

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра маркшейдерского дела**

# **ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ И СПОСОБ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ**

**СТРОГОЕ УРАВНИВАНИЕ  
РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020**

УДК 622.1 (073)

**ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ И СПОСОБ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ. Строгое уравнивание равноточных измерений:** Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *М.Г. Выстрчил, С.Ю. Новоженин, Д.А. Илюхин*, СПб, 2020. 28 с.

В методических указаниях рассмотрены базовые теоретические сведения о строгом уравнивании равноточных измерений и оценки их точности. Приведены варианты задания для выполнения лабораторной работы и пример расчета.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Маркшейдерское дело» при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Теория погрешностей и способ наименьших квадратов».

Научный редактор проф. *В.Н. Гусев*

Рецензент канд. техн. наук *А.С. Наумов* (ОП «ГСУ «Адмиралтейское»)

## ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях рассмотрены базовые теоретические сведения о строгом уравнивании равноточных измерений и оценки их точности. Приведен пример проведения расчета, даны указания к оформлению отчета по лабораторной работе.

### **Цель работы:**

В результате выполнения лабораторной работы студент должен закрепить теоретические знания об уравнивании равноточных измерений, получить навык обработки статистических данных, получаемых в ходе метрологической проверки маркшейдерско-геодезических приборов.

### **Задание:**

Согласно полученному от преподавателя варианту, приведенному в приложении 2, обработать ряд многократных равноточных измерений одной и той же величины.

В ходе обработки необходимо выполнить следующее:

1. Найти уравненное значение измеренной величины.
2. Определить среднеквадратическую погрешность измерения, среднюю арифметическую и вероятную погрешность одного измерения и сравнить их фактические значения с теоретическими.
3. Найти среднеквадратическую погрешность уравненной величины.
4. Определить погрешность среднеквадратической погрешности одного измерения.
5. Проверить гипотезу соответствия распределения погрешностей нормальному закону.

## Общие теоретические сведения.

### Уравнивание прямых многократных измерений одной величины

Результаты прямых многократных измерений одной величины будут равноточными, если в процессе измерений не изменялись условия их получения. Другими словами, если измерения проводились по одной и той же методике, одним прибором, тем же исполнителем и т.д. Неизменность условий измерений обеспечивает одинаковую погрешность, или равенство стандартов  $\sigma$  результатов измерений.

При отсутствии систематических ошибок математическое ожидание результатов измерений принимается равным истинному значению  $X$  измеренной величины [1, 2].

В процессе обоснования применимости метода наименьших квадратов было доказано, что для нормально распределенной случайной величины, при условии отсутствия грубых и систематических ошибок наилучшей оценкой истинного значения измеренной величины является среднее арифметическое значение из всех результатов равноточных измерений:

$$\hat{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{[x]}{n} = \bar{X}. \quad (1)$$

В маркшейдерской и геодезической практике все вычисления, аналогично производимым измерениям, выполняются в строго установленном порядке, позволяющем минимизировать общий объем вычислений при сохранении возможности контроля появления грубых ошибок.

Благодаря такой организации работ уравниваемое значение измеряемой величины вычисляется на практике по формуле:

$$\bar{X} = X_0 + \frac{[\xi]}{n}, \quad (2)$$

где  $X_0$  – постоянная часть результатов измерений, называемая часто «ложным нулем»;

$n$  – количество измерений;

$\xi$  – отклонение измерения от «ложного нуля»:

$$\xi_i = x_i - X_0. \quad (3)$$

В курсе математической статистики доказывается, что среднее арифметическое значение является наиболее эффективной оценкой истинного значения случайной величины, распределение которой подчиняется нормальному закону. Однако при отклонении закона распределения случайной величины от нормального или в случае зависимых измерений можно найти другие, более эффективные – робастные оценки [1-4].

Величина отклонения результата измерения от среднего арифметического обозначается строчной буквой  $v$ :

$$v_i = x_i - \bar{X}, \quad (4)$$

и обладает следующими свойствами.

**Свойство 1.** Отклонение  $v$  сходится по вероятности к истинной ошибке  $\varepsilon$ , т.е.:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} v_i = \lim_{n \rightarrow \infty} (x_i - \bar{X}) = x_i - \bar{X} = \varepsilon_i. \quad (5)$$

**Свойство 2.** Для ряда результатов измерений одной величины сумма отклонений  $v_i$  равняется нулю, т.е.  $[v]=0$ . Свойство используется для контроля правильности вычисления среднего арифметического.

**Свойство 3.** Сумма квадратов отклонений результатов измерений от среднего арифметического меньше суммы квадратов отклонений от любой другой величины, т.е.:

$$[vv] = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 < \sum_{i=1}^n (x_i - B)^2, \quad (6)$$

для любого числа  $B \neq \bar{X}$  [2].

Из данного свойства следует выполнение условия наименьших квадратов  $[pvv]=\min$  для среднего арифметического как уравненного значения прямых многократных измерений одной величины.

### Меры точности результатов измерений

При распределении случайных погрешностей измерений по нормальному закону, их значения могут принимать в широком диапазоне как положительные, так и отрицательные значения. Это создает затруднения для общей характеристики точности всей

совокупности проведенных измерений, особенно при сопоставлении результатов измерений различной точности.

В качестве меры, характеризующей точность прибора, метода или совокупности измерений, К.Ф. Гаусс предложил принять **среднеквадратическую погрешность**, вычисляемую по формуле:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{r}}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_i = x_i - X$  (ошибка измерений);

$r$  – число степеней свободы (избыточных измерений):

$$r = n - k, \quad (8)$$

где  $n$  – число всех измерений;

$k$  – число необходимых измерений.

Среднеквадратическая погрешность обладает рядом преимуществ относительно прочих мер точности:

1. При вычислении не нужно учитывать знаки отдельных погрешностей  $\varepsilon_i$ .

2. Большие по абсолютному значению величины после возведения в квадрат увеличивают ее численные значения, создавая своего рода «запас прочности».

3. Среднеквадратическая погрешность в виде параметра  $\sigma$  входит в функцию плотности нормального распределения.

4. По формуле (7) значение среднеквадратической погрешности  $m$  получается со знаком « $\pm$ », что соответствует природе случайных погрешностей.

Принципиальное отличие среднеквадратической погрешности  $m$  от среднеквадратического отклонения  $\sigma$  заключается в том, что  $\sigma$  — величина постоянная, характеризующая бесконечную совокупность данного вида измерений. Это величина теоретическая, в то время как погрешность  $m$  является величиной эмпирической, получаемой при ограниченном числе испытаний  $n$  [1].

Следует подчеркнуть, что среднеквадратические погрешности, вычисляемые по формуле (7), - величины случайные, зависящие от конкретного набора значений  $\varepsilon$  и меняющиеся при добавлении к имеющемуся ряду  $n$  новых значений.

Фактически при ограниченном объеме выборки  $n$  величина среднеквадратической погрешности  $m$  сама определяется по формуле (7) с некоторой ошибкой, среднеквадратическая погрешность которой вычисляется по формуле:

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2r}}. \quad (9)$$

Заметим, что распределение случайных величин  $m$  подчиняется закону распределения Пирсона ( $\chi^2$ -распределение) и отличается от закона распределения случайных величин  $\varepsilon$ , которые, как отмечено выше, подчиняются закону Гаусса.

В практике математической обработки прямых многократных измерений одной величины возможны следующие случаи.

**Если известно истинное значение  $X$** , необходимые измерения  $k$  отсутствуют, а количество степеней свободы равно объему совокупности  $r = n$ . В этом случае формула (7) принимает вид формулы Гаусса:

$$m = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}, \quad (10)$$

где  $\varepsilon$  – истинная ошибка измерений ( $\varepsilon = x_i - X$ ).

**Если истинное значение  $X$  не известно**, необходимо одно измерение ( $k = 1$ ), а количество степеней свободы  $r = n - 1$ . В этом случае формула (7) принимает вид формулы Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}, \quad (11)$$

где  $v$  – отклонение от среднего.

Следует отметить, что вычисление среднеквадратической погрешности  $m$  по формуле Гаусса (10) предпочтительнее, чем по формуле Бесселя (11), однако довольно редко возможно вследствие отсутствия знания истинного значения измеряемой величины.

Количество степеней свободы для вычисления значения среднеквадратической погрешности по формуле (9) определяется аналогично.

Погрешность окончательного результата измерений, за который принимается среднее арифметическое значение из совокупности измерений  $n$ , можно определить, применив формулу переноса погрешностей к выражению (1):

$$M_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{1}{n^2} m_1^2 + \frac{1}{n^2} m_2^2 + \dots + \frac{1}{n^2} m_n^2} = \pm \sqrt{\frac{n \cdot m^2}{n^2}} = \pm \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (12)$$

где  $m$  – среднеквадратическая погрешность одного измерения.

Зависимость среднеквадратической погрешности результата от количества отдельных, независимых реализаций измерения (12) часто используется для определения необходимого объема повторений. Однако повышение точности с увеличением числа измерений происходит нелинейно, из-за чего обычно число измерений одной величины редко превышает 10.

В качестве меры точности, кроме среднеквадратической погрешности, иногда применяют **среднюю арифметическую погрешность**, вычисляемую по формуле:

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\varepsilon_i| = \frac{1}{n} [\varepsilon] \quad (13)$$

При малом числе  $n$  оценка с помощью  $\theta$  приближенна. Однако при  $n$ , стремящемся к бесконечности, между величинами  $\theta$  и  $m$  существует устойчивая зависимость вида:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \theta = m \sqrt{\frac{2}{\pi}} \approx 0,798m \approx \frac{4}{5} m. \quad (14)$$

В ряде случаев в качестве меры точности используют **вероятную погрешность**  $r$ , численное значение которой выбирают таким образом, чтобы вероятность появления случайных погрешностей, меньших (или больших) этого значения, равнялась 0,5.

Иными словами, вероятная погрешность делит пополам ряд случайных погрешностей, расположенных в порядке возрастания их абсолютных значений, и потому ее иногда называют срединной (медианной) погрешностью:

$$r = \varepsilon_{P=0,5}. \quad (15)$$

Аналогично средней арифметической погрешности  $\theta$ , при  $n$  стремящемся к бесконечности, между величинами  $r$  и  $m$  существует устойчивая зависимость вида [1]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r \approx \frac{2}{3} m. \quad (16)$$

### **Проверка гипотезы распределения случайных погрешностей по нормальному закону**

Для проверки гипотез и оценки степени согласованности теоретического и статистического распределения на практике применяют так называемые «критерии согласия», в качестве которых могут выступать следующие:

1. Согласованность теоретических и фактических дополнительных параметров распределения (асимметрии, эксцесса и пр.).
2. Критерий согласия Пирсона.
3. Критерий согласия Колмогорова.
4. Критерий  $W$ .
5. Критерий Дэвида (критерий  $D$ ).
6. Критерий знаков.
7. Критерий Шавенэ.
8. Критерий Шарлье и пр.

Все перечисленные критерии, так или иначе, оценивают подобие эмпирического распределения теоретическому, но с разной степенью надежности. В курсе математической статистики доказывается, что предпочтительными являются критерии согласия Пирсона и Колмогорова. Оба эти критерия оперируют сгруппированными в виде вариационных рядов исходными данными и требуют для своего применения большого объема совокупности измерений  $n$ .

Проверку распределения эмпирических данных на нормальность при малых объемах измерений одной величины целесообразно осуществлять по критерию Дэвида [2], в котором рассчитывается отношение размаха измерений к среднеквадратической погрешности:

$$D = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}, \quad (17)$$

где  $x_{\max}$  – максимальное значение измеренной величины из совокупности  $n$ ;

$x_{\min}$  – минимальное значение измеренной величины из совокупности  $n$ ;

$m$  – среднеквадратическая погрешность, вычисляемая по формулам (8) или (9).

Полученное значение статистики  $D$  сравнивается с табличным интервалом (Приложение 1).

Если условие  $D_H < D < D_B$  выполняется, то считается, что распределение результатов измерений может подчиняться нормальному закону [2].

### Пример выполнения расчета

Пояснительная записка к лабораторной работе должна наглядно отражать ход определения всех рассчитанных величин. Все полученные значения должны быть округлены в соответствии с правилами геодезических вычислений и с указанием размерности рассчитанного параметра.

Сами расчеты выполняются в специальном формуляре, приведенном в таблице 1.

Перед непосредственным началом вычислений в столбец 2 таблицы 1 заносятся все измеренные значения  $x_i$ , после чего определяется значение «ложного нуля»  $X_0$ .

В целом, значение «ложного нуля» может быть произвольным. К примеру, взяв в качестве «ложного нуля»  $X_0 = 0$  выражение (2) принимает вид выражения (1). Однако, для сокращения объема вычислений наиболее рационально принимать «ложный ноль», исходя из следующих рекомендаций:

1. Минимальное значение измерения из ряда измерений.
2. Примерно среднее значение измеряемой величины из ряда измерений.
3. Постоянная часть ряда измерения.

В рассматриваемом примере в качестве «ложного нуля» принята постоянная часть измерений:

$$X_0 = 289^\circ 45' 00.0'' .$$

Значения отклонений от «ложного нуля»  $\xi$ , вычисляемые по формуле (3), заносят в третий столбец таблицы 1, после чего суммируются. Значения суммы отклонений  $[\xi]$  записывают внизу столбца 3, после чего по формуле (2) вычисляют среднее арифметическое.

$$\bar{X} = X_0 + \frac{[\xi]}{n} = 289^\circ 45' 00.0'' + \frac{1453''}{20} = 289^\circ 46' 12.65''$$

**ВАЖНО** отметить, что для минимизации влияния ошибок округления, возникающих в ходе расчетов, необходимо в вычисленном значении среднего арифметического оставить на одну

значашую цифру больше, чем их содержится в результатах самих измерений.

Таблица 1

Таблица для выполнения расчетов (пример)

№	$x_i$	$\xi$ , "	$v$ , "	$\underline{v\bar{v}}$	$v\xi$	$ v $ , "
1	2	3	4	5	6	7
1	286°45'41.4"	41.4	-31.25	976.6	-1294	0.35
2	286°46'15.6"	75.6	2.95	8.703	223.0	0.35
3	286°45'59.6"	59.6	-13.05	170.3	-777.8	2.45
4	286°46'12.3"	72.3	-0.35	0.1225	-25.31	2.95
5	286°46'27.7"	87.7	15.05	226.5	1320	12.65
6	286°45'56.6"	56.6	-16.05	257.6	-908.4	13.05
7	286°45'54.8"	54.8	-17.85	318.6	-978.2	15.05
8	286°45'44.1"	44.1	-28.55	815.1	-1259	15.25
9	286°46'30.1"	90.1	17.45	304.5	1572	16.05
10	286°46'41.4"	101.4	28.75	826.6	2915	17.45
11	286°47'27.2"	147.2	74.55	5558	10974	17.85
12	286°46'34.1"	94.1	21.45	460.1	2018	18.65
13	286°47'04.1"	124.1	51.45	2647	6385	21.45
14	286°46'00.0"	60.0	-12.65	160.0	-759.0	23.55
15	286°45'49.1"	49.1	-23.55	554.6	-1156	28.55
16	286°45'57.4"	57.4	-15.25	232.6	-875.4	28.75
17	286°46'15.1"	75.1	2.45	6.003	184.0	31.25
18	286°46'12.3"	72.3	-0.35	0.1225	-25.31	36.55
19	286°45'36.1"	36.1	-36.55	1336	-1319	51.45
20	286°45'54.0"	54.0	-18.65	347.8	-1007	74.55
	$X_0=$ 286°45'00.0"	$[\xi]=$ 1453	$[v]=$ 0.00	$[\underline{v\bar{v}}]=$ 15207	$[v\xi]=$ 15207	$ v =$ 428.20

Для вычисления среднеквадратической погрешности необходимо определить сумму квадратов отклонения измеренных величин от урванного значения  $[v\bar{v}]$ . Для контроля правильности определения этой суммы процесс ее вычисления разбивается на несколько этапов.

В первую очередь, в столбце 4 по формуле (4) вычисляются значения  $v_i$ . Значения  $v_i$ , аналогично среднему арифметическому, записываются с одной дополнительной значащей цифрой.

Контроль правильности вычисления среднего арифметического и отклонений  $v_i$  заключается в выполнении условия:

$$[v] = 0. \quad (18)$$

Рассчитанное значение суммы  $[v]$  записывают внизу столбца 4. Из-за присутствующей в вычислениях погрешности округления, сумма  $[v]$  может несколько отличаться от нуля. Расхождение не должно превышать произведения числа измерений  $n$  на половину последнего десятичного разряда, сохраненного в записи среднего арифметического, т.е. в рассматриваемом примере:  $0.005'' \cdot 20 = 0.1''$ .

Затем в графах 5 и 6 вычисляются произведения  $v_i v_i$  и  $v_i \xi_i$ .

Контроль правильности вычисления суммы  $[vv]$  заключается в выполнении условия:

$$[vv] \cong [v\xi]. \quad (19)$$

Условие (19) должно сходиться в пределах точности производимых вычислений.

В случае выполнения условия (19), по формуле (11) вычисляется среднеквадратическая погрешность (СКП) измерения:

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \sqrt{\frac{15207}{20-1}} = 28.290''.$$

Точность вычисления СКП измерения  $m$  определяется количеством значащих цифр в сумме  $[vv]$ , однако сама погрешность определения  $m$ , в основном, определяется количеством измерений, участвующих в непосредственном расчете и определяется по формуле (9):

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{28.290}{\sqrt{2(20-1)}} = 4.6''.$$

Так как сама СКП определения погрешности достаточно велика, в качестве окончательного значения СКП измерения целесообразно принять округленные до секунд значения:

$$m = 28'' \pm 5''.$$

За счет выполненной математической обработки, СКП уравненного значения будет в корень из  $n$  раз ниже, чем СКП отдельного измерения (формула (12)):

$$M_{\bar{x}} = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{28.290}{\sqrt{20}} = 6.33''.$$

Предполагая, что полученное уравненное значение в последующем будет участвовать в каких-либо вычислениях, допускается записать окончательный результат в неокругленном виде:

$$\bar{X} = 289^{\circ}46'12.65'' \pm 6.33''.$$

Для вычисления средней арифметической и вероятной погрешности в столбец 7 выписывают в порядке возрастания абсолютные значения отклонений от среднего  $v_i$  и определяют их сумму  $[|v|]$ .

Значение средней арифметической погрешности определяют по формуле (13):

$$\theta_{\phi} = \frac{1}{n} [ |v| ] = \frac{1}{20} 428.20 = 21.41''.$$

Вероятная погрешность делит пополам ряд случайных погрешностей, расположенных в порядке возрастания их абсолютных значений. Так как рассматриваемый ряд содержит четное количество измерений, вероятная погрешность определяется как среднее из измерений 10 и 11:

$$r_{\phi} = \frac{x_{10} + x_{11}}{2} = \frac{17.45 + 17.85}{2} = 17.65''.$$

Теоретические значения средней арифметической и вероятной погрешности определяются из условий (13) и (15):

$$\theta_T = \frac{4}{5} m = \frac{4}{5} 28.290'' = 22.63'',$$

$$r_T \approx \frac{2}{3} m = \frac{2}{3} 28.290'' = 18.86''.$$

Из-за ограниченного количества степеней свободы теоретические и фактические значения полученных погрешностей могут различаться.

Проверка распределения измеренных величин на нормальность распределения осуществляется по критерию Дэвида, для чего рассчитывается статистика по формуле (17):

$$D = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m} = \frac{286^{\circ}47'27.2'' - 286^{\circ}45'36.1''}{28.290''} = 3.93.$$

Полученное значение статистики  $D$  сравнивается с табличным интервалом  $D_H < D < D_B$  (приложение 1).

Для рассматриваемого задания, при доверительной вероятности  $\rho_0=0.95$ , значения нижней и верхней границы интервала равны:  $D_H=3.18$ ,  $D_B=4.49$ .

Рассчитанное значение статистики  $D$  принадлежит табличному интервалу:

$$3.18 < 3.93 < 4.49,$$

из чего следует сделать вывод о том, что рассматриваемая выборка может подчиняться нормальному закону.

### **Библиографический список**

1. *Гудков В.М.* Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений: Учебник для вузов / В.М. Гудков, А.В. Хлебников. М.: Недра, 1990. 335 с.
2. *Гордеев В.А.* Теория ошибок измерений и уравнивательные вычисления: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральской гос. горно-геол. Академия, 2002. 428 с.
3. *Гайдаев П.А.* Математическая обработка геодезических сетей. М.: Недра, 1977. 288 с.
4. *Большаков В.Д.* Уравнивание геодезических построений: Справочное пособие / В.Д. Большаков, Ю.И. Маркузе, В.В. Голубев. М.: Недра, 1989. 413 с.

## Приложения

*Приложение 1*

### Нижние границы критерия Дэвида $D_n$

Число измерений $n$	Риск $r = 1 - \rho_0$					
	0,000	0,005	0,01	0,025	0,05	0,10
3	1,732	1,735	1,737	1,745	1,758	1,782
4	1,732	1,83	1,87	1,93	1,98	2,04
5	1,826	1,98	2,02	2,09	2,15	2,22
6	1,826	2,11	2,15	2,22	2,28	2,37
7	1,871	2,22	2,26	2,33	2,40	2,49
8	1,871	2,31	2,35	2,43	2,50	2,59
9	1,897	2,39	2,44	2,51	2,59	2,68
10	1,897	2,46	2,51	2,59	2,67	2,76
11	1,915	2,53	2,58	2,66	2,74	2,84
12	1,915	2,59	2,64	2,72	2,80	2,90
13	1,927	2,64	2,70	2,78	2,86	2,96
14	1,927	2,70	2,75	2,83	2,92	3,02
15	1,936	2,74	2,80	2,88	2,97	3,07
16	1,936	2,79	2,84	2,93	3,01	3,12
17	1,944	2,83	2,88	2,97	3,06	3,17
18	1,944	2,87	2,92	3,01	3,10	3,21
19	1,949	2,90	2,96	3,05	3,14	3,15
20	1,949	2,94	2,99	3,09	3,18	3,29
25	1,961	3,09	3,15	3,24	3,34	3,45
30	1,966	3,21	3,27	3,37	3,47	3,59
35	1,972	3,32	3,38	3,48	3,58	3,70
40	1,975	3,41	3,47	3,57	3,67	3,79
45	1,978	3,49	3,55	3,66	3,75	3,88
50	1,980	3,56	3,62	3,73	3,83	3,95
55	1,982	3,62	3,69	3,80	3,90	4,02
60	1,983	3,68	3,75	3,86	3,96	4,08
65	1,985	3,74	3,80	3,91	4,01	4,14
70	1,986	3,79	3,85	3,96	4,06	4,19

Верхние границы критерия Дэвида  $D_V$ 

Число измерений $n$	Риск $r=1-\rho_0$					
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,000
3	1,997	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000
4	2,409	2,429	2,439	2,445	2,447	2,449
5	2,712	2,753	2,782	2,803	2,813	2,828
6	2,949	3,012	3,056	3,095	3,115	3,162
7	3,143	3,222	3,282	3,338	3,369	3,464
8	3,308	3,399	3,471	3,543	3,585	3,742
9	3,449	3,552	3,634	3,720	3,772	4,000
10	3,57	3,685	3,777	3,875	3,935	4,243
11	3,68	3,80	3,903	4,012	4,079	4,472
12	3,78	3,91	4,02	4,134	4,208	4,690
13	3,87	4,00	4,12	4,244	4,325	4,899
14	3,95	4,09	4,21	4,34	4,431	5,099
15	4,02	4,17	4,29	4,44	4,53	5,292
16	4,09	4,24	4,37	4,52	4,62	5,477
17	4,15	4,31	4,44	4,60	4,70	5,657
18	4,21	4,37	4,51	4,67	4,78	5,831
19	4,27	4,43	4,57	4,74	4,85	6,000
20	4,32	4,49	4,63	4,80	4,91	6,164
25	4,53	4,71	4,87	5,06	5,19	6,93
30	4,70	4,89	5,06	5,26	5,40	7,62
35	4,84	5,04	5,21	5,42	5,57	8,25
40	4,96	5,16	5,34	5,56	5,71	8,83
45	5,06	5,26	5,45	5,67	5,83	9,38
50	5,14	5,35	5,54	5,77	5,93	9,90
55	5,22	5,43	5,63	5,86	6,02	10,39
60	5,29	5,51	5,70	5,94	6,10	10,86
65	5,35	5,57	5,77	6,01	6,17	11,31
70	5,41	5,63	5,83	6,07	6,24	11,75

## Варианты задания

№	Вариант	Вариант	Вариант	Вариант	Вариант
	1	2	3	4	5
1	8°51'31.4"	129°26'50.9"	350°41'51.7"	23°16'19.8"	287°01'38.3"
2	8°51'47.6"	129°27'53.8"	350°41'54.1"	23°16'48.2"	287°01'35.2"
3	8°51'36.8"	129°28'25.1"	350°42'23.3"	23°17'15.0"	287°01'24.9"
4	8°51'42.8"	129°27'45.2"	350°42'07.1"	23°16'43.2"	287°01'33.0"
5	8°52'27.3"	129°29'00.4"	350°42'26.1"	23°17'23.3"	287°01'33.9"
6	8°52'06.3"	129°28'55.9"	350°41'58.8"	23°16'10.7"	287°01'39.6"
7	8°51'57.2"	129°28'11.8"	350°41'43.6"	23°16'28.9"	287°01'35.4"
8	8°51'55.6"	129°28'52.4"	350°41'55.0"	23°16'15.9"	287°01'36.0"
9	8°52'01.5"	129°27'33.6"	350°41'46.1"	23°16'20.2"	287°01'38.8"
10	8°51'57.8"	129°29'23.6"	350°42'23.7"	23°16'18.5"	287°01'37.3"
11	8°51'49.1"	129°27'47.1"	350°41'58.6"	23°16'52.2"	287°01'38.2"
12	8°51'50.1"	129°29'01.6"	350°41'55.0"	23°17'03.2"	287°01'25.6"
13	8°51'28.0"	129°28'13.4"	350°41'50.4"	23°16'38.3"	287°01'25.6"
14	8°51'34.0"	129°28'49.0"	350°42'35.1"	23°16'58.6"	287°01'27.8"
15	8°51'46.2"	129°28'19.0"	350°42'40.4"	23°16'18.9"	287°01'50.0"
16	8°51'46.9"	129°29'04.0"	350°42'25.2"	23°17'09.7"	287°01'36.6"
17	8°51'35.9"	129°29'15.8"	350°42'06.9"	23°16'41.3"	287°01'40.7"
18	8°51'50.3"	129°28'54.0"	350°41'33.1"	23°17'17.8"	287°01'38.3"
19	8°51'55.1"	129°28'20.9"	350°42'00.7"	23°16'41.9"	287°01'27.2"
20	8°51'26.5"	129°28'42.9"	350°41'53.4"	23°16'52.7"	287°01'22.7"

*Продолжение приложения 2*

<b>№</b>	<b>Вариант 6</b>	<b>Вариант 7</b>	<b>Вариант 8</b>	<b>Вариант 9</b>	<b>Вариант 10</b>
<b>1</b>	237°54'39.9"	332°38'53.2"	350°28'22.6"	122°45'12.4"	126°36'45.1"
<b>2</b>	237°54'06.2"	332°38'17.0"	350°27'38.9"	122°44'28.8"	126°36'43.0"
<b>3</b>	237°55'53.6"	332°39'29.5"	350°28'11.3"	122°45'39.2"	126°36'52.9"
<b>4</b>	237°55'17.2"	332°39'04.8"	350°27'55.7"	122°45'36.6"	126°37'12.0"
<b>5</b>	237°55'56.6"	332°39'12.1"	350°28'14.3"	122°45'12.6"	126°37'06.7"
<b>6</b>	237°56'08.9"	332°39'00.1"	350°28'37.0"	122°45'08.2"	126°37'08.0"
<b>7</b>	237°54'21.5"	332°39'37.4"	350°28'24.6"	122°44'52.9"	126°36'26.0"
<b>8</b>	237°56'05.8"	332°39'06.1"	350°28'43.6"	122°45'20.1"	126°36'24.9"
<b>9</b>	237°55'47.7"	332°40'12.5"	350°28'10.3"	122°44'37.1"	126°35'52.6"
<b>10</b>	237°55'32.9"	332°40'07.3"	350°27'54.6"	122°45'01.3"	126°36'22.5"
<b>11</b>	237°56'22.7"	332°38'12.5"	350°27'58.5"	122°45'31.9"	126°36'49.1"
<b>12</b>	237°55'07.7"	332°40'02.8"	350°28'34.4"	122°45'04.9"	126°36'37.1"
<b>13</b>	237°55'28.8"	332°39'42.8"	350°27'44.4"	122°44'58.3"	126°37'10.4"
<b>14</b>	237°56'36.3"	332°40'10.7"	350°28'02.7"	122°44'46.6"	126°36'45.3"
<b>15</b>	237°55'42.8"	332°39'18.0"	350°27'45.1"	122°45'13.6"	126°36'47.6"
<b>16</b>	237°55'34.8"	332°38'48.2"	350°28'11.3"	122°45'30.0"	126°36'22.6"
<b>17</b>	237°56'26.1"	332°38'50.8"	350°28'00.4"	122°44'53.4"	126°36'18.7"
<b>18</b>	237°55'09.9"	332°40'01.9"	350°28'04.2"	122°44'54.2"	126°37'05.9"
<b>19</b>	237°54'59.7"	332°40'00.8"	350°28'12.2"	122°45'13.8"	126°35'49.8"
<b>20</b>	237°55'44.5"	332°38'06.3"	350°28'07.8"	122°45'26.7"	126°37'27.2"

*Продолжение приложения 2*

<b>№</b>	<b>Вариант 11</b>	<b>Вариант 12</b>	<b>Вариант 13</b>	<b>Вариант 14</b>	<b>Вариант 15</b>
<b>1</b>	247°34'11.9"	247°34'11.9"	168°28'33.7"	233°10'28.9"	211°23'55.2"
<b>2</b>	247°36'13.1"	247°36'13.1"	168°28'38.5"	233°11'25.8"	211°24'34.6"
<b>3</b>	247°36'21.6"	247°36'21.6"	168°27'03.8"	233°10'31.3"	211°25'03.5"
<b>4</b>	247°34'23.7"	247°34'23.7"	168°28'41.7"	233°10'20.7"	211°23'29.2"
<b>5</b>	247°35'22.8"	247°35'22.8"	168°26'50.2"	233°10'37.0"	211°23'09.6"
<b>6</b>	247°35'15.0"	247°35'15.0"	168°27'32.7"	233°10'43.2"	211°24'46.5"
<b>7</b>	247°34'45.3"	247°34'45.3"	168°27'42.8"	233°11'04.4"	211°24'15.0"
<b>8</b>	247°35'33.3"	247°35'33.3"	168°28'04.4"	233°11'15.0"	211°23'59.6"
<b>9</b>	247°35'09.6"	247°35'09.6"	168°27'32.3"	233°10'46.0"	211°24'19.5"
<b>10</b>	247°34'14.4"	247°34'14.4"	168°27'31.6"	233°10'46.4"	211°24'00.0"
<b>11</b>	247°36'41.0"	247°36'41.0"	168°27'58.2"	233°11'00.8"	211°23'55.2"
<b>12</b>	247°35'25.2"	247°35'25.2"	168°27'18.3"	233°10'55.3"	211°24'20.6"
<b>13</b>	247°36'01.7"	247°36'01.7"	168°27'12.9"	233°10'55.4"	211°24'40.0"
<b>14</b>	247°36'12.7"	247°36'12.7"	168°28'08.5"	233°10'12.3"	211°24'45.4"
<b>15</b>	247°34'26.3"	247°34'26.3"	168°27'48.2"	233°11'16.2"	211°23'01.9"
<b>16</b>	247°35'54.7"	247°35'54.7"	168°27'31.8"	233°10'39.4"	211°23'03.3"
<b>17</b>	247°35'32.3"	247°35'32.3"	168°27'32.2"	233°10'27.1"	211°24'58.3"
<b>18</b>	247°35'48.2"	247°35'48.2"	168°27'33.2"	233°11'03.2"	211°23'52.0"
<b>19</b>	247°35'42.8"	247°35'42.8"	168°27'26.0"	233°11'04.5"	211°24'15.0"
<b>20</b>	247°36'04.7"	247°36'04.7"	168°28'18.5"	233°11'05.8"	211°24'00.2"

Продолжение приложения 2

<b>№</b>	<b>Вариант 16</b>	<b>Вариант 17</b>	<b>Вариант 18</b>	<b>Вариант 19</b>	<b>Вариант 20</b>
<b>1</b>	341°05'17.1"	54°46'02.2"	11°51'37.2"	319°50'42.0"	300°30'04.6"
<b>2</b>	341°05'35.2"	54°44'48.1"	11°49'38.7"	319°49'55.7"	300°29'45.1"
<b>3</b>	341°05'05.3"	54°45'31.5"	11°50'22.5"	319°50'49.0"	300°30'20.9"
<b>4</b>	341°06'11.8"	54°45'04.3"	11°50'10.1"	319°50'18.9"	300°29'43.7"
<b>5</b>	341°05'16.9"	54°45'24.5"	11°50'20.8"	319°50'28.9"	300°29'40.0"
<b>6</b>	341°05'07.0"	54°44'25.8"	11°52'06.6"	319°50'16.6"	300°29'27.9"
<b>7</b>	341°06'13.8"	54°44'43.3"	11°50'45.1"	319°50'31.9"	300°30'06.1"
<b>8</b>	341°05'20.4"	54°45'19.7"	11°52'29.4"	319°49'46.4"	300°30'42.7"
<b>9</b>	341°04'57.4"	54°45'17.1"	11°49'42.8"	319°50'33.0"	300°29'39.6"
<b>10</b>	341°05'37.6"	54°43'20.0"	11°50'50.9"	319°50'12.5"	300°31'36.0"
<b>11</b>	341°06'24.6"	54°45'16.6"	11°51'03.4"	319°50'28.8"	300°29'56.6"
<b>12</b>	341°06'33.6"	54°46'25.8"	11°51'42.7"	319°50'24.0"	300°30'32.0"
<b>13</b>	341°06'03.8"	54°45'23.8"	11°49'06.0"	319°50'50.1"	300°30'32.6"
<b>14</b>	341°05'39.6"	54°46'00.6"	11°51'44.0"	319°50'57.0"	300°30'17.5"
<b>15</b>	341°05'36.0"	54°44'40.1"	11°49'40.3"	319°50'20.9"	300°29'33.3"
<b>16</b>	341°05'04.7"	54°44'23.4"	11°50'06.2"	319°50'38.8"	300°29'48.0"
<b>17</b>	341°04'48.8"	54°45'41.3"	11°50'43.7"	319°50'16.1"	300°30'14.1"
<b>18</b>	341°06'03.1"	54°44'29.9"	11°51'23.9"	319°50'11.2"	300°31'27.4"
<b>19</b>	341°06'11.3"	54°45'16.0"	11°49'47.6"	319°49'48.1"	300°30'13.1"
<b>20</b>	341°06'01.1"	54°44'25.5"	11°50'45.5"	319°50'23.1"	300°30'39.3"

*Продолжение приложения 2*

№	Вариант	Вариант	Вариант	Вариант	Вариант
	21	22	23	24	25
1	74°33'33.9"	237°30'12.3"	139°08'33.7"	104°03'19.3"	166°30'48.7"
2	74°33'06.2"	237°30'43.5"	139°08'26.1"	104°03'33.3"	166°30'37.0"
3	74°31'05.4"	237°29'48.8"	139°08'18.7"	104°02'44.5"	166°30'59.6"
4	74°32'22.7"	237°29'47.6"	139°08'21.7"	104°02'47.7"	166°31'02.8"
5	74°31'58.9"	237°30'06.9"	139°08'21.6"	104°02'45"	166°30'40.6"
6	74°32'19.1"	237°29'52.4"	139°08'06.5"	104°03'01.1"	166°30'51.2"
7	74°31'23.4"	237°29'35.0"	139°08'24.8"	104°02'41.1"	166°30'58.8"
8	74°31'22.0"	237°30'22.4"	139°08'19.6"	104°02'52.1"	166°30'58.1"
9	74°31'54.3"	237°30'17.9"	139°08'22.8"	104°02'50.2"	166°30'51.5"
10	74°30'56.2"	237°29'59.2"	139°08'25.3"	104°02'46.2"	166°31'05.6"
11	74°33'00.5"	237°30'11.9"	139°08'36.6"	104°03'36.3"	166°30'51.1"
12	74°32'14.9"	237°30'29.1"	139°08'18.8"	104°03'20.5"	166°30'48.4"
13	74°31'16.9"	237°29'48.2"	139°08'44.1"	104°02'57.8"	166°30'48.7"
14	74°32'03.1"	237°30'20.1"	139°08'22.0"	104°03'32.6"	166°30'53.2"
15	74°32'29.4"	237°30'24.6"	139°08'23.9"	104°03'22.7"	166°31'05.9"
16	74°32'33.7"	237°29'30.0"	139°08'25.0"	104°03'07.6"	166°30'50.5"
17	74°32'12.4"	237°30'00.3"	139°08'14.7"	104°03'05.7"	166°31'08.5"
18	74°32'51.6"	237°30'25.7"	139°08'36.5"	104°03'07.1"	166°30'43.4"
19	74°31'58.2"	237°29'23.2"	139°08'09.4"	104°02'52.7"	166°30'43.9"
20	74°31'56.0"	237°30'30.5"	139°08'19.8"	104°02'37.9"	166°31'01.1"

*Продолжение приложения 2*

<b>№</b>	<b>Вариант 26</b>	<b>Вариант 27</b>	<b>Вариант 28</b>	<b>Вариант 29</b>	<b>Вариант 30</b>
<b>1</b>	82°10'02.7"	114°16'20.5"	304°49'38.2"	146°59'02.1"	170°29'08.7"
<b>2</b>	82°10'10.3"	114°17'12.6"	304°49'44.2"	146°59'08.0"	170°29'11.7"
<b>3</b>	82°09'53.9"	114°18'10.3"	304°49'40.3"	146°59'01.2"	170°29'05.5"
<b>4</b>	82°10'25.7"	114°17'20.3"	304°49'39.4"	146°58'46.8"	170°29'37.1"
<b>5</b>	82°10'14.2"	114°16'04.1"	304°49'30.5"	146°59'19.9"	170°28'31.1"
<b>6</b>	82°10'20.7"	114°15'49.1"	304°49'27.1"	146°59'30.4"	170°29'12.0"
<b>7</b>	82°10'13.9"	114°14'55.1"	304°49'30.4"	147°00'12.6"	170°29'31.9"
<b>8</b>	82°10'04.1"	114°17'41.9"	304°49'35.2"	146°59'16.1"	170°29'06.9"
<b>9</b>	82°10'29.6"	114°16'31.7"	304°49'26.5"	146°59'08.3"	170°28'51.3"
<b>10</b>	82°09'56.2"	114°17'04.1"	304°49'23.2"	146°59'36.2"	170°29'28.0"
<b>11</b>	82°10'09.1"	114°15'48.1"	304°49'38.4"	146°59'08.9"	170°29'03.8"
<b>12</b>	82°10'24.0"	114°16'11.7"	304°49'36.4"	146°59'03.4"	170°29'11.8"
<b>13</b>	82°09'46.3"	114°16'42.2"	304°49'08.7"	146°59'08.6"	170°29'11.6"
<b>14</b>	82°10'09.8"	114°18'51.8"	304°49'28.5"	146°59'28.9"	170°28'57.1"
<b>15</b>	82°09'49.7"	114°16'10.4"	304°49'29.3"	146°58'41.7"	170°29'16.4"
<b>16</b>	82°09'44.2"	114°17'39.1"	304°49'40.1"	146°58'20.2"	170°28'45.9"
<b>17</b>	82°09'57.9"	114°15'49.2"	304°49'40.0"	146°59'33.5"	170°28'36.9"
<b>18</b>	82°09'57.0"	114°17'36.2"	304°49'28.2"	146°59'12.5"	170°29'50.7"
<b>19</b>	82°10'10.8"	114°16'02.0"	304°49'22.4"	146°59'23.5"	170°29'05.3"
<b>20</b>	82°10'31.1"	114°18'11.2"	304°49'43.1"	146°59'21.9"	170°29'15.9"

*Продолжение приложения 2*

№	Вариант	Вариант	Вариант	Вариант	Вариант
	31	32	33	34	35
1	340°11'59.2"	267°06'56.3"	57°30'56.4"	283°44'57.0"	183°54'07.2"
2	340°12'10.0"	267°07'13.9"	57°32'10.3"	283°45'41.6"	183°53'57.5"
3	340°11'37.7"	267°08'08.7"	57°31'01.0"	283°44'51.8"	183°54'05.5"
4	340°10'52.9"	267°06'50.5"	57°32'25.1"	283°44'43.4"	183°53'50.6"
5	340°12'33.2"	267°08'22.7"	57°31'53.0"	283°44'54.7"	183°54'05.0"
6	340°10'54.1"	267°08'26.5"	57°32'07.6"	283°45'05.9"	183°54'01.1"
7	340°11'02.9"	267°07'52.6"	57°31'33.4"	283°44'43.9"	183°54'13.7"
8	340°11'45.4"	267°06'27.7"	57°32'21.4"	283°44'50.7"	183°54'04.2"
9	340°12'25.4"	267°07'27.5"	57°32'04.2"	283°44'45.6"	183°53'51.5"
10	340°11'14.7"	267°07'32.6"	57°31'08.0"	283°44'55.3"	183°54'01.2"
11	340°10'46.5"	267°07'51.5"	57°31'28.9"	283°44'43.7"	183°54'08.4"
12	340°12'03.7"	267°07'13.2"	57°31'26.9"	283°45'27.1"	183°54'02.3"
13	340°10'22.3"	267°07'13.9"	57°30'56.5"	283°45'17.6"	183°54'00.1"
14	340°12'35.6"	267°07'54.2"	57°30'43.1"	283°44'27.0"	183°54'05.1"
15	340°11'48.5"	267°07'12.9"	57°31'49.1"	283°45'03.4"	183°54'01.5"
16	340°12'02.7"	267°07'26.9"	57°31'22.7"	283°44'53.1"	183°53'48.7"
17	340°11'39.7"	267°08'10.1"	57°32'02.8"	283°44'41.8"	183°54'17.5"
18	340°12'16.7"	267°07'34.1"	57°30'18.6"	283°45'31.7"	183°54'16.1"
19	340°12'39.1"	267°07'42.0"	57°31'43.1"	283°44'46.1"	183°54'02.6"
20	340°11'48.2"	267°07'49.9"	57°30'52"	283°44'30.5"	183°54'05.6"

*Продолжение приложения 2*

<b>№</b>	<b>Вариант 36</b>	<b>Вариант 37</b>	<b>Вариант 38</b>	<b>Вариант 39</b>	<b>Вариант 40</b>
<b>1</b>	351°53'57.1"	351°53'57.1"	352°44'15.3"	352°44'15.3"	150°18'02.8"
<b>2</b>	351°54'07.2"	351°54'07.2"	352°44'28.2"	352°44'28.2"	150°18'49.2"
<b>3</b>	351°54'40.1"	351°54'40.1"	352°44'14.1"	352°44'14.1"	150°19'44.6"
<b>4</b>	351°53'32.3"	351°53'32.3"	352°44'51.0"	352°44'51.0"	150°19'14.1"
<b>5</b>	351°54'05.6"	351°54'05.6"	352°45'25.5"	352°45'25.5"	150°18'58.8"
<b>6</b>	351°54'11.2"	351°54'11.2"	352°43'35.4"	352°43'35.4"	150°19'04.5"
<b>7</b>	351°53'40.5"	351°53'40.5"	352°45'36.2"	352°45'36.2"	150°19'32.0"
<b>8</b>	351°54'27.9"	351°54'27.9"	352°45'02.5"	352°45'02.5"	150°19'52.0"
<b>9</b>	351°53'39.7"	351°53'39.7"	352°44'45.2"	352°44'45.2"	150°19'09.6"
<b>10</b>	351°55'01.6"	351°55'01.6"	352°46'07.4"	352°46'07.4"	150°18'43.1"
<b>11</b>	351°53'45.5"	351°53'45.5"	352°44'07.1"	352°44'07.1"	150°19'15.8"
<b>12</b>	351°55'02.1"	351°55'02.1"	352°44'24.8"	352°44'24.8"	150°19'00.7"
<b>13</b>	351°55'39.6"	351°55'39.6"	352°44'06.3"	352°44'06.3"	150°18'41.0"
<b>14</b>	351°55'22.0"	351°55'22.0"	352°45'36.0"	352°45'36.0"	150°18'50.6"
<b>15</b>	351°54'05.7"	351°54'05.7"	352°44'08.9"	352°44'08.9"	150°18'49.4"
<b>16</b>	351°54'16.4"	351°54'16.4"	352°45'21.5"	352°45'21.5"	150°18'55.6"
<b>17</b>	351°53'16.2"	351°53'16.2"	352°44'42.5"	352°44'42.5"	150°19'11.3"
<b>18</b>	351°55'53.8"	351°55'53.8"	352°44'24.1"	352°44'24.1"	150°18'17.0"
<b>19</b>	351°54'34.1"	351°54'34.1"	352°44'27.9"	352°44'27.9"	150°19'36.2"
<b>20</b>	351°54'48.8"	351°54'48.8"	352°45'01.1"	352°45'01.1"	150°18'12.9"

*Продолжение приложения 2*

<b>№</b>	<b>Вариант 41</b>	<b>Вариант 42</b>	<b>Вариант 43</b>	<b>Вариант 44</b>	<b>Вариант 45</b>
<b>1</b>	322°00'19.4"	27°02'25.4"	179°52'23.1"	235°17'19.1"	232°42'25.8"
<b>2</b>	322°00'16.1"	27°02'38.7"	179°52'40.2"	235°16'35.1"	232°42'41.0"
<b>3</b>	322°00'29.1"	27°03'10.3"	179°53'21.7"	235°16'44.8"	232°42'36.0"
<b>4</b>	322°00'05.0"	27°03'15.9"	179°53'15.9"	235°17'07.9"	232°42'38.8"
<b>5</b>	322°00'04.9"	27°02'59.8"	179°53'08.5"	235°18'22.3"	232°42'32.3"
<b>6</b>	322°00'18.6"	27°02'41.7"	179°52'00.7"	235°17'37.8"	232°42'48.0"
<b>7</b>	322°00'54.8"	27°03'39.5"	179°52'31.8"	235°17'01.2"	232°42'40.4"
<b>8</b>	322°00'28.6"	27°02'42.1"	179°53'37.7"	235°16'58.4"	232°42'21.2"
<b>9</b>	322°00'21.8"	27°03'04.0"	179°52'18.8"	235°16'42.3"	232°42'37.2"
<b>10</b>	322°00'07.5"	27°02'33.8"	179°52'09.5"	235°17'50.6"	232°42'30.6"
<b>11</b>	322°00'05.4"	27°02'55.9"	179°53'05.5"	235°17'19.6"	232°42'28.5"
<b>12</b>	322°00'42.9"	27°03'29.2"	179°52'26.6"	235°18'11.2"	232°42'37.9"
<b>13</b>	322°00'29.8"	27°02'54.4"	179°52'27.9"	235°17'20.5"	232°42'41.8"
<b>14</b>	322°00'27.4"	27°03'20.0"	179°52'55.0"	235°17'14.7"	232°42'51.3"
<b>15</b>	321°59'44.9"	27°02'38.8"	179°52'23.5"	235°17'47.8"	232°42'37.9"
<b>16</b>	322°00'42.6"	27°03'04.4"	179°53'46.1"	235°17'24.4"	232°42'31.0"
<b>17</b>	322°00'02.6"	27°03'21.7"	179°52'14.2"	235°17'25.3"	232°42'39.8"
<b>18</b>	322°00'30.5"	27°04'06.7"	179°53'44.4"	235°18'02.8"	232°42'23.5"
<b>19</b>	321°59'52.6"	27°02'25.2"	179°53'19.1"	235°17'07.5"	232°42'40.8"
<b>20</b>	322°00'39.3"	27°01'49.7"	179°52'10.3"	235°18'07.5"	232°42'29.8"

*Окончание приложения 2*

<b>№</b>	<b>Вариант 46</b>	<b>Вариант 47</b>	<b>Вариант 48</b>	<b>Вариант 49</b>	<b>Вариант 50</b>
<b>1</b>	346°41'57.7"	194°01'40.6"	348°21'02.8"	279°40'18.2"	153°38'16.4"
<b>2</b>	346°42'46.2"	194°01'22.8"	348°21'29.6"	279°39'35.1"	153°36'58.2"
<b>3</b>	346°41'38.4"	194°01'26.0"	348°21'30.3"	279°41'38.2"	153°37'50.6"
<b>4</b>	346°41'50.8"	194°01'06.8"	348°20'24.3"	279°40'15.8"	153°38'18.9"
<b>5</b>	346°42'22.7"	194°01'17.8"	348°20'34.7"	279°41'03.1"	153°37'39.6"
<b>6</b>	346°41'36.7"	194°01'28.1"	348°20'26.7"	279°40'46.3"	153°38'16.2"
<b>7</b>	346°41'43.8"	194°01'17.4"	348°19'59.3"	279°42'01.6"	153°37'43.7"
<b>8</b>	346°42'03.9"	194°01'13.4"	348°21'01.2"	279°40'18.7"	153°37'50.1"
<b>9</b>	346°42'00.6"	194°01'17.8"	348°21'10.9"	279°42'16.9"	153°37'45.1"
<b>10</b>	346°41'46.5"	194°01'18.8"	348°19'40.9"	279°40'20.3"	153°37'29.1"
<b>11</b>	346°41'49.3"	194°01'42.5"	348°21'26.4"	279°41'23.5"	153°37'18.1"
<b>12</b>	346°42'01.4"	194°01'18.4"	348°21'51.0"	279°41'28.9"	153°37'37.7"
<b>13</b>	346°41'50.4"	194°01'29.4"	348°20'28.2"	279°39'13.9"	153°37'25.3"
<b>14</b>	346°42'00.2"	194°01'30.7"	348°21'11.5"	279°41'17.6"	153°38'15.0"
<b>15</b>	346°41'47.2"	194°01'09.0"	348°20'53.9"	279°40'53.5"	153°38'16.2"
<b>16</b>	346°42'10.4"	194°01'00.3"	348°21'05.8"	279°39'57.2"	153°37'50.4"
<b>17</b>	346°41'58.1"	194°01'08.4"	348°21'04.3"	279°42'43.5"	153°37'46.1"
<b>18</b>	346°42'17.6"	194°01'27.3"	348°21'34.2"	279°40'55.9"	153°37'58.2"
<b>19</b>	346°41'31.9"	194°01'17.9"	348°20'18.8"	279°40'04.0"	153°37'19.3"
<b>20</b>	346°42'12.5"	194°01'29.2"	348°20'29.5"	279°41'47.8"	153°38'14.3"

## Содержание

Введение .....	3
Общие теоретические сведения. ....	4
Уравнивание прямых многократных измерений одной величины .....	4
Меры точности результатов измерений .....	5
Проверка гипотезы распределения случайных погрешностей по нормальному закону.....	9
Пример выполнения расчета .....	11
Библиографический список.....	15
Приложения .....	16
Нижние границы критерия Дэвида $D_H$ .....	16
Варианты задания .....	18

**ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ И СПОСОБ  
НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ  
СТРОГОЕ УРАВНИВАНИЕ  
РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.04*

Сост. *М.Г. Выстрчил, С.Ю. Новоженин, Д.А. Илюхин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
маркшейдерского дела

Ответственный за выпуск *М.Г. Выстрчил*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 30.06.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,6. Усл.кр.-отт. 1,6. Уч.-изд.л. 1,4. Тираж 75 экз. Заказ 509.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2