

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ПОВЕРОЧНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ И ТАХЕОМЕТРОВ

*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

*Антон Викторович Никонов*

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

В статье предложено включить в локальную поверочную схему для средств измерения превышений электронные тахеометры. Описан высотный стенд для определения СКО измерения превышения на станции и на 1 км двойного хода.

**Ключевые слова:** локальная поверочная схема, тахеометр, нивелирование, точность.

## IMPROVEMENT LOCAL VERIFICATION SCHEME FOR CALIBRATION LEVELS AND TOTAL STATIONS

*Georgy A. Ustavich*

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

*Anton V. Nikonov*

Sibtechenergo, 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaja St., engineer surveyor, e-mail: sibte@bk.ru

**Key words:** local verification scheme, total station, leveling, accuracy.

Для поддержания стабильности работы геодезических приборов необходимо проводить систематический контроль геометрических и оптико-механических характеристик, положенных в основу конструкции этих приборов и максимально устранять выявленные несоответствия в процессе эксплуатации [1]. Стабильность – качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик [2].

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (в частности при осуществлении геодезической и картографической деятельности), подвергаются поверкам. Под поверкой понимается совокупность операций, выполняемая для подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям [3]. Различают первичную и периодическую поверки. Первая осуществляется при выпуске средства измерений из производства (ремонта), вторая – при

эксплуатации или хранении средства измерений через установленные интервалы времени [4].

Применяемые в геодезическом производстве приборы относятся к рабочим средствам измерений (РСИ), т.е. предназначены для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. Поверка и калибровка РСИ производится с помощью рабочего эталона (РЭ), а поверка рабочего эталона – с помощью исходного эталона (ИЭ) в соответствии с нормативными документами. Поверочная схема устанавливает соподчинение ИЭ, эталонов, заимствованных из других поверочных схем, РЭ и РСИ, указывает их погрешности и методы передачи размеров единиц физических величин от РЭ к РСИ при проведении поверочных работ [5]. По области применения поверочные схемы подразделяются на государственные и локальные (ЛПС). Локальные схемы предназначены для применения в масштабе отрасли или отдельного предприятия.

В Руководящем документе [5] представлены поверочные схемы для средств измерений углов, длины, приращений координат, превышений, азимута направления и ускорения силы тяжести. С момента введения указанной поверочной схемы [5], прошло 15 лет. За это время в геодезическом производстве получили распространение новые электронные приборы: цифровые нивелиры (ЦН), электронные тахеометры, лазерные сканеры и др. Это обстоятельство требует уточнения существующих поверочных схем. Например, в статье [6] для обеспечения поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» предлагается новая поверочная схема. Данное предложение обусловлено тем, что исследование отдельно штрих-кодовой рейки и цифрового нивелира, как это предполагает существующие ЛПС [5], чрезвычайно сложно и не всегда оправдано. В статье [16] отмечается, что совместная калибровка системы «ЦН–штрих-кодовая рейка» даже предпочтительнее, чем независимая калибровка рейки, так как найденные в ходе совместной калибровки поправки, могут непосредственно учитываться при выполнении нивелирования.

В работах [7-11, 17–19] нами было установлено, что тригонометрическое нивелирование электронными тахеометрами может соответствовать по точности геометрическому нивелированию III и IV классов. Поскольку при исследованиях точности тригонометрического нивелирования труднодостижимо задействовать все существующие на сегодняшний день модели электронных тахеометров [20, 21], необходимо установить универсальную методику проведения проверок.

Электронные тахеометры по классификации относятся к комбинированным приборам, т.е. могут применяться для измерения углов и расстояний. Поэтому тахеометры включены как в ЛПС для средств измерения угла, так и в ЛПС для средств измерений длины в диапазоне до 30 км. Инструкция [12] предусматривает для тахеометров проведение проверок отдельно для угломерного и дальномерного блоков. Точностные характеристики современных электронных тахеометров ( $m_a < 2''$ ,  $m_s < 5$  мм) позволяют определять по измеренным вертикальным углам и наклонным дальностям превышения с ошибкой от 0,2

мм до 2 – 3 мм при расстояниях до визирных целей 5 – 300 м. В связи с этим, если тахеометром предполагается выполнять тригонометрическое нивелирование, необходимо проверять совместную работу его угломерного и дальномерного блоков. Для этого мы предлагаем дополнить существующую ЛПС для средств измерений превышений [5], включив в нее электронные тахеометры (рис. 1).

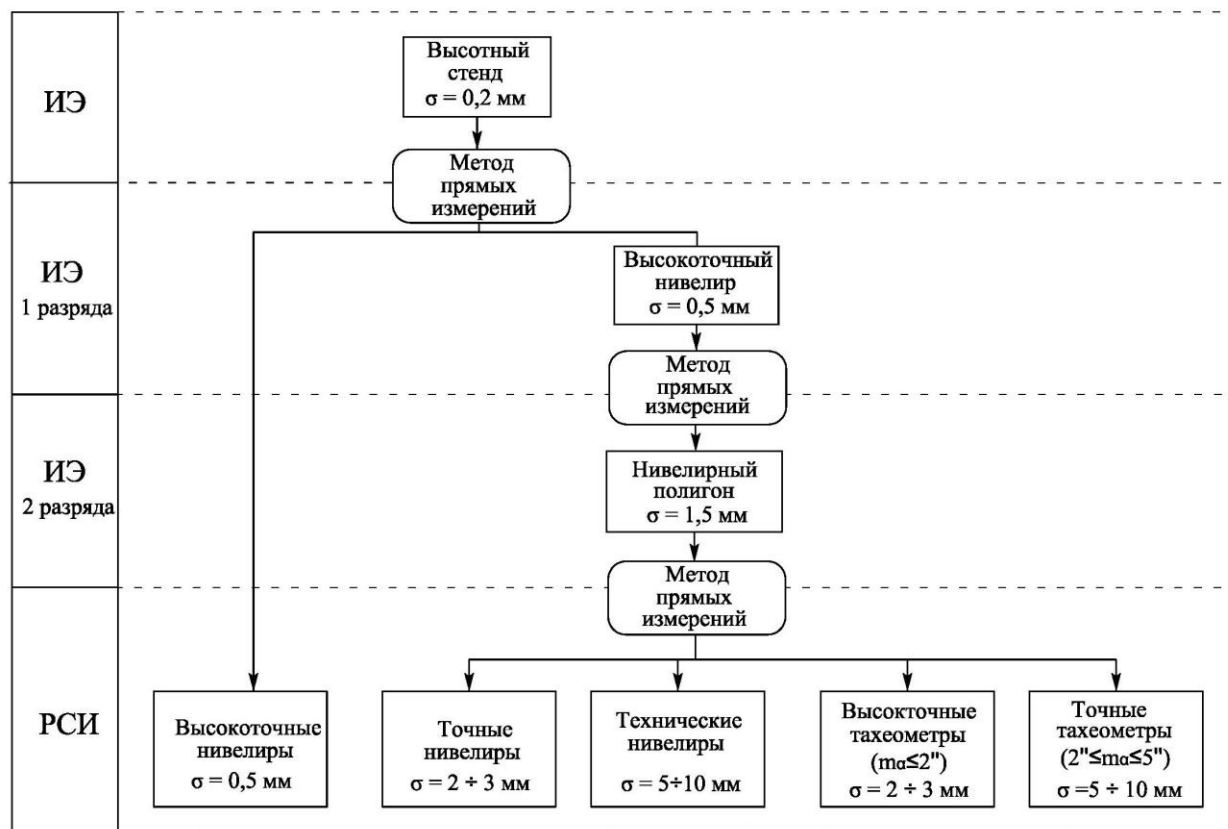


Рис. 1. Локальная поверочная схема для нивелиров и тахеометров

По аналогии с поверкой нивелиров, нами предлагается определять для тахеометров такие метрологические характеристики, как средние квадратические ошибки (СКО) измерения превышения на станции и на один километр двойного хода. Допустимая СКО измерения превышения на 1 км задается: 3 мм для высокоточных тахеометров, которыми предполагается выполнять нивелирование III класса и 7 мм для точных тахеометров (для нивелирования IV класса). Средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции будет несколько больше, чем для нивелиров, так как тригонометрическое нивелирование предполагается выполнять плечами до 250 м.

Определить СКО на станции и на 1 км хода можно на полевых стендах. В работах [13, 14] описан классический полевой стенд для поверки нивелиров. Стенд представляет собой нивелирную сеть, включающую четыре репера, которые заложены в углах правильного четырехугольника. Применение такого

стенда для поверки тахеометров возможно лишь в случаях, когда предполагается выполнять нивелирование плечами 50 – 100 м. При длине плеч нивелирования 200 м расстояние между реперами составит ~400 м. Практическая реализация полевого стенда при столь значительном расстоянии между реперами может оказаться затруднительной. По аналогичным причинам для наших целей не может быть принят круговой стенд [15]. Более реализуемым для поверки тахеометров является полевой стенд для стесненных условий, описанный в работе [15].

Для определения ошибки измерения превышения на 1 км двойного хода мы предлагаем выполнять измерения по следующей схеме (рис. 2). Выбирается прямоугольный участок местности длиной 150 – 250 м, шириной 30 – 40 м с однородной подстилающей поверхностью. В точках 1 – 4 устанавливают в шахматном порядке отражатели на деревянных штативах (рис. 3, а). Высота отражателей над поверхностью земли выбирается в пределах от 1,3 до 1,7 м. Высоты отражателей над поверхностью земли могут быть приблизительно одинаковыми. Если в ходе измерений планируется исследовать влияние вертикальной рефракции в зависимости от высоты отражателя, то соответственно высоты отражателей принимают разными, но не ниже 1,3 м над землей. Предлагается использовать адаптеры трегера в виде штока, на который может быть установлена нивелирная рейка длиной 1 м (рис. 3, б). Превышения между верхними частями адаптеров (или что одно и то же: между горизонтальными осями отражателей) определяют методом высокоточного геометрического нивелирования при длине плеч порядка 5 м. Превышения измеренные нивелиром принимают за эталонные ( $m_h < 0,10$  мм).

При создании постоянного полевого стенда вместо штативов можно использовать металлические или бетонные тумбы с площадкой для установки трегера. Расположение отражателей в шахматном порядке имитирует неравенство плеч на станции 5 м, при этом накопление неравенства плеч при нивелировании в ходе 1–2–3–4–1 составляет 0 м. Измерения предлагается выполнять с разных станций, чтобы приблизить условия измерений к полевым и обеспечить независимость измеряемых превышений.

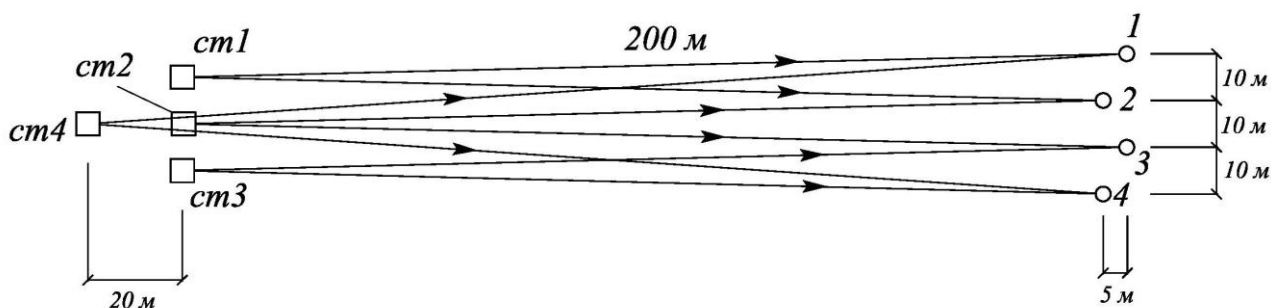


Рис. 2. Схема полевого высотного стенда для поверки тахеометра

Тахеометр устанавливается последовательно на станциях *ст1*, *ст2*, *ст3* и *ст4*, с которых измеряются превышения  $h_{1-2}$ ,  $h_{2-3}$ ,  $h_{3-4}$ ,  $h_{4-1}$  соответственно. Измерение превышений в порядке 1–2–3–4–1 составляет ход в прямом направлении. Затем со станции 4 после изменения горизонта инструмента, прокладывают ход в обратном направлении: 1–4–3–2–1. На этом заканчивается первая серия измерений, а длина двойного хода составляет примерно 1620 м. Поскольку длина хода должна быть не менее 10 км [13] выполняют не менее 6 серий измерений.

Указанную поверку следует считать первичной, т.е. выполняемой однократно при вводе прибора в эксплуатацию (после покупки или ремонта). Полную поверку (ход 10 км) целесообразно проводить для одного прибора данного производителя и модельного ряда. Остальные экземпляры приборов данного модельного ряда могут поверяться по укороченной программе (2 – 4 серии измерений).

Измерения на станции необходимо выполнять в два приема по одной из следующих программ:

- 1) З<sub>кЛ</sub> П<sub>кЛ</sub> П<sub>кП</sub> З<sub>кП</sub>; З<sub>кЛ</sub> П<sub>кЛ</sub> П<sub>кП</sub> З<sub>кП</sub>,
- 2) З<sub>кЛ</sub> З<sub>кП</sub> П<sub>кП</sub> П<sub>кЛ</sub>; П<sub>кП</sub> П<sub>кЛ</sub> З<sub>кЛ</sub> З<sub>кП</sub>.

Ведомость измерений, выполненных на полевом стенде, представлена в табл.

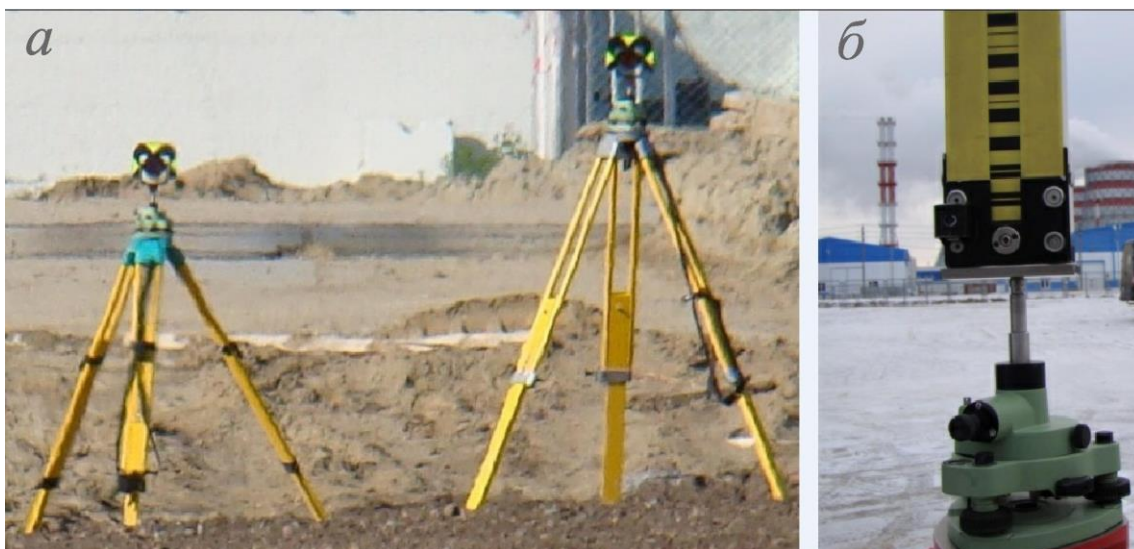


Рис. 3. Схема установки отражателей при проведении поверки

Средняя квадратическая ошибка измерения превышения на 1 км двойного хода подсчитывается по формуле [13, 14]:

$$m_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum f_h^2}{k \cdot L}}, \quad (1)$$

где  $f_h = (f_{\text{прям}} + f_{\text{обр}})/2$  – невязка полигона, полученная как среднее значение невязок прямого и обратного ходов;  $k$  – число невязок  $f_h$  (число двойных замкнутых ходов);  $L$  – периметр полигона, км. Для нашего случая  $k$  принимается не менее 6, а периметр полигона  $L=1,6$  км.

Также СКО превышения на 1 км двойного хода может быть определена по формуле [14]:

$$m_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum (f_{\text{прям}}^2 + f_{\text{обр}}^2)}{4n \cdot L}}, \quad (2)$$

где  $f_{\text{прям}}$  и  $f_{\text{обр}}$  – невязки полигона при выполнении нивелирования в прямом и обратном направлениях соответственно;  $n$  – количество невязок при проложении хода в прямом направлении (такое же количество невязок предполагается при проложении хода в обратном направлении).

Таблица

Ведомость измерений при определении СКО на 1 км двойного хода

№ се- рии	№ ст.	Превышение*, мм				Неравен- ство плеч, м $S_3 - S_{\Pi}$	Сумма длин плеч, м $S_3 + S_{\Pi}$	
		$h_3$ , мм (номер цели)	$h_{\Pi}$ , мм (номер цели)	№ пре- пре- выше- ния	$h$ , мм			
1	ст1	-202,42 (1)	-105,94 (2)	$h_{1-2} =$	+96,48	+5,0	395	
	ст2	-50,10 (2)	+148,40 (3)	$h_{2-3} =$	+198,50	-5,0	395	
	ст3	+49,36 (3)	-196,81 (4)	$h_{3-4} =$	-246,17	+5,0	395	
	ст4	-153,78 (4)	-202,25 (1)	$h_{4-1} =$	-48,47	-5,0	435	
	$\Sigma$	-	-	$f =$	+0,34	0	1620	
	Обратный ход							
	ст1	-197,63 (1)	-148,93 (4)	$h_{1-4} =$	+48,70	+5,0	435	
	ст2	-154,78 (4)	+90,95 (3)	$h_{4-3} =$	+245,73	-5,0	395	
	ст3	+206,51 (3)	+8,66 (2)	$h_{3-2} =$	-197,85	+5,0	395	
	ст4	-202,57 (2)	-300,01 (1)	$h_{2-1} =$	-97,44	-5,0	395	
	$\Sigma$	-	-	$f =$	-0,86	0	1620	
	* значения превышений $h_3$ и $h_{\Pi}$ получены, как среднее из двух приемов, выполненных при КП и КЛ							

Ошибка измерения превышения на станции находится по формуле Бесселя

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $v_i$  – отклонение  $i$ -го значения превышения от среднего арифметического.

Кроме того, ошибка на станции вычисляется по формуле Гаусса

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}, \quad (4)$$

где  $\Delta_i$  – отклонение  $i$ -го значения превышения от эталонного значения, полученного из геометрического нивелирования.

При выполнении измерений на высотном стенде в порядке 1–2–3–4–1 измеряется 4 превышения. В обратном ходе также измеряется 4 превышения, а в одной серии – 8. Следовательно, можно вычислить 8 разностей  $\Delta$ . Если выполнять 6 серий измерений, то таких разностей окажется 48 и значение  $m_{\text{ст}}$  будет определено достаточно надежно. Следует отметить, что найденная по 48 разностям ошибка будет характеризовать точность измерения превышения на станции двумя полными приемами.

Для точных нивелиров (типа Н-3) СКО измерения превышения на станции при длине плеч 100 м не должна не превышать 1,5 мм [13]. Найдем предельные значения ошибок на станции для тахеометров исходя из условия

$$\frac{m_{\text{ст}} \sqrt{n}}{\sqrt{2}} \leq m_{\text{км}}^{\text{доп}}, \quad (5)$$

где  $n$  – число установок (штативов) тахеометра при проложении хода длиной 1 км;  $\sqrt{2}$  – коэффициент для перехода к показателю точности для двойного хода;  $m_{\text{км}}^{\text{доп}}$  – предельная ошибка на 1 км двойного хода (принимается равной 3 мм для III класса и 7 мм для IV класса).

Тогда при длине плеч 200 м ошибка на станции не должна превышать значений 2,7 мм и 6,0 мм для III и IV классов соответственно, а при длине плеч 150 м – 2,3 мм и 5,5 мм. В случае, если фактические значения ошибок  $m_{\text{ст}}$  незначительно превысят указанные допуски (на 0,5 – 1,0 мм), то следует увеличить количество приемов при измерении превышения на станции. При большем превышении допусков можно заключить, что данный прибор не может быть использован для нивелирования соответствующего класса.

Близость значений  $m_{\text{ст}}$ , подсчитанных по формулам (3) и (4) будет свидетельствовать о компенсации рефракционных ошибок при нивелировании из середины. В случае их заметного расхождения производится анализ распределе-

ния по величине и по знаку значений  $\Delta_i$  для каждого превышения. Анализ значений  $\Delta_i$  может выявить наличие систематической ошибки рефракционного характера, связанной с разной высотой визирного луча над подстилающей поверхностью [11].

Преимуществами предложенного высотного стенда являются: сравнительно небольшие размеры (минимально возможные для длины визирного луча 200 м); возможность совместного определения СКО измерения превышения на станции  $m_{ст}$  и на километр двойного хода  $m_{км}$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брехунова Н. К. Метрологическое обеспечение геодезических измерений // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: тезисы X Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи (8–12 апреля 2014 г., Красноярск) : в 2 т. Т.1. – Технические науки. Информационные технологии. Сообщения школьников. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосм. ун-т. – Красноярск, 2014. – Режим доступа: <http://www.sibsau.ru/index.php/nauka-i-innovatsii/nauchnye-meropriyatija/materialy-nauchnykh-meropriyatij>
2. РМГ 29-99 «Метрология. Основные термины и определения». – М : Издательство стандартов, 2000. – 46 с.
3. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «Об обеспечении единства измерений» // «Собрание законодательства РФ», 30.06.2008, № 26, ст. 3021.
4. Поверка геодезических приборов / А. И. Спиридонов, Ю. Н. Кулагин, М. В. Кузьмин. – М. : Недра, 1981. – 159 с.
5. РД 68-8.17-98 Локальные поверочные схемы (ЛПС) для средств измерений (СИ) топографо-геодезического и картографического назначения. – М: ЦНИИГАиК, 1999. – 39 с.
6. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 8–13.
7. Никонов А. В., Рахымбердина М. Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 16–26.
8. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
9. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 28–33.
10. Никонов А. В. К вопросу о влиянии вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 12–26.
11. 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.
12. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 «Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов». – М., 1999. – 31 с.
13. МИ БГЕИ 07-90 «Нивелиры. Методика поверки»: Методика института. – М.: ЦНИИГАиК, 1990. – 52 с.
14. Спиридонов А. И. Основы геодезической метрологии: Произв.-практ. изд. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 248 с.



15. Хасенов К. Б., Рахымбердина М. Е. Методика определения средней квадратической погрешности измерения превышения на 1 км хода на полевом компараторе в стесненных условиях // 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. 1. – С. 128–132.
16. Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator / Н. Woschitz, Fritz K. Brunner, Н. Heister // Zeitschrift fur Geodasie, Geoinformation und Landmanagement. – 2003. – 128. – PP. 11–17.
17. 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.
18. Никонов А. В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.
19. Никонов А. В., Бабасов С. А. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях // 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. 71–78.
20. Карпик А. П., Синякин А. К., Кошелев А. В. Тенденции развития геодезических измерительных приборов и систем // Вестник СГГА. – 1998. – Вып. 3. – С. 74–79.
21. Хорошилов В. С., Пономарев В. А. Современная геодезическая техника // Вестник СГГА. – 2005. – Вып. 10. – С. 99–103.

© Г. А. Уставич, А. В. Никонов, 2015