



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Геодезия»

ПРОЕКТ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ  
НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ  
В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПОСТРОЕНИЯ  
ТРИАНГУЛЯЦИИ 3, 4 КЛАССА

Методические указания

по выполнению лабораторной работы

по дисциплине

«ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ И ОСНОВЫ  
КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ»

Ростов-на-Дону  
2024

Составители: В.В. Яковлев, Г.А. Науменко

Проект геодезической сети на геодинамическом полигоне в соответствии с требованиями построения триангуляции 3, 4 класса: методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Высшая геодезия и основы координатно-временных систем» / сост. В.В. Яковлев, Г.А. Науменко. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2024. – 21 с.

Кратко изложены содержание и порядок выполнения лабораторной работы. Приведены указания по всем этапам проектирования геодезической сети на геодинамическом полигоне с точностью триангуляции 3 и 4 классов. Приведены примеры расчетов и оформления результатов априорной оценки точности построений.

Предназначены для обучающихся всех форм обучения по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» и направлению подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование».

УДК 528

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Геодезия»  
канд. техн. наук, доцент М.А. Николенко

---

В печать 10.04.2024 г.  
Формат 60×84/16. Объем 1,3 усл. п. л.  
Тираж 50 экз. Заказ № 602

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2024

## Введение

Под термином «Геодинамический полигон» понимается территория, на которой выполняются геодезические, астрономические, гравиметрические и геофизические наблюдения, результаты которых используют для определения подвижек земной поверхности.

К геодинамическим полигонам предъявляются высокие требования, а именно:

- надежная закладка пунктов сети;
- высокоточные измерения на полигоне с применением современных методик наблюдений;
- надежная обработка полученных измерений;
- достоверность полученных результатов наблюдений.

В зависимости от цели проводимых исследований, геодинамические полигоны подразделяются на следующие типы:

- региональные, служащие для определения сдвигов земной коры значительных территорий;
- прогностические, создаваемые с целью изучения предвестников землетрясений и сейсмического районирования территории;
- техногенные, создаваемые в местах разработки и добычи полезных ископаемых с целью изучения движений земной поверхности самого месторождения и окружающей территории для прогноза возможных катастрофических явлений;
- полигоны гидроэлектростанций и атомных станций, служащие для выявления характера и скорости сдвига, максимальной сейсмической опасности в районах строительства, для решения вопроса стабильности земной поверхности.

Наиболее распространенным методом изучения движений земной коры являются геодезические методы. Геодезические методы применяются для выявления горизонтальных и вертикальных смещений отдельных участков земной поверхности.

В настоящее время наряду с традиционными геодезическими наблюдениями на геодинимических полигонах используются методы спутниковой геодезии. Комбинирование традиционных наземных и спутниковых измерений позволяет достаточно успешно решать задачи определения современных движений земной поверхности.

Основанием для выполнения геодезического мониторинга на геодинимическом полигоне служит техническое задание и технический проект.

Необходимость составления технического проекта и программы работ устанавливается техническим заданием, которое составляется Заказчиком в соответствии с нормативными документами по проектированию и утверждается в установленном порядке до начала работ.

Разработка технического проекта должна производиться на основании собранных сведений по ранее выполненным топографо-геодезическим работам. При необходимости производится полевое обследование района работ.

Основной целью проектирования геодинимических сетей является обеспечение необходимой точности определяемых элементов. При этом выполняется априорная оценка точности, выбор формы и конструкции сети, а также методов и приборов для измерений.

Проект развития геодезических сетей, с целью исследования деформационных процессов на локальном геодинимическом полигоне составляется, как правило, на картах масштабов 1:25000 – 1:100000.

Основные задачи студентов при выполнении лабораторной работы:

- научиться проявлять творческую инициативу, самостоятельность, ответственность и организованность при выборе варианта геодезической сети триангуляции;
- пользоваться учебной, методической, нормативной и специальной литературой;
- анализировать физико-географические условия района работ;
- выполнять предрасчет точности запроектированной сети.

Лабораторная работа состоит из расчетно-пояснительной записки, которая включает содержание работы, разделы с расчетами и обоснованиями принятых решений, раздел по охране труда, перечень использованных информационных источников, и графической части, представленной схемой запроектированной сети.

Для успешного выполнения лабораторной работы, студенту необходимы глубокие знания по дисциплинам: «Теория математической обработки геодезических измерений», «Геодезия».

### **Цель работы**

Целью лабораторной работы является получение практических навыков проектирования геодезических сетей с точностью триангуляции 3 и 4 классов с учетом физико-географических условий на учебной карте масштабов 1:50000 – 1:100000 на площади 350-400 км<sup>2</sup>.

### **Содержание и объем работы**

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо выполнить следующее:

- изучить производственное задание и описать цель и назначение проектируемых работ;
- изучить район предстоящих работ в физико-географическом и экономическом отношении и составить пояснительную записку;
- рассчитать количество пунктов сети.
- составить на топографической карте предварительный проект сети с соблюдением требований «Инструкции по триангуляции 1, 2, 3 и 4 классов» [2, 3].
- найти слабые стороны в сети 3 класса и произвести предрасчет точности по приближенным формулам;
- выполнить предрасчет точности слабой стороны сети 3 класса строгим способом;

- найти слабые стороны в сети триангуляции 4 класса и выполнить предрасчет точности по приближенным формулам;
- дать техническую характеристику запроектированной сети;
- составить каталог запроектированных пунктов;
- описать знаки и центры геодезических пунктов, используемых в сети в соответствии с Правилами [1].

### **Индивидуальное задание на проектирование**

Каждый студент получает от преподавателя индивидуальное задание на проектирование. В задании указывается: административная принадлежность района работ, два исходных пункта на карте, точность определения которых соответствует триангуляции 2 класса, основные физико-географические характеристики для данного района, которые следует учесть при развитии сети.

### **Указание по выполнению разделов пояснительной записки**

#### **Введение**

В этом разделе пояснительной записки необходимо указать актуальность темы работы, сформулировать цель и задачи проектирования.

#### **1 Описание физико-географических условий района работ**

Необходимо привести общее описание физико-географических условий района работ, в соответствии с вариантом (номер варианта выдается преподавателем) и выбирается из таблицы 1.

**Рельеф** (по топографической карте): описать типы рельефа, расчлененность поверхности, типичные формы рельефа по участкам. Максимальная и минимальная отметки на участке. Наиболее удобные пути движения.

Таблица 1 – Административная принадлежность района работ по вариантам

№ варианта	Район работ	№ варианта	Район работ	№ варианта	Район работ
1	Белгородская область	21	Архангельская область	41	Хабаровский край
2	Брянская область	22	Вологодская область	42	Иркутская область
3	Владимирская область	23	Калининградская область	43	Кемеровская область
4	Воронежская область	24	Ленинградская область	44	Новосибирская область
5	Ивановская область	25	Мурманская область	45	Омская область
6	Калужская область	26	Новгородская область	46	Томская область
7	Костромская область	27	Псковская область	47	Курганская область
8	Курская область	28	Камчатский край	48	Свердловская область
9	Липецкая область	29	Приморский край	49	Тюменская область
10	Московская область	30	Рязанская область	50	Челябинская область
11	Астраханская область	31	Смоленская область	51	Кировская область
12	Краснодарский край	32	Тамбовская область	52	Нижегородская область
13	Орловская область	33	Тверская область	53	Оренбургская область
14	Ярославская область	34	Тульская область	54	Пензенская область
15	Ростовская область	35	Волгоградская область	55	Пермский край
16	Амурская область	36	Сахалинская область	56	Самарская область
17	Магаданская область	37	Алтайский край	57	Саратовская область
18	Красноярский край	38	Забайкальский край	58	Ульяновская область
19	Ставропольский край	39	Республика Карелия	59	Республика Адыгея
20	Республика Алтай	40	Республика Коми	60	Республика Калмыкия

**Гидрография** (по топографической карте): привести характеристику водных ресурсов объекта: рек, озер, каналов, переправ и т.д.

**Растительность** (по топографической карте): процент залесенности участка, расположение ее относительно рельефа местности, населенных пунктов, привести характеристики растительности для наиболее больших участков.

**Дорожная сеть** (по топографической карте): общая характеристика путей сообщения, технические характеристики автомобильных и железных дорог.

**Населенные пункты** (по топографической карте): характеристика населенных пунктов и объектов съемки.

**Грунты** (из энциклопедического словаря): общая характеристика, глубина промерзания грунта, наличие многолетней мерзлоты, дать рекомендации о типах центров пунктов ГГС [1].

**Климат** (из энциклопедического словаря): тип и местные особенности климата; сведения о температуре, осадках, ветрах; календарь сезонных явлений – начало и конец устойчивых морозов; наличие туманов, дымки; наиболее благоприятный период для полевых наблюдений.

## 2 Топографо-геодезическая обеспеченность района работ

Описать, согласно полученному заданию, местоположение на карте 2-х базисных пунктов 2 класса точности, указать их отметки.

## 3 Проектирование сети

При проектировании геодезической сети необходимо придерживаться требований построения триангуляции 3, 4 классов [2, 3], приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Технические требования к построению геодезических сетей

Элементы сети	Триангуляция			
	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.
Длина стороны треугольника, км	20-25	7-20	5-8	2-5
Средняя квадратическая ошибка угла по невязкам треугольников, сек	±0,7	±1,0	±1,5	±2,0
Максимальная невязка треугольников, сек	±2,5	±4,0	±6,0	±8,0
Наименьший угол в треугольнике, °	40	20	20	20
Максимальная относительная ошибка: выходной стороны (базиса) наиболее слабой стороны	1:400000 1:150000	1:300000 1:200000	1:200000 1:120000	1:100000 1:70000
в единицах 6-го знака логарифма	2,90	2,17	3,62	6,20
Предельная длина цепи треугольников, км	200	-	-	10
Средняя квадратическая ошибка определения взаимного положения смежных пунктов, м	±0,15	±0,07	±0,07	±0,07

## 4 Расчет количества знаков

При проектировании сети по точности триангуляции 3 и 4 классов необходимо рассчитать количество пунктов для каждого отдельного класса.

Требуемая плотность геодезических пунктов при общегосударственном картографировании территории страны зависит от масштаба топографической съемки и методов ее выполнения.

Среднее число пунктов разных классов на любой площади  $P$  картографируемой территории можно рассчитать по формулам

$$n_3 = \frac{P}{p_3} - n_2 ; \quad (1)$$

$$n_4 = \frac{P}{p_4} - n_2 - n_3 , \quad (2)$$

где  $P_{(i)} = \frac{\pi s^2}{4}$  - площадь, обслуживаемая одним пунктом  $i$ -го класса ( $i=1, 2, 3, 4$ ).

Результаты вычислений следует округлять до целого десятка. В качестве



примера по этим формулам определим число пунктов 3-4 классов на площади  $P = 400 \text{ км}^2$  при  $n_1 = 0, n_2 = 2$ .

Для триангуляции 3 класса:

$$n_3 = \frac{400 \text{ км}^2}{45,4 \text{ км}^2} - 2 = 7.$$

Для триангуляции 4 класса:

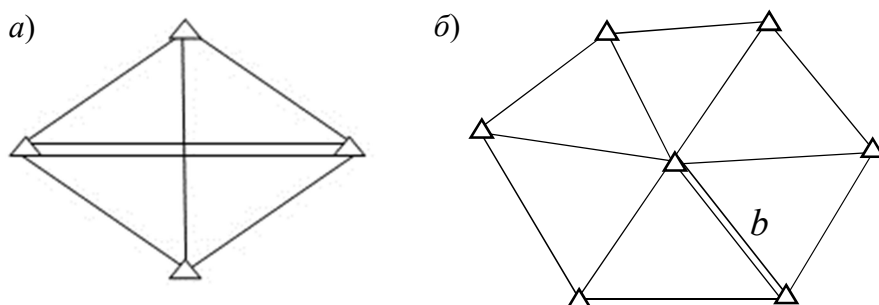
$$n_4 = \frac{400 \text{ км}^2}{15,2 \text{ км}^2} - 2 - 7 = 17.$$

Следовательно, на площади снимаемой территории  $P = 400 \text{ км}^2$  должны быть запроектированы 26 пунктов, то есть 2 пункта 2 класса, 7 пунктов 3 класса и 17 пунктов 4 класса. Количество пунктов может изменяться в случае проектирования сети в районах со сложным рельефом.

### 5 Построение сети методом триангуляции

При разработке графического проекта сети особое внимание следует обращать на выбор местоположения каждого отдельного пункта. Длины сторон между смежными пунктами должны соответствовать требованиям инструкции. Во всех случаях геодезические пункты должны находиться в таких местах, где будет обеспечена сохранность их положения в плане и по высоте в течение длительного времени. При проектировании сетей триангуляции разных классов важное значение имеет обеспечение надежной привязки сетей более низкого класса к сетям более высокого класса точности.

При построении сети основными элементами являются треугольники, геодезические четырехугольники и центральные системы (рисунок 1) [6].



а) геодезический четырехугольник; б) центральная система.

Рисунок 1 – Схемы привязки геодезических сетей к сторонам триангуляции высшего класса

Каждый геодезический пункт должен быть соединен не менее, чем с тремя пунктами старшего или равному ему по классу. После того как все пункты будут нанесены на карту, их соединяют прямыми линиями. На отдельном листе вычерчивают схему запроектированной сети, на которую выносят названия пунктов (они должны совпадать с наименованием ближайших географических объектов), длины сторон в километрах, значения углов в треугольниках с точностью до градуса, высоты земной поверхности с точностью до метра. Углы измеряют транспортиром по топографической карте. Суммы углов в треугольниках должны равняться  $180^\circ$ , а в полюсе центральной системы  $360^\circ$ . Длины сторон измеряются линейкой (с точностью до 0,1 мм). Под схемой приводятся условные обозначения исходных сторон, сторон триангуляции и пунктов сети.

## **6 Предрасчет точности элементов сети триангуляции**

Для уверенного использования окончательного варианта проекта геодезической сети необходимо иметь надежные численные характеристики слабых ее элементов. На составленной схеме необходимо найти слабые стороны сети. Слабая сторона находится по принципу равно удаленности ее от исходной стороны.

В качестве критерия точности принимается средняя квадратическая ошибка измеренных величин:

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}, \quad (3)$$

где  $\mu$  - средняя квадратическая ошибка единицы веса;

$P_F$  – вес рассматриваемой функции.

За ошибку единицы веса принимается средняя квадратическая ошибка измеренных величин. Так как сеть еще проектируется, углы и длины, участвующие в предрасчете, определяются по топографической карте.

Средняя квадратическая ошибка слабой стороны  $n$ -треугольника сети, состоящей из центральных систем и геодезических четырехугольников, определяется по формуле:

$$m_{lg S_n}^2 = m_{lg b}^2 + 0.55 m_{\beta}^2 \Sigma R_i, \quad (4)$$

где  $m_{lg b}$  – средняя квадратическая ошибка логарифма исходной стороны;

$m_{\beta}$  – средняя квадратическая ошибка измерения угла в рассматриваемом классе триангуляции;

$R_i$  – ошибка геометрической связи треугольника.

Средняя квадратическая ошибка слабой стороны  $n$ -треугольника, являющегося элементом простой цепи треугольников определяется по формуле:

$$m_{lg S_n}^2 = m_{lg b}^2 + \frac{2}{3} m_{\beta}^2 \Sigma R_i. \quad (5)$$

Вычисление ошибки геометрической связи выполняется по формуле:

$$R_i = \delta_{A_i}^2 + \delta_{B_i}^2 + \delta_{A_i} * \delta_{B_i}, \quad (6)$$

где  $A_i$  и  $B_i$  – связующие углы в треугольниках;

$\delta_{A_i}$ ,  $\delta_{B_i}$  – приращения логарифмов синусов углов  $A$  и  $B$  при изменении углов на  $1''$ , в единицах 6-го знака логарифма.

Значение  $\delta$  можно определить по формуле:

$$\delta_{A_i} = M \cdot ctg A_i (1/p'') \cdot 10^6 = 2,11 \cdot ctg A_i. \quad (7)$$

При предрасчете точности слабой стороны по средним квадратическим ошибкам, полученным по двум ходам, вычисляется среднее весовое значение по формуле:

$$m_{S_n(cp)} = \frac{m_{lg S_1} * m_{lg S_2}}{\sqrt{(m_{lg S_1}^2 + m_{lg S_2}^2)}}, \quad (8)$$

где  $m_{lg S_1}$  и  $m_{lg S_2}$  – средние квадратические ошибки определения от базиса по 1 и 2 ходам.

Относительная ошибка определяется по формуле:

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_{lg s}}{M * 10^6}; \quad (9)$$

$$\frac{m_s}{s} = \frac{1}{434300 / m_{lg s}}.$$

где  $M$  – модуль логарифма, равен  $\approx 0,4343$ .

Пример. Запроектированная сеть по точности триангуляции 3 класса состоит из центральной системы (рисунок 2). Слабой является сторона «Бельское-Воронцовка», выполним предрасчет ее точности. Результаты вычисления ошибок геометрической связи по первому и второму ходу представим в таблице 3.

Таблица 3 – Вычисление приращения логарифмов синусов углов

Ход I				Ход II			
№	A	B	R <sub>i</sub>	№	A	B	R <sub>i</sub>
1	61	60	4,3	1	57	63	4,5
2	61	72	2,6	2	47	59	8,0
3	50	63	6,2	3	64	63	3,3
		Сумма	13,1			Сумма	15,8

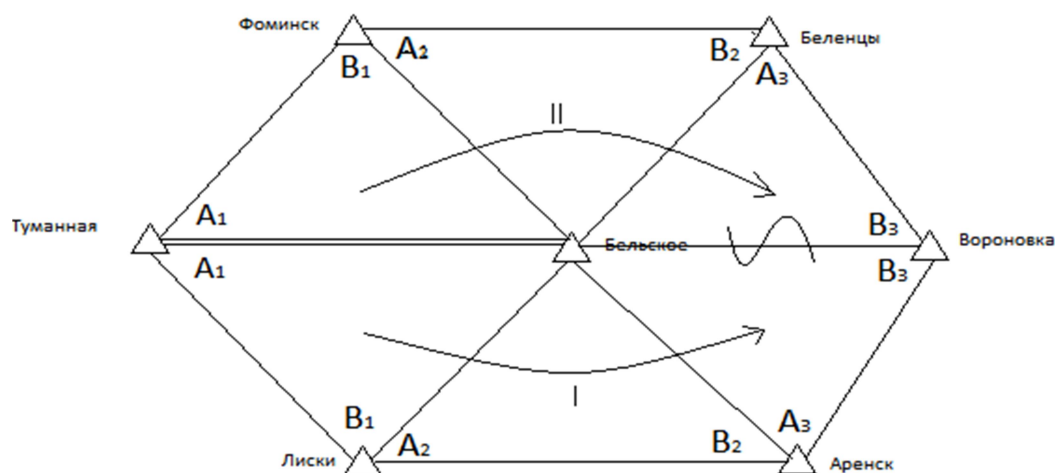


Рисунок 2 – Сеть триангуляции 3 класса

Средние квадратические ошибки слабой стороны сети по ходам I и II определены по формуле (4) соответственно:

$$m_{lgSn1} = \sqrt{2,17^2 + 0,55 * 1,5^2 * 13,12} = 4,6;$$

$$m_{lgSn2} = \sqrt{2,17^2 + 0,55 * 1,5^2 * 15,86} = 4,9.$$

Среднее весовое значение вычислено по формуле (8):

$$m_{lgSn} = \frac{4,6 * 4,9}{\sqrt{4,6^2 + 4,9^2}} = 3,35;$$

Относительную ошибку определим по формуле (9):

$$\frac{m_s}{S} = \frac{1}{129641} < \frac{1}{120000}.$$

Вывод. Полученная относительная ошибка слабой стороны удовлетворяет требованиям инструкции для сети триангуляции 3 класса.

Предрасчет точности в триангуляции 4 класса выполняется аналогичным способом.

### 7 Расчет качества сети строгим способом

Расчет качества сети строгим способом произведем на примере сети, изображенной на рисунке 3. Для этой сети имеем 8 независимых условных уравнений: 6 уравнений фигур, 1 условие горизонта, 1 полюсное условное уравнение.

Условные уравнения фигур:

$$(1) + (2) + (3) + W_1 = 0;$$

$$(4) + (5) + (6) + W_2 = 0;$$

$$(7) + (8) + (9) + W_3 = 0;$$

$$(10) + (11) + (12) + W_4 = 0;$$

$$(13) + (14) + (15) + W_5 = 0;$$

$$(16) + (17) + (18) + W_6 = 0.$$

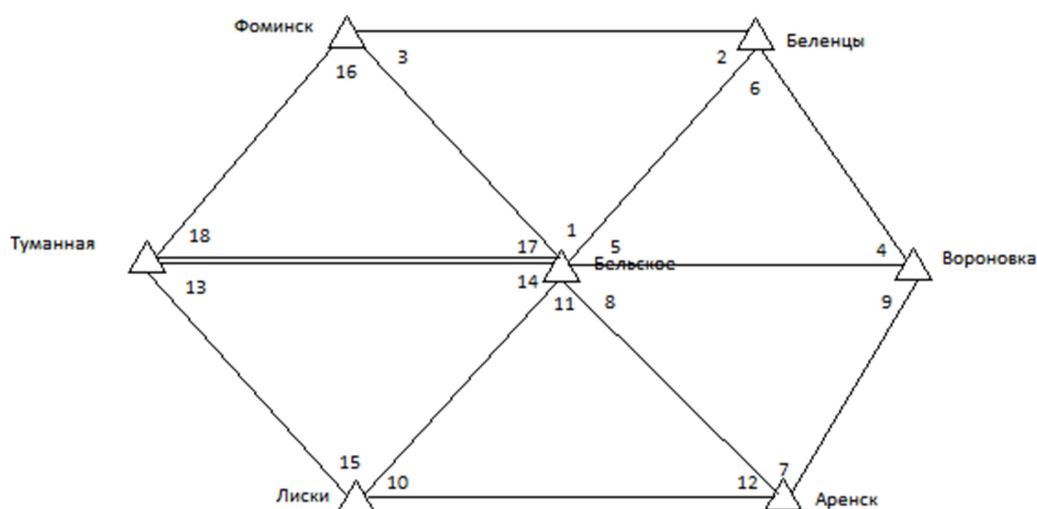


Рисунок 3 – Сеть точности триангуляции 3 класса

Уравнения горизонта:

$$(1) + (5) + (8) + (11) + (14) + (17) + W_7 = 0.$$

Полусное условие:

$$\frac{\sin(4) \sin(7) \sin(10) \sin(13) \sin(16) \sin(2)}{\sin(6) \sin(9) \sin(12) \sin(15) \sin(18) \sin(3)} = 1.$$

После логарифмирования, в линейном виде, будем иметь:

$$\delta_2(2) - \delta_3(3) + \delta_4(4) - \delta_6(6) + \delta_7(7) - \delta_9(9) + \delta_{10}(10) - \delta_{12}(12) + \delta_{13}(13) - \delta_{15}(15) + \delta_{16}(16) - \delta_{18}(18) + W_8 = 0.$$

Для составления весовой функции определяем слабую сторону по известному базису:

$$F = \lg_{\text{БВ}} = \lg_{\text{ТБ}} \frac{\sin(13) \sin(10) \sin(7)}{\sin(15) \sin(12) \sin(9)}.$$

На основании полученной системы уравнений составим таблицу коэффициентов условных уравнений и весовой функции. Значения коэффициентов геометрической связи  $\delta_n$  вычисляются по формуле:

$$\delta = 2,11 \cdot \lg \beta, \quad (10)$$

и приведены в таблице 4.

Для исключения большого числа условных уравнений, наиболее целесообразно вычислять обратный вес функции методом двухгруппового уравнивания. Обратный вес вычисляется по формуле:

Таблица 4 – Пример оформления данных своей запроектированной сети

Название пункта	№ угла	Угол $\beta$ , °	$\delta$
Туманная	13	61	1,17
	18	61	1,17
Фоминск	16	63	1,08
	3	47	1,97
Беленцы	2	59	1,27
	6	64	1,03
Вороновка	4	63	1,08
	9	63	1,08
Аренск	7	50	1,77
	12	72	0,68
Лиски	10	61	1,17
	15	60	1,22
Бельское	1	74	0,60
	5	53	1,59
	8	67	0,90
	11	47	1,97
	14	59	1,27
	17	60	1,22

$$\frac{1}{P_F} = ([ff] - \frac{[af]^2}{[aa]} - \frac{[bf.1]^2}{[bb.1]} - \dots) - (\frac{[f_1]^2}{n_1} + \frac{[f_2]^2}{n_2} + \dots) = \Pi - I, \quad (11)$$

где  $f$  – коэффициенты заданной функции, для которой находят среднюю квадратическую ошибку;

$a, b, \dots$  - коэффициенты первичного, вторичного и т.д. преобразованных уравнений второй группы;

$[f_1], [f_2], \dots$  - суммы коэффициентов заданной функции по тем поправкам первого, второго и т.д. уравнений фигур первой группы, которые входят в выражение функции;

$n_1, n_2, \dots$  - число поправок, входящих соответственно в первые, вторые и т.д. уравнения фигур первой группы.

При разделении уравнений на две группы в первую группу (таблица 5) включают все уравнения фигур (для нашей сети, т.к. нет перекрывающихся треугольников). Во вторую группу (таблица 6) войдут все остальные уравнения и весовая функция, т.е. уравнение горизонта, полюса и уравнение функции.

Таблица 5 - Коэффициенты условных уравнений первой группы

№	A	B	C	D	E	G	f
1	1						
2	1						
3	1						
							[1f]=0
4		1					
5		1					
6		1					
							[2f]=0
7			1				+1,77
8			1				
9			1				-1,08
							[3f]=0,69
10				1			+1,17
11				1			
12				1			-0,68
							[4f]=0,49
13					1		+1,17
14					1		
15					1		-1,22
							[5f]=-0,05
16						1	
17						1	
18						1	
							[6f]=0

Согласно формулы (11):

$$I = \frac{[1f]^2}{n_1} + \frac{[2f]^2}{n_2} + \dots + \frac{[6f]^2}{n_6}.$$

$$I = 0,4.$$

Преобразованные коэффициенты вычисляются по формуле:

$$A = a - [a]/n; \quad B = b - [b]/n, \quad (11)$$

где  $A, B$  – преобразованные коэффициенты;

$n$  – число углов, входящих в треугольник;

$[a]/n$  – среднее значение непреобразованных коэффициентов в треугольнике;

$[a]$  – сумма непреобразованных коэффициентов в треугольнике.

Таблица 6 – Таблица преобразованных уравнений второй группы и определение коэффициентов нормальных уравнений

№ поправки	I	K	I	K	f	S
1	1		0,67	0,23		0,90
2		1,27	-0,33	1,5		1,17
3		-1,97	-0,34	-1,74		-2,08
	0,33	-0,23	0			
4		1,08	-0,33	1,06		0,73
5	1		0,67	-0,02		0,65
6		-1,03	-0,34	-1,05		-1,39
	0,33	0,02	0			
7		1,77	-0,33	1,54	1,77	2,98
8	1		0,67	-0,23		0,44
9		-1,08	-0,34	-1,31	-1,08	-2,73
	0,33	0,23	0			
10		1,17	-0,33	1,01	1,17	1,85
11	1		0,67	-0,16		0,51
12		-0,68	-0,34	-0,84	-0,68	-1,86
	0,33	0,16	0			
13		1,17	-0,33	1,19	1,17	2,03
14	1		0,67	0,02		0,69
15		-1,22	-0,34	-1,20	-1,22	-2,76
	0,33	-0,02	0			
16		1,08	-0,33	1,11		0,78
17	1		0,67	0,03		0,70
18		-1,17	-0,34	-1,14		-1,48
	0,33	0,64	0			
		$[I]$	4,04	-0,06	-0,34	3,64
		$[K]$		18,84	8,75	27,53
		$[f]$			8,99	17,39



Решение нормальных уравнений выполнено в таблице 7.

Таблица 7 – Решение нормальных уравнений

$K1$	$K2$	$F$	$S$
4,04	-0,06	-0,34	3,64
-1	0,0148	0,0842	-0,9010
	18,84	8,75	27,53
	-0,0009	-0,005	0,054
	18,8391	8,745	27,584
	-1	-0,4642	-1,4642
		8,99	17,39
		-0,0286	0,3063
		-4,0594	-12,8043
	$II=$	4,902	4,892

Обратный вес функции:

$$\frac{1}{P_F} = II - I = 4,9 - 0,4 = 4,5;$$

$$m_S = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} = 1,5'' \sqrt{4,5} = 3,18;$$

$$\frac{m_S}{S} = \frac{1}{136000} < \frac{1}{120000}.$$

Вывод. Выходная сторона запроектированной сети триангуляции 3 класса по точности удовлетворяет требованиям инструкции.

Если выходная сторона триангуляции 3 класса по точности не удовлетворяет требованиям инструкции, то увеличить точность измерения углов.

## 8 Техническая характеристика запроектированной сети

Убедившись, что запроектированная сеть удовлетворяет требованиям инструкции, дать ее характеристику, указав:

- число пунктов по классам;
- максимальную, минимальную и среднюю длины сторон;
- минимальный и максимальный углы в треугольниках;
- относительные ошибки в слабых местах.

Если в сети присутствуют длины линий или углы, не удовлетворяющие инструкции, указать причину. После этого составить каталог запроектированных геодезических пунктов (таблица 8).

Таблица 8 – Каталог запроектированных пунктов

№ п/п	Название пункта	Класс пункта	Отметки, м	Тип центра
1	Туманная	2	361,3	3
2	Бельское	2	376,5	3
3	Лиски	3	160,0	3

## 9 Знаки и центры геодезических пунктов

К устойчивости геодезических знаков, закладываемых на геодинамическом полигоне, предъявляют повышенные требования. Первый цикл измерений выполняют не раньше, чем через год после закладки центров. В данном разделе следует описать типы центров, которые применяются для закрепления знаков плановой сети, согласно [1].

## 10 Охрана труда на полевых и камеральных работах по созданию топографических планов

Топографо-геодезические работы выполняются в различных условиях: на территории городов, населенных пунктов, в незаселенных, лесных или открытых территориях, на станциях железных дорог, действующих промышленных предприятиях и т. д.

При геодезических работах в условиях степной, лесной, заболоченной, горной, малонаселенной местности причинами несчастных случаев часто оказываются естественные природные факторы, такие как недостаточное количество или полное отсутствие ориентиров, непригодная для передвижения земная поверхность, значительные уклоны местности, непогода, наводнения, отсутствие воды, пожары и т. п. Для предупреждения несчастных случаев и травм в инструкциях [4] приведены рекомендации по передвижению на местности; способы поиска заблудившихся; правила по переправам через реки и водоемы; правила организации полевого лагеря, подъема на сигналы, пожарной безопасности, заготовки леса для постройки геодезических знаков, рубки просек и визирок; правила работы в зимнее время; допустимая величина переносимых грузов; сведения о профилактических прививках, санитарии и гигиене полевых работников, сведения о спецодежде и многое другое.

Опыт показывает, что несчастные случаи на полевых геодезических работах связаны с незнанием условий производства работ и плохой дисциплиной труда, с игнорированием правил по технике безопасности. Принимать на работу лиц, состояние здоровья которых не соответствует данным условиям работы, запрещается.

Все инженерно-технические работники и рабочие изыскательских подразделений, как вновь принятые, так и переведенные на другую работу, а также зачисленные учениками, должны пройти инструктаж по технике безопасности — вводный и на рабочем месте. Повторный инструктаж по технике безопасности всех рабочих должен проводиться не реже одного раза в полугодие.

При внедрении новых технологических процессов, методов труда, новых видов оборудования, машин и механизмов, а также при введении новых правил и инструкций по технике безопасности, с рабочими должен быть проведен дополнительный инструктаж.

Содержание раздела «Охрана труда на полевых и камеральных работах» должно соответствовать основной теме лабораторной работы и требованию правил [4].

### **Заключение**

В данном разделе пояснительной записки проводится анализ проделанной работы, и делаются выводы об основных итогах проектирования сетей триангуляции на геодезических полигонах.

### **Общие указания по оформлению расчетно-пояснительной записки**

Пояснительная записка и графическая часть лабораторной работы оформляются с учётом требований [5].

Объем пояснительной записки устанавливается в количестве 40-50 печатных страниц в компьютерном исполнении при соблюдении следующих разрешений: текст печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (параметры страницы: верхнее и нижнее поля – 2 см; левое поле – 3 см; правое

поле 1 см) шрифт Times New Roman, кегль 14, через 1,5 интервала в редакторе Word для Microsoft.

В графической части представляется проект сети триангуляции на карте масштаба 1:50000 или 1:100000 и вычерченная на отдельном листе схема запроектированной сети, на которую наносят названия пунктов, длины сторон сети, значения углов в треугольниках, высоты земной поверхности, приводятся условные обозначения.

В состав расчетно-пояснительной записки лабораторной работы включают:

- титульный лист;
- содержание;
- последующие листы пояснительной записки;
- заключение;
- перечень использованных информационных ресурсов;
- графическую часть (схема на карте).

Первым листом текстового документа (пояснительной записки) является титульный лист, номер страницы на котором не проставляется. Титульный лист оформляется по установленной форме [5]. Все листы сброшюрованного документа должны иметь сквозную нумерацию страниц. Номер листа указывается в основной надписи текстовой и графической части.

## **Перечень использованных информационных ресурсов**

1. ГКИНП-07-016-91. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. – Москва : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993.
2. ГКИНП (ГНТА)-01-006-03. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. – Москва : ЦНИИГАиК, 2004.
3. Геодезические методы изучения деформаций земной поверхности на геодинамических полигонах. – Москва : ЦНИИГАиК, 1985.
4. ПТБ-88. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах. – Москва : Недра, 1991.
5. ОД-2020. Правила оформления письменных работ обучающихся технических направлений. – Ростов н/Д : ДГТУ, 2020.

Яковлев, Н.В. Высшая геодезия: учебник для вузов / Н.В. Яковлев. – Москва : Недра, 1989. – 445 с