

УДК 528.38:528.5

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-4-44-57

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ОТМЕТОК КОНСТРУКЦИИ ЛИНЕЙНОГО СООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Юрий Викторович Столбов

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, доктор технических наук, профессор кафедры проектирования дорог, тел. (913)621-64-70, e-mail: ssu0810@mail.ru

Светлана Юрьевна Столбова

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, тел. (913)621-64-70, e-mail: ssu0810@mail.ru

Лилия Анатольевна Пронина

Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Сibaковская, 4, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (904)582-93-92, e-mail: la.pronina@omgau.org

Наталья Александровна Пархоменко

Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Сibaковская, 4, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (905)940-93-22, e-mail: na.parkhomenko@omgau.org

Отмечено, что с введением в действие вместо СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги» его актуализированной редакции – свода правил СП 78.13330.2012 – требования к точности относительных отметок положения конструкций при строительстве линейных сооружений значительно повышены. Предложено для обеспечения этих повышенных требований, при строительстве автомобильных дорог (как линейных сооружений), вместо традиционно используемых технических оптических нивелиров типа Н-10, применять более точные геодезические приборы. Рассмотрены исследования точности определения относительных отметок покрытия автомобильной дороги по результатам измерений электронным тахеометром типа TRIMBLE M3 (СКП измерения углов 5"), точным оптическим нивелиром Н-3 и цифровым нивелиром типа TRIMBLE DINI 0.7. Рассчитаны статистические характеристики и параметры распределения отклонений относительных высот покрытия автомобильной дороги, полученных по результатам измерений электронным тахеометром и нивелиром Н-3 от значений результатов, полученных при измерении цифровым нивелиром и принятых за исходные данные. Установлена возможность применения электронного тахеометра типа TRIMBLE M3 при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог как линейных сооружений для обеспечения повышенных требований к их высотному положению в СП.

Ключевые слова: положение конструкций, строительство, линейные сооружения, допустимые отклонения, геодезические приборы, исследование точности, определение относительных отметок.

Введение

Одним из основных показателей качества строительства принято считать точность геометрических параметров конструктивных элементов возводимых сооружений. Документом, регламентирующим качество строительных конструкций, является ГОСТ 21778–81 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения». В этом нормативном документе указывается, что в производстве используются необходимые средства и принципы технологического обеспечения точности при проектировании зданий и сооружений. Эти же принципы применяются при разработке технологии изготовления элементов и возведении самих сооружений. Допустимые отклонения на геометрические параметры конструкций зданий и сооружений регламентируются стандартами: ГОСТами, СНиПами, СП и проектно-конструкторской документацией.

Методы и материалы

Нормы точности, применяемые при строительстве и приемке автомобильных дорог как линейных сооружений в эксплуатацию, с 01.01.1986 регламентированы в СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги». С 01.01.2013 была введена действие актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 – свод правил СП 78.13330.2012. В течение практически двух с половиной лет оба этих документа по регламентации точности автомобильных дорог были действующими. Каким из них руководствоваться при строительстве и реконструкции автомобильных дорог, определял заказчик. С 01.07.2015 СНиПы отменены, и в настоящее время основным документом, регламентирующим новое строительство автомобильных дорог, является СП 78.13330.2012. При реконструкции ранее построенных остается действующим СНиП 3.06.03-85. В СП 78.13330.2012, как и в СНиП 3.06.03-85, приведены требования к точности высотного положения при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог. Причем они значительно выше, чем требования к точности их планового положения. Это обусловлено увеличением транспортного потока, назначением и процессами, происходящими на поверхности линейных сооружений.

В учебной и технической литературе [1–5], изданной до 2016 г., при строительстве автомобильных дорог указывается, что обеспечение их высотного положения следует выполнять техническим нивелированием. Это показывает, что в практике строительства автомобильных дорог, до введения в действие СП 78.13330.2012, находили широкое использование технические оптические нивелиры типа Н-10. С введением в действие СП 78.13330.2012 требования к точности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог значительно повышены. Для обеспечения повышенных требований к точности высотного положения автомобильных дорог вместо традиционно используемых

технических нивелиров Н-10 необходимо применять более точные современные геодезические приборы – электронные тахеометры, точные оптические и цифровые нивелиры.

Поэтому возникает необходимость проведения исследований точности определения относительных отметок конструктивных слоев автомобильных дорог при устройстве их оснований и покрытий с применением этих приборов.

Исследование точности высотного положения поверхностей, т. е. неровностей конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог разных категорий, с учетом обеспечения фактических отклонений высот от проектных, регламентированных требованиями СНиП 3.06.03-85, выполнены в работах [6–9]. Применение же электронных тахеометров при устройстве дорожных одежд оснований и покрытий автомобильных дорог разных категорий не достаточно освещено в технической литературе. Применение электронных тахеометров освещено в работах [10–18], в которых рассматриваются разработки по совершенствованию технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом, создания геодезической основы на территории строительства объектов энергетики.

Результаты исследований точности тригонометрического нивелирования с применением электронных тахеометров являлись основой защищенных кандидатских диссертаций М. Е. Рахымбердиной [15], В. Г. Сальникова [16] и А. В. Никонова [17] под руководством проф. Г. А. Уставича при практически равных линиях визирного луча (длин плеч). Опыт зарубежных исследований тригонометрического нивелирования современным геодезическим оборудованием представлен в работах [20–23], но в этих публикациях рассмотрены объекты, не являющиеся линейными сооружениями.

В настоящей статье рассмотрено исследование точности определения относительных отметок положения конструкции линейных сооружений на примере покрытия автомобильной дороги с применением современных геодезических приборов (электронных тахеометров, оптических и цифровых нивелиров).

В документах, регламентирующих точность строительства дорожных одежд автомобильных дорог (СНиП 3.06.03-85 и СП 78.13330.2012), приведены допустимые отклонения (предельные погрешности) отметок положения слоев оснований и покрытий от проектных величин. Для дорог I, II и III категорий в СНиП 3.06.03-85 предусмотрено использование строительных дорожных машин с автоматической и без автоматической систем задания вертикальных отметок (высот), а уже в СП 78.13330.2012 – применение строительных дорожных машин только с автоматической системой выдерживания высотных отметок.

Для регламентации строительных норм СНиП 3.06.03-85 категорий дорог IV, V, Ic, IIc, IIIc и внутренних дорог промышленных предприятий было предусмотрено использование строительных дорожных машин, только без автоматической системы задания вертикальных отметок. С введением в действие

СП 78.13330.2012 регламентация строительных норм для дорог категорий IV, V общего пользования и ведомственных изменилась, и было рекомендовано применение строительных дорожных комплексов как с автоматической, так и с без автоматической системы выдерживания высотных отметок.

От точности определения высотных отметок оснований и покрытий в процессе устройства и приемки дорожных одежд зависит точность оценки геометрических параметров конструкций автомобильных дорог (отклонение от проектных значений высоты, толщины, поперечных уклонов, амплитуд относительных отметок в продольном направлении дорожного полотна и др.).

СНиП 3.06.03-85 регламентирует, при устройстве оснований и покрытий дорожных одежд с использованием строительных дорожных машин с автоматической и без автоматической систем задания вертикальных отметок, параметры допускаемых отклонений измеренных высот положения конструктивных слоев поверхностей от проектных величин с учетом оценки качества работ в процессе строительства. Так, при оценке качества работ на «хорошо» и «отлично» допускалось соответственно 90 % и 95 % результатов отклонений от проектных ± 50 (10) мм, а 10 % и 5 % ± 100 (20) мм (где в скобках приведены данные и использованием строительных дорожных машин с автоматической системой задания вертикальных отметок). Регламентация точности строительства в СП 78.13330.2012 при устройстве оснований и покрытий, с использованием строительных дорожных машин с автоматической системой выдерживания высотных отметок для всех категорий дорог, допускается в пределах 10 % результатов определений отметок до ± 20 мм, а остальные 90 % – до ± 10 мм. Для дорог категорий IV, V общего пользования и ведомственных, при устройстве оснований и покрытий с использованием строительных дорожных машин без автоматической системы выдерживания высотных отметок, допускается 10 % результатов определений отклонений высот до ± 50 мм, а остальные 90 % до ± 25 мм.

Результаты

На автомобильной дороге IV категории, ведущей к Красногорскому гидроузлу в Омской области, было выполнено исследование точности определения относительных отметок положения верхнего слоя асфальтного покрытия. При проведении исследования применялся следующий комплект геодезических приборов: электронный тахеометр типа TRIMBLE M3 (СКП измерения углов 5") с отражателем; точный оптический нивелир типа Н-3 и 3-метровые деревянные рейки с черной и красной сторонами; цифровой нивелир (типа TRIMBLE DINI 0.7) и штрихкодовые рейки. На покрытии автомобильной дороги было выполнено нивелирование участка, согласно СП 78.13330.2012, захватками в пределах до 400 м при длине луча визирования до 100 м по левой, правой кромкам и центру с шагом 10 м.

На оси асфальтного покрытия автомобильной дороги были отмечены четыре пикета, отметки которых получены по программе нивелирования II класса в прямом и обратном направлении (замкнутый нивелирный ход) цифровым нивелиром. Промежуточные точки были намечены через 10 м по оси дороги, между пикетами, и на расстоянии 0,5 м по левой и правой кромкам асфальтного покрытия автомобильной дороги. Нивелирование промежуточных точек между связующими было выполнено при длине плеч до 100 м (в пределах пикетов) рассматриваемыми приборами. Относительные отметки, вычисленные по результатам измеренных превышений цифровым нивелиром промежуточных точек, были приняты за точные (исходные) значения высотного положения.

По результатам нивелирования выполнена оценка точности вычисленных отклонений относительных отметок положения точек асфальтного слоя покрытия автомобильной дороги. Для вычисления характеристик точности отклонений относительных отметок применены точечные и интервальные оценки [24, 25]. Статистические характеристики и параметры распределения отклонений относительных отметок положения точек покрытия автомобильной дороги, полученных с использованием электронного тахеометра и точного оптического нивелира от значений относительных отметок, полученных при измерении цифровым нивелиром и принятых за исходные значения, приведены соответственно в табл. 1, 2.

Таблица 1

Статистическое распределение отклонений относительных отметок, полученных по результатам измерений электронным тахеометром от результатов измерений цифровым нивелиром

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i , мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2}\Phi(t_1)$	$\frac{1}{2}\Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	9	0,073	-5	-45	-4,98	-44,78	222,81	-2,24	-1,49	0,4875	0,4319	0,0556
-4	-2	19	0,154	-3	-57	-2,98	-56,54	168,23	-1,49	-0,74	0,4319	0,2703	0,1616
-2	0	35	0,285	-1	-35	-0,98	-34,15	33,31	-0,74	0,01	0,2703	0,0400	0,3103
0	2	33	0,268	1	33	1,02	33,80	34,63	0,01	0,76	0,0400	0,2764	0,2364
2	4	17	0,138	3	51	3,02	51,41	155,50	0,76	1,51	0,2764	0,4345	0,1581
4	6	10	0,081	5	50	5,02	50,24	252,44	1,51	2,26	0,4345	0,4881	0,0536
Сумма		$N = 123$	1,0			-3		866,93					0,9756

Параметры точечной оценки:

$$\bar{x} = -3 / 123 = -0,02 \text{ мм};$$

$$M = 2,67 / \sqrt{123} = 0,24 \text{ мм};$$

$$m = \sqrt{866,93 / (123 - 1)} = 2,67 \text{ мм};$$

$$m_m = 2,67 / \sqrt{2 - (123 - 1)} = 0,17 \text{ мм}.$$

Доверительные интервалы для математического ожидания a и среднеквадратического отклонения σ определяются согласно уравнениям:

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M ; \quad (1)$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g) , \quad (2)$$

где t_q – нормируемый множитель, который определяется из таблиц по доверительной вероятности p и количеству отклонений N , при $N = 123$ и $P = 0,95$ составляет 1,98; g – коэффициент, который выбирается по таблицам [24, 25], зависящий от количества отклонений и вероятности, при $N = 123$ и $P = 0,95$ составляет 0,13.

Согласно уравнению (1), доверительный интервал для математического ожидания будет иметь вид:

$$-0,02 - 1,98 \cdot 0,24 < a < -0,02 + 1,98 \cdot 0,24 \Rightarrow 0,50 \text{ мм} < a < 0,46 \text{ мм}.$$

Согласно уравнению (2) доверительный интервал для среднеквадратического отклонения будет иметь вид:

$$2,67 \cdot (1 - 0,17) < \sigma < 2,67 \cdot (1 + 0,17) \Rightarrow 2,22 \text{ мм} < \sigma < 3,12 \text{ мм}.$$

Таблица 2

Статистическое распределение отклонений относительных отметок, полученных по результатам измерений нивелиром Н-3 от результатов измерений цифровым нивелиром

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i , мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2}\Phi(t_1)$	$\frac{1}{2}\Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	10	0,081	-5	-50	-5,28	-52,85	279,26	-2,31	-1,57	-0,4895	-0,4418	0,0477
-4	-2	15	0,122	-3	-45	-3,28	-49,27	161,82	-1,57	-0,84	-0,4418	-0,2995	0,1423
-2	0	29	0,236	-1	-29	-1,28	-37,25	47,85	-0,84	-0,10	-0,2995	-0,0398	0,2597
0	2	33	0,268	1	33	0,72	23,61	16,89	-0,10	0,63	-0,0398	0,2357	0,2755
2	4	27	0,220	3	81	2,72	73,32	199,09	0,63	1,36	0,2357	0,4131	0,1774
4	6	9	0,073	5	45	4,72	42,44	200,12	1,36	2,10	0,4131	0,4821	0,0690
Сумма		$N = 123$	1,0		35			905,04					0,9716

Параметры точечной оценки:

$$\bar{x} = 35/123 = 0,28 \text{ мм};$$

$$M = 2,72 / \sqrt{123} = 0,25 \text{ мм};$$

$$m = \sqrt{905,04 / (123 - 1)} = 2,72 \text{ мм};$$

$$m_m = 2,72 / \sqrt{2 \cdot (123 - 1)} = 0,17 \text{ мм}.$$

Доверительный интервал для математического ожидания согласно уравнению (1) будет иметь вид:

$$0,28 - 1,98 \cdot 0,25 < a < 0,28 + 1,98 \cdot 0,25 \Rightarrow -0,22 \text{ мм} < a < 0,78 \text{ мм}.$$

Доверительный интервал для среднеквадратического отклонения согласно уравнению (2) будет иметь вид:

$$2,72 \cdot (1 - 0,13) < \sigma < 2,72 \cdot (1 + 0,13) \Rightarrow 2,37 \text{ мм} < \sigma < 3,07 \text{ мм}.$$

В расчетах используются следующие обозначения: N – объем выборки; \bar{x} – среднее арифметическое; M – среднеквадратическая погрешность среднего арифметического; m_m – среднеквадратическая погрешность самой среднеквадратической погрешности; a – математическое ожидание; σ – среднеквадратическое отклонение.

Среднеквадратическая погрешность отклонений относительных отметок, полученных при использовании электронного тахеометра, составила $m = 2,67$ мм, а оптического нивелира Н-3 – $m = 2,72$ мм.

Графики плотности распределений (теоретических и практических) отклонений относительных отметок от исходных значений приведены на рис. 1, 2.

Проверка соответствия отклонений относительных отметок с нормальным законом распределения, полученных по результатам измерений электронным тахеометром и оптическим нивелиром, от значений, полученных цифровым нивелиром, приведена соответственно в табл. 3, 4. За нулевую гипотезу, принята гипотеза о нормальном распределении отклонений относительных отметок и критерий сходимости эмпирических данных К. Пирсона.

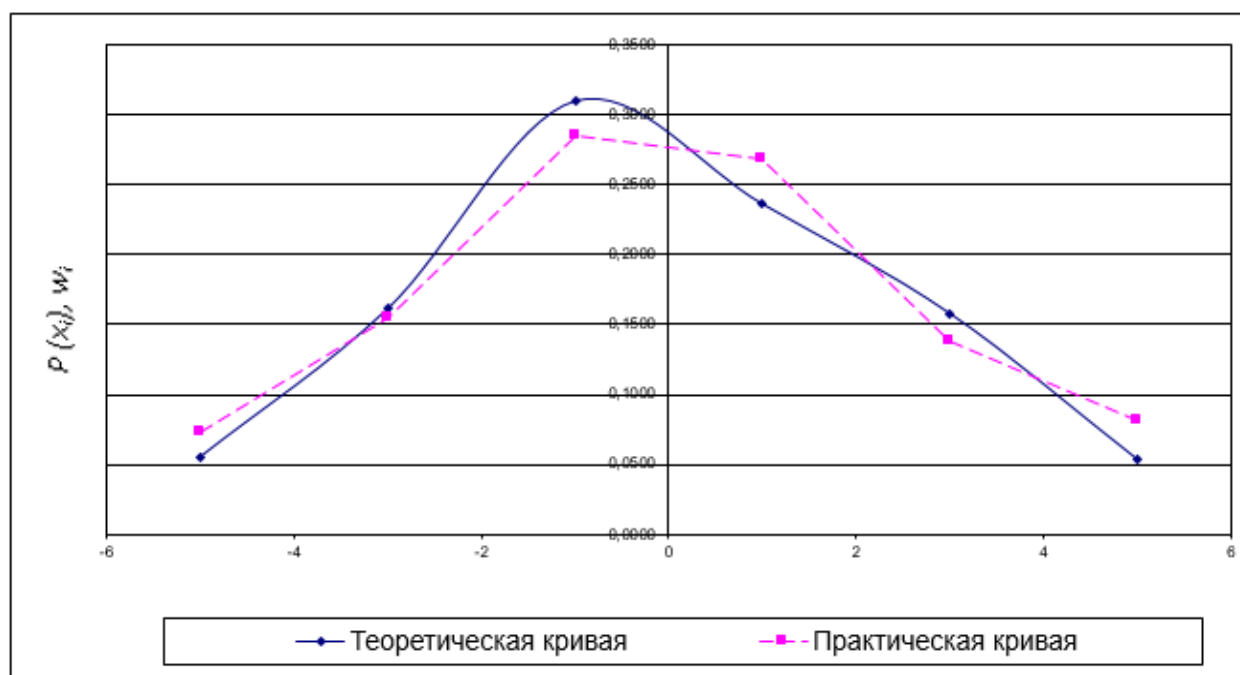


Рис. 1. График плотности распределения отклонений относительных отметок, полученных с использованием электронного тахеометра и цифрового нивелира

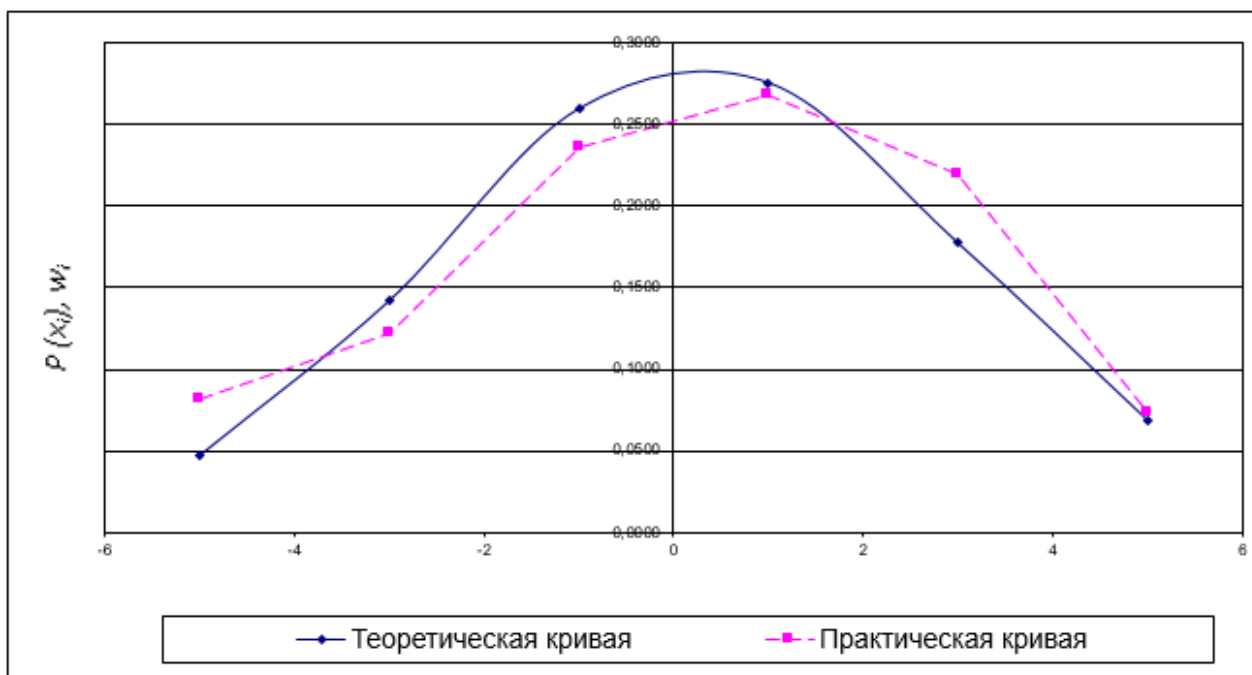


Рис. 2. График плотности распределения отклонений относительных отметок, полученных с использованием точного оптического и цифрового нивелиров

Таблица 3

Оценка сходимости эмпирических данных, полученных по результатам измерений с использованием электронного тахеометра и цифрового нивелира, с нормальным законом распределения

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теоретич. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-6	-4	9	0,0556	6,8388	2,161	4,671	0,68
-4	-2	19	0,1616	19,8768	-0,877	0,769	0,04
-2	0	35	0,3103	38,1669	-3,167	10,029	0,26
0	2	33	0,2364	29,0772	3,923	15,388	0,53
2	4	17	0,1581	19,4463	-2,446	5,984	0,31
4	6	10	0,0536	6,5928	3,407	11,609	1,76
Сумма		123	0,9756				$\chi^2_{\text{выч}} = 3,58$

Примечание. Число интервалов равно шести, число степеней свободы равно трем; $\chi^2(0,05; 3) = 7,8$. Таким образом, расчетное значение критерия К. Пирсона не превышает критического $3,58 < 7,80$. Нулевая гипотеза не отвергается.

Таблица 4

Оценка сходимости эмпирических данных, полученных по результатам измерений с использованием нивелиром Н-3 и цифрового нивелира, с нормальным законом распределения

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теоретич. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-6	-4	11	10	0,0477	5,8671	4,133	17,081
-4	-2	15	15	0,1423	17,5029	-2,503	6,265
-2	0	24	29	0,2597	31,9431	-2,943	8,662
0	2	34	33	0,2755	33,8865	-0,886	0,786
2	4	27	27	0,1774	21,8202	5,180	26,830
4	6	12	9	0,0690	8,487	0,513	0,263
Сумма		123		0,9716			$\chi^2_{\text{выч}} = 4,82$

Примечание. Число интервалов равно шести, число степеней свободы равно трем; $\chi^2(0,05; 3) = 7,80$. Таким образом, расчетное значение критерия К. Пирсона не превышает критического $4,82 < 7,80$. Нулевая гипотеза не отвергается.

Вычисленные значения критерия согласия К. Пирсона χ^2 не превышают критических значений $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{кр}}$, поэтому нулевая гипотеза о нормальном распределении отклонений относительных отметок асфальтного покрытия автомобильной дороги как линейного сооружения не отвергается.

Обсуждение

При анализе результатов исследований установлено, что значения относительных отметок асфальтного покрытия автомобильной дороги, полученные по результатам измерения электронным тахеометром и точным оптическим нивелиром Н-3, одного порядка точности. Это подтверждается полученными значениями среднеквадратических погрешностей отклонений относительных отметок от результатов, полученных с применением цифрового нивелира. Характер эмпирического и теоретического распределений показан графиками плотности. Полученные значения критерия согласия К. Пирсона не отвергают принятую гипотезу о нормальном распределении отклонений относительных отметок, полученных с использованием перечисленных приборов.

Заключение

Выполненные исследования показали, что использование электронных тахеометров типа TRIMBLE M3 (СКП измерения углов 5") и точных оптических нивелиров типа Н-3 при строительстве автомобильных дорог как линейных со-

оружий позволяют обеспечить регламентируемую в СП 78.13330.2012 точность определения относительных высотных отметок положения их оснований и покрытий. Использование электронных тахеометров для производства всего комплекса геодезических работ при возведении линейных сооружений (автомобильных дорог) позволит повысить точность определения геометрических параметров конструкций автомобильных дорог и снизить трудозатраты на их выполнение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геодезия : учебник для студ. высш. учебн. завед. / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; под ред. Д. Ш. Михелева. – 12-е изд., стер. – М. : Академия, 2014. – 496 с.
2. Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г. Геодезия : учебник. – М. : Колос, 2013. – 598 с.
3. Чекалин С. И. Основы картографии, топографии и инженерной геодезии : учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Академический проект, 2013. – 319 с.
4. Буденков Н. А., Нехорошков П. А., Щекова О. Г. Курс инженерной геодезии : учебник / Под общ. ред. Н. А. Буденкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Форум: инфра, 2014. – 272 с.
5. Дьяков Б. Н., Ковязин В. Ф., Соловьев А. Н. Основы геодезии и топографии : учебник для вузов. – М. : Лань, 2011. – 272 с.
6. Столбов Ю. В., Нагаев Д. О., Столбова С. Ю. Исследование точности высотного положения поверхности верхнего слоя покрытия автомобильных дорог // Изв. вузов. Строительство. – 2011. – № 4. – С. 53–60.
7. Геодезические исследования точности высотного положения нижнего слоя покрытия автомобильной дороги при разных шагах нивелирования / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев, К. С. Кокуленко // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (108). – С. 239–245.
8. Столбов Ю. В., Столбова С. Ю., Нагаев Д. О. Исследование точности высотного положения поверхностей конструктивных слоев дорожных одежд при разных шагах нивелирования // Изв. вузов. Строительство. – 2013. – № 8. – С. 84–88.
9. Столбов Ю. В., Столбова С. Ю., Нагаев Д. О. Обеспечение точности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог : монография. – Омск : СибАДИ, 2013. – 144 с.
10. 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.
11. Создание геодезической основы на территории строительства объектов энергетики / Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 48–54.
12. 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.
13. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
14. 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.

15. Рахымбердина М. Е. Исследование по совершенствованию высокоточного инженерно-геодезического нивелирования цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2013. – 24 с.
16. Сальников В. Г. Совершенствование методики геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации энергетических объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 24 с.
17. Никонов А. В. Совершенствование методики тригонометрического нивелирования короткими лучами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 24 с.
18. Никонов А. В., Уставич Г. А. Совершенствование локальной поверочной схемы для проверки нивелиров и тахеометров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.)– Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 85–93.
19. Privalov F. V. Research of accuracy of elevation measurements made by total station Leica TS06plus // Междунар. научно-практ. конф. «Новые технологии – нефтегазовому региону» : сб. материалов. – Тюмень : ТИУ, 2016. Т. 2. – С. 41–44.
20. Mobile precise trigonometric levelling system based on land vehicle: an alternative method for precise leveling / J. Zou, Y. Zhu, Y. Xu, Q. Li, L. Meng, H. Li // Survey Review. – 2017. – Vol. 49, Issue 355. – P. 249–258.
21. Nestorovic Z., Delcev S. Comparison of height differences obtained by trigonometric and spirit leveling method // Geonauka. – 2014. – Vol. 2, No.4. – P. 30–37.
22. Shults R., Roshchyn-Kyiv O. Preliminary determination of spatial geodetic monitoring accuracy for free station method // Geodetski List. – 2016. – Vol. 70, No. 4. – С. 355–370.
23. Takalo M., Rouhiainen P. On Digital Levelling Technique Applied in Water Crossing [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2006/papers/ts53/ts53_03_takalo_rouhiainen_0507.pdf.
24. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистики : учебник. – 9-е изд., стереотип. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.
25. Нефедова Г. А., Ащеулов В. А. Теория математической обработки геодезических измерений в конспективном изложении : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 140 с.

Получено 06.06.2019

© Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова,
Л. А. Пронина, Н. А. Пархоменко, 2019

STUDY OF THE ACCURACY DETERMINATION OF THE ELEVATIONS OF THE LINEAR STRUCTURE USING DIFFERENT GEODETIC INSTRUMENTS

Yuri V. Stolbov

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), 5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russia, D. Sc., Professor, Department of Road Design, phone: (913)621-64-70, e-mail: ssu0810@mail.ru

Svetlana Yu. Stolbova

Omsk State Technical University, 11, Mira Ave., Omsk, 644050, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Oil and Gas, Standardization and Metrology, phone: (913)621-64-70, e-mail: ssu0810@mail.ru

Liliya A. Pronina

Omsk State Agrarian University Named after P. A. Stolypin, 644008, Russia, Omsk, 4, Sibakovskaya St., Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Remote Sensing, phone: (904)582-93-92, la.pronina@omgau.org

Natalia A. Parkhomenko

Omsk State Agrarian University Named after P. A. Stolypin, 4, Sibakovskaya St., Omsk, 644008, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Remote Sensing, phone: (905)940-93-22, e-mail: na.parkhomenko@omgau.org

It is noted that as long as SNIP 3.06.03-85. automobile roads, revised edition – the set of rules SP 78.13330.2012, was brought into action, the requirements to the accuracy of reference marks on the linear constructions were significantly increased. In order to ensure the fulfillment of these increased requirements in building automobile roads (as linear constructions) it was proposed to use more high-accuracy geodetic devices instead of traditionally used type – H 10 level units. The article considers the study of accuracy determination of reference marks of the road cover based on the result of measurement with type TRIMBLE M3 total station (rms error of measuring angles is 5"), type H-3 optical level and type TRIMBLE DINI 0.7 digital level. The article gives the calculation of statistical characteristics and parameters of deviations distribution of relative heights of road cover received on results of measurements by an electronic total station and a level H-3 from values of the results received at measurement by a digital level and accepted for initial data. The article states the possibility of using an electronic total station type TRIMBLE M3 in the construction and operation of roads as linear structures, to ensure increased requirements for their high-altitude position in the joint venture.

Key words: position of structures, construction, linear structures, acceptable deviations, geodesic devices, accuracy study, determination of reference marks.

REFERENCES

1. Klyushin, E. B., Kiselev, M. I., Mikhelev, D. Sh., & Feldman V. D. (2014). *Geodeziya [Geodesy]* (12th ed.). D. Sh. Mikheleva (Ed.). Moscow: "Academy" Publ., 496 p. [in Russian].
2. Maslov A. V., Gordeev, A. V., & Batrakov, Yu. G. (2013). *Geodeziya [Geodesy]*. Moscow: Kolos Publ., 598 p. [in Russian].
3. Chekalin, S. I. (2013). *Osnovy kartografii, topografii i inzhenernoy geodezii [Fundamentals of cartography, topography and engineering geodesy]* (3rd ed.). Moscow: Akademicheskiiy proekt Publ., 319 p. [in Russian].
4. Budenkov, N. A., Nekhoroshkov, P. A., & Shchekov, O. G. (2014). *Kurs inzhenernoy geodezii [Course of engineering geodesy]* (2nd ed.). O. N. Budenkov (Ed.). Moscow: Forum: Infra, 272 p. [in Russian].
5. Dyakov, B. N., Kovyazin, V. F., & Soloviev, A. N. (2011). *Osnovy geodezii i topografii [Basics of geodesy and topography]*. Moscow: Lan Publ., 272 p. [in Russian].
6. Stolbov, Yu. V., Nagaev, D. O., & Stolbova, S. Yu. (2011). Investigation of the accuracy of the altitude position of the surface of the upper layer of the road surface cover. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 4, 53–60 [in Russian].
7. Stolbov, Yu. V., Stolbova, S. Yu. Nagaev, D. O., & Kokulenko K. S. (2012). Geodesic investigation of the accuracy of the altitude position of the lower layer of the road surface covering at different levels of leveling. *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 1(108), 239–245 [in Russian].

8. Stolbov, Yu. V., Stolbova, S. Yu., & Nagaev, D. O. (2013). Investigation of the accuracy of the altitude position of the surfaces of constructive layers of road clothes at different levels of levels. Stolbov. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 8, 84–88 [in Russian].
9. Stolbov, Yu. V., Stolbova, S. Yu., & Nagaev, D. O. (2013). *Obespechenie tochnosti vysotnogo polozheniya osnovaniy i pokrytiy avtomobil'nykh dorog [Ensuring the accuracy of the high-altitude position of the bases and road surfaces]*. Omsk: SibADI Publ., 144 p. [in Russian].
10. Ustavich, G. A., Rakhymberdina, M. E., Nikonov, A. V., & Babasov, S. A. (2013). Development and improvement of engineering-geodetic leveling by trigonometric method. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 6, 17–22 [In Russian].
11. Ustavich, G. A., Kitaev, G. G., Nikonov, A. V., & Sal'nikov V. G. (2013). Creation of a geodetic base in the territory of construction of energy facilities. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4/S, 48–54 [in Russian].
12. Nikonov, A. V. (2014). Investigation of the influence of vertical refraction on the results of trigonometric leveling by short beams from the middle. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 1, 28–34 [in Russian].
13. Nikonov, A. V. (2013). Investigation of the accuracy of trigonometric leveling in a way from the middle with the use of electronic tacheometers. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 2(22), 26–35 [in Russian].
14. Nikonov, A. V. (2013). Investigation of the accuracy of trigonometric leveling by a method from the middle of the viewing over different underlying surfaces. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 3(23), 28–33 [in Russian].
15. Rakhymberdin, M. E. (2013). Research on the improvement of high-precision engineering-geodetic leveling by digital levels and electronic total stations. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk, 24 p. [in Russian].
16. Salnikov, V. G. (2015). Perfection of the method of geodetic measurements for the provision of construction and operation of power facilities. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk, 24 p. [in Russian].
17. Nikonov, A. V. (2015). Perfection of the method of trigonometric leveling by short rays. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk, 24 p. [in Russian].
18. Ustavich, G. A., & Nikonov, A. V. (2015). Improvement local verification scheme for calibration levels and total stations. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 85–93). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
19. Privalov, F. V. (2016). Research of accuracy of elevation measurements made by total station Leica TS06plus. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: T. 2. Noveye tekhnologii – neftegazovomu region [Proceedings of International Scientific and Practical Conference: Vol. 2. New Technologies for the Oil and Gas Region]* (pp. 41–44). Tyumen: TIU Publ. [in Russian].
20. Zou, J., Zhu, Y., Xu, Y., Li, Q., Meng, L., & Li, H. (2017). Mobile radio contact. *Survey Review*, 49(355), 249–258.
21. Nestorovic, Z., & Delcev, S. (2014). Comparison of the height of differences and the spirit leveling method. *Geonauka*, 2(4), 30–37.
22. Shults, R., & Roshchyn-Kyiv, O. (2016). Preliminary determination of the spatial geodetic monitoring method for geo-free method. *Geodetski List*, 70(4), 355–370.

23. Takalo, M., & Rouhiainen, P. (n. d.). On Digital Leveling Technique Applied in Water Crossing. Retrieved from http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2006/papers/ts53/ts53_03_takalo_rouhiainen_0507.pdf

24. Gmurman, V. Ye. (2003). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistiki [Theory of probability and mathematical statistics]* (9th ed.). Moscow: Vysshaya shkola, Stereotip Publ., 479 p. [in Russian].

25. Nefedova, G. A., & Ashcheulov V. A. (2009). *Teoriya matematicheskoy obrabotki geodezicheskikh izmereniy v konspektivnom izlozhenii [The theory of mathematical processing of geodetic measurements in the summary presentation]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 140 p. [in Russian].

Received 06.06.2019

© Yu. V. Stolbov, S. Yu. Stolbova,
L. A. Pronina, N. A. Parkhomenko, 2019