

---

**Федеральная служба государственной регистрации,  
кадастра и картографии**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ»  
(ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)**

---

**СТАНДАРТ  
ОРГАНИЗАЦИИ**

**СТО –  
02571830-8.19-2018**

---

**ОТРАСЛЕВАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В СФЕРЕ ГЕОДЕЗИИ  
И КАРТОГРАФИИ**

**Методика измерений при определении коэффициента  
линейного расширения материала для шкалы  
нивелирной рейки с использованием  
автоматизированного лазерного компаратора**

**Издание официальное**

**Москва  
ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»  
2018**

---

---

**Федеральная служба государственной регистрации,  
кадастра и картографии**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ»  
(ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)**

---

**СТАНДАРТ  
ОРГАНИЗАЦИИ**

**СТО –  
02571830-8.19-2018**

---

**ОТРАСЛЕВАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В СФЕРЕ ГЕОДЕЗИИ  
И КАРТОГРАФИИ**

**Методика измерений при определении  
коэффициента линейного расширения материала  
шкалы нивелирной рейки с использованием  
автоматизированного лазерного компаратора**

**Издание официальное**

**Москва  
ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»  
2018**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

### 1. РАЗРАБОТАН ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»

ВРИО директора А.В. Ребрый  
Заместитель директора Л.И. Яблонский

Начальник управления технического регулирования и средств измерений А.Н. Прусаков

Начальник отдела стандартизации и метрологического обеспечения А.И. Спиридонов

Исполнители:

Зам. начальника отдела О.К. Голубкова

Ведущий специалист А.А. Прусаков

Старший научный сотрудник И.А. Вахнина

### 2. ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Управлением технического регулирования и средств измерений ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»

Начальник Управления А.Н. Прусаков

### 3. УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН в действие приказом директора ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» от 04.04.2018 № П/81

### 4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Методика аттестована метрологической службой ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», рег. № 029-6.00219-2018 от 03 апреля 2018 г.

© ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», 2018

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД».

**СОДЕРЖАНИЕ**

1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Термины и определения.....	2
4 Требования к квалификации исполнителей.....	3
5 Условия выполнения измерений.....	3
6 Принцип измерений .....	3
7 Требования к погрешности измерений .....	5
8 Подготовка компаратора к работе .....	6
9 Методика выполнения измерений .....	8
10 Обработка результатов измерений .....	10
11 Требования безопасности .....	12
Библиография .....	12
Приложение А. Юстировка лазерного луча на компараторе .....	13
Приложение Б. Пример определения температурного коэффициента шкалы рейки .....	14

CTO-02571830-8.19-2018

## СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

---

### ОТРАСЛЕВАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В СФЕРЕ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

#### Методика измерений при определении коэффициента линейного расширения материала шкалы нивелирной рейки с использованием автоматизированного лазерного компаратора

---

Дата введения - 2018-07-01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на отраслевую систему обеспечения единства измерений в сфере геодезии и картографии и устанавливает порядок выполнения измерений при определении коэффициента линейного расширения материала, из которого изготовлена шкала нивелирной рейки, с использованием вертикального автоматизированного лазерного компаратора (далее – компаратор).

Изложенная в стандарте методика применима в отношении нивелирных штрих-кодовых реек, выпускаемых фирмами Trimble, Leica, Sokkia, Topcon, а также традиционных штриховых инварных реек, предназначенных для нивелирования I и II классов.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

СТО-02571830-31-2016 Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте использованы термины с определениями, приведенными ниже.

**3.1 Компаратор:** Средство измерений, предназначенное для сличения мер однородных величин, измерительных преобразователей и измерительных приборов (РМГ 29).

**3.2 Цифровой нивелир:** Геодезический прибор для измерения превышений по штрих-кодовой рейке с регистрацией результатов измерений на табло или носителе информации.

**3.3 Штрих-кодовая рейка:** Нивелирная рейка, содержащая графическую информацию в виде последовательности чёрных и белых элементов, наносимых на носитель шкалы рейки, обеспечивающей возможность считывания её техническими средствами.

**3.4 Лазерный интерферометр:** Измерительный прибор, в котором пучок лазерного излучения с помощью оптической призмы разделяется на два или большее количество когерентных пучков, каждый из которых проходит различные оптические пути и направляется на экран, создавая интерференционную картину, по которой можно установить разность фаз интерферирующих пучков в данной точке картины.

**3.5 Шаговый двигатель:** Синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора, благодаря чему при последовательной активации обмоток двигателя происходят дискретные перемещения (шаги) ротора.

**3.6 Видеокамера:** Оптико-электронное устройство, предназначенное для преобразования оптического изображения, получаемого при помощи объектива на светочувствительной матрице в цифровой поток видеоданных.

**3.7 Масштабный коэффициент шкалы:** Метрологическая характеристика шкалы, определяющая зависимость между фактическими и измеренными значениями результатов, полученных с использованием данной шкалы.

**3.8 Коэффициент линейного расширения шкалы:** Физическая величина, характеризующая относительное изменение линейных размеров шкалы с изменением температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ .

#### **4 Требования к квалификации исполнителей**

Исполнитель работ должен иметь высшее геодезическое образование, опыт поверочных работ не менее 2 лет, знать устройство автоматизированного компаратора, иметь опыт эксплуатации цифровых нивелиров, а также пройти специальную подготовку для работы на автоматизированном лазерном компараторе. Для получения права поверки с использованием лазерного компаратора исполнитель должен пройти аттестацию в соответствии с стандартом организации СТО 02571830-31-2016.

#### **5 Условия выполнения измерений**

При выполнении измерений рекомендуется соблюдать следующие условия:

температура воздуха в помещении лаборатории должна находиться в диапазоне  $+5^{\circ}\text{C} \div +35^{\circ}\text{C}$ ;

вертикальный градиент температуры не более  $1^{\circ}\text{C}/\text{м}$ ;

скорость измерения температуры не более  $2^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ;

относительная влажность не более 60% при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ ;

отсутствие шума и вибраций в помещении;

колебание напряжения в сети электропитания не более 10%.

#### **6 Принцип измерений**

Основная сущность методики заключается в получении значений масштабного коэффициента шкалы на основании сопоставления значений масштабов шкалы, полученных при различных значениях температуры окружающей среды.

При проведении измерений рейка устанавливается на конвейере вертикального компаратора, а цифровой нивелир и видеокамера – на столбе для наблюдений на определенном расстоянии от рейки, как показано на рис. 1.





*Рис. 1.*

Рейка перемещается шаг за шагом через заданный интервал в вертикальном направлении и контролируется лазерным интерферометром. Положения границы штриха, фиксируемые видеокамерой, и отсчеты по лазерному интерферометру наблюдаются при остановках рейки на конвейере. Таким образом, положения границ одноименных штрихов шкалы рейки на разных ее участках, получаемые с помощью видеокамеры (или нивелира), сравниваются с истинными значениями, получаемыми лазерным интерферометром.

По результатам измерений с применением программного обеспечения должны быть определены значения масштаба шкалы ( $f_i$ ) при трех различных значениях температуры ( $t_i$ ) в диапазоне от  $+5^\circ\text{C}$  до  $+35^\circ\text{C}$ . Полученные результаты измерений используется для вычисления коэффициента температурного расширения  $\alpha$  материала, из которого изготовлена шкала рейки.

## 7 Требования к погрешности измерений

К основным источникам погрешностей измерений при работе на вертикальном автоматизированном лазерном компараторе следует отнести:

- неточное знание размера пикселя;
- погрешность за атмосферное давление;
- погрешность за влажность воздуха;
- погрешность за температуру;
- погрешность из-за неточного соблюдения принципа Аббе;
- погрешность из-за не параллельности пучка лазера и направления движения призмы на пятке рейки;
- погрешность из-за неточной установки рейки;
- погрешность из-за неправильной установки CCD-камеры;
- погрешность определения положения края штриха рейки;
- погрешность из-за неточного определения параметров внешней среды (температуры, атмосферного давления, влажности воздуха).

С учетом приведенных погрешностей, опыта эксплуатации подобного компаратора Финским геодезическим институтом [4], а также результатов экспериментального опробования методики измерений при определении коэффициента температурного расширения шкалы, среднее квадратическое отклонение значения  $f_i$  необходимо принять равным 3 мкм.

Среднее квадратическое отклонение значений температуры при определении коэффициента линейного расширения шкалы в пределах одного хода измерений в среднем составляет  $0,3^\circ \text{C}$ .

Значение средней квадратической погрешности определения коэффициента линейного расширения шкалы рейки с помощью программного обеспечения, заложенного в компараторе, вычисляют по формуле:

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{1}{(n-2)\sigma_t^2} \left\{ \sum_{i=1}^n \sigma_f^2 - \frac{[\sum_{i=1}^n (t_i - t_0)(f_i - f_0)]^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n (t_i - t_0)} \right\}}, \quad (1)$$

где

$n$  - объем выборки измерений;

$t_i$  и  $t_o$  - текущая и среднее значения температуры воздуха;

$f_i$  и  $f_o$  - значения масштаба шкалы, соответствующие текущему и среднему значению температуры;

$\sigma_t$  - среднее квадратическое отклонение температуры в данной выборке;

$\sigma_k$  - среднее квадратическое отклонение масштаба шкалы.

Подставив в (1) числовые значения параметров, приведенных выше, получим  $\sigma_\alpha = 0,16$  мкм/м °С.

## 8 Подготовка компаратора к работе

Деревянная П-образная рама компаратора и рельсовый путь конвейера должны периодически проверяться в отношении вертикальности; допустимое отклонение от вертикальной плоскости – не более 1 мм.

Перед началом измерений с использованием компаратора необходимо произвести следующие подготовительные работы.

1) Установить поверяемый нивелир на специальной подставке, закрепленной на бетонном столбе, и привести его в рабочее положение; тщательно отфокусировать зрительную трубу по изображению шкалы рейки.

2) Вывести на табло лист меню с параметрами (дата, число повторений, стандартное отклонение, REC500 формат REC E, скорость передачи данных, минимальная высота визирования, максимальная высота визирования, дискретность отсчетов по нивелиру).

3) Включить интерферометр и компьютер и привести их в рабочее состояние в соответствии с эксплуатационной документацией. Выдержать интерферометр во включенном состоянии, по крайней мере, 6 минут до начала измерений.

4) Включить светодиодную (LED) лампу для освещения шкалы рейки, установив ее на высоте 0,5-1 м относительно линии визирования нивелира.

5) Установить рейку на подвижной каретке конвейера, проверить ее вертикальное положение с помощью круглого уровня и нитяного отвеса.

6) Получить устойчивый сигнал интерферометра, отраженный призмой, закрепленной на пятке рейки.

7) Проверить соблюдение принципа Аббе, при этом, в случае необходимости, обеспечить правильное положение рейки. С этой целью необходимо следить за тем, чтобы были включены, по крайней мере, три индикатора (из пяти высвечиваемых зеленым светом на корпусе интерферометра). Если рейка перемещается вверх-вниз не строго вертикально (число светящихся индикаторов должно быть 2-3), ход луча лазера регулировать либо изменением положения рейки, закрепленной в подвижной каретке, либо путем смещения интерферометра подъемными винтами, в сочетании с движением призмы-делителя, либо перемещением призмы, расположенной на пятке рейки (см. приложение А).

8) Установить видеокамеру (CCD-камеру) на окулярной части нивелира.

9) Подключить видеокамеру через USB-порт с помощью кабеля к персональному компьютеру.

10) Проверить, чтобы данные кабелей от CCD-камеры, лазерного интерферометра, накопителя температурных данных (Almemo), шагового двигателя и цифрового нивелира были согласованы с данными компьютера.

11) Выполнить настройку CCD-камеры в соответствии с инструкцией по эксплуатации (для чего открыть на мониторе компьютера просмотрное окно Pylon Viewer).

12) Настроить на резкость изображение границы штрихов шкалы рейки с помощью фокусирующей линзы нивелира и оптики CCD-камеры, двигая камеру относительно окулярной части нивелира.

13) Передвинуть рейку в начальное положение и отметить на рейке наблюдаемый штрих (например, вертикальной черточкой или точкой). Таким же простейшим способом запомнить конечный штрих в нижней части рейки.

14) Проконтролировать, чтобы начальная вертикальная позиция для стартового штриха соответствовала отсчету примерно 247 в кадре изображения ССD-камеры.

15) Далее перегнуть рейку вверх, наблюдая в кадрах изображений ССD-камеры отклонения границы поверяемого штриха по вертикали.

16) Затем выбрать с помощью ССD-камеры яркость и освещенность штриха рейки осветительной лампой так, чтобы диапазон светлой области был равен 0-60 единиц, а темной – более 60.

17) Проверить регулировку лазерного луча в соответствии с инструкцией по эксплуатации лазерного компаратора по схеме, приведенной в приложении А. В худшем случае, по крайней мере, должен светить один зеленый индикатор на корпусе интерферометра в то время, когда рейка последовательно перемещается от нижней части вверх на заданное расстояние, например, на 2,5 м, и обратно.

Подключение компьютера, интерферометра, видеокамеры, шагового двигателя, датчиков температуры в сеть следует осуществлять только через источник бесперебойного питания.

## **9 Методика выполнения измерений**

При определении коэффициента линейного расширения шкалы компаратор следует использовать в режиме поверки (калибровки) рейки.

В этом варианте работы компаратора необходимо предусматривать следующие основные этапы измерений:

- 1) определение размера пикселя ССD-камеры;
- 2) измерение единственного (одинарного) интервала, соответствующего диапазону измерений от отмеченных начального и конечного штрихов шкалы рейки;
- 3) основная программа измерений - определение погрешностей (поправок) положения штрихов рейки.

Определения размера пикселя (Pixel Size) одинарного интервала (Single Interval) выполняются в соответствии с методикой, изложенной в стандарте организации СТО-02571830-31-2016.

Основная программа измерений заключается в определении масштаба шкалы  $f_i$  при различных значениях температуры в следующей последовательности:

- измерения при температуре  $t_1 = +10 \div +15^\circ \text{C}$ ;
- измерения при температуре  $t_2 = +18 \div +22^\circ \text{C}$ ;
- измерения при температуре  $t_3 = +28 \div +33^\circ \text{C}$ .

Допускается измерения при температурах  $t_1$  и  $t_3$  менять местами. Необходимо стремиться к тому, чтобы разность  $t_3 - t_1 = \max$ . При каждом значении температуры рейка выдерживается на рабочем месте не менее 1 часа после установки нужного значения температуры воздуха.

Исходные данные для построения программы измерений для различных типов нивелирных реек при указанных температурных режимах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение характеристики для реек типов:			
	LD13	GPCL3	DL-100	PH-05
Длина шкалы, мм	3000			
Число поверяемых штрихов	126	128	150	50
Стартовый отсчет, мм	2856	2763	2547	2900
Шаг измерений, мм	20	20	16	50
Стандартное отклонение определения положения штриха, мкм	0,5			
Количество отсчетов интерферометра на одной позиции	10			

Измерения в рамках основной программы проводятся автоматически по заданной программе в ходе прямо (А), когда рейка последовательно перемещается вверх с остановками через выбранный шаг и взятием отсчетов интерферометром, и ходе обратно (В), когда рейка перемещается вниз с теми же остановками и лазерными отсчетами. Одновременно с лазерными отсчетами CCD-камерой фиксируются позиции границ штрихов, а климатической станцией – значения температуры.

По окончании измерений программа автоматически должна выдать файл результатов Helpfile.txt, который включает данные измерений, 4 графика с линией тренда и уравнением поправок вида  $y = fx + c$  (2 графика для ходов А и В с измеренными поправками в положения штрихов и 2 графика А и В с уравненными поправками). Образец графика поправок для хода В при температуре 21°С приведен на рис. 2.

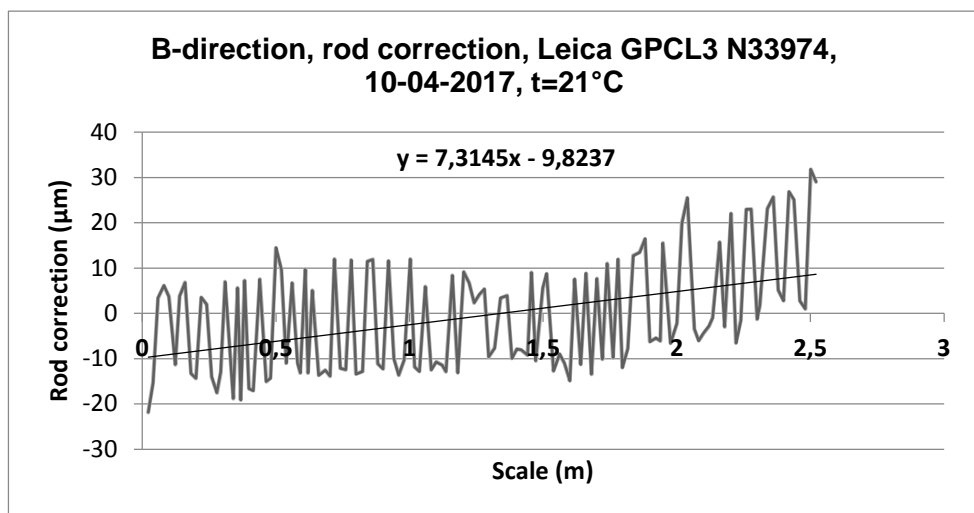


Рис. 2.

Расхождения между масштабными коэффициентами  $f$  в ходах А и В не должны превышать более 8 мкм; в противном случае необходимо выполнить повторные измерения, и если их результаты будут находиться в пределах 15 мкм, вычислить среднее значение из всех измерений.

## 10 Обработка результатов измерений

Результаты измерений обрабатываются автоматически с использованием специальной программы. Для вычисления значения коэффициента линейного расширения шкалы  $\alpha$  используется формула:

$$\alpha = [\sum_{i=1}^n (t_i - t_o)(f_i - f_o)] / \sum_{i=1}^n (t_i - t_o)^2, \quad (2)$$

где обозначения те же, что и в формуле (1).

До запуска программы в вычислительный шаблон в формате Excel необходимо внести следующие данные:

- наименования файлов измерений (с указанием даты измерений);
- ходы измерений (А или В);
- метеопараметры (температура, давление, влажность);
- измеренные значения масштаба шкалы для каждого хода А и В.

Далее с помощью программы в автоматическом режиме необходимо получить следующие результаты:

- значение температурного коэффициента  $\alpha$  и его погрешность;
- значение аддитивного параметра  $b$  и его погрешность;
- уравненные значения масштаба шкалы ( $g = at + b$ );
- разности между уравненными и измеренными значениями масштаба шкалы для каждого хода измерений ( $h = g - f$ )
- поправка в отсчет при температуре  $t = 20^\circ \text{C}$ .

На основании полученных результатов следует построить график зависимости поправки шкалы рейки от температуры окружающей среды (см. приложение Б). Аналитически этой зависимости должно соответствовать уравнение вида:

$$y = at + b, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения шкалы;

$t$  – значение температуры;

$b$  – аддитивный член уравнения.

С учетом полученных значений масштаба шкалы и температурного коэффициента в свидетельстве о поверке рейки необходимо указать уравнение измерений в виде:

$$L = L_{\text{и}} [k_0 + \alpha (t - 20)],$$

где  $L$  – исправленный отсчет по рейке;

$L_{\text{и}}$  - наблюдаемый отсчет по рейке;

$k_0 = f_0 \cdot 10^{-6}$  - масштабный коэффициент шкалы.



## 11 Требования безопасности

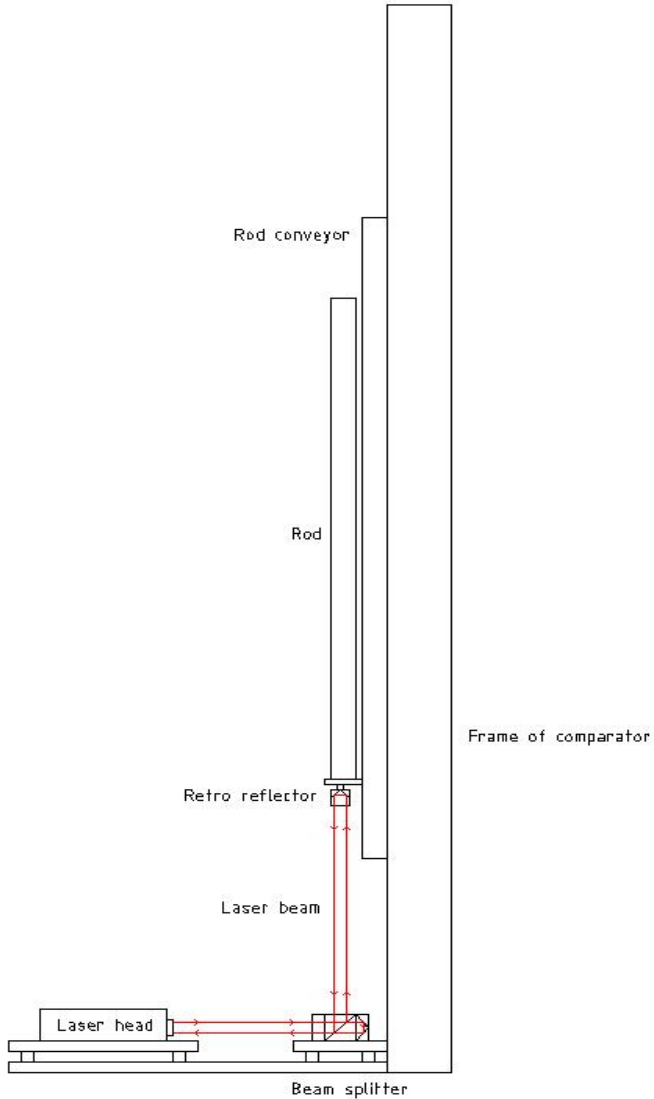
При выполнении измерений на компараторе необходимо соблюдать правила по технике безопасности в соответствии с требованиями нормативных документов - РД БГЕИ 36 и ПТБ-88 [2, 3], включая требования по безопасности при работе на высоте (при контроле вертикальности рейки в диапазоне ее перемещений с помощью транспортера).

### Библиография

- [1] Руководство по эксплуатации автоматизированного лазерного компаратора. РЭ. - Масала (Финляндия): Финский научно-исследовательский институт геопространственных данных, 2016.
- [2] Правила по технике безопасности на топографо-геодезических и картографических работах. ПТБ-8. - М.: ГУГК СССР, 1990.
- [3] Требования безопасности труда при эксплуатации топографо-геодезической техники и методы их контроля. РД БГЕИ 36-01. - М.: ЦНИИГАиК, 2001.

Приложение А

Юстировка лазерного луча на компараторе



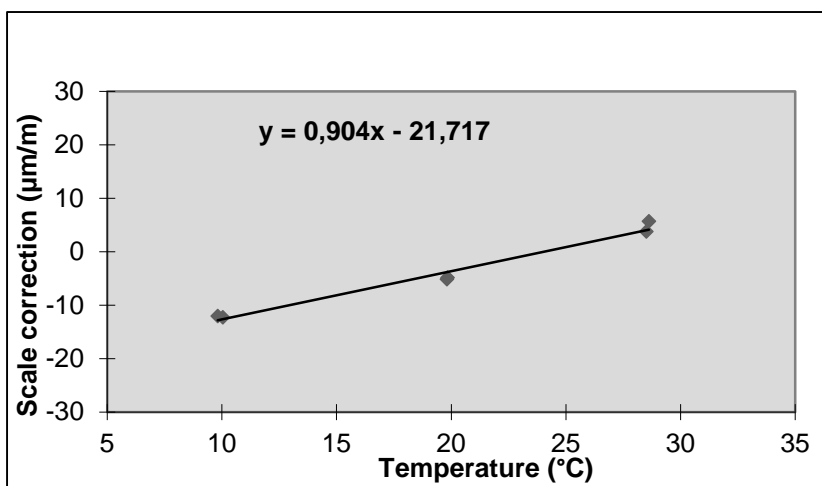
## Пример определения температурного коэффициента шкалы рейки

### Рейка LD13 No. 13988

Температурная зависимость  $f = \alpha T + b$ , where

$$\alpha = (0,904 \pm 0,066) \text{ ppm/}^\circ\text{C} \quad b = -21,72 \pm 1,38$$

Файл	измерения	T (°C)	p (hPa)	e (%)	f (µm/m)	g = $\alpha T + b$	h = g - f	h * h
HCC050913	A1	19,81	1008,4	54,7	-5,15	-3,81	1,34	1,793
HCC050913	B1	19,84	1008,8	54,3	-4,84	-3,78	1,06	1,122
HCC060915	A1	10,04	1014,5	67,8	-12,29	-12,64	-0,35	0,120
HCC060915	B1	9,81	1014,5	62,7	-12,07	-12,85	-0,78	0,611
HCC070909	A1	28,62	1005,2	36,4	5,71	4,16	-1,55	2,396
HCC070909	B1	28,51	1003,8	37,5	3,78	4,06	0,28	0,077
								6,119
Поправка $\alpha T$		20				<b>-3,64</b>	<b>±1,11</b>	



УДК 38014:528.2

ОКС 17.020

T-80

ОКСТУ 0008

Ключевые слова: геодезия, единство измерений, нивелирование I и II классов, цифровое нивелирование, вертикальный лазерный компаратор, цифровой нивелир, штрих-кодовая нивелирная рейка, штриховая инварная нивелирная рейка, коэффициент линейного расширения.

---

Подписано в печать  
15.05.2018  
Формат 60x90/16  
Бумага типографская  
Печать офсетная  
Усл. печ. л. 1,18  
Усл. кр. отт. 1,24  
Уч. изд. л. 1,13

Тираж 200  
Заказ 1-18

ФГБУ «Центр геодезии  
картографии и ИПД»  
(ЦНИИГАиК)  
125413, Москва,  
Онежская ул., 26