

Применение автоматизированных геодезических приборов при монтаже технологического оборудования

В. А. Скрипников^{1}, М. А. Скрипникова¹, А. М. Андосова¹, О. А. Сладкевич¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Аннотация. Рассматривается методика определения геометрических параметров технологического оборудования с применением автоматизированных тахеометров. Анализируются результаты производственных работ по определению пространственного положения оборудования. Отмечается, что при определенных условиях, применение тахеометров позволяет выполнять определение пространственного положения контрольных точек на оборудовании с необходимой точностью. Рекомендуется предварительно исследовать точность всех режимов измерений расстояний и углов в лабораторных условиях и условиях, максимально приближенных к производственным. Для выполнения измерений на малых расстояниях предлагается усовершенствованная методика измерений. Особенность предлагаемой методики состоит в том, что при измерениях предлагается использовать одновременно высокоточный автоматизированный тахеометр и высокоточный цифровой нивелир. Приведены результаты измерений. Установлено, что рассматриваемая методика позволяет повысить точность определения отметок контрольных точек на оборудовании.

Ключевые слова: тахеометр, цифровой нивелир, технологическое оборудование, контрольные точки, комбинированная визирная цель

Use of automated geodetic devices when assembling technological equipment

V. A. Skripnikov^{1}, M. A. Skripnikova¹, A. M. Andosova¹, O. A. Sladkevich¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia Federation

* e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Abstract. The article considers the method of determining the geometric parameters of technological equipment with the use of automated total stations. It analyses the results of production work to determine the spatial position of the equipment. It is noted that under certain conditions, the use of total stations allows determining the spatial position of control points on the equipment with the necessary accuracy. The preliminary investigations of accuracy by all modes of measurements distances and angles in the laboratory conditions and conditions, as close as possible to real are recommended. To perform measurements at short distances, an improved measurement technique is proposed. The peculiarity of the proposed technique is that during measurements it is proposed to use simultaneously a high-precision automated total station and a high-precision digital level. The article gives the results of measurements. It is established that the considered technique makes it possible to increase the accuracy of determining the control points' marks on the equipment.

Keywords: total station, digital level, technological equipment, control points, combined surveying target

Введение

В настоящее время автоматизированные тахеометры широко применяются при определении геометрических параметров сооружений, монтаже и эксплуатации технологического оборудования. Применение этого вида геодезических приборов при высокоточных работах обусловлено высокой степенью автоматизации выполнения измерений, наличием большого количества различных по степени автоматизации и точности приборов. Дополнительно следует отметить, что такого класса приборы всегда интегрируют в автоматизированные системы геодезического мониторинга и в другие системы получения пространственной информации об объекте наблюдения [1–6].

Если рассматривать технологию выполнения измерений с применением современных тахеометров, то следует отметить, что наличие у тахеометров возможности автоматического наведения на отражатель может значительно сократить время измерений, что особенно важно при наличии неблагоприятных факторов для оптических измерений.

Одной из особенностей методики измерений геометрических параметров оборудования является то, что измерения, в зависимости от размеров оборудования и условий видимости, могут выполняться с одной станции, с двух или с применением сети опорных пунктов [7]. Кроме того, необходимо учитывать длительность измерений. Например, при выполнении измерений более чем в одну смену, необходимо долговременное закрепление точки стояния тахеометра. Создание сети опорных пунктов с учетом того, что монтаж оборудования выполняется внутри помещений, необходимо выполнять в виде закрепленных на устойчивых конструкциях высокоточных отражателей. Определение координат и отметок отражателей, для исключения ошибок исходных данных, рекомендуется выполнять с одной точки стояния тахеометра. При выполнении измерений координаты и отметки точки стояния тахеометра могут определяться из обратной линейно-угловой засечки с применением программного обеспечения тахеометра. Для достижения максимальной точности определения координат необходимо предварительно определять места постановки прибора в цехе и, в зависимости от этого, располагать места закрепления отражателей [8–12]. Система координат и отметок должна быть условной с возможностью пересчета в систему координат и отметок объекта.

Одной из особенностей оптических измерений является большая зависимость точности измерений от величин метеорологических факторов и их изменения во время измерений. Следует отметить, что зависимость точности измерения расстояний от рефракции и турбулентности воздуха при внутрицеховых значениях расстояний значительно меньше, чем для угловых измерений, особенно для измерения вертикальных углов [13–16]. С учетом этого обстоятельства следует проектировать схемы измерений.

В зависимости от требуемой точности определения геометрических параметров оборудования применяются различные режимы измерения расстояний. Как показали исследования на макетах оборудования и измерения при монтаже

оборудования, ошибки измерений расстояний в безотражательном режиме, оцененные по результатам многократных измерений, для исследованных приборов, не превышают 1 мм. Как известно, ошибки измерений у разных приборов с одинаковой паспортной точностью могут значительно отличаться, не превышая ее. Поэтому необходимо предварительно исследовать точность всех режимов измерений расстояний и углов в лабораторных условиях и условиях, максимально приближенных к производственным условиям [17].

Эксперимент

Исследования выполнялись на макете оборудования. Макет представлял собой десять трубчатых центров с высокоточными центрирующими устройствами. Пункты расположены равномерно по окружности. Диаметр окружности равен 4 м. Целью исследования являлось определение точности измерения координат и отметок контрольных точек на оборудовании, на которые устанавливали отражатель. Измерения выполнялись высокоточным тахеометром Leica TCRP 1201+ в режиме автоматического наведения на отражатель. Тахеометр устанавливался внутри кольца, в центре окружности на штативе. Такая схема расположения тахеометра применялась при контроле геометрии статора гидрогенераторов и монтаже камеры рабочего колеса турбины гидроагрегата [18]. Размеры макета позволяют выполнить исследование режима автоматического наведения на пределе фокусирования. Особое внимание при выполнении исследования было направлено на определение точности измерения вертикальных углов.

Методика измерения предусматривала наведение на отражатели без перефокусирования [19]. Наведение на отражатель выполнялось дважды. При наведении выполнялось вручную недоведение на центр отражателя сверху, снизу. Измерения выполнялись при двух кругах тахеометра. Расхождение превышений, определенных при разных кругах тахеометра были равны $0,5 \pm 0,1$ мм. Для контроля определения отметок точек использовался высокоточный цифровой нивелир Trimble DiNi03, устанавливаемый на место тахеометра Leica TCRP 1201+. Нивелиром DiNi03 было выполнено дважды определение превышений между точками. Расхождение одноименных превышений не превышало 0,03 мм. Результаты сравнения превышений, определенных из геометрического нивелирования DiNi03 и тригонометрического нивелирования TCRP 1201+ приведены в табл. 1.

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что шесть превышений из тригонометрического нивелирования, вычисленных в программном обеспечении тахеометра до 0,1 мм, практически равны превышениям, измеренным нивелиром. Два превышения различаются на 0,2 и 0,3 мм. Анализ данных измерений тахеометра показал, что вертикальные углы, по которым вычислялись превышения на точки 2 и 9, измерены со значительными изменениями места нуля вертикального круга прибора, что обусловлено погрешностями работы системы автоматического наведения на отражатель.

Таблица 1

Результаты сравнения превышений, измеренных по штрих-кодовой рейке нивелиром DiNi03 и с помощью TCRP 1201+ и отражателя

Наименование превышений	Превышения, измеренные по штрих-кодовой рейке нивелиром DiNi03, мм	Превышения, определенные из тригонометрического нивелирования, мм	Разность превышений, мм
1-2	0,23	0,05	0,18
2-3	2,98	3,10	-0,12
3-4	1,89	1,90	-0,01
4-5	1,95	1,90	0,05
6-7	13,73	13,75	-0,02
7-8	-13,82	-13,80	-0,02
8-9	-1,37	-1,30	-0,06
9-10	-1,54	-1,80	0,26

Для удобства и уменьшения времени измерений при выполнении исследований была изготовлена комбинированная визирная цель. Она представляла собой соединение отражателя и фрагмента штрих-кодовой рейки. Фрагмент штрихкодовой рейки был изготовлен вручную на листе бумаги и приклеен к фрагменту шашечной рейки (рис. 1).



Рис. 1. Комбинированная визирная цель

Результаты сравнения превышений, определенных из геометрического нивелирования по фрагменту штрих-кодовой рейки нивелиром DiNi03 и тригонометрического нивелирования тахеометром TCRP 1201+ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнения превышений измеренных по фрагменту штрих-кодовой рейки нивелиром DiNi03 и с помощью TCRP 1201+ и отражателя

Наименование превышений	Превышения, измеренные по фрагменту штрих-кодовой рейки нивелиром DiNi03, мм	Превышения, измеренные из тригонометрического нивелирования тахеометром TCRP 1201+, мм	Разность превышений, мм
1-2	0,05	0,05	0,00
2-3	3,15	3,10	0,05
3-4	1,82	1,90	-0,08
4-5	1,79	1,90	-0,11
6-7	13,77	13,75	0,02
7-8	-13,75	-13,80	0,05
8-9	-1,33	-1,30	-0,03
9-10	-1,45	-1,80	0,35

Анализ данных измерений превышений показал хорошую сходимость превышений с учетом ручного изготовления фрагмента рейки. При выполнении опытных производственных измерений с комбинированной визирной целью необходимо выполнять предварительно поверку масштаба рейки по методике, предложенной в [20].

Заключение

Многократные измерения координат и отметок на минимальных расстояниях до визирной цели для исследуемого тахеометра показали максимальную разность для одноименных точек в пределах точности отсчитывания (0,1 мм). При выполнении измерений было зафиксировано нарушение работы механизма автоматического наведения при смене круга тахеометра (недопустимое изменение места нуля вертикального круга). Для контроля точности работы механизма автоматического наведения необходимо выполнение измерений тахеометром на контрольные точки не менее чем двумя приемами. При повышенной точности измерения отметок контрольных точек рекомендуется применение высокоточного цифрового нивелира в комплекте с комбинированной визирной целью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бешр Ашраф А., Рябова Н. М., Скрипникова М. А. Разработка методики определения горизонтальных смещений стенок шлюза // Геодезия и картография. 2010. № 6. С. 17–21.
2. Бернд Хиллер, Ямбаев Х. К. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. Вып. 3. С. 33–38.
3. 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 нояб. 2015 г.). СПб.: Политехника, 2015. С. 55–57.

4. Хиллер Бернд., Ямбаев Х.К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга // Вестник СГУГиТ, вып. 1(33), 2016. - С. 48-61.

5. В. Г. Сальников, Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Хлебникова Т. А. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС // Вестник СГУГиТ – 2018. – Том 23, № 4. – С. 110-127.

6. Хиллер, Бернд, Сухов И.В., Ли В.Т. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехника. – 2015. – N 2. - С. 12-15.

7. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Создание высокоточных малых линейно-угловых сетей с применением электронных тахеометров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014: X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 08–18 апр. 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 87–91.

8. Горяинов И. В. О наилучшей конфигурации обратной линейно-угловой засечки и необходимом количестве пунктов для достижения заданной точности // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 4. С. 41–47.

9. Горяинов И. В. Экспериментальные исследования применения обратной линейно-угловой засечки для оценки стабильности пунктов плановой деформационной геодезической сети // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 1. С. 28–39.

10. Никонов А. В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013: IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апр. 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т1. С. 93–100.

11. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Исследование влияния стабильности положения геодезической основы на точность обратной линейно-угловой засечки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014 : X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 08–18 апр. 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 63–70.

12. 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. PP. 411–416.

13. 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.

14. Петров В. В, Мигуренко В. Р., Медяников В. О., Краев В.В. Применение лазерного трекера для контроля положения клиньев статора крупного гидрогенератора // СГЭМ-70 лет в гидроэнергетике: научно-техн. сб. СПб.: Изд-во Политех. ун-та. 2012. С. 213–219.

15. Уставич Г. А., Скрипников В. А., М. А. Скрипникова, М. А. Совершенствование программы створных измерений // ГЕО-Сибирь-2020: сб. материалов XVI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2020», 18 июня-8 июля. 2020 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020.– Т. 1, Ч. 1.– С. 42 – 49.

16. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Исследование влияния турбулентности на погрешность визирования для автоматизированного тахеометра // ГЕО-Сибирь-2019: сб. материалов XV Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2019», 24-26 апреля. 2019 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019.– Т. 1, Ч. 1.– С. 217 – 222.

17. Скрипникова, М.А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО-Си-

биль-2010: сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19-29 апр. 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010.– Т. 1, Ч. 1.– С. 131-134.

18. Уставич Г. А., Писарев В. С., Середович С. В., Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Дударев В. И. Геодезическое обеспечение реконструкции гидроагрегатов // Вестник СГУГиТ – 2018. – Том 23, № 3. – С. 74-88.

19. А. В. Никонов, Н. М. Рябова, С. П. Алексеев. Исследование влияния хода фокусирующей линзы зрительной трубы электронного тахеометра на положение визирной оси // ГЕО-Сибирь-2021: сб. материалов XVII Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2021», 19-21 мая. 2021 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГУГиТ, 2021.– Т. 1, Ч. 1.– С. 93 – 99.

20. Г. А. Уставич, Иван Абид оглы Мезенцев, Д. В. Бирюков, Д. А. Баранников. Методика технологической поверки масштаба изображения по разностям превышений, измеренных эталонным и поверяемым цифровыми нивелирами // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т.27. – С. 59–71.

© В. А.Скрипников, М. А. Скрипникова, А. М. Андосова, О. А. Сладкевич, 2022