

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИВЕЛИРА PR30-HVS В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕРЕНИЙ

Галина Вячеславна Симонова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. +7 (913) 724-67-47, e-mail: simgal@list.ru

Статья посвящена сравнительному анализу точности результатов измерений горизонтального позиционирования для разных условий измерений. Выполнение работ такого вида относится к целому ряду прикладных задач, которые требуют высокой точности горизонтального расположения объектов. Для рассматриваемых целей часто применяются лазерные нивелиры. В настоящее время рынок предлагает много моделей приборов такого типа. Как правило, в сопроводительных документах приводятся метрологические характеристики с указанием одного конкретного расстояния, для которого указывается результат, и в большинстве случаев не рассматривается влияние условий измерений на погрешность полученных результатов. Однако, для больших расстояний или сложных условий эксплуатации (дождь, пыль) следует ожидать значительного увеличения погрешности в силу особенностей лазерного излучения и его транспортировки в среде.

Ключевые слова: лазерные нивелиры, горизонтальное позиционирование, результаты измерений, условия измерений, среднеквадратичное отклонение

ESTIMATION OF APPLICATION EFFICIENCY OF THE PR30-HVS LEVELER IN DIFFERENT MEASUREMENT CONDITIONS

Galina V. Simonova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor of Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: +7 (913) 724-6747, e-mail: simgal@list.ru

The article is devoted to comparative analysis of accuracy of horizontal positioning measurement results for different measurement conditions. Performing work of this type refers to a number of applied tasks that require high accuracy of the horizontal arrangement of objects. For the purposes under consideration, laser levelers are often used. Currently, the market offers many models of this type of devices. As a rule, the documents accompanying provide metrological characteristics with an indication of one specific distance, for which the result indicated and, in most cases, the influence of measurement conditions on the error of results obtained is not considered. However, for long distances or difficult operating conditions (rain, dust), a significant increase in the error should be expected due to peculiarities of laser radiation and its transportation in the environment.

Keywords: laser leveler, horizontal positioning, measurement results, measurement conditions, standard deviation

Введение

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью точного определения горизонтального позиционирования объектов, с целью повышения качества измерений и их достоверности, что позволит сделать рабочие процессы

более эффективными. К таким видам деятельности относится строительство специальных сооружений, ангаров, цехов, сборочных линий, фундаментов для планшетов или метрологического оборудования [1–3]. Для качественного выполнения данного вида работ необходимо точное расположение плоскости относительно горизонта или объектов относительно друг друга. Выполнение подобных задач реализуется с применением процедуры нивелирования [4–6].

Каждое современное предприятие для улучшения качества результатов своей деятельности приобретает наиболее современное эффективное оборудование, которое, позволит быстрее и точнее решать производственные задачи. В настоящее время широкое применение получили лазерные нивелиры, которые, в большинстве своем, многофункциональны, и часть операций выполняется автоматически. Метрологические характеристики приборов подтверждаются в результате процедуры поверки [7–9].

Полученные в этом случае характеристики отображают свойства самого прибора, но не учитывают разнообразные ситуации, которые возникают при его эксплуатации. Более того, многие модели нивелиров не комплектуются приемником, а рассчитаны на визуальное наблюдение луча. Понятно, что в этом случае погрешность оценки результата значительно возрастает, а расстояние, на котором наблюдается сигнал, уменьшается. Даже в том случае, когда прибор комплектуется приемником, как например, рассматриваемый в данной работе нивелир PR 30–HVS, следует ожидать заметного влияния условий наблюдений на погрешность результата измерений, когда в канале транспортировки луча присутствуют посторонние частицы. Использование нивелиров очень часто сопряжено именно с такими условиями эксплуатации: пыль на строительных площадках, взвеси различных веществ в производственных цехах, водяные пары в атмосфере и т. д.

Методы и материалы

Для оценки влияния условий измерений на погрешность результатов измерений был проведен ряд экспериментов с использованием лазерного нивелира PR 30–HVS производства фирмы HILTI [10, 11].

Ротационный лазерный нивелир PR 30–HVS представляет собой устройство с видимым вращающимся лазерным лучом, которое может обслуживаться одним человеком. Прибор предназначен для разметки, переноса и проверки горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, а также прямых углов. В нивелире предусмотрена цифровая индикация полученных результатов и автоматическое выравнивание точек отсчета по вертикали. В комплект поставки кроме собственно лазерного блока входит приемник излучения – «ловушка», которая выводит результаты измерений и отклонения от максимального значения на экран дисплея в цифровом и графическом форматах. Точность на расстоянии 10 м (при стандартных условиях окружающей среды) составляет $\pm 0,5$ мм, дальность действия прибора от 2 м до 150 м. Нивелир оснащен индикаторами рабочего состояния: светодиод автоматического нивелирования, светодиод режима наклона, светодиод режима контроля и светодиод функции «Антишок» [12].

Измерения проводились на закрепленном блоке регистрации с интервалом 5 минут. Обработка осуществлялась по стандартной методике обработки многократных измерений, по пяти результатам в серии [13, 14]. Оценка смещения результата измерений производилась от среднего значения смещения линии горизонта в данной серии измерений. Для сравнительной оценки использовалось среднеквадратичное отклонение и погрешность результата измерений при заданной доверительной вероятности. Процесс фиксации результатов измерений приведен на рис. 1.



Рис. 1. Фиксация результатов измерений

На изображении (рис. 1) хорошо видно регистрационную полосу излучения, а также то, что полоса имеет конечную ширину, и визуально максимум интенсивности определить сложно. Для устранения этой проблемы в приборе предусмотрена функция автоматической настройки на положение максимума, что позволяет повысить точность фиксации расположения горизонтальной линии. Однако, при прохождении излучения через среду могут возникать различные взаимодействия с присутствующими в ней частицами, что приведет к искажениям распределения энергии в канале транспортировки луча. Поэтому следует ожидать увеличения погрешности фиксации положения горизонта, которое будет зависеть как от состояния среды, так и от расстояния до определяемого объекта.

Результаты

Для решения поставленной задачи был проведен ряд экспериментов с использованием ротационного лазерного нивелира с лазерным источником света в красной области спектра. Измерения проводились для расстояний два метра и сто пятьдесят метров, которые соответствуют рабочим дистанциям, приведенным в паспорте прибора [10]. В табл. 1 приведены результаты измерений и расчета соответствующего среднеквадратичного отклонения для доверительной вероятности $P = 0,9$ числа измерений $n = 5$, коэффициент Стьюдента $t(n, p) = 2,1$.

Таблица 1

Горизонтальное позиционирование, расстояние 2 м

Условия измерений	Среднее значение смещения, мм	Среднеквадратичное отклонение, мм	Абсолютная погрешность, мм
Рабочее помещение	0,2	0,1	0,2
Пыльное помещение	0,2	0,1	0,2
Пасмурная погода	0,2	0,1	0,2
Ясная погода	0,2	0,1	0,2

Полученные результаты показывают, что в пределах погрешности измерений для малых расстояний условия измерения практически не влияют на результат измерений, и его характеристики соответствуют паспортным данным прибора.

В табл. 2 приведены результаты измерений в условиях, аналогичных приведенным выше, но расстояние при этом было выбрано равным 150 м, что соответствует предельным значениям для данного типа приборов.

Таблица 2

Горизонтальное позиционирование, расстояние 150 м

Условия измерений	Среднее значение смещения, мм	Среднеквадратичное отклонение, мм	Абсолютная погрешность, мм
Рабочее помещение	0,4	0,19	0,4
Пыльное помещение	0,6	0,24	0,5
Пасмурная погода	3,2	0,43	0,9
Ясная погода	-	-	-

Полученные результаты показывают, что погрешность результатов измерений в помещениях при больших расстояниях слабо зависит от состояния среды транспортировки излучения для условий строительной площадки. Совершенно другой результат наблюдается на открытых площадках. В этом случае заметно увеличивается разброс значений отклонения линии горизонта от выбранного контрольного значения, и, как следствие, существенно увеличивается абсолютная погрешность результата измерений. Для ясной погоды получить результаты измерений на открытой площадке не удалось, что вполне соответствует замечаниям, высказанным многими пользователями при обсуждении эксплуатационных характеристиках данного прибора в сети Интернет.

Обсуждение

При сравнении результатов обработки измерений, проведенных в разных условиях, выявлено различное влияние этих условий на погрешность определения заданной величины. Наибольшая погрешность результатов измерений получена для больших расстояний, когда присутствует ветер и небольшой дождь. Ин-

интересно, что неустойчивость состояния среды в канале транспортировки оказала значительно большее влияние на результат, чем запыленность в помещении. Следует отметить невозможность эксплуатации прибора без дополнительных методических приемов в ясную погоду на больших расстояниях, в данном случае на расстоянии в сто пятьдесят метров.

Заключение

По итогам проведенной обработки измерений становится видно, что разница между полученными результатами в чистом помещении и помещении со слабой запыленностью невелика и практически не ощутима даже на больших расстояниях. При сравнении измерений в помещении и на открытой территории при разных погодных условиях исход очевиднее. Так, например, при измерении в ясную погоду даже на расстоянии в два метра луч уверенно регистрируется прибором, но наблюдается плохо, что затрудняет его фиксацию на протяженном объекте. При проведении нивелирования на большем расстоянии лазерный луч совсем исчез, и дальнейшее исследование было бессмысленно. Также, анализ результатов показал, что максимальное влияние на погрешность измерений наблюдается при проведении измерений в пасмурную погоду, с присутствием легкого ветра и небольшого дождя. В таких условиях на расстоянии в сто пятьдесят метров погрешность самая значительная и почти в два раза превышает указанную в характеристиках прибора.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при работе с ротационным лазерным нивелиром следует учитывать условия, в которых проводятся измерения, особенно на открытых площадках при больших расстояниях. Наибольшее влияние на результаты измерений оказывает, например, присутствие на траектории лазерного луча пыли и, особенно, влаги. Кроме этого установлено, что при проведении измерений в условиях повышенной освещенности может происходить потеря информации от нивелира, что делает невозможным процесс нивелирования. Полученные результаты могут быть полезны для широкого круга пользователей при выборе и эксплуатации нивелиров.

Благодарности

Автор выражает благодарность сотруднику филиала ПАО «Компания «Сухой» «Новосибирский авиационный завод имени В. П. Чкалова» Кузнецову Михаилу Михайловичу за помощь в организации эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бесимбаева О. Г., Низаметдинов Ф. К., Олейникова Е. А. Использование технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров // Интерэкспо Гео-Сибирь-2020. XVI Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 19–21 мая 2020 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – Т. 1, Ч.1 – С. 152–160.

2. Алтынцев М. А., Каркокли Хамид Маджид Сабер. Влияние результатов предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования на точность построения цифровых

моделей поверхности автомобильных дорог// Интерэкспо Гео-Сибирь-2020. XVI Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 19–21 мая 2020 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. Т. 1, Ч. 1. – С. 74 – 85.

3. СНиП 2.03.13–88 Полы: нац. стандарт РФ. – Введ. 20.05.2011. – Технический комитет по стандартизации ТК 465 "Строительство", 2011. – 23 с.

4. Киселева М. Г., Михелев А. В. Технология выполнения нивелирования: учебник для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 364 с.

5. ГОСТ 10528–90 Нивелиры. Общие технические условия: нац. стандарт РФ. – Введ. 01.07.1991. – Издательство стандартов, 1990. – 30 с.

6. Карсунская М. М. Нивелиры – от оптических до электронных. – М.: Проспект, 2015. – 355 с.

7. ГОСТ Р 50.2.023-2002 ГСИ. Нивелиры. Методика поверки. – Введ. 01.01.2002. – Стандартинформ, 2013. – 23 с.

8. Официальный сайт лазерных уровней и дальномеров с измерением погрешности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.laser-level.ru/sovety-i-stati/kak-proverit-lazernyj-uroven/>. – Загл. с экрана.

9. ГОСТ Р 58373-2019 Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Термины и определения: нац. стандарт РФ. – Введ. 01.09.2020. – Стандартинформ, 2019. – 24 с.

10. Официальный сайт фирмы «Hilti – лазерные нивелиры» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hilti.ru/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_ROTATING_LASERS_7127/. – Загл. с экрана.

11. Официальный сайт лазерных уровней и дальномеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.laser-level.ru/>. – Загл. с экрана.

12. Официальный сайт фирмы «Hilti» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hilti.ru/>. – Загл. с экрана.

13. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: нац. стандарт РФ. – Введ. 01.01.2013. – Стандартинформ, 2013. – 23 с.

14. Колесников М. П. Аспекты измерения превышений: учебник. – Москва, 2014. – 309 с.

© Г. В. Симонова, 2021