

# Программное обеспечение измерительной системы для компарирования нивелирных реек, оборудованной многоэлементными приемниками излучения

Я.В. Мясников<sup>1</sup>✉, О.В. Вшивкова<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

✉ ya\_myasnikov@edu.miigaik.ru

✉ ovshivkova@miigaik.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Мясников Я.В., Вшивкова О.В. Программное обеспечение измерительной системы для компарирования нивелирных реек, оборудованной многоэлементными приемниками излучения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 4. С. 26–31. DOI:10.30533/GiA-2023-043.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** нивелир, нивелирная рейка, программное обеспечение, пиксель, компарирование нивелирных реек

**АННОТАЦИЯ** В последнее время в научной литературе стали уделять большое внимание компактным поверочным схемам, а также компактным стендам и установкам для осуществления первичной и периодической поверок геодезических средств измерений [1–6]. Большинство стендов имеют собственное программное обеспечение (ПО), позволяющее автоматизировать и ускорить процесс поверки геодезических приборов. В статье приведено краткое описание оптико-электронной измерительной системы (ОЭИС) для компарирования нивелирных реек с использованием многоэлементных приемников излучения и программного обеспечения (ПО), позволяющего автоматизировать процесс распознавания штрихов нивелирных реек.

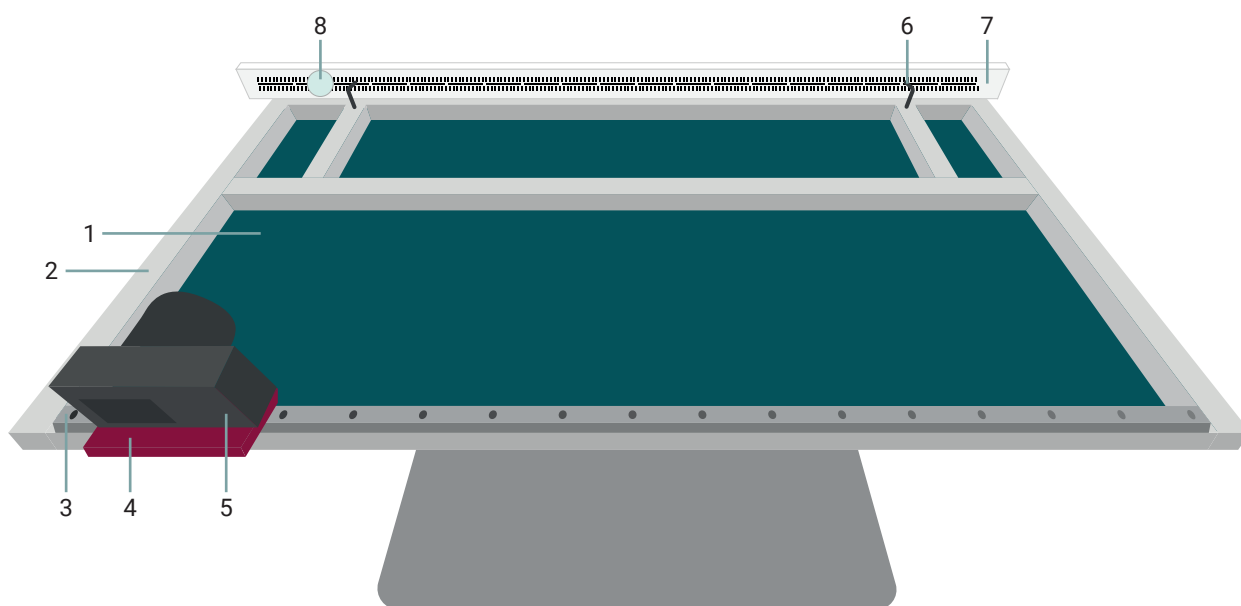
## 1 Введение

Активное использование в геодезическом производстве нивелиров и нивелирных реек, ставит перед исследователями задачу разработки оборудования и программного обеспечения (ПО) для поверки и компарирования нивелирного комплекта. Одним из авторов [7] разработана оптико-электронная измерительная система (ОЭИС) для компарирования нивелирных реек с использованием многоэлементных приемников излучения. Принцип устройства предложенной ОЭИС позволяет автоматизировать практически весь процесс компарирования. Обязательным условием автоматизации процессов измерений и анализа полученных результатов является разработка соответствующего ПО. В данной статье рассмотрено ПО, позволяющее автоматизировать процесс распознавания штрихов нивелирных реек.

## 2 Материалы и методы

ОЭИС [7] содержит столешницу (1), представляющую собой металлическую модульную раму (2) из алюминиевого профиля размером 1×0,5 м (Рис. 1). На одной из метровых сторон рамы (2) закреплен направляющий рельс (3), длиной 1 м. На рельсе (3) установлена каретка со специально изготовленным адаптером (4) для цифровой фотокамеры (ЦФ) (5). Каретка выполнена с возможностью перемещения по рельсу (3). На противоположной стороне от рельса (3), на раме (2), укреплены упоры с ложементами (6) для эталонной (например, инварной) или поверяемой (например, шашечной) реек (7), устанавливаемых поочередно. На эталонной и поверяемой рейках (7) крепится зеркало (8) для контроля перпендикулярности визирной оси ЦФ (5) к плоскости реек (6).

Рис. 1  Схема ОЭИС.



ОЭИС является компактной и мобильной. В сложенном состоянии может поместиться в дорожную сумку. Время первоначальной настройки системы занимает не более 20 минут. Контроль настройки станда необходимо осуществлять не реже, чем раз в рабочий день, желательно утром и вечером.

Настройка ОЭИС выполняется после сборки системы на предполагаемом объекте работ и включает в себя следующие операции:

- устранение неперпендикулярности визирной оси ЦФ и плоскости шкалы рейки вращением ЦФ на адаптере;
- устранение непараллельности оси рейки и оси направляющего рельса перемещением одного из упоров рейки;
- контроль неперпендикулярности визирной оси ЦФ и плоскости шкалы рейки и непараллельности оси рейки и оси направляющего рельса с помощью зеркала, которое крепится к рейке;
- определение влияния дисторсии объектива и установка оптимального предметного расстояния путем перемещения обоих упоров рейки.

### 3 Результаты исследования

Компарирование нивелирных реек с использованием ОЭИС [7] выполняется в следующей последовательности:

- сборка станда;
- установка на стенд ЦФ;
- установка на стенд эталонной рейки;
- настройка станда с контролем;
- определение цены деления пикселя матрицы МФП ЦФ;
- установка на стенд поверяемой рейки вместо эталонной;
- выполнение серии снимков поверяемой рейки;
- определение необходимых интервалов поверяемой рейки с помощью ПО;
- оценка точности полученных результатов;
- вывод протокола компарирования.

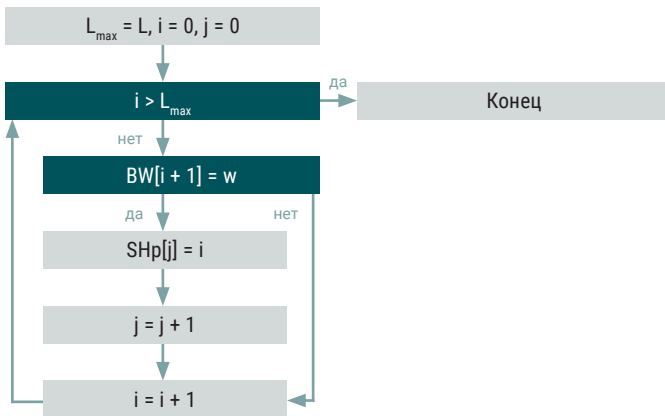
После выполнения серии из пяти снимков метрового интервала рейки данные с ЦФ импортируются в ПО с помощью USB кабеля и поочередно обрабатываются согласно алгоритму, представленному на Рисунке 2. Массив штрихов рейки в пикселях определяется с использованием соответствующего алгоритма (Рис. 3).

ПО реализует следующую последовательность операций:

- запуск программы;
- ввод количества обрабатываемых снимков –  $n$ , количества пикселей вдоль большей грани снимка (длины матрицы ЦФ) –  $L$ , начального номера столбца для распознавания штрихов рейки –  $C$ , граничных параметров  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  для распознавания смены цвета штрихов рейки и цены деления пикселя –  $p$ ;
- загрузка и трансформация (перевод изображения в черно-белый цвет, разворот снимка) первого снимка в разработанное ПО;
- трансформация графического файла в формате \*.bmp в три массива согласно цветовой схеме RGB;

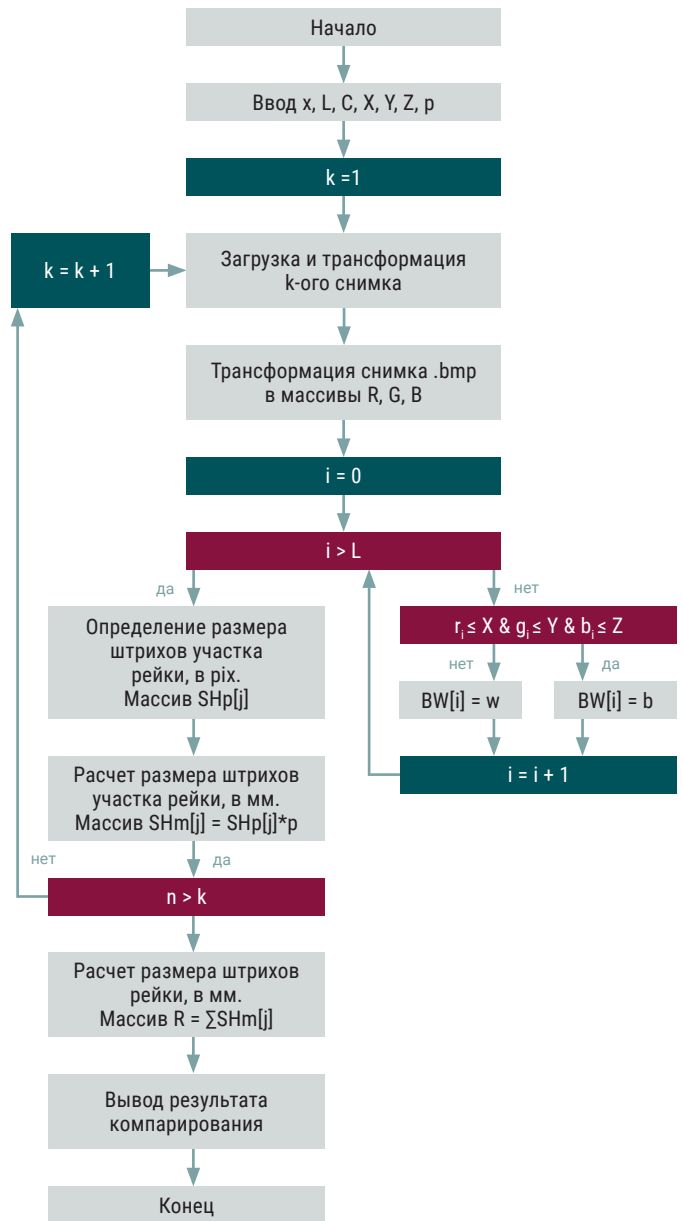
**Рис. 3**

Алгоритм определения размера штрихов участка рейки, в  $pix$ .  
Массив  $SHp[j]$ .



**Рис. 2**

Алгоритм работы ПО для обработки снимков нивелирных реек, полученных с помощью ОЭИС.



- запуск цикла перебора всего столбца пикселей с присвоением каждому пикселю цвета b (черный) или w (белый) согласно заданному условию, формирование массива  $BW[i]$ ;
- определение размера штрихов участка рейки в  $pix$ , формирование массива  $SHp[j]$ ;
- расчет размера штрихов участка рейки в мм, формирование массива  $SHm[j]$ ;
- последовательная обработка всей серии снимков;
- расчет размера штрихов всей рейки в мм, формирование массива  $R$ ;
- вывод результатов компарирования нивелирной рейки;
- завершение программы.

**Рис. 4** 

Пример запроса для автоматического распознавания штрихов рейки.

Введите № столбца : 6  
 Введите порог красного : 50  
 Введите порог зеленого : 50  
 Введите порог синего : 50

ПО написано на языке программирования C, а именно в программе C++. На данный момент ПО имеет простейший запросный вид, в окно которого необходимо ввести несколько переменных (Рис. 4):

1. порядковый номер столбца пикселей изображения рейки, с которого начнется поиск;
2. пороги значений красного, зеленого и синего цветов для оптимального распознавания перехода пикселей от белого к черному и наоборот.



## 4 Обсуждение результатов и выводы

Разработанная ОЭИС основана на использовании многоэлементных приемников излучения в качестве измерительной шкалы. В ходе выполненных исследований [1] доказана удовлетворительная чувствительность использованных приемников излучения и работоспособность ОЭИС. ОЭИС обеспечивает определение размера штрихов рейки с точностью 0,07 мм, что удовлетворяет требованиям точности компарирования нивелирных реек РН-3, используемых для нивелирования III класса. Разработанное ПО позволяет автоматизировать и ускорить процесс определения интервалов нивелирных реек в пикселях и в миллиметрах, что делает более удобным применение предложенной ОЭИС и повышает оперативность процесса компарирования нивелирных реек.

ОЭИС, включающая измерительный стенд и описанное выше ПО, представляет собой готовое компактное и комплексное решение для автоматизированного компарирования нивелирных реек в лабораторных и производственных условиях.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Виноградов А.В., Войтенко А.В., Петров С.Н. Поверка дециметровых интервалов штрих-кодовой шкалы нивелирных реек фирмы Trimble // Геодезия и картография. 2018. Т. 79. № 8. С. 2–11. DOI:10.22389/0016-7126-2018-938-8-2-11.
2. Виноградов Н.С., Воронцов Е.А., Глейзер В.И. Автоматизация метрологической поверки оптических нивелиров // Геопрофи. 2010. № 1. С. 39–41.
3. Староверов С.В. Разработка компактных средств геодезической метрологии для оперативной поверки и исследований нивелиров и тахеометров: дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М.: МИИГАиК, 2018. 108 с.
4. Уставич Г.А., Косарев Н.С., Баранников Д.А., Мезенцев И.А., Бирюков Д.В. Разработка универсального полевого стенда для поверки геодезических приборов // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 4. С. 379–387. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-4-379-387.
5. Уставич Г.А., Сальников В.Г., Рябова Н.М. Схема полевого высотного стенда для поверки системы «Цифровой нивелир — штрих-кодовые рейки» // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2014. № S4. С. 51–55.
6. Уставич Г.А., Ямбаев Х.К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир + штрих-кодовая рейка» // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2013. Т. 6. С. 8–13.
7. Мясников Я.В. Компарирование нивелирных реек на разработанном стенде с многоэлементными фотоприемниками // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 4. С. 395–401. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-4-395-401.

- АВТОРЫ** **Мясников Яков Владимирович**  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»,  
Москва, Россия  
кафедра геодезии, геодезический факультет  
 0000-0003-1521-1479
- Вшивкова Ольга Владимировна**  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»,  
Москва, Россия  
кафедра высшей геодезии, геодезический факультет  
д-р техн. наук, профессор РАН  
 0000-0002-0315-7201

Поступила 15.07.2023. Принята к публикации 21.08.2023. Опубликовано 28.08.2023.