

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ СТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

### *Георгий Афанасьевич Уставич*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

### *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.skripnikov@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.skripnikova@ssga.ru

Рассматриваются способы определения непрямолинейности сооружений и оборудования. Анализируются способы, основанные на определении пространственного положения створа. Отмечается, что при определенных условиях, применение тахеометров и ГНСС-приемников позволит выполнять измерения с необходимой точностью. Предлагается усовершенствованная методика створных измерений по программе полного створа. Особенность рассматриваемой методики состоит в том, что для повышения точности измерений отклонений от створа предлагается, при невозможности принудительного центрирования тахеометра на контрольных пунктах створа, использовать дополнительный опорный створный пункт, который устанавливается в середине между конечными опорными пунктами створа. Предлагается методика установки тахеометра на дополнительном опорном пункте с применением центрирующего устройства. Приведены результаты экспериментальных измерений. Рассматриваемая методика позволит повысить точность определения отклонений контрольных пунктов по программе полного створа.

**Ключевые слова:** полный створ, методика центрирования, опорный пункт, контрольный пункт, тахеометр.

## IMPROVEMENT OF DISCHARGE SECTION LINE MEASUREMENT PROGRAM

### *Georgy A. Ustavitch*

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

### *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.skripnikov@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.skripnikova@ssga.ru

The article considers methods of misalignment determination of constructions and equipment, and analyses methods based on the spatial section line location. It is noted that in certain conditions the use of total stations and GNSS-receivers allows to perform a section line the measurements with necessary accuracy. To carry out measurements on the overall discharge section line program the improved method is suggested. The advantage of the suggested method is that if there is no opportunity for compulsory centering of a total station on the survey control points of the section line, it suggests using an extra survey control point of dam site to increase the measurement accuracy. The extra survey control point is settled in the site with high accuracy with the help of centering device. The measurements were performed by the suggested method and the results were analyzed. It was stated that the considered method increases the accuracy of misalignment determination of the control points on the overall discharge section line program.

**Key words:** section line, centering method, survey control point, control point, total station.

### ***Введение***

При определении непрямолинейности конструкций сооружений и технологического оборудования применяются различные схемы створных измерений. Отклонение от створа может быть определено непосредственно с помощью рейки или подвижной марки, а также косвенным способом, как функция измеренного угла и расстояния [1]. Наиболее простой в технологическом отношении схемой является выполнение измерений по схеме полного створа. В этой схеме отклонения контрольных пунктов от створа определяются с одной постановки тахеометра или теодолита на опорном (конечном) пункте. Данная схема измерений обеспечивает высокую производительность работ. Однако, при значительной длине створа, из-за увеличения расстояний до контрольных пунктов, происходит увеличение ошибок измерений отклонений от створа, что уменьшает точность определения взаимного положения соседних пунктов створа, особенно в его середине. Если значения отклонений от створа при контроле непрямолинейности не превышают нескольких сантиметров, то ошибки измерения расстояний не влияют на точность определения отклонений от створа. В этом случае ошибки определения отклонений зависят только от точности измерения малых горизонтальных углов.

Для повышения точности определения отклонений от створа в настоящее время применяют координатный метод измерений, который позволяет получить пространственное положение пунктов створной линии [2, 3]. Координаты и отметки створных пунктов могут определяться высокоточным автоматизированным тахеометром, ГНСС-приемниками или лазерными трекерами.

При выполнении координатных измерений тахеометр устанавливается примерно в середине створа и путем решения обратной линейно-угловой засечки с визированием на опорные пункты геодезической сети определяет свое

местоположение [4-9]. В связи с тем, что для вычисления приращений координат до створных пунктов измеряются расстояния и углы, необходимо обосновывать применение координатного способа результатами предварительного расчета точности измерений. С учетом паспортной точности измерений углов и расстояний высокоточными тахеометрами, ошибки определения координат при контроле непрямолинейности технологического оборудования на расстояниях до 100 метров будут равны от 0,6 до 0,7 мм [10].

Применение ГНСС-приемников для контроля непрямолинейности возможно только на пунктах, где есть прямая радиовидимость на спутники навигационных систем. С учетом паспортной точности измерения приращений координат, равной 3 мм/км, можно рекомендовать ГНСС-приемники для контроля непрямолинейности конвейерных линий большой протяженности в сложных метеорологических условиях и контроля перемещений гребня плотин ГЭС [11-17].

Лазерные трекеры, имея высокую точность измерения координат и отметок, применяются, в основном, для определения геометрических характеристик технологического оборудования [18-20]. На расстоянии до 10 метров средняя квадратическая ошибка (СКО) определения координат составляет не более 0,1 мм. На расстоянии 100 метров СКО определения координат, при отсутствии турбулентности воздуха, составляет от 0,5 до 0,6 мм, что сопоставимо с ошибками измерения координат высокоточными тахеометрами. При проектировании измерений лазерными трекерами необходимо учитывать стоимость выполнения работ, так как стоимость трекеров может превышать стоимость автоматизированного тахеометра или комплекта ГНСС-приемников в несколько раз.

Необходимо отметить, что при сравнении способа створных измерений по программе полного створа с координатным способом, реализуемым тахеометрами или лазерными трекерами, величины СКО определения отклонений от створа на расстояниях до 100 метров обоими способами будут примерно равны. На более длинных створах способ измерения малых углов имеет потенциал повышения точности определения отклонений за счет повышения точности измерения углов.

### *Эксперименты*

Исследование предлагаемой методики высокоточной установки тахеометра в створ были выполнены в лабораторных условиях при расстояниях от тахеометра Leica TCRP 1201+ до опорных пунктов створа 13,6 и 96,5 м. При выполнении измерений на створе длиной 27,2 м, тахеометр с центрирующим устройством, а также подставки, были установлены на долговременные пункты с принудительным центрированием (рис. 1). При выполнении измерений применялись высокоточные отражатели Leica GPR 121.

На первом этапе исследований определялась СКО автоматизированного наведения на отражатель для расстояния 13,6 м. Результаты измерений приведены в таблице.



Рис. 1. Установка тахеометра с центрирующим устройством на пункте

На первом этапе исследований определялась СКО автоматизированного наведения на отражатель для расстояния 13,6 м. Результаты измерений приведены в табл.1.

Исследованиями установлено, что СКО самонаведения на отражатель составила 0,11", что в линейной мере составляет 0,01 мм. При определении ошибки автоматизированного наведения на отражатель на расстоянии 96,5 м для установки тахеометра применялся тяжелый штатив, установленный на бетонном полу. В результате выполнения исследований было установлено, что СКО самонаведения составила 0,14", что в линейной мере составляет 0,07 мм. При сопоставлении расстояний и полученных ошибок измерений, приведенных в табл. 1, можно сделать вывод, что ошибки самонаведения на отражатель, выраженные в линейной мере, зависят от расстояния визирования. В рассматриваемом случае при увеличении расстояния в семь раз ошибки самонаведения увеличились также в семь раз.

На втором этапе исследований определялась ошибка установки тахеометра в створе с помощью центрирующего устройства. Для уменьшения времени установки тахеометра центрирующее устройство предварительно устанавливалось в створе с ошибкой от 2 до 3 мм тахеометром с опорных пунктов створа. После этого выполнялось измерение горизонтального угла между опорными пунктами при одном круге тахеометра. При этом одно из направлений на опорный пункт принималось за начальное направление. Так как тахеометр находился примерно в середине створа, то по отклонению измеренного угла от  $180^\circ$ , с учетом расстояния до отражателей, вычислялась величина и направление смещения подвижной пластины центрирующего устройства. При отклонении измеренного угла от  $180^\circ$  менее 2,0" величина смещения составляла менее 0,10 мм и не фиксировалась визуально по шкале верньера центрирующего устройства.

На этом этапе установка необходимого отсчета по второму направлению угла выполнялась вращением микрометрического винта центрирующего

устройства методом последовательных приближений. Время установки тахеометра в створ не превысило десять минут. Результаты измерений при установке тахеометра в створе приведены в табл. 1.

Анализ результатов показывает, что отклонение измеренного угла в полуприеме от  $180^\circ$  не превышает  $0,5''$ , что соответствует отклонению  $0,02$  мм в линейной мере от створа. Измерение горизонтального угла на опорные пункты с установленного в створе тахеометра тремя полными приемами показало, что его значение не превышает  $180^\circ \pm 1,0''$ , что соответствует отклонению от створа в линейной мере на  $\pm 0,03$  мм.

Определение величины ошибки установки тахеометра в створе с помощью центрирующего устройства, при удалении отражателя от тахеометра на  $96,5$  м, выполнялась по приведенной выше методике измерений. Результаты измерений приведены в таблице. Анализ результатов показывает, что отклонение измеренного угла в полуприеме от  $180^\circ$  не превышает  $0,5''$ , что соответствует отклонению установленного тахеометра в линейной мере от створа на  $0,12$  мм. Измерения горизонтального угла тремя полными приемами показало, что его значение не превышает  $180^\circ \pm 1,0''$ . Однако было установлено, что при появлении в створе незначительной направленной турбулентности воздуха, измененное значение угла может отличаться от  $180^\circ$  на  $\pm 2,0''$ .

Результаты измерений при определении СКО  
автоматизированного наведения на отражатель

Отсчет по горизонтальному кругу тахеометра при многократном автоматизированном наведении на отражатель на расстоянии:		Пример отсчетов по горизонтальному кругу тахеометра при установке отсчета способом последовательных приближений с помощью центрирующего устройства на расстоянии до отражателя:	
13,2 м	86,5 м	13,2 м	96,5 м
$180^\circ 00' 00,3''$	$179^\circ 59' 53,0''$	$180^\circ 00' 03,9''$	$179^\circ 59' 57,1''$
$00,2''$	$52,9''$	$180^\circ 00' 01,7''$	$179^\circ 59' 59,5''$
$00,1''$	$52,8''$	$180^\circ 00' 00,7''$	$179^\circ 59' 59,6''$
$00,3''$	$53,3''$	$180^\circ 00' 00,9''$	$179^\circ 59' 59,8''$
$00,2''$	$53,1''$	$180^\circ 00' 00,3''$	$179^\circ 59' 59,8''$
$00,2''$	$52,9''$	$180^\circ 00' 00,1''$	$180^\circ 00' 00,2''$
$00,3''$	$53,0''$	$180^\circ 00' 00,3''$	$179^\circ 59' 59,9''$
$00,0''$	$53,1''$	$180^\circ 00' 00,2''$	$179^\circ 59' 59,8''$
$00,2''$	$52,9''$		
$00,4''$	$53,1''$		
СКП= $0,11''$	СКП= $0,14''$		

## **Обсуждение**

Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности высокоточных угловых измерений тахеометрами с автоматизированным наведением на отражатель. Необходимым условием достижения высокой точности является применение высокоточного комплекта тахеометра, который включает высокоточные подставки с адаптерами и отражателями. Выполненные измерения показали, что предложенная методика створных измерений при определении непрямолинейности технологического оборудования на коротких расстояниях, может конкурировать по точности с координатным методом, реализуемым с применением лазерных трекеров [19].

Исследованиями также подтверждено, что основным источником понижения точности угловых измерений при автоматическом наведении тахеометра на отражатель, является турбулентность воздуха по направлению створа [2, 21]. Следует отметить, что автоматизированное наведение на отражатель исключает личные ошибки наблюдателя. Кроме того, при наведении по лучу лазера на разноудаленные визирные цели, исключается ошибка за ход фокусирующей линзы.

## **Выводы**

Разработанная методика створных измерений может применяться при определении непрямолинейности технологического оборудования и определении горизонтальных смещений сооружений. Установка в середине створа, с применением центрирующего устройства, высокоточного тахеометра, при выборе оптимальных условий измерений, обеспечивает более высокую точность измерений отклонений от створа по сравнению с методикой измерений по программе полного створа.

В качестве рекомендаций для выполнения измерений следует отметить следующее:

- перед выполнением измерений, из-за конструктивных особенностей систем наведения в тахеометрах разных изготовителей, необходимо выполнить проверку ошибки автоматизированного наведения тахеометра;
- дополнительный опорный пункт должен быть изготовлен по типу долговременного пункта с возможностью принудительного центрирования;
- для обеспечения минимальных смещений тахеометра микрометрический винт центрирующего устройства должен иметь шаг резьбы не более 1,0 мм и диаметр его головки должен быть больше, чем у наводящего винта алидады тахеометра.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Жуков Б. Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий [Текст]: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.
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. Бернд Хиллер, Ямбаев Х. К. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. – Вып. 3. – С. 33–38.
4. 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, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 83–86.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т. 1. – С. 93–100.
9. 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, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 63–70.
10. 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. – Т. 23, № 3. – С. 74–88.
11. Скрипников В. А., Скрипникова М. А., К вопросу модернизации плановой сети для определения деформаций плотин ГЭС / Скрипникова // Геодезия и картография.– 2012. – № 1. – С. 4–7.
12. Хиллер Бернд., Ямбаев Х. К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга// Вестник СГУГиТ, Вып. 1 (33), 2016. – С. 48–61.
13. Сальников В. Г., Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС/ Сальников В. Г., Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Хлебникова Т. А. // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 108–124.
14. Гутов С. С., Ли В. Т. Спутниковая автоматизированная система деформационного мониторинга на Саяно-Шушенской ГЭС. Практический опыт внедрения/ Гутов С. С. // Гидротехническое строительство. – 2015, – N 6. – С. 17–22.
15. Хиллер, Бернд, Сухов И. В., Ли В. Т. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехника. – 2015. – N 2. – С. 12–15.
16. Ли, В. Т., Сухов, И. В. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС [Электронный ресурс] / «Инжиниринговый центр ГФК». – Электрон. дан. – М., 2017. – Режим доступа: [https://icentre-gfk.ru/article/a\\_asdm-sshges.htm/](https://icentre-gfk.ru/article/a_asdm-sshges.htm/). Загл. с экрана.
17. Устинов А. В. Технология спутникового геодезического мониторинга гидротехнических сооружений.// Гидротехническое строительство. – 2014, – № 6. – С. 39–43.

18. Kulikov D. V., Anikin Yu. A., Dvoishnikov 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.

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

21. 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.

© Г. А. Уставич, В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, 2020