

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЕРКИ ИНВАРНОЙ НИВЕЛИРНОЙ РЕЙКИ

Цель работы: определиться с количеством, видами исследований и поверок инварных нивелирных реек в соответствии с действующими инструкциями. Научиться выполнять все необходимые исследования и поверки. Освоить методику выполнения поверок и исследований с оценкой точности выполнения работ и определением допустимости использования реек для работы.

Исходные приборы и оборудование: инварные нивелирные рейки (по числу бригад), контрольные метры (по числу бригад), нивелир типа НЗ.

Проведение операций поверок:

1. Внешний осмотр рейки. Обращается внимание на качество исполнения штрихов рейки и их оцифровки. На рабочей поверхности рейки не должно быть пятен, царапин и отслаиваний краски, затрудняющих взятие отсчетов по рейке. Крепление ручек, круглого уровня и пяток рейки должны быть прочными и надежными. По эксплуатационной документации проверяется наличие принадлежностей в комплекте реек.

2. Проверка правильности установки круглого уровня на рейке. Рейку устанавливают на расстоянии около 50 м от нивелира. Нивелир приводят в рабочее положение и по команде наблюдателя устанавливают рейку так, чтобы ее ребро совпадало с вертикальной нитью сетки. Если при этом пузырек уровня находится в середине ампулы, то уровень установлен правильно. При отклонениях пузырек уровня выводится на середину ампулы юстировочными винтами. Рейку поворачивают на 90° и проверку повторяют. Во время проверки желательно поддерживать рейку при помощи держателей или к чему-либо ее прислонять.

3. Определение стрелы прогиба рейки. Для проверки рейку кладут на боковое ребро горизонтально, натягивают тонкую нить между концами рейки и линейкой измеряют расстояние от нити до шкалы в начале, середине и конце рейки с отсчетами соответственно a_1 , a_2 , a_3 . Прогиб определяется по формуле (1.1):

$$f = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2} \quad (1.1)$$

Допустимым считается прогиб менее 3 мм, при больших значениях прогиба его исправляют режимом хранения рейки.

4. Определение длин интервалов рейки при помощи контрольной линейки. Рейку укладывают на опоры, которые находятся в районе делений 12 и 48. Измеряют контрольной линейкой длины полуметровых интервалов рейки в прямом и обратном направлениях. Перед обратным ходом контрольную линейку поворачивают на 180°. Отсчеты производят по двум краям штрихов дважды,

перед вторым измерением линейку сдвигают. Данные измерений сводятся в таблицу 1.1.

Средняя длина полуметрового интервала в прямом ходе - 499,99, в обратном - 499,99. Среднее значение полуметрового интервала составляет 499,99 мм.

Таблица 1

Контрольное определение длин полуметровых интервалов
Рейка № _____ Контрольная линейка № _____ Основная шкала _____

Интервал рейки	Температура	Отсчеты		П-Л	Среднее	Поправка	Длина
		Л	П				
05-15	+23,0	0,0	500,0	499,98	500,05	-0,02	500,03
		0,0	500,1	500,04			
		0,0	500,1	500,06			
		1,0	501,0	500,04			
15-25	+23,0	1,0	501,0	500,00	500,00	-0,02	499,98
		0,1	500,0	499,90			
		1,0	501,1	500,10			
		0,0	500,0	500,00			
25-35	+23,0	1,0	501,0	500,00	500,00	-0,02	499,98
		0,0	500,0	500,00			
		1,0	501,1	500,10			
		0,0	499,9	499,90			
35-45	+23,0	1,1	501,0	499,90	500,00	-0,02	499,98
		0,0	500,1	500,10			
		1,0	501,0	500,00			
		0,0	500,0	500,00			
45-55	+23,0	1,0	501,0	500,00	500,00	-0,02	499,98
		0,0	499,9	499,90			
		1,1	501,1	500,00			
		0,0	500,1	500,10			
55-45	+23,0	1,0	501,0	500,00	500,00	-0,02	499,98
		0,1	500,1	500,00			
		1,0	501,0	500,00			
		0,1	500,1	500,00			
45-35	+23,1	0,2	500,2	500,00	500,00	-0,02	499,98
		0,1	500,1	500,00			
		0,0	500,0	500,00			
		0,1	500,1	500,00			
35-25	+23,0	0,0	500,0	500,00	500,05	-0,02	500,03
		0,0	500,1	500,10			
		0,0	500,0	500,00			
		0,0	500,1	500,10			

Окончание табл. 1

25-15	+23,0	1,1	501,1	500,00	500,05	-0,02	500,03
		0,0	500,1	500,10			
		1,0	501,1	500,10			
		0,0	500,0	500,00			
15-05	+23,1	0,1	500,1	500,00	500,00	-0,02	499,98
		0,1	500,1	500,00			
		0,1	500,0	499,90			
		0,0	500,1	500,10			

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Цель работы: ознакомиться со способом определения средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла непосредственно по результатам измерений углов необходимым числом приемов. Практически определить значение средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла для исследуемого теодолита.

Исходные приборы и оборудование: теодолит типа Т2, теодолиты типа Т30 -2шт, стационарные столики (штативы) - 3 шт.

Порядок выполнения работы:

1. Учебная группа или подгруппа делится на отдельные бригады по 3-4 человека. В связи с тем, что одновременно работу может выполнять только одна бригада, а время выполнения работы без перерыва порядка 3-4 часов, работа каждой бригадой выносится из расписания на внеурочное время и выполняется ими самостоятельно.

2. Во время выполнения работы на стационарных столиках в аудиториях, ими оборудованных, устанавливаются теодолит Т2 и теодолиты Т30 таким образом, чтобы в плане они давали угол, близкий к 90° с вершиной угла в точке установки теодолита Т2. Все теодолиты приводятся в рабочее положение, а зрительные трубы теодолитов Т30 наводятся на теодолит Т2.

3. Каждым членом бригады, т.е. трижды или четырежды, производится измерение горизонтального угла 12-ю приемами, каждый из которых состоит из двух полуприемов. При переходе к измерению следующим приемом лимб теодолита смещается на 15° . Погрешность измерения горизонтального угла определяется по результатам всех измерений.

Пример записи и обработки результатов измерений приведен в таблицах 2, 3, ... (по числу членов бригады).

Таблица 2

Серия: 1 _____

Номер прибора: _____

Исполнитель: _____

Температура: _____

№		Измерения				Значение угла
		Л	П	Л-П	1/2 (Л+П)	
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7
1	1	0° 01' 18 [〃] ,3	180° 01' 19 [〃] ,6	-1,3	19,0	90° 01' 15 [〃] ,6
	2	90° 02' 33 [〃] ,9	270° 02' 35 [〃] ,4	-1,5	34,6	
2	1	15° 00' 30 [〃] ,4	195° 00' 25,2	5,2	27,8	90° 01' 15 [〃] ,0
	2	105° 01' 44 [〃] ,4	285° 01' 41 [〃] ,2	3,2	42,8	
3	1	30° 01' 30 [〃] ,2	210° 01' 28 [〃] ,2	2,0	29,2	90° 01' 17 [〃] ,0
	2	120° 02' 47 [〃] ,3	300° 02' 45 [〃] ,0	2,3	46,2	
4	1	45° 01' 19 [〃] ,3	225° 01' 20 [〃] ,5	-1,2	19,8	90° 01' 16 [〃] ,4
	2	135° 02' 35 [〃] ,7	315° 02' 36 [〃] ,6	-1,0	36,1	
5	1	60° 02' 25 [〃] ,3	240° 02' 27 [〃] ,3	-2,0	26,3	90° 01' 16 [〃] ,6
	2	150° 03' 41 [〃] ,8	330° 03' 44 [〃] ,0	-2,2	42,9	
6	1	75° 01' 44 [〃] ,2	255° 01' 43 [〃] ,1	1,1	43,7	90° 01' 16 [〃] ,9
	2	165° 03' 01 [〃] ,1	345° 03' 00 [〃] ,1	1,0	00,6	
7	1	90° 01' 09 [〃] ,2	270° 01' 07 [〃] ,8	1,4	08,5	90° 01' 15 [〃] ,8
	2	180° 02' 24 [〃] ,8	0° 02' 23 [〃] ,8	1,0	24,3	
8	1	105° 00' 10 [〃] ,1	285° 00' 13 [〃] ,2	-3,1	11,6	90° 01' 15 [〃] ,8
	2	195° 01' 24 [〃] ,9	15° 01' 30 [〃] ,0	-5,1	27,4	
9	1	120° 00' 36 [〃] ,4	300° 00' 38 [〃] ,3	-1,9	37,4	90° 01' 15 [〃] ,8
	2	210° 01' 52 [〃] ,8	30° 01' 53 [〃] ,7	-0,9	53,2	
10	1	135° 01' 44 [〃] ,3	315° 01' 39 [〃] ,4	4,9	41,8	90° 01' 15 [〃] ,7
	2	225° 03' 00 [〃] ,4	45° 02' 54 [〃] ,5	5,9	57,5	
11	1	150° 02' 03 [〃] ,5	330° 02' 07 [〃] ,2	-3,7	05,3	90° 01' 15 [〃] ,6
	2	240° 03' 20 [〃] ,1	60° 03' 21 [〃] ,8	-1,7	20,9	
12	1	165° 01' 20 [〃] ,3	345° 01' 22 [〃] ,5	-2,2	21,4	90° 01' 15 [〃] ,8
	2	255° 02' 36 [〃] ,1	75° 02' 38 [〃] ,3	-2,2	37,2	

Данные измерений сводятся в таблицы 3, ... (по числу членов бригады), определяются погрешности определения значений угла, полученные каждым исполнителем и погрешности определения среднеквадратической погрешности по измерениям каждого.

Серия: 1 _____

Дата _____

Исполнитель: Иванов _____

№ прибора _____

№ приема	Значение измеренного угла	Отклонение от среднего значения, €	€ ²
1	2	3	4
1	90° 01' 15//,6	-0//,38	0,1444
2	90° 01' 15//,0	-0//,98	0 9604

1	2	3	4
3	90° 01' 17//,0	1//,02	1,0404
4	90° 01' 16//,1	0//,12	0,0144
5	90° 01' 16//,6	0//,62	0,3844
6	90° 01' 16//,9	0//,92	0,8464
7	90° 01' 15//,8	-0//,18	0,0324
8	90° 01' 15//,8	-0//,18	0,0324
9	90° 01' 15//,8	-0//,18	0,0324
10	90° 01' 15//,7	-0,28	0,0784
11	90° 01' 15//,6	-0//,38	0,1444
12	90° 01' 15//,8	-0//,18	0,0324
Среднее	90° 01' 15//,98	Z = 0//,06	Z = 3,7428

Среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла определяют по формуле (4):

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \sqrt{\frac{3,7428}{12-1}} = 0//,58; \quad (2.1)$$

Среднюю квадратическую погрешность определения величины $m_{m\beta}$ определяют по формуле (2.2):

$$m_{m\beta} = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{0,58}{\sqrt{2(12-1)}} = 0//,12 \quad (2.2)$$

Полученные значения m_{β} , $m_{m\beta}$ по измерениям всех исполнителей сводятся в таблицу 2.3.

Сводная таблица результатов измерений бригады

Номер серии	Ф.И.О. исполнителя	m_P	m_{m_P}	ϵ
1	2	3	4	5
1	Иванов А. А.	0 ^W ,58	0 [^] ,12	0,17
2	Петров Б. Б.	0 ^{''} ,27	0 ^{''} ,10	-0,14
3	Сидоров В. .	0 ^W ,39	0 [^] ,14	-0,02

По результатам всех измерений среднее значение m_{m_β} составит 0['],41.

Среднюю квадратическую погрешность определения величины m_{m_β} определяют по формуле (2.3):

$$m_{m_\beta} = \frac{m_\beta}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{0.41}{\sqrt{2(36-1)}} = 0^{''},05 \quad (2.3)$$

Для теодолитов типа Т2 средняя квадратическая погрешность должна быть менее 2^{''}. Полученное значение 0^{''},41 соответствует требованиям инструкции.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучить правила округления результатов и погрешностей измерений.

Теоретическая часть:

В основе современных подходов к оцениванию погрешностей лежат принципы, обеспечивающие выполнение требований единства измерений.

Распространенной ошибкой при оценивании результатов измерений и их погрешностей является вычисление их и запись с чрезмерно большим числом значащих цифр. Этому способствует использование для расчетов вычислительной техники. Стандартом установлено, что в численных показателях точности измерений должно быть не более двух значащих цифр.

Значащими цифрами численной величины являются все ее цифры, достоверность которых не вызывает сомнений, плюс первая, которой может быть присуща ошибка.

Например: Проведившееся взвешивание образца показало результат:

0,656 гр; 0,658 гр; 0,662 гр

Среднее значение 0,658666. Значит, погрешность может содержаться в третьем знаке после запятой. Так что, результат этих измерений должен записываться тремя значащими цифрами (2 достоверные и еще одна которой может быть присуща ошибка). Следовательно, средний результат должен содержать такое же количество значащих цифр.

Нули, следующие в конце числа, после десятичной запятой рассматриваются как значащие цифры. Например: 4,250.

Нули, предшествующие числу или следующие за ним до десятичной запятой не входят в значащие цифры. Например: 0,066 и 66000 имеют только 2 значащие цифры. А числа 160,0 и 660,0 имеют 4 значащие цифры. Проводя вычисления, в которых используются экспериментальные данные, результат следует выражать так, чтобы количество значащих

цифр не превышало оправданного точностью исходных измерений.

Например: Результаты сложений и вычитаний округляют до последнего знака наименее точной из величин: $13,4 + 1478,224 = 1491,624 = 1491,6$

Результаты умножения или деления выражают тем же числом значащих цифр, которым записано наименее точное из исходных величин:

$31 \times 350,1 = 10853,1 = 11000$

Практикой выбраны следующие правила округления результатов и погрешностей измерений:

1) Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остающиеся цифры числа не изменяются. Например, при сохранении 4-х значащих цифр 235,435 округляется 235,4.

2) Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5,

но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу. Например, при сохранении 3-х значащих цифр 152,56 округляется до 153.

3) Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или равны 0, то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если она четная и увеличивают на единицу, если она не четная. Например, при сохранении 2-х значащих цифр 22,5 округляют до 22, а 23,5 до 24.

Задание

№ вар.	Определите количество значащих цифр численной величины	Округлите результаты вычислений:	
1	205,8; 19,70; 0,0096; 1300; 1,09	$80,2 + 3,90 =$	$15 \times 208,5 =$
2	13,406; 67,00; 0,85; 120; 90,1	$756 - 9,1 =$	$52,8 \times 203 =$
3	700,2; 40; 0,0821; 16,70; 2,02	$24,340 + 11,9 =$	$11,8 : 190 =$
4	300,7; 29,01; 0,89; 21000; 1100,0	$76,20 + 11,091 =$	$1,8 \times 5,12 =$
5	15,70; 56,02; 0,008; 30,40; 32,007	$7,89 - 1,900 =$	$3,5 \times 19,07 =$
6	400; 35,80; 0,061; 14,09; 120,5	$2,002 + 78 =$	$1203 : 8,2 =$
7	189,0; 17,208; 0,076; 20; 308	$7,68 - 5,1 =$	$90,1 \times 20,78 =$
8	0,090; 11,20; 14000; 50,04; 897,4	$6,7 + 15,99 =$	$89 : 3,405 =$
9	80,09; 0,96; 71,50; 420; 0,0210	$7 + 98,67 =$	$3,24 \times 89,06 =$
10	0,90; 31,2; 50,70; 100; 1,004	$6,65 + 7,0 =$	$530 \times 6,7 =$
11	200,0; 15,4; 0,7; 19000; 130,18	$90 - 82,130 =$	$20 \times 908,2 =$
12	706; 0,041; 0,20; 80; 4,506	$30,67 + 18,4 =$	$1 \times 16,8 =$
13	17,409; 61,0; 0,890; 2320; 70,7	$10 + 4,987 =$	$100 \times 15,47 =$
14	10,01; 0,6; 710,500; 0,010; 6200	$71,70 - 21,038 =$	$1,22 \times 8,1 =$
15	19,0; 170,20; 0,0996; 2090; 30,8	$206 - 39,87 =$	$50,0 \times 23 =$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. АНАЛИЗ РАЗМЕРНОСТИ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цель работы: изучение принципов построения систем физических величин и Международной системы единиц. Вычисление размерности физической величины на основе анализа предложенного физического уравнения.

Теоретическая часть:

Физическая величина – это свойство общее в качественном отношении для всех физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

Единица физической величины – размер физической величины, которому по определению придано значение, равное единице.

Исследования всех физических уравнений показывает, что все они, в конечном счете, содержат ограниченное число величин и соответствующих им единиц. Эти величины и соответствующие им единицы называются основными, через основные по формулам получают все производные единицы для данной области измерений.

Международная система единиц физических величин (СИ) была принята в 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам. По этой системе предусмотрено семь основных единиц и две дополнительные (таблица 4).

Таблица 5

Основные и дополнительные единицы системы СИ

Величина		Единица		
наименование	обозначение	наименование	обозначение	
			русское	межд.
Основные				
Длина	L	метр	м	m
Масса	M	килограмм	кг	kg
Время	T	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	ампер	A	A
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	K
Количество вещества	N	моль	моль	mol
Сила света	J	кандела	кд	cd
Дополнительные				
Плоский угол	-	радиан	рад	rad
Телесный угол	-	стерадиан	ср	sr

Метр – расстояние, который проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды.

Килограмм – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма из платинородиевого сплава, хранимого в Международном бюро масс и весов.

Секунда – интервал времени, в течение которого совершается 9192631770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133.

Ампер – сила неизменяющегося электрического тока, который проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого круглого сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создает между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7} \text{Н}$ на каждый метр длины.

Кельвин – единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в 0,012 кг углерода-12.

Кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила излучения которого в этом направлении составляет $1/683 \text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Радян – плоский угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равняется радиусу.

стерадиан – конус пучка света исходящего из центра сферы, который вырезает на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной равной радиусу.

Размерность измеряемой величины является качественной ее характеристикой и обозначается символом **dim**, происходящим от слова **dimension**. Размерность *основных* физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. НАПРИМЕР: для длины, массы и времени $\text{dim } l=L$, $\text{dim } m=M$, $\text{dim } t=T$.

В метрологии алгебра размерностей мультипликативна, то есть состоит из одного единственного действия – умножения.

НАПРИМЕР: если скорость определяется по формуле $V=l/t$, то $\text{dim } V=\text{dim } l / \text{dim } t= L/T=LT^{-1}$. Если сила по второму закону Ньютона $F=ma$, где $a=V/t$ – ускорение тела, то $\text{dim } F=\text{dim } m \cdot \text{dim } a=ML/T^2=MLT^{-2}$.

Методика выполнения работы:

- получить у преподавателя выражение, описывающее зависимость физической величины от других величин;
- выяснить, какие из составляющих физических величин являются основными, а какие производными;
- для каждой производной величины записать физическое уравнение, описывающее ее через основные величины;
- записать символы размерностей основных величин пользуясь таб-

лицей 4, и вычислить размерности производных величин с учетом символов размерностей основных;

- в соответствии с правилами вычисления размерностей, вычислить искомую размерность физической величины, описываемой предложенным для анализа уравнением.

Например:

Выразим давление в основных единицах системы СИ.

Давление (P) – это сила, приходящаяся на единицу площади в направлении перпендикулярном действию силы.

Запишем выражение, описывающее зависимость давления от других величин (4.1):

$$P = \frac{F}{S}; [P] = \text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \quad (4.1)$$

где: F – сила, Н; S – площадь, м².

Для физической величины «сила» (F) запишем уравнение, описывающее ее через основные величины (4.2):

$$F = m * g; [F] = \text{кг} * \text{м/с} \quad (4.2)$$

где: m – масса, кг; g – ускорение свободного падения, м/с.

Запишем единицу измерения давления в основных единицах системы СИ (4.3):

$$[P] = \frac{\text{кг} * \text{м/с}}{\text{м}^2} \quad (4.3)$$