

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПОГРЕШНОСТЬ ВИЗИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТАХЕОМЕТРА

Виктор Александрович Скрипников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (382)343-29-55, e-mail: v.a.skrpnikov@ssga.ru

Маргарита Александровна Скрипникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (382)343-29-55, e-mail: m.a.skrpnikova@ssga.ru

Приведены результаты исследования по определению влияния турбулентности воздуха на точность визирования тахеометра в режиме автоматизированного наведения. Исследования выполнены в лабораторных условиях. При выполнении измерений тахеометром Leica TCRP 1201+ были определены зависимости точности наведения от направления, скорости и температуры потока воздуха. Точность наведения определялась на створе длиной 18 м. Конвектор, которым создавался направленный поток воздуха, устанавливался в створе на разных расстояниях от тахеометра. По результатам многократных измерений были определены средние квадратические погрешности наведения по горизонтальному и вертикальному кругам и измерения расстояний. Установлено, что точность наведения уменьшается при увеличении температуры потока воздуха. Кроме того, установлено, что при прохождении луча лазера через горячий поток воздуха происходит смещение луча. Значение смещения зависит от температуры воздуха. Даны рекомендации по уменьшению погрешностей автоматизированного наведения тахеометром при наличии направленной конвекции воздуха.

Ключевые слова: турбулентность воздуха, тахеометр, конвектор, погрешность автоматизированного наведения, методика измерений.

STUDYING TURBULENCE IMPACT ON SIGHTING ERROR OF AUTOMATED TOTAL STATION

Victor A. Skripnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: v.a.skrpnikov@ssga.ru

Margarita A. Skripnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: m.a.skrpnikova@ssga.ru

The paper presents the results of studying air turbulence impact on operational accuracy of the total station in automatic mode. The study was carried out in laboratory conditions with the total station Leica TCRP 1201+. Dependencies of accurate aiming on direction, velocity and temperature of air stream were determined. The aiming accuracy was determined at the distance of 18 m. The convector that made the air stream, was positioned at different distances from the total station. The numerous measurements determined root mean square errors of aiming in horizontal and vertical

circles and distances. It is stated that the aiming accuracy gets worse when the air temperature increases. It is also stated that when laser beam goes through the hot air stream, it deviates. The paper gives the recommendations for reducing errors in automated aiming of the total station if there is a directed air convection.

Key words: air turbulence, total station, convector, automated aiming error, measurement method.

Введение

Тахеометры с автоматизированным наведением на отражатель применяются для решения различных задач при геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации сооружений и технологического оборудования [1–7]. При высокоточных геодезических оптико-электронных измерениях одним из источников погрешностей является влияние внешней среды, в частности, рефракция. Это влияние может быть частично устранено периодическим введением поправок в процессе измерений при длиннопериодическом характере изменения параметров внешней среды, например метеоданных, или методикой измерений. Такая методика учета погрешностей применяется в основном при работе на открытом воздухе, вне промышленных помещений [8–11].

При работе внутри помещений действующих промышленных предприятий на пути визирного луча из-за работы систем вентиляции и отопления могут возникать локальные рефракционные поля и конвекционные потоки воздуха с высокой температурой. При визуальном наведении на отражатель наблюдатель может оценить качество изображения и прекратить измерения или применить методику измерений, позволяющую уменьшить влияние турбулентности.

При автоматизированном наведении в тахеометрах применяется лазерное излучение, при этом энергетический центр потока лазерного излучения не совпадает с визирной линией. Это обстоятельство приводит к тому, что при измерениях перекрестие сетки нитей зрительной трубы тахеометра может не совпадать с центром отражателя и наблюдатель не имеет возможности визуально оценить качество наведения на отражатель. Необходимость учитывать влияние турбулентности даже на малых расстояниях при режиме автоматического наведения, отмечается в работе [12], однако в работе исследуется только влияние разнонаправленной турбулентности при постоянной температуре воздуха. В реальных условиях, например, при монтаже оборудования или исполнительных съемках, приходится работать вблизи направленных потоков воздуха от тепловых завес или систем охлаждения, и даже небольшая конвекция воздуха может влиять на высокоточные измерения [12–20].

Эксперименты

Исследования точности автоматизированного наведения выполнялось в лабораторных условиях. При измерениях использовался высокоточный тахеометр Leica TCRP 1201+. Наведение тахеометра выполнялось на высокоточ-

ный отражатель GRP 121. Тахеометр и отражатель были установлены на центры с принудительным центрированием. Расстояние между тахеометром и отражателем было равно 18 м. Для создания направленных турбулентных и конвекционных потоков воздуха использовался электрический конвектор с вентилятором и терморегулятором. Конвектор при выполнении измерений устанавливался в створе между тахеометром и отражателем.

На первом этапе исследований конвектор устанавливался в створе между тахеометром и отражателем, на расстоянии 8 м от тахеометра. Вначале определялось влияние горизонтального потока воздуха на точность автоматизированного наведения на отражатель. Измерения выполнялись при: отсутствии турбулентности воздуха; потоке воздуха с температурой 25 °С; потоке воздуха с температурой 50 °С; потоке воздуха с температурой 60 °С.

На каждой установке выполнялось по 15 наведений на отражатель. Затем конвектором создавался вертикальный поток воздуха, и выполнялись измерения с перечисленными выше параметрами потока воздуха. На втором этапе исследований конвектор устанавливался на удалении 2 м от тахеометра. Исследование точности наведения выполнялись по методике измерений первого этапа.

По полученным результатам были вычислены средние квадратические погрешности (СКП) автоматизированных наведений по горизонтальному кругу, по вертикальному кругу и СКП измерения расстояний. Результаты вычислений приведены в таблице.

Средние квадратические погрешности автоматизированных наведений по горизонтальному кругу, по вертикальному кругу и измерения расстояний

Расстояние от отражателя до конвектора	Направление потока воздуха	Состояние воздуха	СКП отсчета по горизонтальному кругу (")	СКП отсчета по вертикальному кругу (")	СКП измерения расстояния (мм)
8 м	горизонтальное	поток воздуха 60 °С	1,21	0,95	0,13
		поток воздуха 50 °С	1,04	1,28	0,17
		поток воздуха 25 °С	0,55	0,52	0,16
		штиль	0,65	0,50	0,16
	вертикальное	поток воздуха 60 °С	1,42	1,45	0,23
		поток воздуха 50 °С	0,98	0,73	0,16
		поток воздуха 25 °С	0,66	0,41	0,09
		штиль	0,65	0,50	0,16
2 м	горизонтальное	поток воздуха 60 °С	0,67	1,31	0,08
		поток воздуха 50 °С	0,89	0,92	0,14
		поток воздуха 25 °С	0,55	0,75	0,12
		штиль	0,54	0,67	0,00
	вертикальное	поток воздуха 60 °С	1,26	0,95	0,14
		поток воздуха 50 °С	0,98	0,87	0,10
		поток воздуха 25 °С	0,45	0,49	0,13
		штиль	0,54	0,67	0,00

На рис. 1 приведен график, построенный по отсчетам горизонтального круга при установке конвектора на расстоянии 8 м от тахеометра.

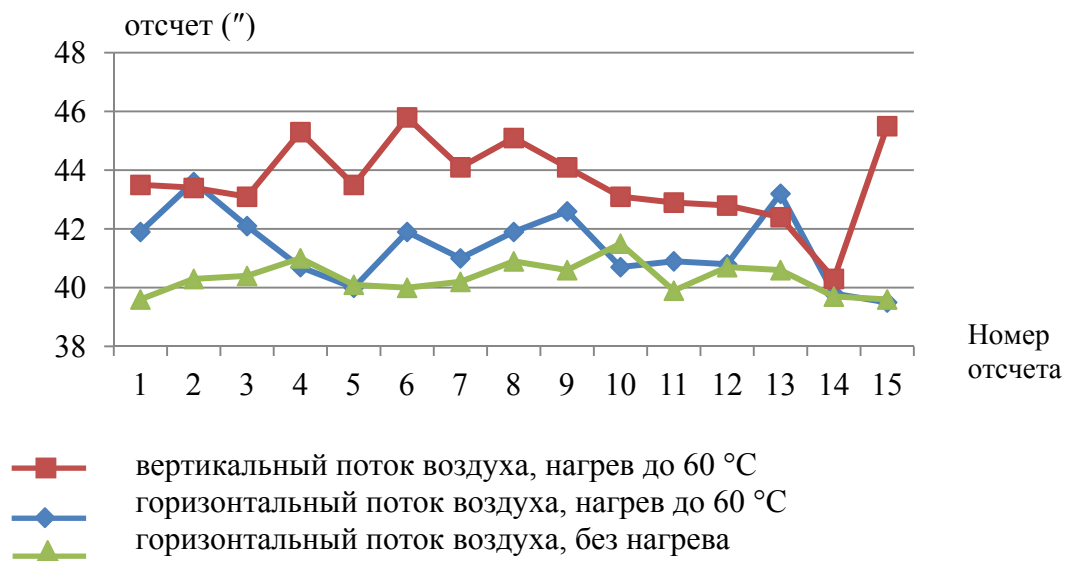


Рис. 1. График отсчетов по горизонтальному кругу при установке конвектора на расстоянии 8 м от тахеометра

На рис. 2 приведен график, построенный по отсчетам горизонтального круга при установке конвектора на расстоянии 2 м от тахеометра.

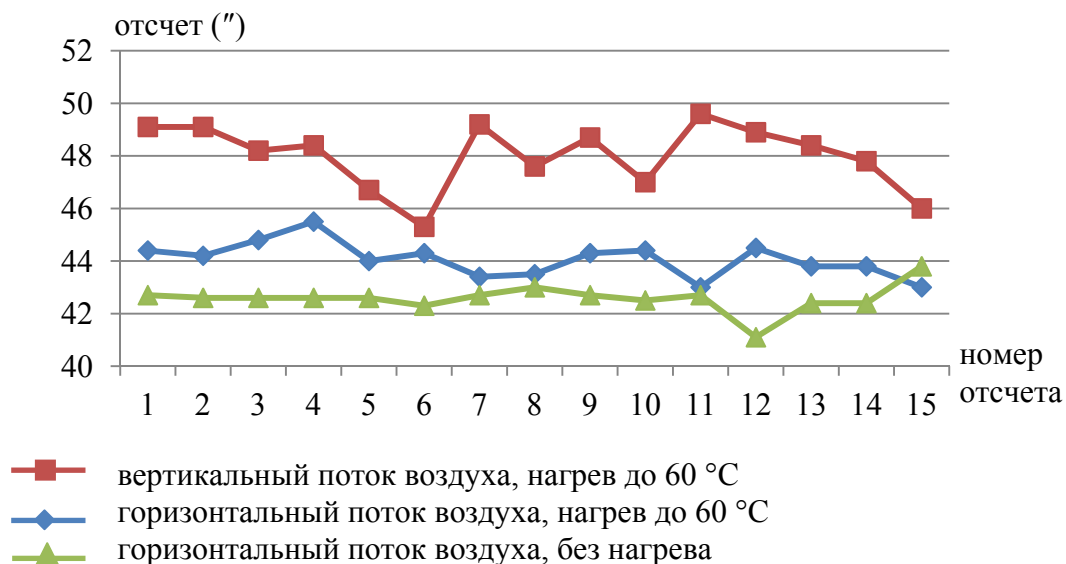


Рис. 2. График отсчетов по горизонтальному кругу при установке конвектора на расстоянии 2 м от тахеометра

Выводы

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что наибольшее влияние на точность наведения оказывает вертикально направленная конвекция воздуха. Точность автоматизированного наведения в вертикальной и горизонтальной плоскости, в линейной мере, сопоставима с точностью измерения расстояний. Турбулентность воздуха на малых расстояниях не оказывает существенного влияния на точность измерений.

По линиям графиков можно сделать вывод о смещении луча лазера в горизонтальной плоскости при прохождении вертикального конвекционного потока воздуха. Смещение луча в вертикальной плоскости направлено на уменьшение отсчетов по вертикальному кругу.

При уменьшении расстояния от тахеометра до конвектора смещение луча увеличивается. Следует отметить, что величина смещения луча зависит от температуры конвекционного потока воздуха.

В качестве рекомендаций для проведения измерений при наличии направленных конвекционных потоков воздуха предлагается следующее:

- тахеометр следует устанавливать на максимальном удалении от источников направленных потоков воздуха;
- исключать пересечение лазерного луча направленными потоками воздуха с температурой более 50°;
- не выполнять высокоточное тригонометрическое нивелирование при наличии на линии визирования постоянных конвекционных потоков воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бернд Хиллер, Ямбаев Х. К. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – Вып. 3. – С. 33–38.
2. Бешр Ашраф А., Рябова Н. М., Скрипникова М. А. Разработка методики определения горизонтальных смещений стенок шлюза // Геодезия и картография. – 2010. – № 6. – С. 17–21.
3. Хиллер Бернд, Ямбаев Х. К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 48–61.
4. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А. Модели технологий автоматизированных высокоточных геодезических измерений при монтаже и мониторинге промышленных установок // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения : сб. материалов междунар. научн.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 11–13 ноября 2015 г.). – СПб. : Политехника, 2015. – С. 55–57.
5. Mogilny S. G., Sholomytskiy A. A., Seredovich V. A., Seredovich A. V., Ivanov A. V. The Analysis of Methods for Determining the Geometric Parameters of Rotating Machines // International Workshop «Integration of Point-and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects. Proceedings 23th-24th march 2015, Studgart, Germany. – С. 119–130.
6. Влияние нагрева печи на прямолинейность ее оси вращения / А. А. Шоломицкий, П. С. Ковалев, Т. М. Медведская, А. В. Мартынов // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 18–26.

7. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
8. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
9. Никонов А. В. К вопросу о влиянии вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 12–26.
10. Никонов А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 43–53.
11. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 24–33.
12. Скрипникова М. А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 131–134.
13. Исследования точностных характеристик дальномеров Apі Tracker3 / Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский, Ю. А. Пупков, Л. Е. Сердаков // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 9–12.
14. Исследования зависимости погрешностей геодезических измерений в продольном и поперечном направлениях относительно визирного луча Apі Tracker3 от расстояния / Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский, Ю. А. Пупков, Л. Е. Сердаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 3–6.
15. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Исследование точности определения отметок марок при определении осадок фундаментов технологического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 87–91.
16. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.
17. Ustavich G. A., Rakhymberdina M. Y., Toguzova M. M. Investigation and improvement of metrological calibration tests of the “digital level-barcode rod” system. // ARPN Journal of Engineering and Applied Science ISSN 1819-6608. April 2016. – Т. 11. – № 8.
18. Kulikov D. V., Anikin Yu. A., Dvoinishnikov S. V., Meledin V. G. Laser technology for determining the geometry of a hydroelectric generator rotor under load // Power Technology and Engineering. Vol. 44, No. 5. January 2011. P. 411–416.
19. Мигуренко В. Р., Петров В. В. Контроль геометрических характеристик элементов линии вала гидрогенератора Рогунской ГЭС с применением мобильных промышленно-геодезических систем // СГЭМ-70 лет в гидроэнергетике: научно-техн. сб. – СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2012. – С. 209–212.
20. Применение лазерного трекера для контроля положения клиньев статора крупного гидрогенератора / В. В. Петров, В. Р. Мигуренко, В. О. Медяников, В. В. Краев // СГЭМ-70 лет в гидроэнергетике: научно-техн. сб. – СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2012. – С. 213–219.

© В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, 2019