирования // Материалы военно-научной конференции «Геоинформационное пространство. Перспективы развития». Кубинка: МВТФ, 2020. С. 78–81.
 6. Павлович С.В. Аprobация метода передачи единицы плоского угла средствам измерений геометрического нивелирования в местах их эксплуатации // Материалы 47-й научно-технической конференции «Актуальные задачи военной метрологии». Мытищи: ГНМЦ МО РФ, 2022. С. 290–293.
 7. Троицкий Д.Б. Определение метрологических характеристик средств измерений геометрического нивелирования на местах их эксплуатации // Материалы XLII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Серпухов: Фил. Военной акад. РВСН им. Петра Великого, 2023. С. 141–145.
 8. Шпонкин В.Л. Метрологическое обеспечение средств измерений геометрического нивелирования в местах их эксплуатации // Материалы 45-й научно-технической конференции «Актуальные задачи военной метрологии». Мытищи: ГНМЦ МО РФ, 2020. С. 250–253.
 9. Троицкий Д.Б. Метод передачи единицы плоского угла средствам измерений геометрического нивелирования с помощью эталонного тахеометра // Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации». Поведники: ГНМЦ МО РФ, 2022. С. 242–245.
 10. Павлович С.В. Новый метод проверки положения визирной оси нивелиров различных групп точности перед эксплуатацией // Материалы 49-й научно-технической конференции «Актуальные задачи военной метрологии». Мытищи: ГНМЦ МО РФ, 2024. С. 209–212.

АВТОРЫ **Конюхов Михаил Анатольевич**✉ konyukhov.mixail@mail.ru

ФГБУ «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации, Мытищи, Россия

канд. техн. наук

Воейко Ольга Александровна

ФГБОУ «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», Королев, Россия

кафедра управления качеством и стандартизации, Институт ракетно-космической техники и технологии машиностроения

канд. техн. наук, доцент

ID 0000-0002-7114-4306

Поступила 17.04.2025. Принята к публикации 22.08.2025. Опубликовано 29.08.2025.



A future checking method of various accuracy levels before surveying

Michael A. Konyukhov¹, Olga A. Voeyko²✉

¹ Main Scientific Metrological Center Ministry of Defense of the Russian Federation, Mytishchi, Russia

² Leonov University of Technology, Korolev, Russia

✉ voeyko@ut-mo.ru

CITATION Konyukhov MA, Voeyko OA. A future checking method of various accuracy levels before surveying. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(4): 21–29. DOI:10.30533/GiA-2025-050.

KEYWORDS adjustment, horizon plane, verification, metrological characteristics, level

ABSTRACT A fundamentally new method has been developed to assess the compliance of the metrological characteristics of high-precision, precision and technical levels immediately before performing engineering and geodetic work of various levels of complexity, based on measuring the deviation of the sighting axis of the leveling telescope from the horizon plane using a high-precision tacheometer instead of leveling rails. Thus the developed method, in comparison with the existing one, increases the accuracy of measuring the actual values of the level characteristics by eliminating a number of additional errors caused by the disadvantages of the currently used method (the error of pointing and de-counting from the leveling rail, the error of measuring the height from the ground to the eyepiece of the level, the error of measuring the distance between the level and the rail). In addition, the new method reduces labor intensity by conducting a check by determining metrological characteristics using direct measurements without using leveling rails, and also reduces the time for adjusting (repairing) faulty levels several times due to the quality of the adjustment operations performed. In the future, the developed new method will find wide application in the preparation of levels of various accuracy groups before carrying out engineering and geodetic work.

- REFERENCES**
1. Reshetnikov AA. Opredelenie metrologicheskikh harakteristik sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya v mestah vypolnenija special'nyh zadach [Determination of the metrological characteristics of geometric leveling measuring instruments in places where special tasks are performed]. *Proceedings of the All-Russian*

- Scientific and Practical Conference “Improving the means and methods of collecting and processing geospatial information and specialist training systems”*. Saint Petersburg: Mozhaisky Military Space Academy; 2022: 129–133. (In Russian).
2. Troitskiy DB. Metod peredachi edinicy ploskogo ugla sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya [Method of transferring the unit of a plane angle to measuring instruments of geometric leveling]. *Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Technical Conference “Metrological support of defense and security in the Russian Federation”*. Povedniki: Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation; 2020: 241–243. (In Russian).
 3. Reshetnikov AA, Troitskiy DB. Metrologicheskoe obespechenie sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya v mestah vypolneniya special'nyh zadach [Metrological support of measuring instruments for geometric leveling in places where special tasks are performed]. *Proceedings of the military scientific conference “Methods of obtaining, processing, verifying and using data from open sources for geoinformation support”*. Kubinka: The International Military-Technical Forum; 2022: 149–154. (In Russian).
 4. Reshetnikov AA. Issledovaniya metrologicheskikh harakteristik optiko-mehaničeskikh i cifrovyyh nivelirov v polevyh usloviyah [Research of metrological characteristics of optical, mechanical and digital levels in the field]. *Proceedings of the scientific and practical conference “The purpose and objectives of geoinformation support for a modern high-tech army”*. Kubinka: The International Military-Technical Forum; 2021: 102–106. (In Russian).
 5. Mosolkov GY. Sostojanie i perspektivy razvitiya metrologicheskogo obespecheniya sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya [The state and prospects of development of metrological support for measuring instruments of geometric leveling]. *Proceedings of the military scientific conference “Geoinformation space. Development prospects”*. Kubinka: The International Military-Technical Forum; 2020: 78–81. (In Russian).
 6. Pavlovich SV. Aprobacija metoda peredachi edinicy ploskogo ugla sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya v mestah ih jekspluatacii [Approbation of the method of transferring the unit of a flat angle to measuring instruments for geometric leveling in their places of operation]. *Proceedings of the 47th scientific and technical conference “Actual tasks of military metrology”*. Mytishchi: Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation; 2022: 290–293. (In Russian).
 7. Troitskiy DB. Opredelenie metrologicheskikh harakteristik sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya na mestah ih jekspluatacii [Determination of metrological characteristics of measuring instruments for geometric leveling at their places of operation]. *Proceedings of the XLII All-Russian Scientific and Technical Conference “Problems of efficiency and safety of complex technical and information systems”*. Serpukhov: Peter the Great SRF Military Academy (Serpukhov branch); 2023: 141–145. (In Russian).
 8. Shponkin VL. Metrologicheskoe obespechenie sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya v mestah ih jekspluatacii [Metrological support of measuring instruments for geometric leveling in their places of operation]. *Proceedings of the 45th scientific and technical conference “Actual tasks of military metrology”*. Mytishchi: Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation; 2020: 250–253. (In Russian).
 9. Troitskiy DB. Metod peredachi edinicy ploskogo ugla sredstv izmerenij geometricheskogo nivelirovaniya s pomoshh'ju jetalonnogo taheometra [Method of transferring a unit of a flat angle to geometric leveling measuring instruments using a reference total station]. *Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference “Metrological support of defense and security in the Russian Federation”*. Povedniki: Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation; 2022: 242–245. (In Russian).
 10. Pavlovich SV. Novyj metod proverki polozheniya vizirnoj osi nivelirov razlichnyh grupp tochnosti pered jekspluataciej [A new method for checking the position of the sighting axis of levels of various accuracy groups before operation]. *Proceedings of the 49th scientific and technical conference “Actual tasks of military metrology”*. Mytishchi: Main Scientific Metrological Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation; 2024: 209–212. (In Russian).

AUTHORS **Michael A. Konyukhov**

✉ konyuxov.mixail@mail.ru

Main Scientific Metrological Center Ministry of Defense of the Russian Federation,
Mytishchi, Russia
PhD in Engineering

Olga A. Voeyko

Leonov University of Technology, Korolev, Russia
Department of Quality Management and Standardization, Institute of Space-rocket
Techniques and Engineering Technologies
PhD in Engineering, Associate Professor
 0000-0002-7114-4306

Submitted: April 17, 2025. Accepted: August 22, 2025. Published: August 29, 2025.