**DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-58-65**

**УДК 528:74**

# ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ ПРЕВЫШЕНИЙ НОМОГРАММНОГО ТЕОДОЛИТА-ТАХЕОМЕТРА

# INVESTIGATION OF OVERRUN TOLERANCE CURVES OF NOMOGRAM THEODOLITE-TACHEOMETER

**Корецкая Галина Александровна**,
старший преподаватель, e-mail: kga1957@mail.ru
**Galina A.Koretskaia**, Senior Lecturer

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federaition.

***Аннотация:*** *В настоящее время повышаются требования к точности результатов геодезических измерений при создании картографических материалов и решении инженерно-геодезических задач в различных сферах деятельности. Для выполнения тахеометрической съёмки используются оптические и электронные теодолиты-тахеометры. Оптические теодолиты удобны в работе и имеют невысокую цену, по сравнению с электронными приборами. В работе рассмотрены конструктивные особенности оптического номограммного теодолита-тахеометра THEO-010A Dalta (Zeiss – Германия). Наличие номограммных кривых в поле зрения теодолита позволяет определять превышения при выполнении тахеометрической съёмки без проведения дополнительных измерений вертикальных углов наклона. Стандартным набором поверок теодолитов, согласно требованиям инструкции по проведению технологической поверки геодезических приборов, является определение места нуля МО, коллимационной ошибки С и поверка правильности установки сетки нитей. Вместе с тем при работе с номограммным теодолитом-тахеометром этих поверок недостаточно. Чтобы повысить точность определения превышений и высотных отметок точек, необходимо определить истинные (фактические) значения коэффициентов номограммных кривых.*

*В работе предложена методика исследования кривых превышений номограммного теодолита-тахеометра THEO-010A Dalta. Определены фактические значения коэффициентов номограммных кривых и погрешности определения превышений в лабораторных условиях.*

***Abstract:*** *At present, the requirements to the accuracy of the results of geodetic measurements in the creation of cartographic materials and in solving engineering and geodetic tasks in various fields of activity are increasing. To perform tacheometric survey, optical and electronic total stations are used. Optical theodolites are easy to use and have a low price compared to electronic devices. The design features of the optical nomogram theodolite-tacheometer THEO-010A Dalta (Zeiss - Germany) are considered in the work. The presence of nomogram curves in the field of view of the theodolite allows to determine the excess when performing tacheometric survey without carrying out additional measurements of the vertical angles of inclination. The standard set of theodolite tests, according to the requirements of the instruction for the technological verification of geodetic instruments, is the determination of the zero point of the MO, the collimation error C, and the verification of the correctness of the installation of the filament grid. At the same time, when working with nomogram theodolite-tacheometer these tests are not enough. To increase the accuracy of determining elevations and elevations of points, it is necessary to determine the true (actual) coefficients of the nomogram curves.*

*In the paper, a technique is proposed for investigating the curves of overrun tolerances of the nomogram theodolite-total station TONE-010A Dalta. The actual values of the coefficients of the nomogram curves and the errors in determining the overrun tolerances in laboratory conditions are determined.*

***Ключевые слова:*** *геодезические работы, номограммный теодолит-тахеометр, поверки и исследования.*

***Key words:*** *geodetic works, nomogram theodolite-tacheometer, verification and research.*

Программа развития отрасли геодезии и картографии до 2020 г. предусматривает повышение требований к точности результатов геодезических измерений с целью обеспечения достоверными картографическими материалами заинтересованных лиц и решения ряда государственных задач в сфере территориального развития, строительства и инженерных изысканий, управления природными ресурсами, экологии, навигационной деятельности, обороны и безопасности государства [1]. Геодезические работы включены в сферу государственного метрологического контроля и надзора [2]. Геодезическая метрология – это целостная система взаимоувязанных требований, возникающих при необходимости обеспечения точности и достоверности инженерно-геодезических и маркшейдерских измерений [3].

Успешное и надежное решение различных научно-технических задач геодезии невозможно без применения исправных и подготовленных к работе современных геодезических приборов. Проведение технологических поверок геодезических приборов и инструментов является обязательной процедурой для организаций, предприятий и учреждений, выполняющих топографо-геодезические работы на территории РФ. Технологическую поверку проводит специалист, за которым закреплено поверяемое средство измерений. Методика поверок и их периодичность регламентируется действующей инструкцией [4], где изложены операции и методы проведения поверок различных приборов, в том числе, теодолитов, нивелиров, нивелирных реек, электромагнитных дальномеров, номограммных и электронных тахеометров и др.

В связи с этим, каждый используемый в производстве прибор должен пройти проверку перед началом работ, на соответствие предъявляемым к нему требованиям инструкций. В последние десятилетия значительно ограничен выпуск соответствующих инструкций и учебников, а некоторые не переиздавались 20-30 лет и являются библиографической редкостью [5-7]. Поэтому разработка методов исследований современных геодезических приборов является актуальной задачей.

Исследования теодолитов преследуют собой цель установления фактических (реальных) технических характеристик отдельных узлов (модулей) приборов после их изготовления или ремонта. Исследования проводятся в лабораторных и полевых условиях. При проведении исследований в лабораторных помещениях температура окружающего воздуха должна лежать в пределах от –5°С до +30°С, а скорость при относительной влажности не более 90 %. Атмосферное давление должно находиться в пределах от 630 до 800 мм рт. ст. [8-9]. Исследование точности современных геодезических методов измерения приводятся в работах [10, 11]

Для номограммных тахеометров стандартным набором поверок является определение места нуля $MO$, коллимационная ошибка $C$, поверка правильности установки сетки нитей [4]. Вместе с тем при работе с номограммными тахеометрами, конструктивной особенностью которых является наличие номограммных кривых, этих поверок недостаточно.

В данной работе предложена методика исследования кривых превышений номограммного теодолита-тахеометра THEO-010A Dalta (Zeiss – Германия) в лабораторных условиях с целью повышения точности топографо-геодезических работ.

Как тахеометр THEO-010A Dalta прибор рассчитан на все тахеометрические работы. Допустимая погрешность измерения расстояния по рейке составляет ±10 см на 100 м. Средняя ошибка направления ±3" и средняя ошибка разности высот до 15 см [12]. В качестве теодолита, прибор пред-

Таблица 1 – Технические характеристики прибора

| | |
|---|---|
| Средняя квадратическая погрешность измерения направления | ±3" ~ ±5" |
| Увеличение зрительной трубы | 25X |
| Угол поля зрения | 1°25' |
| Угловое поле на 1000 м | 22 м |
| Наименьшее расстояние визирования | 3 м |
| Наибольшее расстояние визирования | 350 м |
| Коэффициент нитяного дальномера | 100 |
| Отсчетное устройство | 360° |
| Цена деления лимбов | 1° |
| Цена деления шкалы микрометра | 1" |
| Систематическая погрешность компенсации | ±3" |
| Цена деления круглого уровня (смещение пузырька на 2мм) | 8' |
| Цена деления цилиндрического уровня (смещение пузырька на 2мм) | 20" |
| Масса теодолита | 4,7 кг |
| Масса теодолита в футляре с принадлежностями | 9,4 кг |



*Рис. 1. Тахеометр THEO-010A Dalta*

назначен для угловых измерений в триангуляции и полигонометрии 3-го и 4-го классов, а также для астрономических измерений, на геодезических работах в строительстве, при монтаже технологического оборудования, при выполнении маркшейдерских работ, работ по трассировке и техническому нивелированию. Прибор хорошо зарекомендовал себя в практике геодезических и маркшейдерских измерений и имеет относительно невысокую стоимость (37-85 тыс. руб.) [13].

THEO-010A Dalta – оптический тахеометр повторительного типа. Изображения делений лимбов вертикального и горизонтального кругов передаются одновременно в поле зрения шкалового микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы (рис. 1).

Зрительная труба дает прямое изображение, через зенит переводится окулярным концом. При необходимости изображение вертикального круга можно отключить. В поле зрения трубы наряду с сеткой нитей имеется изображение кривых горизонтальных проложений и кривых превышений, распространенных на все поле зрения. Действие кривых рассчитано на углы наклона в пределах ±45°. Вместо уровня при вертикальном круге установлен оптико-механический компенсатор, автоматически стабилизирующий индекс вертикального круга. У прибора комбинированное зажимное устройство, позволяющее как раздельно, так и одновременно фиксировать положение трубы и алидады горизонтального круга и два наводящих винта, расположенных на одной оси. Прибор оптическим отвесом, находящимся в алидадной части, и оптическим визиром. Подставка тахеометра съемная.

В качестве тахеометрических реек при небольших расстояниях можно использовать обычные нивелирные рейки с шашечными делениями. А при расстояниях от тахеометра до точки свыше 100 м используют специальные тахеометрические рейки, которые имеют более крупные деления и различную раскраску, облегчающую снятие отсчетов по дальномерным нитям.

На рис. 2 показано поле зрения тахеометра THEO-010A Dalta.

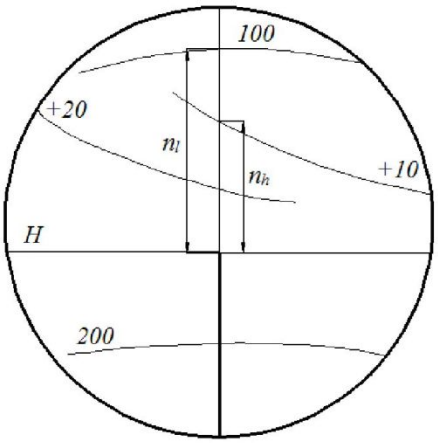



*Рис. 2. Поле зрения номограммного тахеометра Dahlta 010A:*

$n_l$ *и* $n_h$ *– разность отсчётов про кривым превышений*

Номограмма прибора имеет следующие кривые: основную (нулевую, начальную), обозначенную на рис. 2 буквой *H*, две кривых горизонтальных расстояний с коэффициентами 100 и 200 и шесть кривых превышений, из которых в поле зрения видны максимум две, например, +10 и +20. При измерении превышений или вертикальных углов на визирную цель наводят основную кривую. На практике паспортные значения коэффициентов номограммных кривых могут существенно отличаться от фактических (истинных) значений.

В работе предложена методика исследования номограммных кривых с целью определения их фактических значений, применение которых приведет к повышению точности определения превышений и более качественным результатам геодезических измерений. Сначала необходимо определить контрольное превышение. Схема установки нивелира и нивелирной рейки приведена на рис. 3.

Прибор и нивелирная рейка устанавливаются на противоположных концах линии с уклоном 15°–30°. В лабораторный условиях можно использовать лестничный проём. Геометрическим нивелированием определяют превышение между горизонтом инструмента ГИ и точкой установки рейки с погрешностью не более 3 мм (табл. 2).

Таблица 2. Определение контрольного (среднего) превышения

| Станция | № точек | Отсчёты по рейке | | Превышение, $\pm h$, мм | Среднее превышение, $\pm h_{ср.}$, мм |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Задняя ( | передняя | | |
| I | 1<br>2 | 0200 (1)<br>5003 (4)<br>4803 (5) | 2247 (2)<br>7048 (3)<br>4801 (6) | –2047 (7)<br>–2045 (8) | –2026(9) |

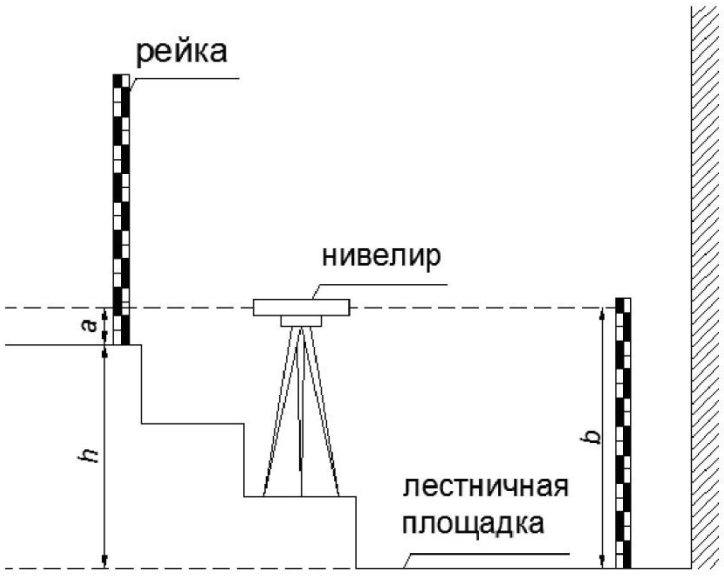



*Рис. 3. Определение контрольного превышения:* $h = b - a$

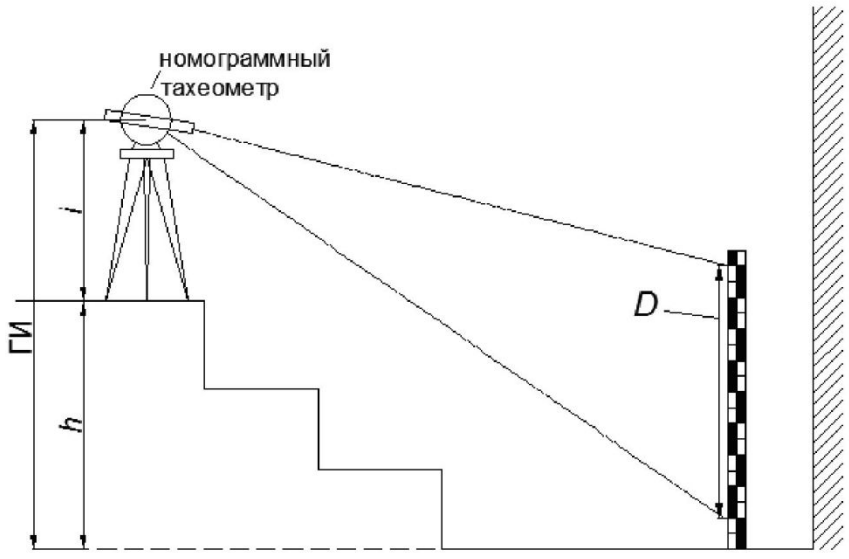



*Рис. 4. Схеме поверки коэффициентов номограмм превышений*

Горизонт инструмента вычисляют по формуле: ГИ = h+i= 2026+1503 = 3529 (мм), где $i$ – высота установки тахеометра.

Последовательно для коэффициентов: –10, –20, –50 или для коэффициентов: +10, +20, +50 по соответствующим кривым определяются значения превышений с наведением перекрестия на высоты визирования для отрицательных значений коэффициентов 2900, 2800 и т.д. с интервалом в 100 мм. Данные измерений сводятся в табл. 3-5.

Таблица 3. Определение фактического значения коэффициента
Превышение (ГИ – рейка) – 3529 мм
Коэффициент кривой: –10

| № | Отсчет по перекрестию | Отсчет по кривой | Разность | Контрольное превышение | Измеренное превышение | $K_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* |
| 1 | 2900 | 2965 | 65 | 629 | 650 | –9,677 |
| 2 | 2800 | 2874 | 74 | 729 | 740 | –9,851 |
| 3 | 2700 | 2784 | 84 | 829 | 840 | –9,869 |
| 4 | 2600 | 2694 | 94 | 929 | 940 | –9,882 |
| 5 | 2500 | 2604 | 104 | 1029 | 1040 | –9,894 |
| 6 | 2400 | 2515 | 115 | 1129 | 1150 | –9,982 |
| 7 | 2300 | 2424 | 124 | 1229 | 1240 | –9,911 |
| 8 | 2200 | 2334 | 134 | 1329 | 1340 | –9,918 |

Фактический коэффициент превышений $K_h^{\phi}$ определяется, как среднее по измеренным значениям. В данном случае для коэффициента кривой –10, $K_h^{\phi} = -9{,}873$.

Таблица 4. Определение фактического значения коэффициента
Превышение ГИ – рейка – 3529 мм.
Коэффициент кривой: –20.

| № | Отсчет по перекрестию | Отсчет по кривой | Разность | Контрольное превышение | Измеренное превышение | $K_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* |
| 1 | 2600 | 2647 | 47 | 929 | 940 | –19,766 |
| 2 | 2500 | 2553 | 53 | 1029 | 1060 | –19,415 |
| 3 | 2400 | 2457 | 57 | 1129 | 1140 | –19,807 |
| 4 | 2300 | 2363 | 63 | 1229 | 1260 | –19,508 |
| 5 | 2200 | 2267 | 67 | 1329 | 1340 | –19,836 |
| 6 | 2100 | 2173 | 73 | 1429 | 1460 | –19,507 |
| 7 | 2000 | 2077 | 77 | 1529 | 1540 | –19,857 |
| 8 | 1900 | 1982 | 82 | 1629 | 1640 | –19,866 |
| 9 | 1800 | 1887 | 87 | 1729 | 1740 | –19,874 |
| 10 | 1700 | 1792 | 92 | 1829 | 1840 | –19,880 |
| 11 | 1600 | 1696 | 96 | 1929 | 1920 | –20,095 |

Для коэффициента кривой –20, $K_h^{\phi} = -19{,}765$.

Аналогично, с расположением рейки выше горизонта инструмента определяются фактические значения коэффициентов +10, +20, +50.

В табл. 6 приведены полученные фактические значения коэффициентов номограмм превышений для тахеометра THEO-010A Dalta.

Сравним превышения по паспортным и фактическим значениям кривых, полученным в результате исследования, например, для коэффициента кривой –10 (табл. 7).

В результате проведённого исследования было установлено значительное расхождение паспортных коэффициентов номограммных кривых с их фактическими значениями (табл. 6). Увеличение угла наклона зрительной трубы тахеометра приводит к возрастанию погрешности в определении превышений и, соответственно, к ухудшению качества геодезических измерений. Предельное значение погрешности превышений по результатам исследования составило –17 мм (табл. 7).

Таким образом, предложенная методика лабораторных исследований кривых превышений номограммного теодолита-тахеометра THEO-010A Dalta (Zeiss) позволяет определить фактические значения коэффициентов кривых и, таким образом, повысить точность выполнения топографо-геодезических работ, связанных с определением превышений и высотных отметок точек. Предлагаемая методика может быть использована для

Таблица 5. Определение фактического значения коэффициента
Коэффициент кривой: –50

| № | Отсчет по перекрестию | Отсчет по кривой | Разность | Контрольное превышение | Измеренное превышение | $K_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* |
| 1 | 1500 | 1540 | 41 | 2029 | 2050 | –49,487 |
| 2 | 1400 | 1443 | 43 | 2129 | 2150 | –49,512 |
| 3 | 1300 | 1345 | 45 | 2229 | 2250 | –49,533 |
| 4 | 1200 | 1247 | 47 | 2329 | 2350 | –49,415 |
| 5 | 1100 | 1149 | 49 | 2429 | 2450 | –49,471 |
| 6 | 1000 | 1051 | 51 | 2529 | 2550 | –49,087 |
| 7 | 900 | 953 | 53 | 2629 | 2650 | –49,556 |
| 8 | 800 | 855 | 55 | 2729 | 2750 | –49,590 |
| 9 | 700 | 757 | 57 | 2829 | 2850 | –49,618 |
| 10 | 600 | 659 | 59 | 2929 | 2950 | –49,644 |
| 11 | 500 | 561 | 61 | 3029 | 3050 | –49,656 |
| 12 | 400 | 463 | 63 | 3129 | 3150 | –49,667 |
| 13 | 300 | 365 | 65 | 3229 | 3250 | –49,677 |
| 14 | 200 | 267 | 67 | 3329 | 3350 | –49,687 |
| 15 | 100 | 169 | 69 | 3429 | 3450 | –49,696 |

Для коэффициента кривой –50, $K_h^{\phi} = -49{,}553$.

Таблица 6. Паспортные и фактические значения кривых превышений

| Паспортные значения | +10 | +20 | +50 | –10 | –20 | –50 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Фактические | +10,023 | +20, 213 | +50,318 | –9,873 | –19,765 | –49,553 |

Таблица 7. Определение погрешностей превышений для номограмной кривой –10

| По паспортной кривой, мм | 650 | 740 | 840 | 940 | 1040 | 1150 | 1240 | 1340 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| По фактическим значениям, мм | 641,8 | 730,6 | 829,3 | 928,1 | 1026,8 | 1135,4 | 1224,5 | 1323,0 |
| Погрешность, мм | 8,2 | –9,4 | –10,7 | –11,9 | 13,2 | –14,6 | –15,6 | –17,0 |

исследования любых оптических номограммных теодолитов-тахеометров, таких как, THEO-020A Dalta (Германия), Oallba -20 (Германия), ТаН (Россия) и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа развития геодезии и картографии на основе плана мероприятий реализации концепции развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: miigaik.ru›novosti/20120816122002-9041.doc.

2. Уставич Г. А. Геодезическое инструментоведение. Устройство, поверки и исследования теодолитов и нивелиров: учеб пособие / Г. А. Уставич и [др.] – Новосибирск: из-во СибГГА, 2003 – 68 с.

3. Корецкая Г. А. Метрология, стандартизация и сертификация в маркшейдерии: учеб. пособие / Г. А. Корецкая. – Кемерово: из-во КузГТУ, 2014. – 186 с.

4. ГНИКП (ГНТА) 17-195-99 Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 14 с.

5. ГКИНП (ГНТА)-01-006-03 Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. – М. : ЦНИИГАиК, 1999. – 32 с.

6. РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – М.: Научн.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 485 с.

7. Манухов В. Ф. Инженерная геодезия. Основы геодезических измерений с элементами метрологического обеспечения: учеб. пособие / в. м. Манухов и [др.] – Саранск: изд-во Мордовского универ-та, 2006. –99 с.

8. Гура Т. А. Повышение точности измерения углов / Т. А. Гура [и др.] // Молодой ученый. – 2017. – №5. – С. 111–115.

9. Пастухов М. А. Определение погрешности геодезических приборов за неправильность формы цапф и боковое гнутие зрительной трубы / М. А. Пастухов [и др.] // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2016. – № 11. – С. 155–171.

10. Камнев И. С. Исследование точности современных методов измерения / И. С. Камнев [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – Т. 1. – № 2. – С. 135–140.

11. Багова С. З. Оптимальное конструирование точности топографо-геодезической основы мониторинга природно-технических систем в геодезии / С. З. Багова // В сб.: Науки о Земле на современном этапе. VI Междунар. Научн-практ конф. –2012. – С. 103-105.

12. Грибкова И. С. Обзор современных геодезических приборов для выполнения деформационного мониторинга / И. С. Грибкова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 91–94.

13. Мегамаркет № 1 инструментов и оборудования [Электронный ресурс]: https://www.mastertools.ru/item/theo010a-dalta-zeiss_20220.html

.

## REFERENCES

1. Programma razvitiya geodezii i kartografii na osnove plana meropriyatiy realizatsii kontseptsii razvitiya otrasli geodezii i kartografii do 2020 goda. – Elek-tron. tekstovyie dan. – Rezhim dostupa: miigaik.ru›novosti/20120816122002-9041.doc.

2. Ustavich G. A. Geodezicheskoe instrumentovedenie. Ustroystvo, poverki i is-sledovaniya teodolitov i nivelirov: ucheb posobie / G. A. Ustavich i [dr.] – Novosi-birsk: iz-vo SibGGA, 2003 – 68 s.

3. Koretskaya G. A. Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya v marksheyde-rii: ucheb. posobie / G. A. Koretskaya. – Kemerovo: iz-vo KuzGTU, 2014. – 186 s.

4. GNIKP (GNTA) 17-195-99 Instruktsiya po provedeniyu tehnologicheskoy po-verki geodezicheskih priborov. – M.: TsNIIGAiK, 2004. – 14 c.

5. GKINP (GNTA)-01-006-03 Osnovnyie polozheniya o gosudarstvennoy geodezi-cheskoy seti Rossiyskoy Federatsii. – M. : TsNIIGAiK, 1999. – 32 c.

6. RD 07-603-03. Instruktsiya po proizvodstvu marksheyderskih rabot. – M.: Na-uchn.-tehn. tsentr po bezopasnosti v promyishlennosti Gosgortehnadzora Rossii, 2004. – 485 s.

7. Manuhov V. F. Inzhenernaya geodeziya. Osnovyi geodezicheskih izmereniy s elementami metrologicheskogo obespecheniya: ucheb. posobie / v. m. Manuhov i [dr.] – Sa-ransk: izd-vo Mordovskogo univer-ta, 2006. –99 s.

8. Gura T. A. Povyishenie tochnosti izmereniya uglov / T. A. Gura [i dr.] // Molo-doy uchenyiy. – 2017. – № 5. – S. 111–115.

9. Pastuhov M. A. Opredelenie pogreshnosti geodezicheskih priborov za nepra-vilnost formyi tsapf i bokovoe gnutie zritelnoy trubyi / M. A. Pastuhov [i dr.] // Nauchnyie trudyi Kubanskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. 2016. –№11. – S. 155–171.

10. Kamnev I. S. Issledovanie tochnosti sovremennyih metodov izmereniya / I. S. Kamnev [i dr.] // Interekspo Geo-Sibir. – 2016. – T. 1. – № 2. – S. 135–140.

11. Bagova S. Z. Optimalnoe konstruirovanie tochnosti topografo-geodezicheskoy osnovyi monitoringa prirodno-tehnicheskih sistem v geodezii / S. Z. Bagova // V sb.: Nauki o Zemle na sovremennom etape. VI

Mezhdunar. Nauchn-prakt konf. –2012. – C. 103-105.

12. Gribkova I. S. Obzor sovremennyih geodezicheskih priborov dlya vyipolne-niya deformatsionnogo monitoringa / I. S. Gribkova [i dr.] // Nauka. Tehnika. Tehnolo-gii (politehnicheskiy vestnik). – 2016. – № 2. – S. 91–94.

13. Megamarket № 1 instrumentov i oborudovaniya [Elektronnyiy resurs]: https://www.mastertools.ru/item/theo010a-dalta-zeiss_20220.html

Поступило в редакцию 11.02.2018
Received 11.02.2018