

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ**

*Антон Викторович Никонов*

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, ведущий инженер; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sibte@bk.ru

*Дарья Александровна Бирюкова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, e-mail: dasha13\_97@mail.ru

*Вадим Валерьевич Танюхин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, e-mail: tbb7@mail.ru

В процессе эксплуатации электрических станций и сетей периодически выполняются обследования зданий и сооружений, по результатам которых делаются выводы о фактическом состоянии строительных конструкций. Одним из этапов обследования являются обмерные работы, в ходе которых определяются геометрические размеры строительных конструкций, их отклонения от проектных значений. Не во всех случаях имеется возможность выполнения непосредственных измерений размеров строительных конструкций, их сечений и элементов. Предлагается определять размеры конструкций путем косвенных измерений с использованием электронного тахеометра с функцией безотражательного измерения расстояний. В ходе лабораторных исследований установлено, что визирование на грань конструкций следует выполнять с некоторым смещением от края и вводить в результаты измерений соответствующие поправки. Размеры сечений металлических конструкций могут быть определены по косвенным измерениям с ошибкой не более 3 мм.

**Ключевые слова:** косвенные измерения, электронный тахеометр, точность, обмерные работы, безотражательное измерение расстояний, сетка нитей.

## **RESEARCH OF ACCURACY OF BUILDING STRUCTURE GEOMETRIC PARAMETERS OBSERVED WITH A TOTAL STATION**

*Anton V. Nikonov*

Sibtechenergo, 18/1, Planirovochnaja St., Novosibirsk, 630032, Russia, Leading Engineer; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sibte@bk.ru

*Dar'ja A. Birjukova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, e-mail: dasha13\_97@mail.ru

*Vadim V. Tanjuhin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, e-mail: tbb7@mail.ru

In the process of operation of power stations and networks the periodic inspections of buildings and structures take place, the result of which let make the conclusion about their actual conditions. One of the inspection steps is measurement works, which determine geometrical sizes of the building and structures, their deviations from specified values. Sometimes, in some cases, there is no possibility to measure all sizes, sections and elements of constructions. It is suggested to observe the construction sizes by means of indirect measurement using total station with the reflectorless distance measurement function. Laboratory research stated that sighting to construction verge should be performed with some shift from the edge, inputing necessary corrections in the measurement results. The sizes of metal structures sections can be observed by indirect measurements with the error no more than 3 mm.

**Key words:** indirect measurements, electronic total station, accuracy, measurement work, non-reflector distance measurement, cross hair.

### *Введение*

На сегодняшний день в Российской Федерации эксплуатируются десятки крупных тепловых электростанций, сотни небольших ТЭЦ и котельных. Значительное число электростанций строилось в 1930–1970-е гг., таким образом, к настоящему времени часть технологического оборудования и производственных зданий и сооружений выработали свой ресурс, морально устарели.

Периодически, оборудование, производственные здания и сооружения ТЭС подлежат обследованию и экспертизе, в результате которых определяется их техническое состояние, разрабатываются мероприятия для поддержания их в работоспособном состоянии и устанавливаются сроки очередного обследования (для оборудования – технического освидетельствования) [1–4].

Очевидно, что бесконечное продление сроков эксплуатации оборудования, зданий и сооружений проводиться не может, особенно учитывая суровые условия работы некоторых электростанций, например, расположенных в северных районах или использующих для теплообмена морскую воду (агрессивную к трубопроводам и строительным конструкциям). С целью обновления энергетических мощностей и соответствующей инфраструктуры, в ряде регионов страны в последние годы построены новые электростанции, на многих из которых применена парогазовая технология (Няганская, Серовская, Череповецкая ГРЭС и др.). В тех случаях, когда строительство новых электростанций нецелесообразно или сопряжено с рядом технических (экономических) трудностей, проводят техническое перевооружение оборудования и реконструкцию зданий и сооружений (обычно поэтапно, начиная с максимально выработавших свой ресурс турбоагрегатов и котлов). Под техническим перевооружением опасного производственного объекта (к которым относятся электростанции), согласно ФЗ-116 [5], понимают внедрение новой технологии, автоматизацию объекта или его отдельных частей, модернизацию или замену применяемых технических устройств. Замена теплотехнического оборудования может быть обоснована при гарантии безопасной эксплуатации промышленных зданий, фундаментов под турбоагрегаты на протяжении всего нормативного срока службы ново-

го оборудования. Для получения актуальной информации о состоянии строительных конструкций, их качественных характеристиках, проводится визуально-инструментальное обследование. Одной из задач такого обследования является определение фактических размеров (сечений) строительных конструкций и их элементов (например, уголков, швеллеров и других видов металлопроката) и сравнение их с проектными значениями. Не во всех случаях имеется возможность непосредственно измерить размер сечения элемента строительной конструкции или ее длину (ширину). Например, измерение сечений стоек, наклонных подкосов, а также элементов нижнего и верхнего поясов стропильных ферм требует передвижения специалиста на балке мостового крана, что может быть осуществлено только при наличии допуска для работы на высоте. Кроме того, не во всех промышленных зданиях (цехах) имеется крановое оборудование, тогда задача по определению геометрических размеров элементов ферменных конструкций может быть решена путем выполнения лазерного сканирования [6–12]. Поскольку не многие экспертные организации обладают дорогостоящими лазерными сканерами, замеры могут быть успешно выполнены электронным тахеометром с функцией безотражательного измерения расстояний [13–19].

### *Методы и материалы*

При обмерных работах с использованием электронного тахеометра может быть реализовано два подхода:

- определение размеров элемента строительной конструкции в угловой мере и пересчет в линейную меру по измеренному до конструкции расстоянию  $S$ ;
- использование функции косвенных измерений, которая позволяет определять расстояние и превышение между двумя точками в пространстве. В основу этой функции положена обратная геодезическая задача, при этом координаты двух точек определяются тахеометром полярным способом.

В первом случае измеряется угол  $\alpha$  при визировании на грани элемента конструкции (уголка). Расстояние  $S$  измеряется при наведении на центр полки уголка (рис. 1).

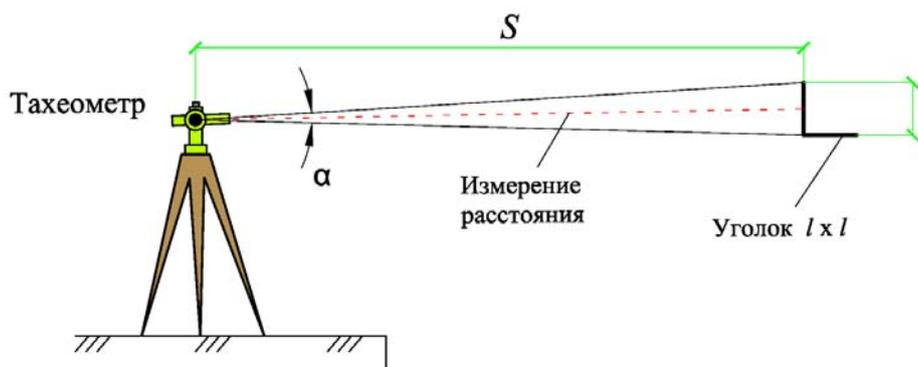


Рис. 1. Схема определения размеров элемента строительной конструкции по измеренному углу  $\alpha$  и расстоянию  $S$

В данном случае ширину полки металлического угла  $l$  можно вычислить по известной формуле

$$l = \frac{\beta'' \cdot S}{206265''} \quad (1)$$

В табл. 1 представлено влияние неперпендикулярности грани строительной конструкции (полки уголка) визирному лучу на точность ее определения. Данные табл. 1 получены расчетным путем.

Таблица 1

Влияние угла разворота строительной конструкции на точность определения ее размеров по угловым измерениям

Угол поворота уголка	Расстояние до уголка $S = 10$ м		Расстояние до уголка $S = 30$ м		Отклонение $\Delta = l_{\text{изм}} - l_{\text{изм}_2}$ мм	
	$\alpha$	$l_{\text{изм}_2}$ мм	$\alpha$	$l_{\text{изм}_2}$ мм	$S = 10$ м	$S = 30$ м
0°	13' 45,1''	40,0	4' 35,0''	40,0	0,0	0,0
15°	13' 17,8''	38,7	4' 25,7''	38,6	-1,3	-1,4
20°	12' 56,4''	37,6	4' 18,6''	37,6	-2,4	-2,4
25°	12' 29,0''	36,3	4' 09,4''	36,3	-3,7	-3,7
40°	10' 33,7''	30,7	3' 30,9''	30,7	-9,3	-9,3

Из табл. 1 следует, что при развороте уголка на 15° (или смещении тахеометра) ошибка определения ширины его полки не превысит 1,5 мм и окончательное значение может быть получено путем округления измеренной величины  $l_{\text{изм}}$  к ближайшему значению, установленному сортаментом [20]. При угле разворота от 15° до 25° измеренная ширина уголка получается уменьшенной на 2,4–3,7 мм, что может привести к ошибке в определении размеров сечения металлоконструкций.

Рассмотрим более подробно способ косвенных измерений, который заложен в программное обеспечение большинства электронных тахеометров (рис. 2).

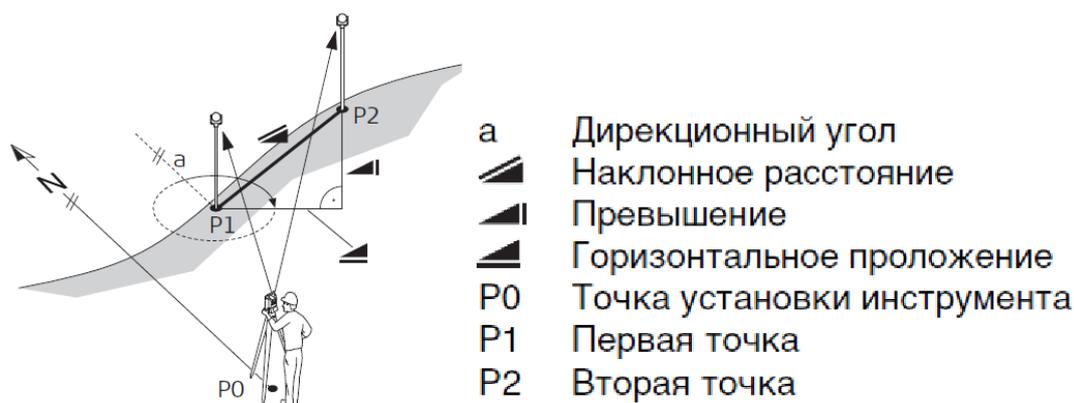


Рис. 2. Принципиальная схема косвенных измерений

Тахеометр устанавливается в удобном для измерений месте, при необходимости определяются координаты станции и выполняется ориентирование. Затем, производятся измерения на веху, последовательно устанавливаемую на точках  $P1$  и  $P2$ . Программное обеспечение тахеометра рассчитывает расстояние между точками, дирекционный угол, а также превышение.

В качестве двух измеряемых точек могут выступать не только предметы на местности, но и характерные точки строительных конструкций. Однако, при наведении на край элемента конструкции (например, стальной уголок) лазерный луч частично отражается, а частично проходит дальше, что порождает неоднозначность и не позволяет измерить расстояние. По этой причине визирование приходится выполнять не на самый край уголка, а с некоторым смещением  $b$  (см. точки  $T1$  и  $T2$  на рис. 3, *a*).

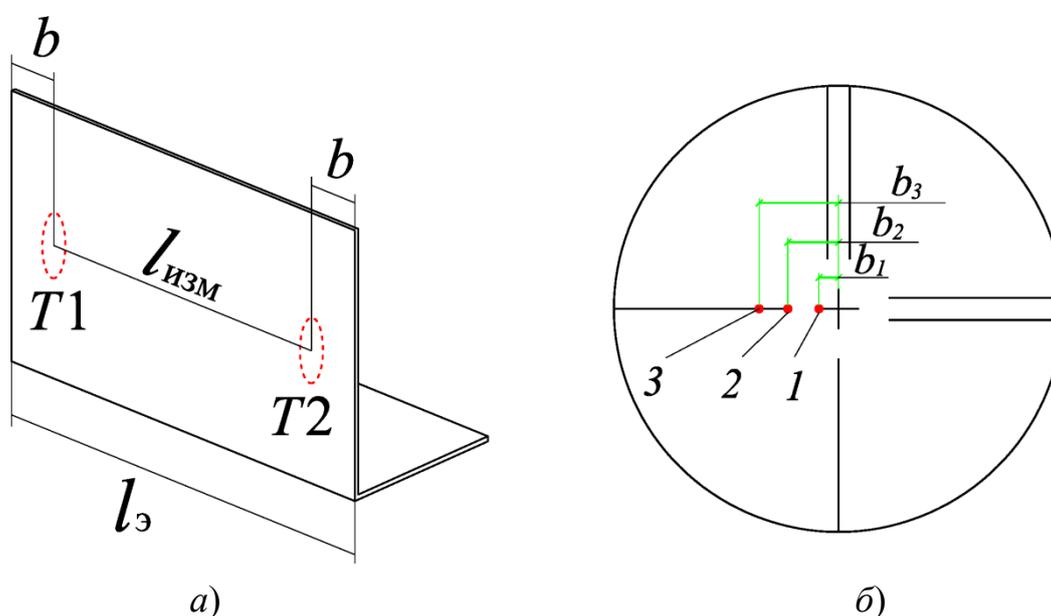


Рис. 3. Схема визирования при определении размера строительной конструкции

Очевидно, что при визировании со смещением  $b$  от края уголка, полученный в ходе измерений размер  $l_{изм}$  будет меньше эталонного значения  $l_э$  на величину  $2b$ . Следовательно, указанное смещение должно быть учтено и в результат измерений  $l_{изм}$  должна быть внесена поправка. Для проверки приведенных рассуждений были выполнены лабораторные исследования.

Для исследований были выбраны два образца: фрагмент металлического уголка (устанавливался посредством трегера на тумбе, рис. 4, *a*) и фрагмент металлической трубы прямоугольного сечения (жестко закреплялся на стене, рис. 4, *б*).

Ширина полки уголка была измерена штангенциркулем и составила  $l = 41,3$  мм, а длина отрезка трубы измерена рулеткой и составила  $l = 501$  мм. Указанные значения в дальнейшем принимались за эталонные.



а)



б)

Рис. 4. Образцы, используемые при лабораторных измерениях

### Результаты

Определения размеров уголка и отреза трубы выполнялись электронным тахеометром Leica TS-02plus при расстоянии  $S_1 \approx 27$  м и  $S_2 \approx 8$  м. Первоначально размер образцов определялся в угловой мере, т. е. измерялся горизонтальный угол  $\beta$  при наведении на края образцов. Для вычисления по формуле (1) линейных размеров уголка и фрагмента трубы измерялось расстояние в безотражательном режиме при наведении на центр образцов. Результаты измерений и вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения размеров образцов по угловым измерениям

Образец	Расстояние, м	Угол $\beta$	$l_{\text{изм}}$ , мм	$l_3$ , мм	$\Delta = l_{\text{изм}} - l_3$ , мм
Уголок	7,679	$0^\circ 18' 25,3''$	41,2	41,3	-0,1
	26,151	$0^\circ 05' 22,0''$	40,8	41,3	-0,5
Труба	8,593	$3^\circ 20' 49,5''$	502,0	501,0	+1,0
	27,068	$1^\circ 03' 43,6''$	501,8	501,0	+0,8

Из табл. 2 следует, что размер элемента строительной конструкции может быть определен по измеренному углу и расстоянию до конструкции с ошибкой не более 1 мм.

Рассмотрим результаты определений размеров образцов по способу косвенных измерений. При выполнении измерений на точки  $T1$  и  $T2$  (рис. 3, а) необходимо учитывать смещение  $b$  от края образца. Для этого при наведении на край образца следует наводиться не перекрестием сетки нитей, а использовать характерные точки сетки нитей 1 и 2 (рис. 3, б) или мнимую точку 3, выбран-

ную таким образом, чтобы отрезок 1–2 был равен отрезку 2–3. Для учета смещения при визировании необходимо установить линейную величину отрезков  $b_1$  и  $b_2$  для данного расстояния (рис. 3, б). С этой целью было выполнено визирование на деления рулетки при расстояниях 8, 15 и 27 м. Результаты определений представлены в табл. 3 (для промежуточных расстояний следует выполнять интерполирование).

Таблица 3

Величины поправок при выполнении косвенных измерений

Расстояние, м	$b_1$ , мм	$b_2$ , мм	$b_3$ , мм
8,090	1,5	3,5	5,5
15,713	3,0	6,8	10,6
27,028	5,0	11,5	18,0

Для расчета величины смещения в миллиметрах можно использовать следующую приближенную зависимость:  $b_1 = 0,19 \cdot S$ ,  $b_2 = 0,43 \cdot S$ ,  $b_3 = 0,67 \cdot S$ , где  $S$  – расстояние до измеряемого образца, выраженное в метрах.

Результаты определения размеров образцов по косвенным измерениям представлены в табл. 4. Размер полки уголка определялся при трех его положениях: исходное (угол разворота  $0^\circ$ , визирный луч практически перпендикулярен плоскости образца), положение два – разворот уголка в трегере на  $23^\circ$ , положение три – разворот уголка на  $45^\circ$ . Визирование выполнялось совмещением характерной точки сетки нитей (рис. 3, б) с краем образца.

Таблица 4

Результаты определения размеров образцов по косвенным измерениям

Образец	$S$ , м	Точка наведения	Угол разворота	$l_{изм}$ , мм	Поправка $2b$ , мм	$l_{испр} = l_{изм} + 2b$ , мм	$\Delta = l_{испр} - l_э$ , мм
Уголок	7,679	3	$45^\circ$	24,9	10,3	35,2	-6,1
	7,682	3	$23^\circ$	29,1	10,3	39,4	-1,9
	7,679	3	$0^\circ$	30,6	10,3	40,9	-0,4
	26,151	1	$0^\circ$	30,3	9,9	40,2	-1,1
	26,151	1	$23^\circ$	28,2	9,9	38,1	-3,2
Труба	8,596	3	$0^\circ$	489,7	11,5	501,2	+0,2
	27,068	1	$0^\circ$	492,6	10,3	502,9	+1,9

Из табл. 4 следует, что путем косвенных измерений размер образца определяется вполне точно – ошибка не превышает 2 мм. При отступлении от перпендикулярности визирного луча к отражающей поверхности  $20^\circ$  ошибка измерений не превышает 3 мм. При развороте исследуемого образца более  $23^\circ$  измерение расстояния в безотражательном режиме бывает затруднительно, а ошибка определения размеров образца может составить несколько миллиметров.

## *Обсуждение*

В ходе исследований установлено, что геометрические размеры строительных конструкций и их элементов могут измеряться с помощью электронных тахеометров дистанционно с точностью до 1–3 мм. Угол падения лазерного луча на отражающую поверхность (конструкцию) не должен отклоняться от прямого угла более чем на 15–20°, что вполне согласуется с исследованиями [17–19]. При определении геометрических параметров зданий, сооружений и их элементов могут применяться методы электронной тахеометрии, лазерного сканирования, а также методы, основанные на применении цифровых неметрических фотокамер [21, 22]. Выбор метода зависит от особенностей обследуемого объекта, задач обмерных работ, имеющегося оборудования и других факторов.

## *Заключение*

На основании выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. В процессе обмерных работ при невозможности непосредственно измерить ширину (длину) элемента строительной конструкции, можно воспользоваться электронным тахеометром. Задача решается путем измерения размера элемента в угловой мере и пересчета в линейную по измеренному расстоянию до конструкции, либо путем косвенных измерений.

2. Определение размера элемента строительной конструкции (например, сечения уголка стропильной фермы) или собственно строительной конструкции (например, ширины колонны) по измерению угла и расстояния может быть выполнено с ошибкой 1–2 мм.

3. При косвенных измерениях размера строительной конструкции необходимо вводить поправки в получаемые результаты, так как наведение осуществляется не на самый край конструкции, а с некоторым смещением. При визировании предложено использовать характерные точки сетки нитей, чтобы учитывать смещение. Способ косвенных измерений позволяет достигнуть точности измерений 1–3 мм. Неперпендикулярность визирного луча к поверхности исследуемой конструкции не должна превышать 15–20° для обоих способов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации : Утв. Минэнерго России 19.06.03: Ввод. с 01.10.03. – СПб. : ДЕАН, 2003. – 332 с.

2. Гусев Н. Н., Исхаков Ш. Ш. Опыт обследования технического состояния строительных объектов космической отрасли на основе современных нормативных документов // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2014. – № 643. – С. 95–97.

3. Маконкова Н. С., Адигамов Р. Ш., Нечаева Е. А. Геодезические измерения при обследовании зданий и сооружений // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2014. – № 3. – С. 17–21.

4. Проблемы промышленной безопасности зданий и сооружений энергетического комплекса / С. И. Паникаров, А. Б. Антаков, А. А. Воронов, А. А. Ладнушкин // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 6. – С. 57–59.
5. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (последняя редакция) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Шамарина А. А., Мезенина К. О. Методика наземного лазерного сканирования и обработки данных при обследовании объектов историко-культурного наследия // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 2 (22). – С. 45–62.
7. Алтынцев М. А., Иптышева М. А. Совместная обработка данных мобильного лазерного сканирования и цифровой наземной фотосъемки для построения единого массива точек // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 87–95.
8. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 43–57.
9. Горохова Е. И. Геомониторинг инженерных сооружений и прогнозирование их деформаций по данным лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 65–72.
10. Деговцев А. А. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 140–144.
11. Выполнение обмеров строительных конструкций средствами наземного лазерного сканирования при обследовании зданий и сооружений / А. В. Середович, А. В. Иванов, А. В. Усиков, О. Р. Мифтахудинова // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 220–221.
12. Середович А. В., Горохова Е. И., Ситуха О. А. Определение геометрических параметров элементов опор ЛЭП с использованием наземного лазерного сканирования // 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. 3. – С. 128–133.
13. Никонов А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 43–53.
14. 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.
15. Демин В. Г., Никонов А. В., Казанков Ю. П. Геодезические методы определения уклонов технологических трубопроводов // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 25–32.
16. Нестеренок М. С., Рак И. Е., Вексин В. Н. Эффективность вертикального проецирования осевых точек электронным тахеометром при строительстве зданий и сооружений // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 35–39.
17. Назаров И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2011. – Вып. 2 (16). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=548> 7.

18. Кузнецов А. И., Моисеенко С. А., Савин М. С. Определение зависимости систематической погрешности измерения расстояний от угла разворота пленочного отражателя [Электронный ресурс] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2011. Вып. 3 (17). – Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=631>.

19. Ашраф А. А. Бешр. Исследование влияния угла наклона и цвета отражающих поверхностей на точность измерений безотражательным тахеометром // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 202–206.

20. ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент.

21. Теоретические основы применения цифровых фотокамер для контроля пространственного положения строительных конструкций / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова, Д. П. Ивенин, О. В. Раскаткина // Приволжский научный журнал. – 2016. – № 2 (38). – С. 41–50.

22. Шеховцов Г. А., Раскаткина О. В. Контроль пространственного положения и формы строительных конструкций с помощью неметрических цифровых камер : монография / Г. А. Шеховцов ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н. Новгород : ННГАСУ, 2017. – 118 с.

© А. В. Никонов, Д. А. Бирюкова, В. В. Танюхин, 2019