

Исследование хода фокусирующей линзы зрительных труб цифровых нивелиров

Г. А. Уставич¹, А. И. Каленицкий¹, Д. В. Бирюков¹, А. М. Астапов^{1*}, Н. М. Рябова¹

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

* e-mail: andrey_astapov@inbox.ru

Аннотация. Для обеспечения необходимой точности измерения превышений и углов на станции принимаются меры по исключению или значительному ослаблению влияния основных инструментальных ошибок. Применительно к нивелированию такими основными ошибками является нарушение главного условия нивелира (влияние постоянной составляющей угла i), а также неправильного хода (колебания) фокусирующей линзы зрительной трубы при ее перефокусировании (переменной составляющей угла i). В связи с этим с целью значительного ослабления их влияния нивелирование на станции выполняется способом из середины с допустимой разностью плеч. Влияние и величина хода фокусирующей линзы на результаты измерений, способы ослабления возникающих при этом ошибок хорошо освещены для инструментов с визуальным отсчитыванием. Применительно к зрительным трубам цифровых нивелиров, имеющих другую конструкцию и более короткое фокусное расстояние, характер и величина этого влияния освещена недостаточно. Данное обстоятельство имеет важное значение при выполнении измерений указанными инструментами в части возможного расширения технологических допусков на неравенство плеч на нивелирной станции при выполнении геометрического нивелирования. Поэтому целью настоящих исследований является определение характера и величины хода фокусирующей линзы цифровых нивелиров и с учетом ее влияния внесение рекомендаций в существующие методики измерений. Для решения данной задачи реализована методика поверки путем нивелирования превышений из двух станций. Исследованиями установлено, что в высокоточных цифровых нивелирах величина хода фокусирующей линзы не превышает 0,14 мм. Это позволяет при выполнении высокоточного нивелирования увеличить неравенство плеч на станции практически без потери точности измерений.

Ключевые слова: основные инструментальные ошибки нивелиров, величина хода фокусирующей линзы зрительной трубы, постоянная и переменная составляющие угла i , технологическая и внеочередная поверки, результаты поверки

Введение

Согласно требованиям нормативных документов [1–3], при эксплуатации геодезических инструментов необходимо проводить их периодические технологические поверки. Применительно к нивелирам с визуальным отсчитыванием такими основными поверками являются поверка угла i , ошибки самоустановки визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение, цены деления барабанчика оптического микрометра и правильности хода фокусирующей линзы зрительной трубы. Для цифровых нивелиров добавляется еще определение (поверка) ошибки, обусловленной правильностью масштаба изображения штрих-кодовой рейки (ошибка средней длины метра).

После проведения вышеуказанных поверок при необходимости производится юстировка соответствующих параметров за исключением хода фокусирующей линзы зрительной трубы. Это обусловлено тем, что качество изготовления направляющих, по которым перемещается фокусирующая линза зрительной трубы, гарантируется заводом-изготовителем.

Вместе с тем нормативным документом [1] предписывается проводить периодическую поверку правильности хода фокусирующей линзы зрительной трубы высокоточного нивелира. Ход фокусирующей линзы оказывает влияние на положение визирной оси, а, следовательно, и на переменную часть угла i . Указанный фактор является одной из причин, ко-

торая влияет на установление допустимой разности плеч на нивелирной станции для всех классов нивелирования, включая и высокоточное нивелирование короткими лучами [4–6]. В свою очередь величина допустимой разности плеч существенно влияет на быстроту измерения превышения на нивелирной станции, особенно при прокладывании нивелирного хода в условиях пересеченной местности.

Данная поверка может производиться в лабораторных условиях с применением коллиматорного стенда или в полевых путем измерения нескольких превышений сначала без перефокусирования зрительной трубы, а за-

тем с ее перефокусированием [7]. При проведении поверки с помощью коллиматора величина колебания фокусирующей линзы измеряется в угловой мере, а в полевых условиях – в линейной мере.

Методика выполнения поверки в полевых условиях заключается в измерении нескольких превышений сначала при равенстве плеч, а затем при значительном их неравенстве (рис. 1). После этого по разности измеренных превышений вычисляется величина неправильного хода фокусирующей линзы и степень ее возможного влияния на результаты измерений.

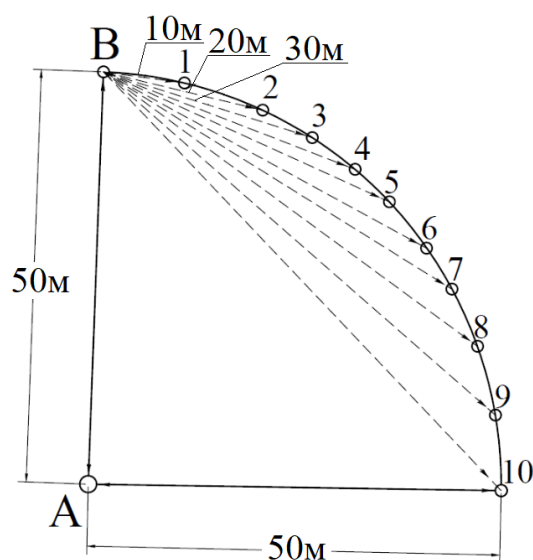


Рис. 1. Существующая схема поверки хода фокусирующей линзы нивелира

Методика поверки в полевых условиях, рекомендуемая нормативным документом [1], заключается в следующем. На горизонтальном участке местности выбирается площадка, на которой разбивается дуга радиусом 50,0 м. На этой дуге через 10,0 м размечается 8–10 точек, которые закрепляются колышками. Затем в точке *A* устанавливается поверяемый нивелир и измеряются превышения между колышками 1, 2, 3, ..., 10. Затем нивелир переносится и устанавливается в точке *B* и измерение превышений производится снова.

Так как при установке нивелира в точке *A* измерение превышений выполняется при равенстве плеч, то в полученных результатах не будет присутствовать влияние постоянной составляющей угла *i*, а также и переменной,

обусловленной неправильным ходом фокусирующей линзы зрительной трубы, так как перефокусирование не выполняется.

Затем измерения превышений производятся из точки *B* и при значительной разности плеч, поэтому они будут содержать в себе ошибки, обусловленные постоянной и переменной составляющей угла *i*. Для ослабления влияния постоянной составляющей угла *i* необходимо перед проведением поверки провести тщательное его исправление до 2,0–3,0", что является довольно трудоемкой задачей. Кроме того, недостатком данной методики является остаточное влияние постоянной составляющей угла *i* (указанные 2,0–3,0") на результаты измеряемых превышений на станции с точки *B*. Из примера, приведенного

в нормативном документе [1] следует, что для высокоточных нивелиров с визуальным отсчитыванием типа Н-05 величина этого влияния может достигать 3,60 мм при неравенстве плеч до 50–55 м.

Учитывая такую значительную величину влияния для нивелиров с визуальным отсчитыванием, целью настоящего исследования является, во-первых, определение величины неправильного хода фокусирующей линзы у высокоточных цифровых нивелиров, во-вторых, ее влияние на измеряемое превышение на станции и, в-третьих, выдача рекомендаций по уточнению существующих разностей плеч на станции для всех классов нивелирования.

Методика и средства измерений

Принципиальным отличием хода фокусирующей линзы зрительной трубы от остальных инструментальных ошибок [8–11] заключается в том, что выполнить юстировку хода фокусирующей линзы после проведения поверки не представляется возможным. Поэтому существующие методики выполнения нивелирования различных классов разработаны с учетом данного фактора.

Вместе с тем необходимо отметить следующее. При выполнении геометрического нивелирования на станции нормативным документом [1] регламентируется, в зависимости от класса, допустимая величина неравенства плеч на станции, а также в нивелирном ходе в целом. Величина этого неравенства связывается в основном со случайным влиянием вертикальной рефракции, наличием угла i , а также частично с возможным неправильным ходом фокусирующей линзы. Данный подход был правильным при выполнении нивелирования нивелирами с визуальным отсчитыванием.

После внедрения в геодезическое производство цифровых нивелиров влияние фактора наличия постоянной составляющей угла i практически полностью компенсируется введением соответствующих поправок (после юстировки) непосредственно на станции [1, 12, 13]. Это обусловлено тем, что программное обеспечение цифровых нивелиров позво-

ляет на нивелирной станции исправлять угол i (электронный) в угловой мере с ошибкой порядка 0,5–1,0" и автоматически вводить поправки за неравенство плеч в измеряемое превышение. В этом случае при выполнении, например, нивелирования I класса измеренное на станции превышение будет отягощено остаточной ошибкой при допустимом неравенстве плеч 0,5 м, равной всего 0,002–0,003 мм, что не будет оказывать практического влияния на результаты измерений. Также накопление неравенства плеч в секции, равное 1,0 м, приведет к появлению ошибки, равной 0,004–0,006 мм.

Величина случайной ошибки, обусловленной влиянием вертикальной рефракции, также незначительна, так как согласно исследованиям [6, 14, 15] ее значение при расстоянии 50,0 м составляет 0,2–0,5 мм, что при неравенстве плеч 0,5 м не будет превышать 0,01–0,02 мм в измеряемом превышении.

Таким образом, остается открытым вопрос о величине случайной составляющей угла i и ее влиянии на измеряемое превышение на станции, обусловленной неправильным ходом фокусирующей линзы. Следовательно, необходимо выполнить исследование (поверку) по определению величины ошибки измерения превышения из-за хода фокусирующей линзы у современных цифровых нивелиров.

Учитывая недостатки рекомендуемой нормативным документом [1] методики выполнения такого исследования (влияет постоянная составляющая угла i), выполним исследования с использованием следующей (рис. 2) методики [7]. Исследование удобно выполнять в длинном коридоре с хорошим освещением и постоянной температурой. При этом, в отличие от существующей методики [1], поверять и исправлять угол i нет необходимости, так как его величина не будет влиять на результаты определения хода фокусирующей линзы.

Для этого в точке A на жесткое основание устанавливается исследуемый цифровой нивелир, а в точках 1, 2, 3, ..., 10, расположенных примерно по створу, – башмаки, на которые поочередно устанавливается штрих-кодовая рейка. Расстояние до первой рейки должно быть минимальным, позволяющим выполнить

по ней отсчитывание. Расстояние между башмаками устанавливаются равными 4,0 или 5,0 м (для более детального исследования

расстояния необходимо уменьшить до 2,0 м), а число таких установок должно быть не менее 7–10.

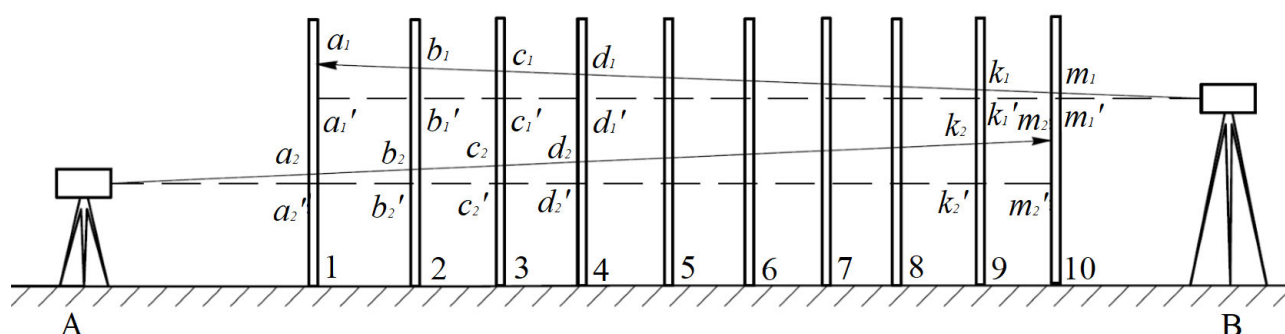


Рис. 2. Схема определения хода фокусирующей линзы нивелира

После приведения цифрового нивелира в рабочее положение производятся отсчеты по штрих-кодовой рейке, которая поочередно устанавливается в точках 1, 2, 3, ..., 10. Для повышения точности измерений на каждой установке рейки выполняется три отсчета с последующим нахождением среднего. Измерения выполняются в прямом и обратном направлениях также с последующим нахождением среднего значения. Затем нивелир переносится в точку B, где выполняются такие же измерения.

По окончании измерений производятся вычисления разностей отсчетов (отрезков) по штрих-кодовым рейкам, полученным при установке нивелира в точках A и B. В случае когда во время выполнения на каждом башмаке отсчетов по штрих-кодовой рейке перемещение фокусирующей линзы будет прямо-

линейным и без угловых колебаний, а также величина угла i будет равна нулю, то линиями визирования были бы горизонтальные линии $a_1'm_1'$ и $a_2'm_2'$. Тогда заключенные между этими линиями разности отсчетов (отрезки) $a_1' - a_2', b_1' - b_2', \dots, m_1' - m_2'$ для всех точек установок штрих-кодовой рейки будут равны между собой. Если же при таком горизонтальном положении визирной оси нивелира будет оказывать влияние ход фокусирующей линзы, то указанные отрезки не будут равны между собой и они будут отличаться на величину ошибки, вызванной этим ходом (колебанием).

В том случае, когда фокусирующая линза перемещается без колебаний, но в нивелире имеется угол i , то линиями визирования будут линии a_1m_1 и a_2m_2 . Тогда отрезки

$$\begin{aligned} (a - a_1) = \Delta_1, (b - b_1) = \Delta_2, \dots, (m - m_1) = \Delta_n; \\ (a_2 - a_1) = \Delta_1, (b_2 - b_1) = \Delta_2, \dots, (m_2 - m_1) = \Delta_n \end{aligned} \quad (1)$$

будут пропорционально уменьшаться или увеличиваться на одну и ту же величину δ_n , т. е.

$$\Delta_1 - \Delta_2 = \Delta_2 - \Delta_3 = \dots = \Delta_{n-1} - \Delta_n = \delta_n. \quad (2)$$

Если же в нивелире имеется ход фокусирующей линзы, то величины δ_n не будут равны между собой. Неравенство значений δ_n будет свидетельствовать о наличии в исследуемом цифровом нивелире определенной величины неправильного хода фокусирующей линзы.

Следует отметить, что важным фактором в определении характера хода фокусирующей линзы является применяемая методика выполнения нивелирования, так как от этого зависит использование участка направляющих, по которым перемещается оправа фокусирующей линзы.

В настоящее время применяются три методики выполнения высокоточного геометрического нивелирования:

- нивелирование I и II классов, которое выполняется визирными лучами длиной от 30,0 до 75,0 м с неравенством плеч 0,5 и 1,0 м;
- нивелирование короткими лучами, которое выполняется визирными лучами длиной от 5,0 до 15,0–20,0 м с неравенством плеч до 0,2 м;
- веерообразное нивелирование, которое также выполняется визирными лучами длиной от 5,0–30,0 м с неравенством плеч до 20,0 м.

С учетом этого необходимо выполнять проверку правильности хода фокусирующей линзы в зависимости от назначения высокоточного нивелирования. Если, например, организация будет выполнять только нивелирование I и II классов, то в этом случае при визировании на заднюю и переднюю рейки зрительная труба будет практически отфокусирована на бесконечность. В зависимости от увеличения зрительной трубы после 35,0–40,0 м глубина резкости изображения переходит в бесконечность. В этом случае перефокусирование практически не выполняется, перемещение фокусирующей линзы по направляющим между визированием на рейки будет минимальным или вообще отсутствовать и поэтому измеряемое превышение не будет отягчено ее влиянием. В связи с этим проверку хода фокусирующей линзы достаточно выполнять в пределах от 30,0 до 50,0 м с шагом (интервалом) установки рейки 3,0–4,0 м.

Если нивелирование выполняется короткими лучами, то величина перемещения фокусирующей линзы по направляющим будет значительной. При этом в зависимости от расстояния до рейки глубина резкости изображений будет изменяться от 0,2 до 1,5 м, что потребует перефокусирования зрительной трубы. Однако, так как неравенство плеч соблюдается в пределах 0,2 м, то в этом случае не следует ожидать появления значительного неправильного ее хода.

В связи с этим с целью детального определения величины хода линзы (если он, конечно, есть) изменения необходимо выполнять с шагом не более чем 2,0 м.

И, наконец, при выполнении веерообразного нивелирования визирование на штрих-

кодовые рейки может выполняться в пределах от 5,0 до 20,0 м и в этом случае будет иметь место максимальное перемещение фокусирующей линзы по направляющей, практически на всю их длину. Следовательно, также с целью более детального определения величины неправильного хода линзы изменения необходимо выполнять с шагом установки штрих-кодовой рейки не более чем 2,0 м.

Рассматриваемая проверка была проведена в лабораторных условиях при температуре 23 °С и с установкой штрих-кодовой рейки через 2,0; 4,0 и 5,0 м. При этом расстояния до первой точки установки рейки были равны соответственно 3,0; 4,0 и 5,0 м. Эти интервалы были выбраны с таким расчетом, чтобы определить ход фокусирующей линзы на разных участках ее перемещения по направляющим.

С применением данной методики проверке подвергался цифровой нивелир Dini 03 №771608. Выбор данного нивелира был обусловлен тем, что во время выполнения нивелирования на промплощадке он получил сильный механический удар (падение на бетонный пол с высоты 1,6 м), в результате которого был нарушен ход лучей в оптической системе и отсутствовало изображение штрих-кодовой рейки. После этого в специализированной организации был выполнен его ремонт, по окончании которого была выполнена проверка постоянной составляющей угла i , а на горизонтальном интерференционном компараторе СГУГиТ – сохранность масштаба изображения штрих-кодовой рейки (средней длины метра). Завершающим этапом ремонта была проверка величины хода фокусирующей линзы.

Перед началом выполнения измерений производилась разметка и установка башмаков с выбранным шагом. С целью ослабления влияния остаточного наклона штрих-кодовой рейки применялись подпорки и измерения выполнялись с низкого штатива. Цифровой нивелир устанавливался на штатив хорошего качества (без наличия люфтов), а его ножки, в свою очередь, устанавливались в углубления на бетонном полу. Во время выполнения измерений сбоя в отсчетах не было, что говорит о хороших условиях выполнения измерений.

Результаты

Как уже указывалось выше, поверку величины хода фокусирующей линзы желательнее производить в зависимости от назначения нивелирования. Поэтому нами была выполнена поверка для целей нивелирования I и II классов, со-

здания высотной сети на промплощадке и высокоточного нивелирования короткими лучами.

В табл. 1 приведены результаты поверки нивелира для случая, если он будет использоваться при выполнении высокоточного нивелирования короткими лучами (шаг установки рейки равен 2,0 м).

Таблица 1

Определение влияния хода фокусирующей линзы высокоточного цифрового нивелира (расстояние до первой рейки 3,0 м, шаг установки рейки 2,0 м)

№ точки	Отсчеты по рейке, мм						Δ, мм	δ, мм
	Нивелир в точке А			Нивелир в точке В				
	Прямо	Обратно	Среднее	Прямо	Обратно	Среднее		
1	1111,18	1110,20	1111,19	1148,48	1148,46	1148,47	37,28	0,02
2	1089,26	1089,29	1089,28	1126,55	1126,55	1126,55	37,26	0,09
3	1098,50	1098,48	1098,49	1135,64	1135,67	1135,66	37,17	0,04
4	1100,17	1100,14	1100,16	1137,27	1137,31	1137,29	37,13	0,03
5	1128,13	1128,09	1128,11	1165,22	1165,20	1165,21	37,10	0,02
6	1126,71	1126,65	1126,68	1163,76	1163,75	1163,76	37,08	0,03
7	1113,90	1113,90	1113,90	1150,94	1150,96	1150,95	37,05	

Из табл. 1 следует, что величина δ из-за хода фокусирующей линзы с шагом 2,0 м не превышает 0,10 мм (между первым и третьим башмаками). Это свидетельствует о том, что ход линзы незначительный и он не будет оказывать заметного влияния на результаты нивелирования при разности плеч на станции до 2,0 м.

На рис. 3 приведен график хода фокусирующей линзы с шагом установки рейки 2,0 м (максимальное расстояние 15,0 м).

В табл. 2 приведены результаты поверки нивелира для случая, если он будет использоваться при выполнении нивелирования на промплощадке (шаг установки рейки равен 4,0 м).

Из табл. 2 следует, что величина δ за неправильный ход фокусирующей линзы во всем диапазоне ее перемещения не превышает 0,09 мм (между вторым и третьим башмаками), а с шагом 4,0 м эта величина не превышает 0,14 мм (между четвертым и шестым башмаками). Необходимо отметить, что в данное значение хода фокусирующей линзы входит и ошибка собственно измерений. Это свидетельствует о том, что колебания линзы незначительны и не будут оказывать заметного влияния на результаты нивелирования при разности плеч до 4,0 м.

На рис. 4 приведен график хода фокусирующей линзы с шагом установки рейки 4,0 м.

При выполнении нивелирования I и II классов средняя длина визирного луча равна 45,0–50,0 м. В табл. 3 приведены результаты исследований хода фокусирующей линзы (с шагом

5,0 м) для таких расстояний, из которых следует, что ее величина не превосходит 0,16 мм.

На рис. 5 приведен график хода фокусирующей линзы с шагом установки рейки 5,0 м.

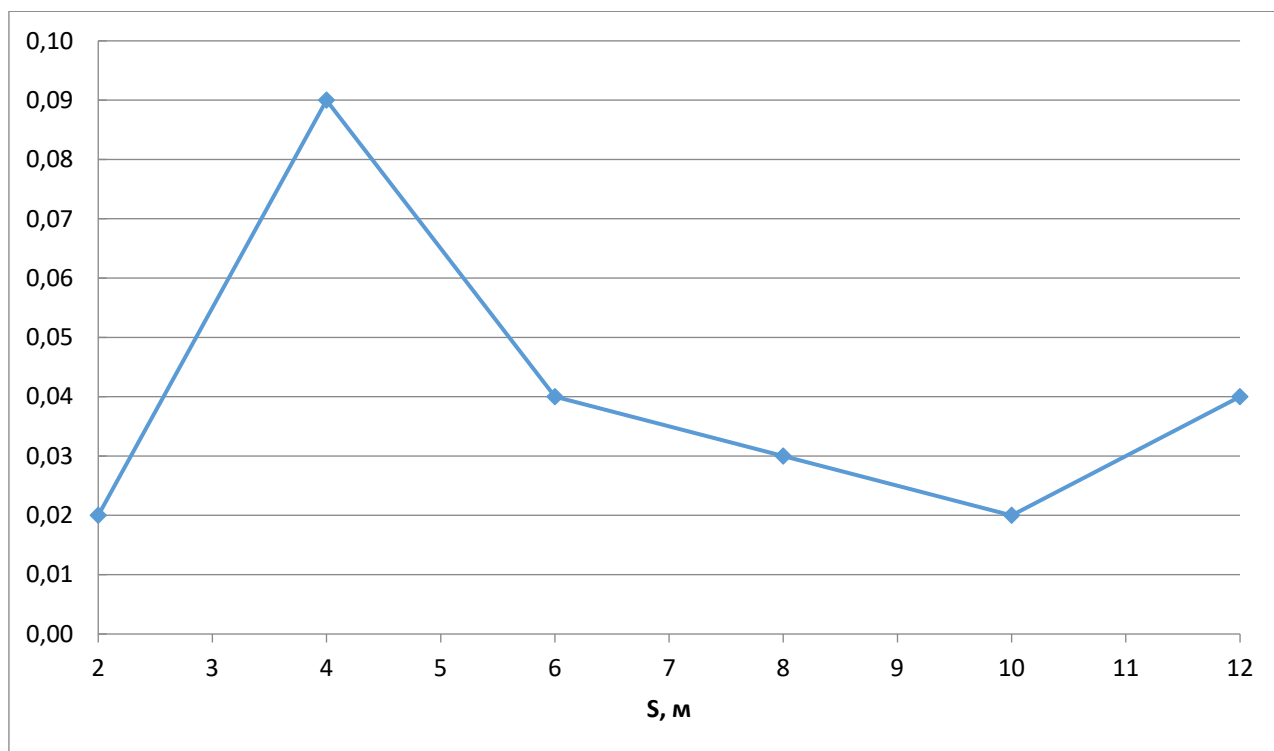


Рис. 3. График хода фокусирующей линзы с шагом установки рейки 2,0 м

Таблица 2

Определение хода фокусирующей линзы высокоточного цифрового нивелира (расстояние до первой рейки 4,0 м, шаг установки рейки 4,0 м)

№ точек	Нивелир в точке А			Нивелир в точке В			Δ, мм	δ, мм
	Прямо	Обратно	Средне	Прямо	Обратно	Средне		
1	1491,18	1491,20	1491,19	1308,68	1308,66	1308,67	182,52	
2	1419,33	1419,41	1419,37	1236,96	1236,88	1236,92	182,45	0,07
3	1447,45	1447,48	1447,46	1265,08	1265,12	1265,10	182,36	0,09
4	1415,85	1415,67	1415,76	1233,55	1233,51	1233,48	182,28	0,08
5	1499,14	1499,19	1499,16	1317,02	1317,01	1317,02	182,14	0,14
6	1408,61	1408,70	1408,70	1226,72	1226,68	1226,70	182,00	0,14
7	1379,92	1379,94	1379,93	1198,00	1198,10	1198,05	181,88	0,12
8	1368,96	1368,97	1368,96	1187,10	1187,18	1187,14	181,82	0,06

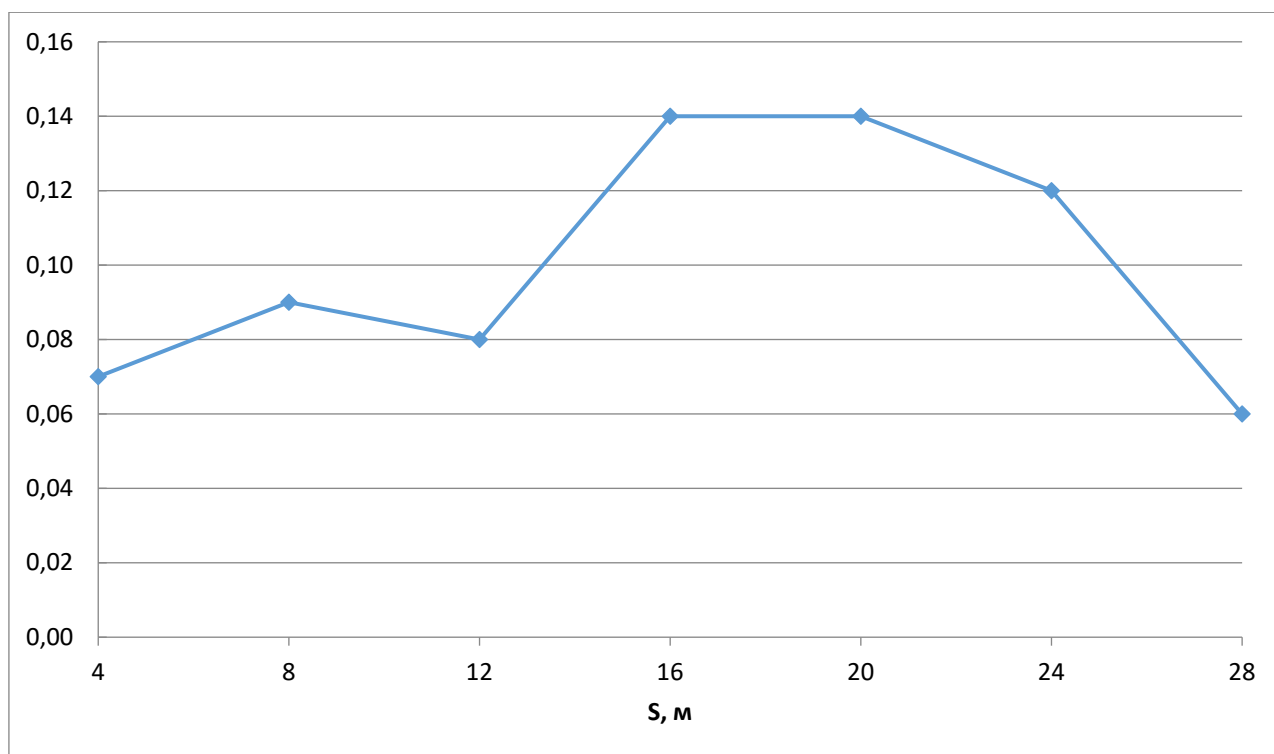


Рис. 4. График хода фокусирующей линзы с шагом установки рейки 4,0 м

Таблица 3

Определение хода фокусирующей линзы высокоточного цифрового нивелира (расстояние до первой рейки 5,0 м, шаг установки рейки 5,0 м)

№ точек	Нивелир в точке А			Нивелир в точке В			Δ, мм	δ, мм
	Прямо	Обратно	Средне	Прямо	Обратно	Средне		
1	1064,82	1064,80	1064,81	1158,11	1158,13	1158,12	93,31	-0,02
2	1056,70	1056,68	1056,69	1150,01	1150,03	1150,02	93,33	0,08
3	1073,61	1073,62	1073,62	1166,88	1166,86	1166,87	93,25	0,12
4	1071,69	1071,68	1071,68	1164,80	1164,82	1164,81	93,13	0,06
5	1059,95	1059,95	1059,95	1153,01	1153,02	1153,02	93,07	0,07
6	1074,67	1074,68	1074,68	1167,71	1167,68	1167,68	93,00	0,11
7	1103,08	1103,06	1103,07	1195,95	1195,98	1195,96	92,89	0,05
8	1106,44	1106,41	1106,42	1199,25	1199,26	1199,26	92,84	0,08
9	1128,37	1128,36	1128,36	1221,11	1221,14	1221,12	92,76	-0,04
10	1116,44	1116,43	1116,44	1209,25	1209,24	1209,24	92,80	-0,04

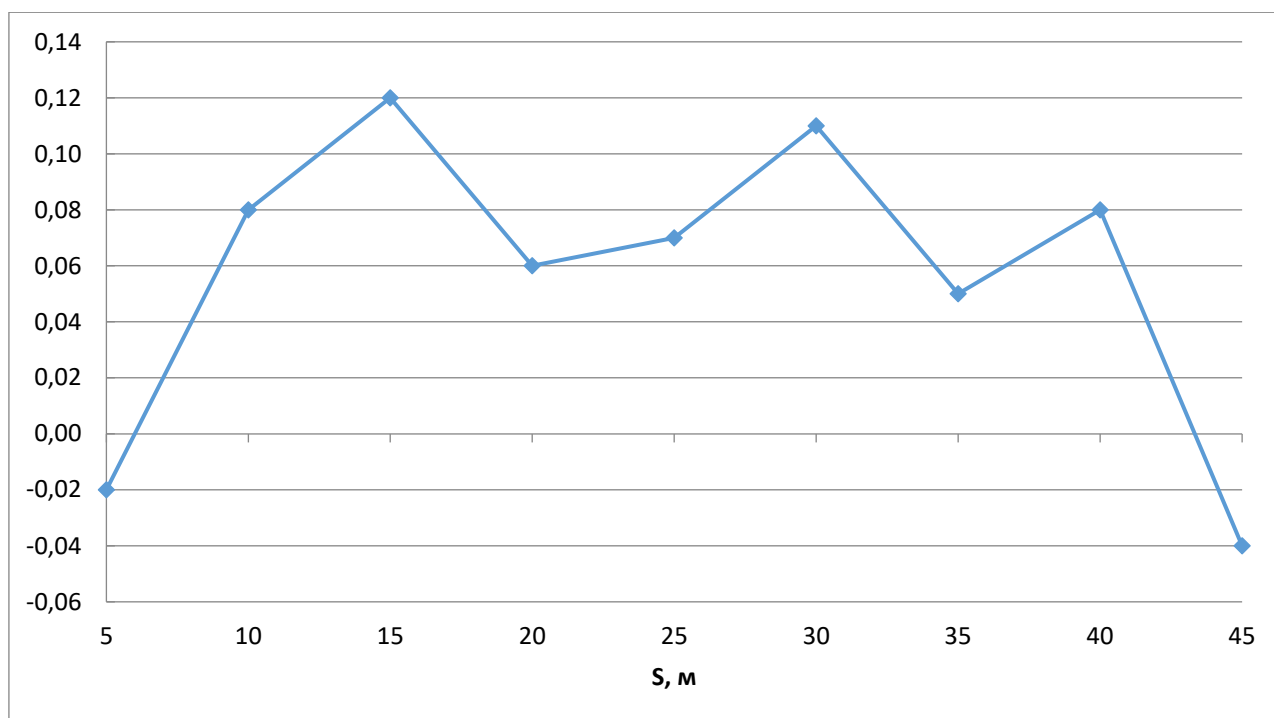


Рис. 5. График перемещения фокусирующей линзы с шагом установки рейки 5,0 м

И, наконец, если высокоточное нивелирование на промплощадке будет выполняться веерообразным способом, то ход линзы также не будет заметно влиять на результаты нивелирования при разности плеч до 20,0 м, так как из табл. 2 следует, что величина δ на всех участках хода фокусирующей линзы не превышает 0,13 мм.

Необходимо отметить, что в полученные величины δ кроме неправильного хода фокусирующей линзы входят и ошибки собственно измерений [16–20].

Таким образом, при выполнении нивелирования I и II классов или высокоточного короткими лучами ход фокусирующей линзы не будет оказывать заметного влияния на результаты измерений при любом неравенстве плеч.

Необходимо отметить, что это утверждение справедливо только для данного нивелира, что говорит о хорошем качестве его изготовления. Можно предположить, что и для других нивелиров данной фирмы это утверждение справедливо. Тем не менее, выполнять такие исследования необходимо для каждого высокоточного нивелира, как этого требует нормативный документ [1].

На основании выполненных исследований следует, что с учетом факта практически полного отсутствия влияния хода фокусирующей линзы высокоточных цифровых нивелиров на измеряемые превышения на станции, случайного минимального влияния вертикальной рефракции (равное 0,01–0,02 мм), минимального влияния постоянной составляющей угла i (равное 0,002–0,003 мм), должна существенно измениться методика выполнения нивелирования всех классов и разрядов как на станции, так и в нивелирном ходе в целом. Она должна касаться величины неравенства плеч на станции и в нивелирном ходе в целом.

Нивелирование I, II, III и IV классов. При выполнении нивелирования данных классов значительное время затрачивается на выбор места установки реек и штатива с соблюдением допустимого неравенства плеч. Трудоемкость данного процесса при выполнении нивелирования в условиях пересеченной и болотистой местности значительно возрастает. В связи с тем, что, согласно нашим исследованиям, после юстировки остаточное влияние переменной составляющей угла i не превышает 0,5–1,5", имеется возможность увеличить неравенство плеч на станции

(с учетом случайного влияния вертикальной рефракции) без потери точности измерений. В табл. 4 приведены рекомендуемые величины неравенства плеч для нивелирования I, II, III и IV классов, а также разрядного нивелирования, предназначенного для обеспече-

ния работ на промплощадке. Указанные величины неравенства влияния переменной составляющей угла i были рассчитаны исходя из ее максимально возможного влияния не более 10 % на измеряемые превышения на нивелирной станции.

Таблица 4

Рекомендуемые неравенства плеч

Классы и разряды нивелирования	Остаточное влияние угла i , мм	Случайное влияние рефракции, мм	Ход фокусирующей линзы и ошибки измерений, мм	СКО измерения превышения, мм
1	2	3	4	5
Нивелирование I класса ($S = 50$ м, неравенство плеч 1,0/2,0 м) *	0,005–0,01	0,005–0,01	0,25	0,30
Нивелирование II класса ($S = 65$ м, неравенство плеч 2,0/3,0 м) *	0,01–0,02	0,01–0,02	0,35	0,40
Нивелирование III класса ($S = 75$ м, неравенство плеч 5,0/5,0 м) *	0,03–0,05	0,03–0,05	0,60	0,70
Нивелирование IV класса ($S = 100,0$ м, неравенство плеч 10,0/10,0 м) *	0,10–0,15	0,05–0,10	1,50	2,00
Нивелирование 1-го разряда ($S = 10$ м, неравенство плеч 1,0 м)	0,005–0,01	0,02–0,03**	0,10	0,15
Нивелирование 2-го разряда ($S = 25$ м, неравенство плеч 2,0)	0,01–0,02	0,05–0,10**	0,20	0,25
Нивелирование 3-го разряда ($S = 50$ м, неравенство плеч 5,0 м)	0,05–0,10	0,20–0,30**	0,40	0,50
Нивелирование 4-го разряда ($S = 75$ м, неравенство плеч 10,0 м)	0,10–0,20	0,50–0,70**	0,70	1,00
Нивелирование 5-го разряда ($S = 100$ м, неравенство плеч 10,0 м)	0,50–1,00	1,00–2,00**	2,00	3,00

Примечания. * В числителе – неравенство на станции, в знаменателе – в секции.

** Влияние рефракции и турбулентности воздуха.

Нивелирование I и II классов выполняется высокоточными нивелирами с увеличением не менее $\times 32$, а нивелирование III и IV классов может выполняться как высокоточными, так и точными нивелирами.

В колонке 1 приведены допустимые величины неравенства плеч на станции и в секции, а в колонке 2 – величины систематического влияния остаточного угла i . В колонке 3 приведены величины случайного влияния вертикальной рефракции на заданное неравенство

плеч для нивелирования I, II, III и IV классов. Влияние неправильного хода фокусирующей линзы, а также ошибок реек (их наклон, масштаб изображения) приведено в колонке 4. Суммарное влияние всех ошибок нивелирования на станции приведено в колонке 5.

Нивелирование 1-го, 2-го, 3-го, 4-го и 5-го разрядов. Нивелирование 1-го и 2-го разрядов выполняется высокоточными нивелирами также с увеличением не менее $\times 32$, а нивелирование 3-го, 4-го и 5-го разрядов может вы-

полняться как высокоточными, так и точными нивелирами; нивелирование 5-го разряда может выполняться техническими нивелирами.

В отличие от нивелирования I, II, III и IV классов нивелирование 1-го, 2-го, 3-го, 4-го и 5-го разрядов практически всегда выполняется при влиянии, порой значительном, турбулентности воздуха, возникающей от работающего оборудования. Поэтому в колонке 3 приводятся величины совместного случайного влияния на измеряемые превышения вертикальной рефракции и турбулентности воздуха.

Суммарное влияние всех ошибок на нивелирной станции разрядного нивелирования также приведено в колонке 5.

Выводы

Полученные результаты исследования хода фокусирующей линзы цифровых нивелиров позволяют сделать следующие выводы и рекомендации.

1. В отличие от высокоточных нивелиров с визуальным отсчитыванием у цифровых нивелиров данной фирмы влияние величины хода фокусирующей линзы на измеряемые

превышения на станции следует ожидать незначительным, и оно не будет превышать 0,14 мм. Применительно к расстояниям до 15,0 м (для нивелирования короткими лучами) влияние этого хода не превышает 0,09 мм.

2. С учетом этого имеется возможность увеличить на нивелирной станции величину неравенства плеч, что не приведет к увеличению СКО измерения превышения из-за данного фактора.

3. Так как влияние вертикальной рефракции на измеряемые превышения при коротких расстояниях носит в основном случайный характер и ее величина до 100,0 м не превосходит 0,20–0,30 мм, то при неравенстве плеч в 1,0 м (для I класса) это влияние уменьшится до 0,01 мм, что является пренебрегаемо малым.

4. Аналогичный вывод относится и к остальным классам и разрядам нивелирования с учетом соответствующей точности измерений.

В связи с этим при разработке новой редакции инструкции по выполнению нивелирования цифровыми нивелирами нами рекомендуется учесть результаты наших исследований. В настоящее время такой инструкции нет, так как срок действия временной инструкции окончился в 2014 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
2. Нивелирование I и II классов (практическое руководство) / Гл. упр. геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1982. – 264 с.
3. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Кузьмин М. В. Поверка геодезических приборов. – М. : Недра, 1981.
4. Уставич Г. А., Демин С. В., Шалыгина Е. Л., Пошивайло Я. Г. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 12–14.
5. Шалыгина Е. Л. Цифровое нивелирование – основные источники ошибок // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 15–17.
6. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование // Труды ЦНИИГАиК. – М. : Геодезиздат, 1956. – Вып. 111. – 340 с.
7. Уставич Г. А., Лесных И. В., Ефремов К. И. Исследование хода фокусирующей линзы нивелира // Межвузовский сб. науч. тр. – Новосибирск : НИИГАиК, 1977. Т. 1 (41).
8. Визиров Ю. В., Ковалёв С. В., Спиридонов А. И. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17–19.
9. Голыгин Н. Х. и др. Поверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 2. – С. 93–97.
10. Голыгин Н. Х., Шаимкулов Д. А. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира DiNi 10 // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106–116.
11. Голыгин Н. Х., Федосеев Ю. Е., Черепанов П. А. Перспективы использования измерительных систем «цифровой нивелир + штрих-кодовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 13 – 16.

12. Уставич Г. А., Рябова Н. М., Сальников В. Г., Рахымбердина М. Е. Исследование цифровых нивелиров и реек // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9–15.
13. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир + штрих-кодовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8–13.
14. Мещерский И. Н. Об ошибках высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. – 1987. – № 7. – С. 48–52.
15. Энтин И. И. Анализ результатов нивелирования I и II классов // Тр. ЦНИИГАиК. – 1960. – Вып. 135.
16. Травкин С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97–100.
17. Уставич Г. А., Сальников В. Г., Теплых А. Н. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров // Вестник СГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 3–8.
18. Уставич Г. А., Сальников В. Г., Рябова Н. М. Схема полевого высотного стенда для поверки системы «цифровой нивелир – штрихкодовые рейки» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 51–55.
19. Черепанов П. А. Поверка и калибровка измерительных систем «цифровой нивелир + две штрих-кодовые рейки» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 119–122.
20. Уставич Г. А., Мезенцев И. А., Бирюков Д. В., Баранников Д. А. Методика технологической поверки масштаба изображения по разностям превышений, измеренных эталонным и поверяемым цифровыми нивелирами // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 59–71.

Об авторах

Георгий Афанасьевич Уставич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Анатолий Иванович Каленицкий – доктор технических наук, профессор-консультант кафедры космической и физической геодезии.

Дмитрий Витальевич Бирюков – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Андрей Михайлович Астапов – ассистент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Надежда Михайловна Рябова – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 23.03.2023

© Г. А. Уставич, А. И. Каленицкий, Д. В. Бирюков,
А. М. Астапов, Н. М. Рябова, 2023

Investigation of the focusing lens course in the spotting scopes of digital levels

G. A. Ustavitch¹, A. I. Kalenitsky¹, D. V. Birukov¹, A. M. Astapov^{1}, N. M. Ryabova¹*

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

* e-mail: andrey_astapov@inbox.ru

Abstract. To ensure the required accuracy of elevation and angle measurements, measures are taken at the station to rectification or significant reduce of the influence of the main instrumental errors. With regard to leveling, main errors are the violation of the main condition of the level (the influence of the constant component of the angle i), as well as the incorrect course (oscillations) of the spotting scope focusing lens when it is refocused (the variable component of the angle i). In this regard, in order to significantly reduce their influence, leveling at the station is carried out by the middle with an acceptable shoulder difference. The influence and magnitude of the focusing lens travel on the measurement, as well as methods for reducing the errors, are well covered for instruments with visual reading. With regard to the spotting scope of digital levels, which have different design and shorter focal length, the nature and magnitude of this influence is not covered enough. This circumstance is important when performing measurements with the instruments in terms of the possible expansion of technological tolerances for the inequality of the shoulders at the leveling station when performing geometric leveling. Therefore, the purpose of this research is to determine the nature and magnitude

of stroke of the focusing lens of digital levels and, taking into account its influence, to make recommendations to existing measurement methods. To solve this problem, a verification technique was implemented by leveling the excesses from two stations. Studies have established that in high-precision digital levels, the amount of stroke of the focusing lens does not exceed 0.14 mm. This allows, when performing high-precision leveling, to increase the inequality of the shoulders at the station with virtually no loss of measurement accuracy.5

Keywords: main instrumental errors of levels, magnitude of focus lens stroke in spotting scope, constant and variable components of the angle i , technological and exceptional verification, verification results

REFERENCES

1. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. (2004). Instructions for leveling I, II, III and IV classes. GKINP (GNTA) – 03-010-03.2004. Moscow: TsNIIGAiK Publ., 226 p. [in Russian].
2. Leveling I and II classes (practical guide). (1982). Moscow: Nedra Publ., 264 p. [in Russian].
3. Spiridonov, A. I., Kulagin, Yu. N., & Kuzmin, M. V. (1981). *Poverka geodezicheskikh priborov [Verification of geodetic instruments]*. Moscow: Nedra Publ. [in Russian].
4. Ustavich, G. A., Demin, S. V., Shalygina, E. L., & Poshivailo, Ya. G. (2005). Development and improvement of engineering geodetic leveling technology. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 5, 12–14 [in Russian].
5. Shalygina, E. L. (2005). Digital leveling - the main sources of errors. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 5, 15–17 [in Russian].
6. Entin, I. I. (1956). High-precision leveling. *Trudy TsNIIGAiK [Proceedings of TsNIIGAiK]*, 111, 340 p. [in Russian].
7. Ustavich, G. A., Lesnykh, I. V., & Efremov, K. I. (1977). Study of the course of the focusing lens of the level. In *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov: T. 1(41). [Interuniversity Collection of Scientific Papers: Vol. 1(41)]*. Novosibirsk: NIIGAiK Publ. [in Russian].
8. Vizirov, Yu. V., Kovalev, S. V., & Spiridonov, A. I. (2002). Features of metrological and service maintenance of digital levels. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 3, 17–19 [in Russian]. [in Russian].
9. Golygin, N. Kh., & et al. (2009). Verification and calibration of digital levels and barcode rails. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 2, 93–97 [in Russian].
10. Golygin, N. Kh. (2003). Investigation of the intra-step short-period error of the DiNi digital level 10. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 5, 106–116 [in Russian].
11. Golygin, N. Kh., Fedoseev, Yu. E., & Cherepanov, P. A. (2013). Prospects for the use of measuring systems "digital level + barcode rail". *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 6, 13–16 [in Russian].
12. Ustavich, G. A., Ryabova, N. M., Salnikov, V. G., & Rakhymberdina, M. E. (2011). Research of digital levels and laths. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 4, 9–15 [in Russian].
13. Ustavich, G. A., & Yambaev, Kh. K. (2013). Methodology for carrying out extraordinary verification of the "digital level + barcode rail" system. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 6, 8–13 [in Russian].
14. Meshchersky, I. N. (1987). On the errors of high-precision leveling. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 48–52 [in Russian].
15. Entin, I. I. (1960). Analysis of the results of leveling I and II classes. *Trudy TsNIIGAiK [Proceedings of TsNIIGAiK]*, Issue 135 [in Russian].
16. Travkin, S. V. (2006). Method for determining the errors in measuring the excess with high-precision levels using end measures. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 3, 97–100 [in Russian].
17. Ustavich, G. A., Salnikov, V. G., & Teplykh, A. N. (2010). Investigation of barcode rails of digital levels. *Vestnik SGGGA [Vestnik SSGGA]*, 2(13), 3–8 [in Russian].
18. Ustavich, G. A., Salnikov, V. G., & Ryabova, N. M. (2014). Scheme of a field high-altitude stand for verification of the "digital level-barcode rails" system. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 4/S, 51–55 [in Russian].

19. Cherepanov, P. A. (2012). Verification and calibration of measuring systems "digital level + two barcode rails". *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 3, 119–122 [in Russian].

20. Ustavich, G. A., Mezentsev, I. A., Biryukov, D. V., & Barannikov, D. A. (2022). Technological verification of the image scale by differences in excesses measured by standard and verified digital levels. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(2), 59–71 [in Russian].

Author details

Georgy A. Ustavitch – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Anatoly I. Kalenitsky – D. Sc., Consulting Professor, Department of Space and Physical Geodesy.

Dmitriy V. Birukov – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Andrej M. Astapov – Assistant, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Nadezhda M. Ryabova – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 23.03.2023

© *G. A. Ustavitch, A. I. Kalenitsky, D. V. Birukov,
A. M. Astapov, N. M. Ryabova, 2023*