

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра маркшейдерского дела и геологии

Составители
Илюшкин Владислав Дмитриевич
Кашлинов Егор Алексеевич
Тур Кирилл Андреевич

ВЫЧИСЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ ЗАСЕЧКАМИ

**Методические материалы к лабораторным работам
по дисциплине «Маркшейдерские работы
при открытой разработке полезных ископаемых»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 21.05.04 Горное дело,
специализации Маркшейдерское дело,
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2026

Рецензенты:

Бахаева С. П. – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Ананенко Е. В. – старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Илюшкин Владислав Дмитриевич

Кашлинов Егор Алексеевич

Тур Кирилл Андреевич

Вычисление и оценка точности определения координат геодезическими засечками: методические материалы к лабораторным работам по дисциплине **«Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых»** для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело, специализации Маркшейдерское дело / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра маркшейдерского дела и геологии ; составители В. Д. Илюшкин, Е. А. Кашлинов, К. А. Тур. – Кемерово : КузГТУ, 2026. – (1 файл 1488 Кб). – Текст : электронный.

Приведено содержание лабораторных работ, математический аппарат и примеры для обработки результатов маркшейдерских измерений на персональном компьютере (ПК) в программе «simple_geocalc».

Назначение издания – помощь обучающимся в получении знаний по дисциплине «Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых» и организация лабораторных работ.

© Кузбасский государственный
технический университет
им. Т. Ф. Горбачева, 2026

© Илюшкин В. Д., Кашлинов Е. А.,
Тур К. А., составление, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №2 Выбор оптимального способа создания съёмочного обоснования	5
Лабораторная работа №3 Вычисление и оценка точности определения координат пункта съёмочной сети обратной геодезической засечкой.....	22
Список рекомендуемой литературы.....	32
Приложение 1 Математический аппарат, реализованный в программе «simple_geocalc»	33
Приложение 2 Каталог координат пунктов опорной сети карьера	38
Приложение 3 Номера опорных пунктов и результаты полевых измерений	41

ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых» входит в цикл специальных дисциплин по профессиональной подготовке горного инженера-маркшейдера специальности 21.05.04 Горное дело, специализации Маркшейдерское дело, и изучается в 8-м семестре.

В настоящих «Методических материалах...» приводится порядок подготовки исходных данных, составления расчётных схем и выполнения расчётов на персональном компьютере (ПК) при выполнении лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины с использованием программы «simple_geocalc»:

Лабораторная работа №2. Выбор оптимального способа создания съёмочного обоснования.

Лабораторная работа №3. Вычисление и оценка точности определения координат пункта съёмочной сети обратной геодезической засечкой.

Приводимые в «Методических материалах...» схемы и алгоритмы задач, заложенные в программу, позволяют студенту правильно подготовить исходные данные до того, как студент обратится к ПК, что сократит затраты машинного времени и обеспечит понимание решаемой задачи.

Авторами, приведённой в «Методических материалах...» программы, являются В. Д. Илюшкин и Е. А. Кашлинов.

Все расчёты выполняются студентом самостоятельно в соответствии с индивидуальными заданиями по лабораторной работе согласно номеру варианта, назначаемому преподавателем. Исходные данные для соответствующего номера варианта приведены в Лабораторном практикуме [2].

Исходные данные для выполнения расчётов, а также результаты расчёта студент записывает в таблицы, примеры которых приведены в настоящих «Методических материалах...».

Лабораторная работа №2

Выбор оптимального способа создания съёмочного обоснования

Цель работы

Запроектировать пункты съёмочного обоснования для тахеометрической съёмки уступов и произвести оценку точности в зависимости от способа привязки их к пунктам опорной сети.

Исходные данные

1. План поверхности Петровского бурогоугольного месторождения.
2. Участок плана горных выработок и горизонт для проектирования пунктов съёмочного обоснования (табл. 2.1).
3. Способ съёмки подробностей – тахеометрический.
4. Масштаб съёмки – 1:2000.

Таблица 2.1

Исходные данные по вариантам

№ варианта	Участок плана	Горизонт	№ варианта	Участок плана	Горизонт
1	120–125	270	16	135–140	240
2	125–130	270	17	120–125	280
3	130–135	270	18	125–130	280
4	135–140	270	19	130–135	280
5	120–125	260	20	135–140	280
6	125–130	260	21	125–130	220
7	130–135	260	22	130–135	220
8	135–140	260	23	135–140	220
9	120–125	250	24	130–135	230
10	125–130	250	25	135–140	200
11	130–135	250	26	130–135	270
12	135–140	250	27	120–125	270
13	120–125	220	28	125–130	270
14	125–130	240	29	130–135	270
15	130–135	240	30	135–140	270

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с номером варианта установить участок плана горных работ, для съёмки которого необходимо запроектировать пункты съёмочного обоснования.

2. План Петровского буроугольного месторождения импортировать в платформу для автоматизированного проектирования (*NanoCAD, AutoCAD, Civil 3D* и др.).

3. С учётом требований «Инструкции ...» [7, пункты: 66, 67, 69, 79, 81, 112 и 113] к проектированию съёмочного обоснования для тахеометрического метода съёмки наметить местоположение пунктов, обеспечивающих съёмку заданного по варианту участка горных работ.

4. Произвести привязку пунктов съёмочного обоснования к пунктам опорной сети следующими способами: прямой и обратной геодезическими засечками, полярным [1, п. 1.3].

В пояснительной записке начертить схемы привязки пунктов съёмочного обоснования к пунктам опорной сети для своего варианта.

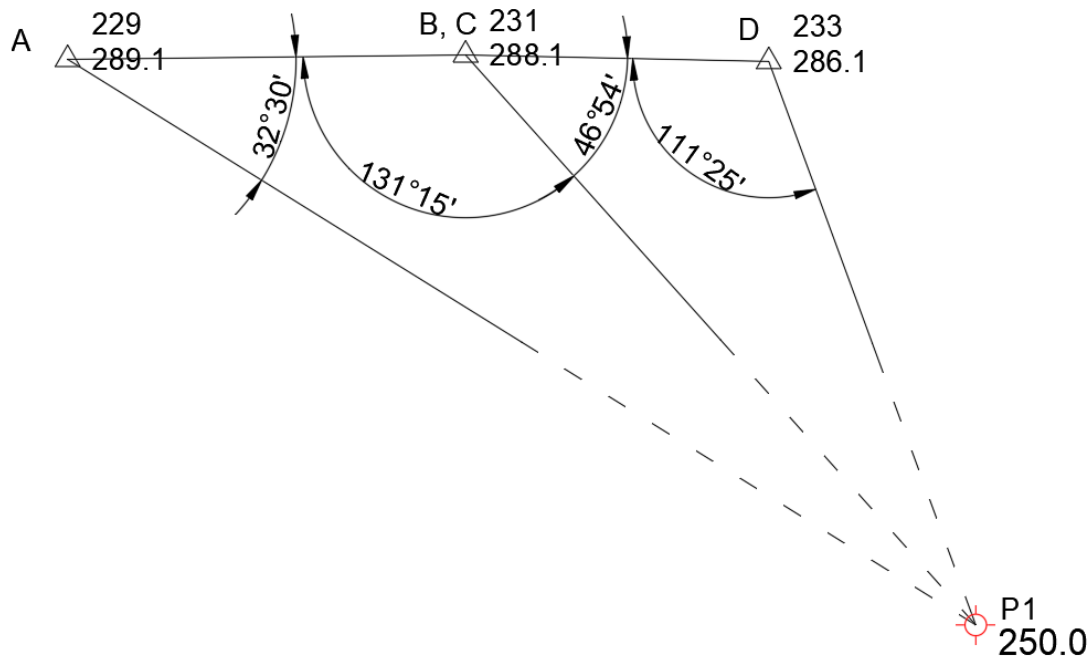


Рис. 2.1. Схема привязки пункта $P1$ способом прямой геодезической засечки

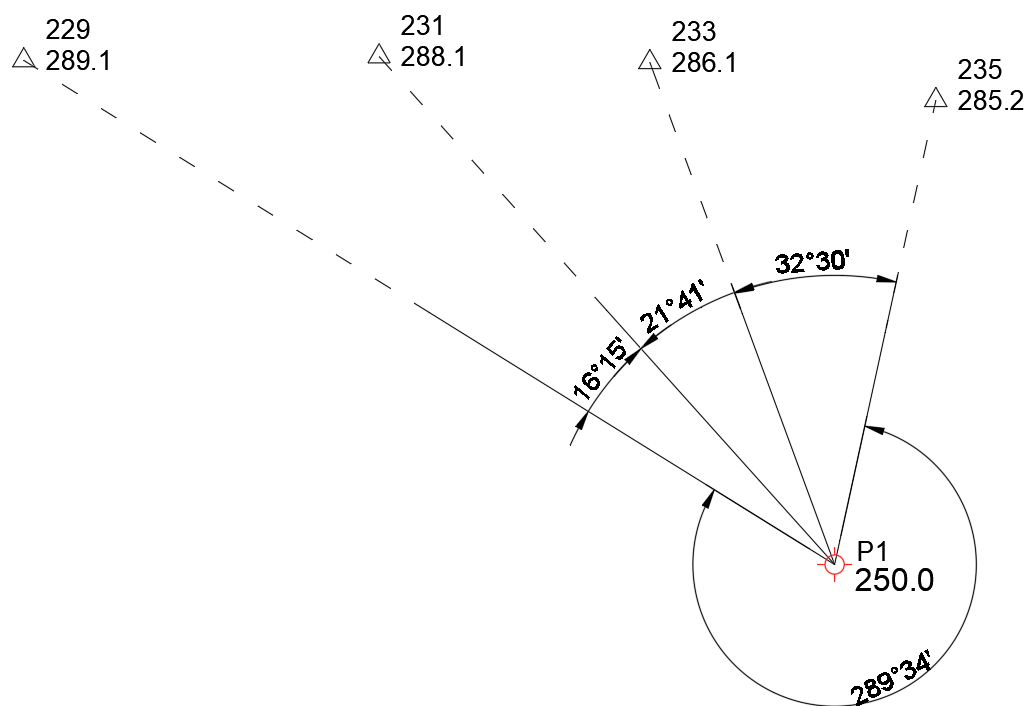


Рис. 2.2. Схема привязки пункта $P1$ способом обратной геодезической засечки

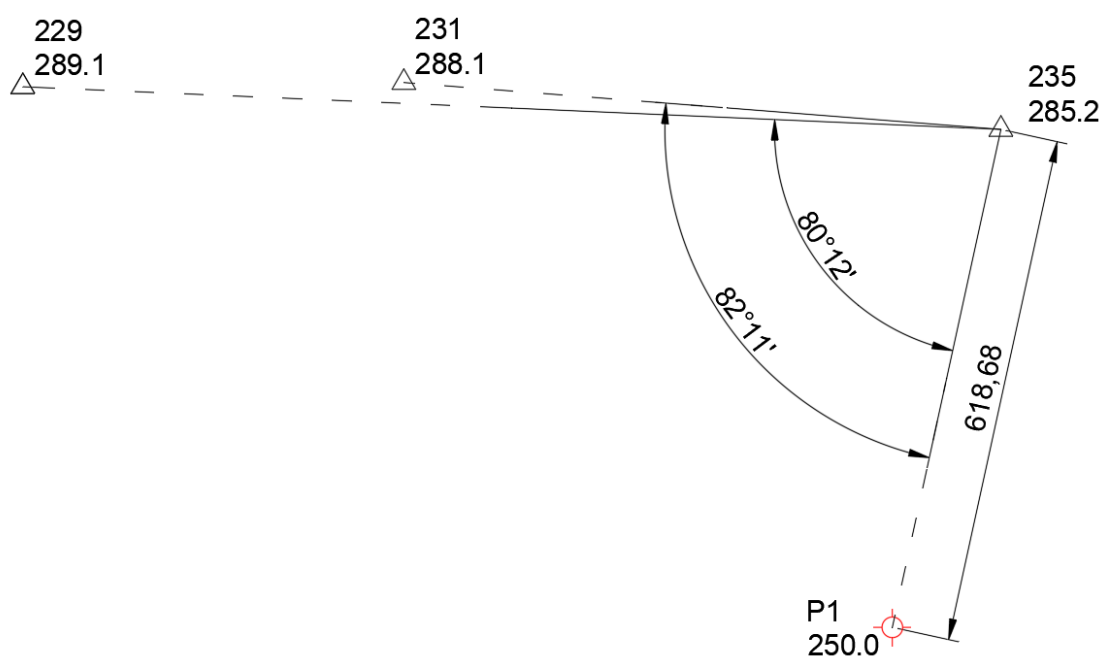


Рис. 2.3. Схема привязки пункта $P1$ полярным способом

5. Из каталога координат выписать координаты пунктов опорной сети (табл. 2.2), к которым произведена привязка пунктов съёмочного обоснования.

Таблица 2.2

Каталог координат пунктов опорного обоснования
(к плану поверхности Петровского
буроугольного месторождения)

Номер пункта	Координаты, м			Высота наведения, м
	X	Y	Z	
212	2521590,50	7513600,20	302,91	1,4
214	2521892,50	7512405,10	299,11	1,4
225	2520937,50	7512055,00	287,35	1,4
226	2521220,50	7512200,00	283,10	1,4
227	2520925,30	7512395,00	288,20	1,4
228	2521235,00	7512670,20	281,50	1,4
229	2520952,40	7512775,00	289,10	1,4
230	2521230,00	7513140,00	282,30	1,4
231	2520957,50	7513237,50	288,10	1,4
232	2521187,50	7513435,00	280,70	1,4
233	2520950,00	7513590,00	286,10	1,4
234	2521190,00	7513877,50	282,10	1,4
235	2520900,60	7513962,40	285,20	1,4

6. На ПК загрузить программу «**simple_geocalc**».

Программа «**simple_geocalc**» предназначена для решения двух задач:

- **Предрасчёта** ожидаемой погрешности положения определяемого пункта на стадии проектирования. В этом случае для выбора оптимального местоположения пунктов и схемы привязки проектируемых пунктов к опорной геодезической сети углы и длины снимают графически, поэтому координаты и высотные отметки, полученные при работе с программой, использовать для решения каких-либо задач недопустимо.

- **Вычисления координат (X, Y и Z) и анализа** результатов фактических измерений, т. е. оценки точности положения пункта по результатам полевых измерений. В программу вводят результаты измерений: горизонтальные и вертикальные углы с точностью до секунд, координаты пунктов опорной геодезической сети и длины линий до миллиметров. Получают истинные значения координат и высотные отметки пунктов съёмочного обоснования, которые заносят в каталог координат и в последующем используют для решения любых маркшейдерских задач.

Порядок работы с программой

1. На ПК загрузить программу «**simple_geocalc**», появится стартовое меню программы (рис. 2.4).

2. В стартовом меню выбрать вкладку «Открыть проект», если существуют ранее сохранённые проекты, либо «Новый проект» для создания нового проекта для предрасчёта точности ожидаемой погрешности положения определяемого пункта.

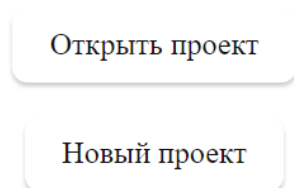


Рис. 2.4. Стартовое меню программы «**simple_geocalc**»

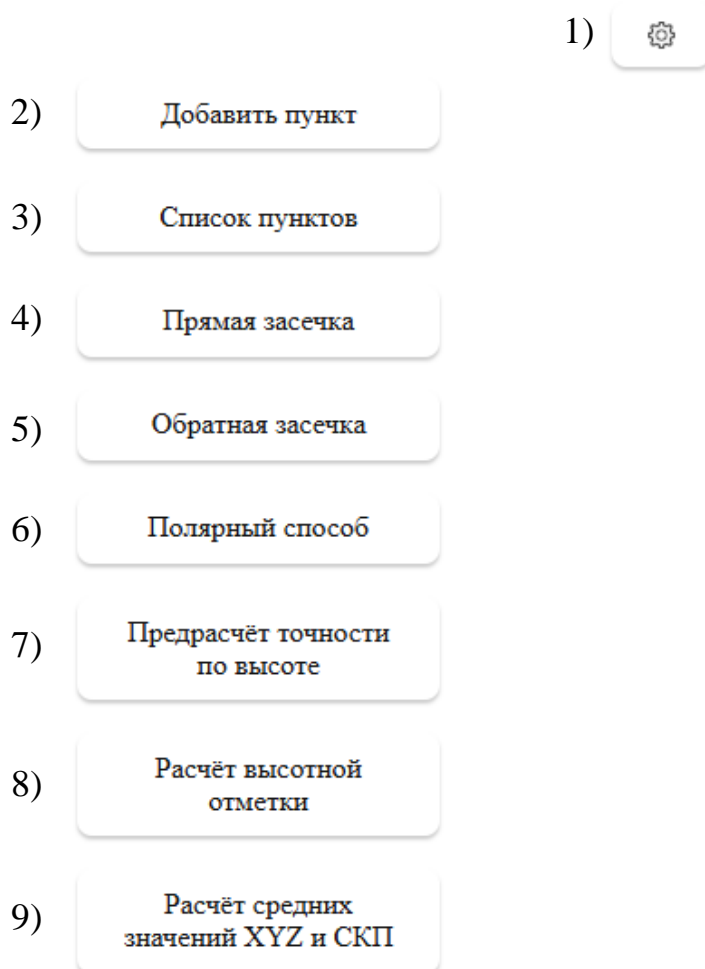


Рис. 2.5. Главное меню программы «**simple_geocalc**»

Вкладки главного меню программы

1) Настройки. Задать настройки для расчёта ожидаемой погрешности положения определяемого пункта съёмочной сети: среднеквадратическую погрешность (СКП) измерения углов, в соответствии с требованиями «Инструкции ...» [7] для пунктов съёмочного обоснования; коэффициенты светодальномера (электронного тахеометра) принять по паспорту прибора; СКП измерения высоты прибора и цели принять в зависимости от способа их измерения, при измерении рулеткой – 2 мм (рис. 2.6).

СКП прибора, ("):	15
Коэффициент а светодальномера, (мм):	1
Коэффициент b светодальномера, (мм/км):	1.5
СКП измерения высоты прибора, (мм):	2
СКП измерения высоты цели, (мм):	2

Сохранить

Рис. 2.6. Вкладка «Настройка проекта»

2) Добавить пункт. Добавить имя и координаты исходных пунктов опорной сети с (на) которых проводят измерения (рис. 2.7).

Название пункта

X

Y

Z

Добавить

Рис. 2.7. Вкладка «Добавить пункт»

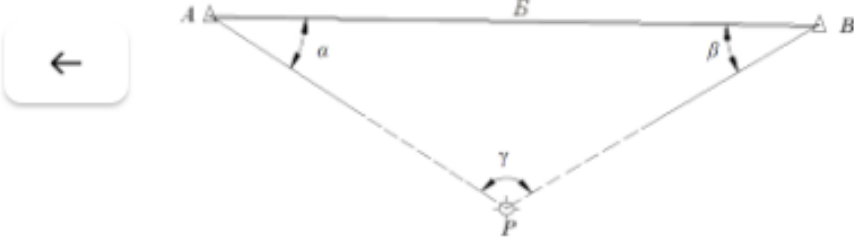
3) Список пунктов. Вкладка для проверки, добавления или редактирования номера и координат пунктов опорной сети, к которым выполнена привязка определяемых пунктов съёмочного обоснования, а также просмотра сохранённых, рассчитанных координат пунктов съёмочного обоснования (рис. 2.8).

Исходные пункты Расчётные пункты

Имя пункта	X	Y	H
212	2521590.5	7513600.2	302.91
214	2521892.5	7512405.1	299.11
225	2520937.5	7512055	287.35
226	2521220.5	7512200	283.1
227	2520925.3	7512395	288.2
228	2521235	7512670.2	281.5
229	2520952.4	7512775	289.1
230	2521230	7513140	282.3
231	2520957.5	7513237.5	288.1
232	2521187.5	7513435	280.7
233	2520950	7513590	286.1
234	2521190	7513877.5	282.1
235	2520900.6	7513962.4	285.2

Рис. 2.8. Вкладка «Список пунктов»

4) Прямая засечка. Вкладка для расчета координат и погрешности положения пункта съёмочного обоснования, координаты которого определяют способом прямой геодезической засечки (рис. 2.9).



←

Пункт A:

Пункт B:

Угол α :

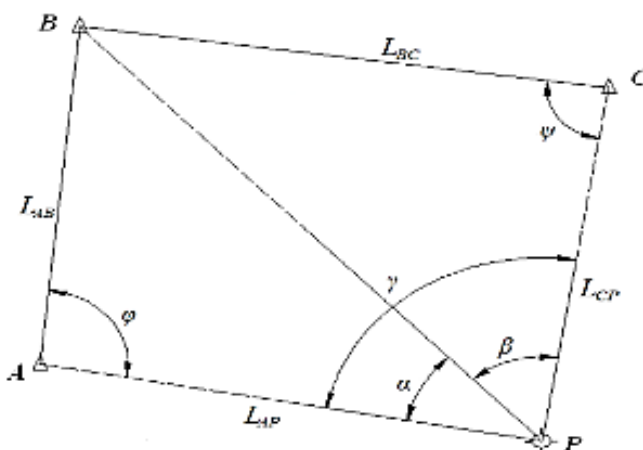
Угол β :

Рассчитать Сохранить

Рис. 2.9. Вкладка «Прямая засечка»

5) Обратная засечка. Вкладка для расчета координат и погрешности положения пункта съёмочного обоснования, определяемого способом обратной геодезической засечки (рис. 2.10).

←



Пункт A:

Пункт B:

Пункт C:

Угол α:

Угол γ:

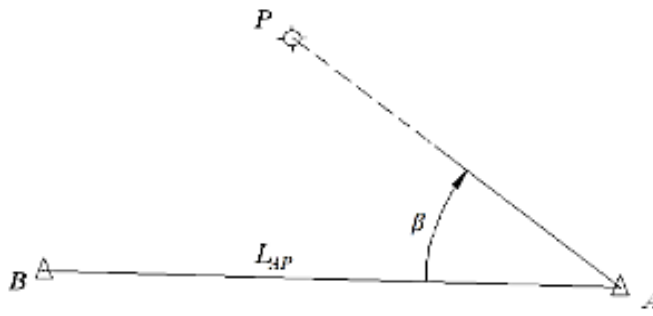
Рассчитать

Сохранить

Рис. 2.10. Вкладка «Обратная засечка»

6) Полярный способ. Вкладка для расчета координат и погрешности положения пункта съёмочного обоснования, определяемого полярным способом (рис. 2.11).

←



Пункт А:

Пункт В:

Угол β :

L_{AP} :

Рассчитать

Сохранить

Рис. 2.11. Вкладка «Полярный способ»

7) Предрасчёт точности по высоте. Вкладка для расчёта среднеквадратической погрешности положения определяемого пункта съёмочной сети по высоте (рис. 2.12).

←

Определяемый пункт:

Пункт с (на) которого(ый) измеряется угол наклона:

Отметка определяемого пункта:

Рассчитать

Сохранить

Рис. 2.12. Вкладка «Предрасчёт точности по высоте»

8) Расчёт высотной отметки. Вкладка для расчёта высотной отметки определяемого пункта съёмочной сети (рис. 2.13).

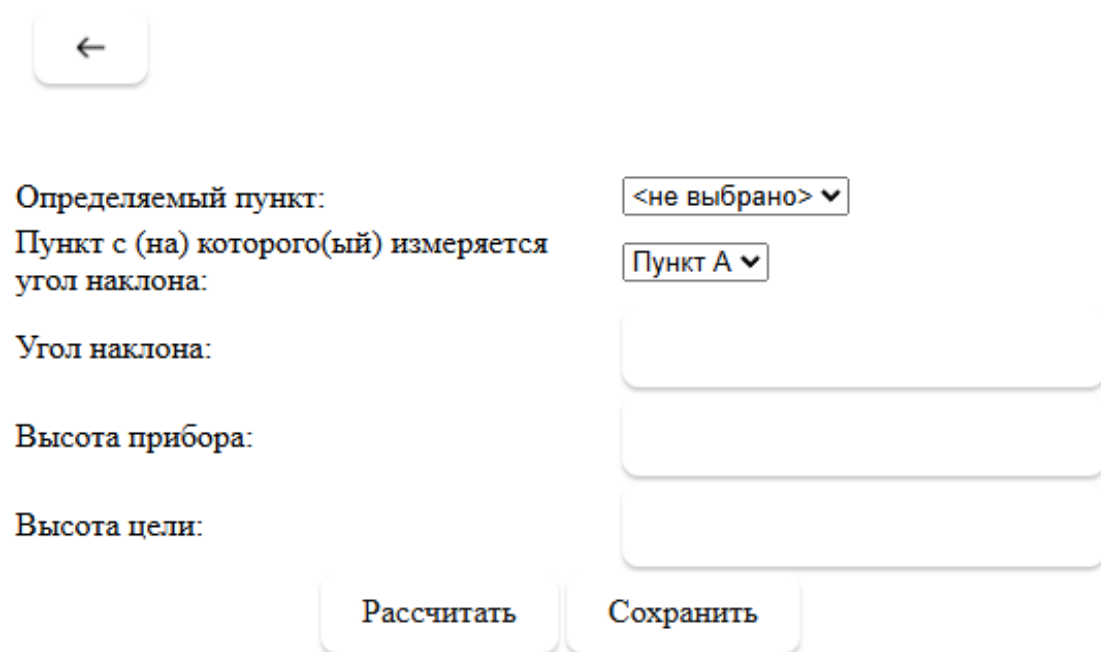


Рис. 2.13. Вкладка «Расчёт высотной отметки»

9) Расчёт средних значений XYZ и СКП. Вкладка для расчёта средних значений плановых и высотных координат, а также средней квадратической погрешности положения пункта P в плане и по высоте из двух определений (рис. 2.14).

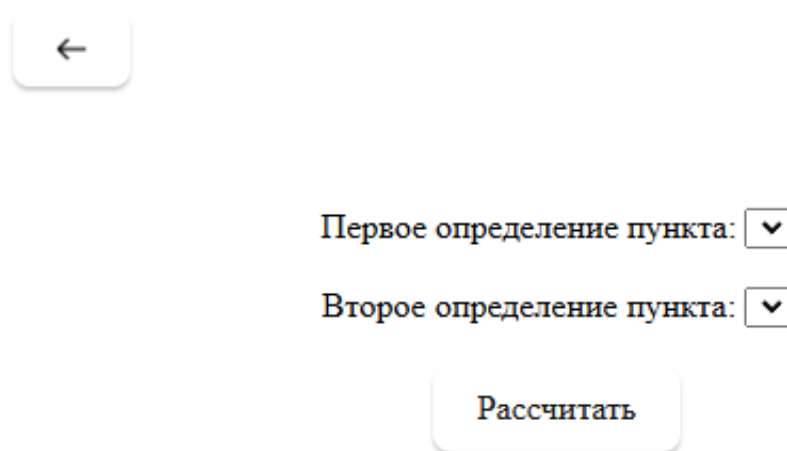


Рис. 2.14. Вкладка «Расчёт средних значений XYZ и СКП»

Пример работы с программой

Запустить программу «simple_geocalc». Откроется стартовое меню (см. рис. 2.4).

Если необходимо продолжить работу в ранее созданном проекте, выбрать вкладку «Открыть проект».

Если работа проводится впервые или по другим причинам необходимо создать новый проект, выбрать вкладку «Новый проект».

Перейдите во вкладку «Добавить пункт» (см. рис. 2.7), ввести название пункта опорной сети (имя для каждого пункта должно быть уникальным), и его координаты. После ввода имени и координат каждого пункта опорной сети нажимать кнопку «Сохранить», появится надпись «Пункт добавлен».

Добавить все пункты опорной сети, к которым произведена привязка пункта съёмочного обоснования.

Можно просмотреть и отредактировать все пункты маркшейдерской опорной сети во вкладке «Список пунктов»: (см. рис. 2.8).

Перейти во вкладку «Настройки» и ввести (рис. 2.15):

- среднеквадратическую погрешность (СКП) измерения углов 15";

- технические характеристики (коэффициенты светодальномера) прибора, который будет использоваться для работы;

- СКП измерения высоты прибора и цели (при измерении рулеткой 2 мм).

Нажать «Сохранить», появится надпись «Настройки успешно сохранены» (рис. 2.15).

Выйти в основное меню.

Ниже приведен пример ввода технических характеристик прибора при измерении тахеометром Leica TS10 R500: точность угловых измерений 5", точность измерения расстояний на призму при однократном наведении 1мм + 1,5ppm.

СКП прибора, ("):	5
Коэффициент а светодальномера, (мм):	1
Коэффициент b светодальномера, (мм/км):	1.5
СКП измерения высоты прибора, (мм):	2
СКП измерения высоты цели, (мм):	2

Сохранить

Настройки успешно сохранены

Рис. 2.15. Ввод технических характеристик прибора в меню «Настройки»

Расчёт погрешности положения определяемого пункта в плане способом прямой геодезической засечки

Для расчёта погрешности определяемого пункта съёмочной сети, координаты которого определяются способом прямой геодезической засечки перейти во вкладку «Прямая засечка». Выбрать опорные пункты из списка (в соответствии со схемой), с которых будут производиться измерения. Ввести горизонтальные углы, нажать кнопку «Рассчитать», появятся рассчитанные данные: координаты определяемого пункта и его погрешность в плане (рис. 2.16).

Для расчёта высотной отметки необходимо сохранить имя пункта (имя пункта должно быть уникальным).

Можно просмотреть информацию о сохранённом пункте во вкладке «Список пунктов»: «Расчётные пункты» (см. рис. 2.8).

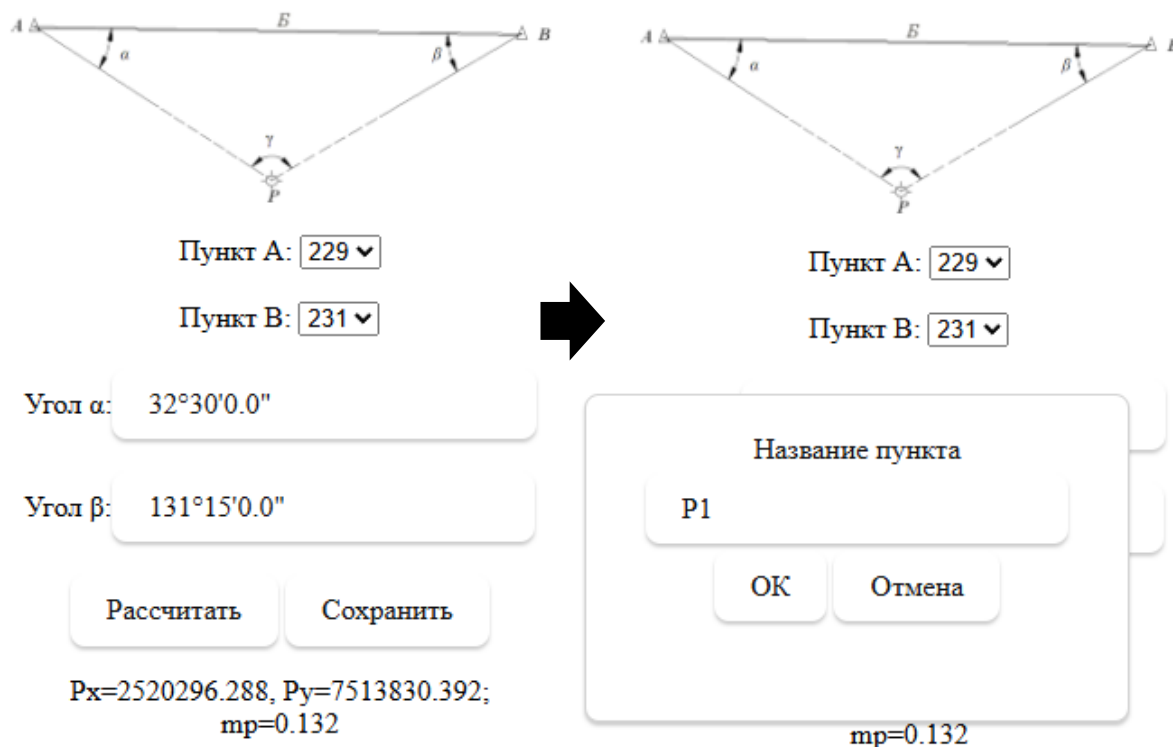
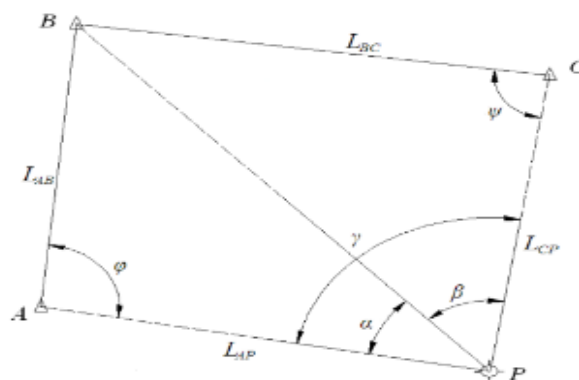


Рис. 2.16. Расчёт погрешности положения пункта P в плане способом прямой геодезической засечки

Расчёт погрешности положения определяемого пункта в плане способом обратной геодезической засечки

Для расчёта погрешности положения пункта съёмочной сети способом обратной геодезической засечки перейти в меню «Обратная засечка». Выбрать опорные пункты из списка (в соответствии со схемой их расположения), на которые будет производиться визирование. Ввести значения измеренных углов, нажать кнопку «Расчитать», появятся рассчитанные данные: координаты и погрешность определяемого пункта (рис. 2.17).

Для расчета высотной отметки сохранить имя пункта (имя должно быть уникальным). Можно просмотреть информацию о сохранённом пункте во вкладке «Список пунктов»: «Расчётные пункты».



Пункт А:

Пункт В:

Пункт С:

Угол α :

Угол γ :

Рассчитать

Сохранить

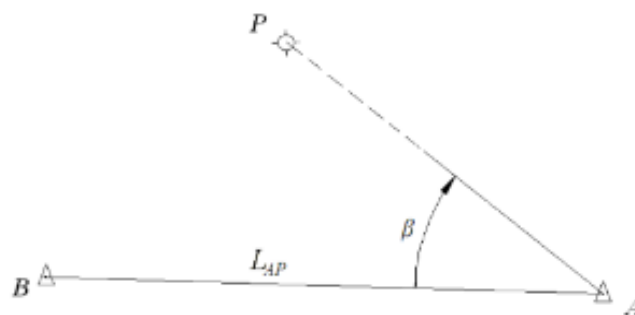
$P_x=2520295.864$, $P_y=7513830.462$;
 $m_p=0.122$

Рис. 2.17. Расчёт погрешности положения пункта P в плане способом обратной геодезической засечки

Расчёт погрешности положения определяемого пункта в плане полярным способом

Для расчёта погрешности положения пункта съёмочной сети полярным способом перейти во вкладку «Полярный способ». Выбрать опорный пункт из списка (в соответствии со схемой их расположения), с которого производится измерение, ввести горизонтальный угол и горизонтальное проложение от опорного пункта до определяемого, нажать кнопку «Рассчитать», появятся расчётные данные: координаты и погрешность определяемого пункта съёмочной сети (рис. 2.18).

Для расчёта высотной отметки сохранить имя пункта (имя должно быть уникальным). Можно просмотреть сохранённый пункт во вкладке «Список пунктов»: «Расчётные пункты».



Пункт А: 235 ▼

Пункт В: 229 ▼

Угол β : 80°12'0.0"

L_{AP} = 618.68

Рассчитать

Сохранить

$P_x=2521514.262$, $P_y=7513883.765$;
 $m_p=0.015$

Рис. 2.18. Расчёт погрешности положения пункта P в плане полярным способом

Расчёт погрешности положения определяемого пункта по высоте

Для расчёта среднеквадратической погрешности определения высотной отметки пункта съёмочной сети нужно предварительно рассчитать и сохранить положение (координаты) определяемого пункта P в плане одним из трёх способов: прямая засечка, обратная засечка, полярный.

Перейти во вкладку «Предрасчёт точности по высоте», выбрать пункт (из вкладки «Расчётные пункты»), для которого необходимо произвести расчёт, а также пункт, с которого производились измерения высоты («пункт А» – номер пункта, который по схеме был выбран как пункт A для выбранного

способа расчёта координат и погрешности в плане). Нажать кнопку «Расчитать», появится надпись с расчётными результатами (рис. 2.19). При необходимости можно сохранить параметры, для дальнейшего просмотра во вкладке «Список пунктов»: «Расчётные пункты».

Определяемый пункт: P1

Пункт с (на) которого(ый) измеряется угол наклона: 229

Отметка определяемого пункта: 250

Расчитать Сохранить

$mh=0.030$

Рис. 2.19. Расчёт среднеквадратической погрешности положения пункта P по высоте

Расчёт высотной отметки определяемого пункта

Для расчёта высотной отметки определяемого пункта съёмочной сети, предварительно нужно рассчитать положение (координаты) определяемого пункта в плане одним из трёх способов: прямая засечка, обратная засечка, полярный и сохранить её имя.

Перейти в меню «Расчёт высотной отметки», выбрать пункт, для которого нужно рассчитать высотную отметку, а также пункт опорной сети, с которого производились измерения для определения высотной отметки («пункт A » – номер пункта, который по схеме был выбран как пункт A для выбранного способа расчёта координат и погрешности в плане).

Ввести: угол наклона с опорного пункта на определяемый пункт съёмочной сети, высоту прибора, высоту цели. Нажать кнопку «Расчитать», появиться надпись с расчётными параметрами. При необходимости можно сохранить параметры, для дальнейшего просмотра в меню «Список пунктов»: «Расчётные пункты» (рис. 2.20).

Определяемый пункт:	<input type="text" value="P1"/>
Пункт с (на) которого(ый) измеряется угол наклона:	<input type="text" value="229"/>
Угол наклона:	<input type="text" value="-1°48'6.0"/>
Высота прибора:	<input type="text" value="1.4"/>
Высота цели:	<input type="text" value="1.4"/>
<input type="button" value="Рассчитать"/> <input type="button" value="Сохранить"/>	
$h=250.112;$ $mh=0.030$	

Рис. 2.20. Расчёт высотной отметки пункта *P*

Лабораторная работа №3

Вычисление и оценка точности определения координат пункта съёмочной сети обратной геодезической засечкой

Цель работы

Вычислить координаты и высотную отметку пункта съёмочной сети с оценкой точности по результатам полевых измерений и дать заключение о надёжности положения этого пункта для выполнения съёмки горных выработок в масштабе 1:2000.

Исходные данные

1. Координаты четырёх пунктов маркшейдерской опорной сети карьера и высота наведения визирной оси на опорный пункт (Приложение 2).
2. Измеренные горизонтальные направления и углы наклона с определяемого пункта *P* на опорные, высота инструмента на пункте съёмочной сети (Приложение 3).

Порядок выполнения работы

1. Составить в удобном масштабе (1:10000 или 1:25000) схему расположения пунктов маркшейдерской опорной сети карьера и определяемого пункта *P* съёмочной сети (рис. 3.1).

Номера опорных пунктов для соответствующего номера варианта принять из Приложения 3, координаты опорных пунктов из Приложения 2.

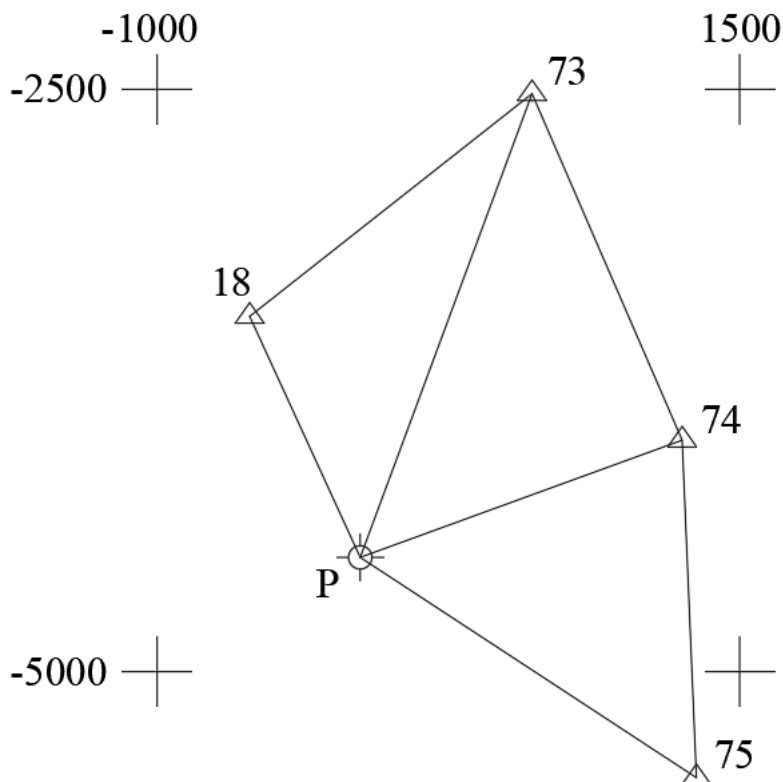


Рис. 3.1. Схема расположения исходных пунктов опорной сети и определяемого пункта *P* съёмочной сети

Исходные данные:

- Координаты четырёх пунктов маркшейдерской опорной сети (МОС) карьера и высота визирования на опорные пункты (табл. 3.1).

- Измеренные горизонтальные направления и углы наклона с определяемого пункта *P* на опорные, высота инструмента на пункте съёмочной сети (табл. 3.2).

2. Загрузить на ПК программу «**simple_geocalc**». Порядок работы с программой см. в Лабораторной работе № 2.

3. В основном меню программы выбрать вкладку «Список пунктов». Проверить, имеются ли в каталоге сведения о пунктах опорной сети, к которым произведена привязка определяемого пункта съёмочной сети, и верно ли занесены сведения о координатах.

Таблица 3.1

Координаты пунктов МОС карьера

Номер пункта	Координаты, м			Высота визирования, м
	X	Y	Z	
18	-3474,71	-602,9	364,92	3,94
73	-2519,02	609,05	542,31	1,75
74	-4006,02	1253,41	625,19	3,92
75	-5454,91	1314,63	610,38	4,01

Таблица 3.2

Номера опорных пунктов и результаты полевых измерений

Опорный пункт	Измеренное направление			Измеренный угол наклона				Высота инструмента, м
	°	'	"	±	°	'	"	
1	00	00	00	+	00	00	00	1,35
2	44	58	15	-	02	14	52	
3	94	37	45	+	00	04	05	
4	147	52	29	-	00	25	45	

При необходимости внести исправления, если неверно набраны координаты. При отсутствии в каталоге имени пункта выбрать операцию «Добавить пункт» и пополнить каталог координат (рис. 3.2).

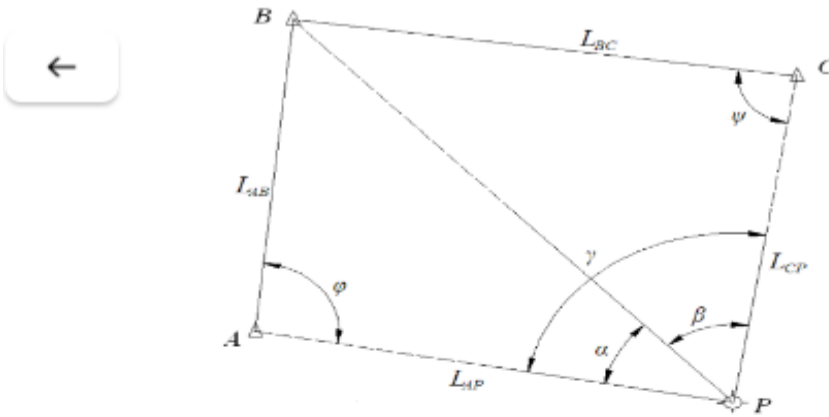
Исходные пункты				Расчётные пункты			
Имя пункта	X	Y	H	Имя пункта	X	Y	H
18	-3474.71	-602.9	364.92	18	-3474.71	-602.9	364.92
73	-2519.02	609.05	542.31	73	-2519.02	609.05	542.31
74	-4006.02	1253.41	625.19	74	-4006.02	1253.41	625.19
75	-5454.91	1314.63	610.38	75	-5454.91	1314.63	610.38

Рис. 3.2. Пополнение каталога координат

4. Установить два возможных варианта определения положения пункта съёмочной сети обратной геодезической засечкой.

Для вычисления на ПК координат X и Y пункта съёмочной сети из решения двух оптимальных схем обратной засечки и погрешности положения пункта P в плане для каждой схемы сначала необходимо вычислить плановые координаты пункта съёмочного обоснования из двух-четырёх возможных вариантов: 18-73-74, 18-74-75, 18-73-75, 73-74-75.

5. Перейти в меню «Обратная засечка», выбрать опорные пункты из списка, в соответствии со схемой, на которые будет производиться визирование. Ввести значения измеренных углов (в соответствии со схемой расположения пунктов опорной сети), нажать кнопку «Рассчитать», появятся рассчитанные данные: координаты и погрешность определяемого пункта P (рис. 3.2–3.5).



Пункт А:

Пункт В:

Пункт С:

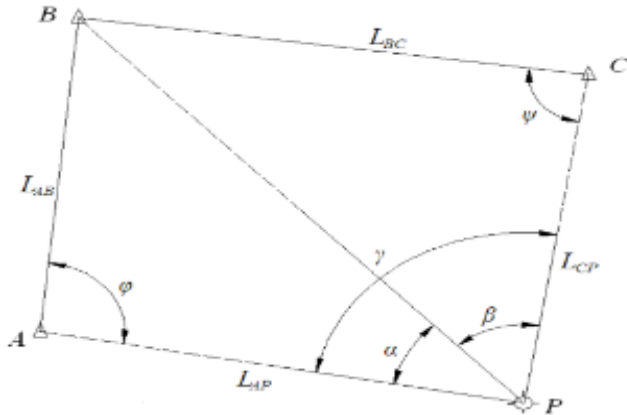
Угол α :

Угол γ :

$P_x = -4509.229, P_y = -128.408;$
 $m_p = 1.359$

Рис. 3.2. Определение координат пункта P относительно пунктов 18-73-74 опорной сети

←



Пункт A:

Пункт B:

Пункт C:

Угол α :

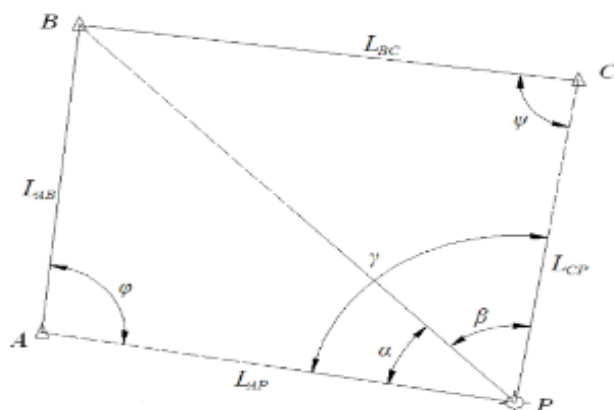
Угол γ :

Рассчитать

Сохранить

$P_x = -4509.187, P_y = -128.482;$
 $m_p = 0.195$

Рис. 3.3. Определение координат пункта P относительно пунктов 18-74-75 опорной сети



Пункт А:

Пункт В:

Пункт С:

Угол α :

Угол γ :

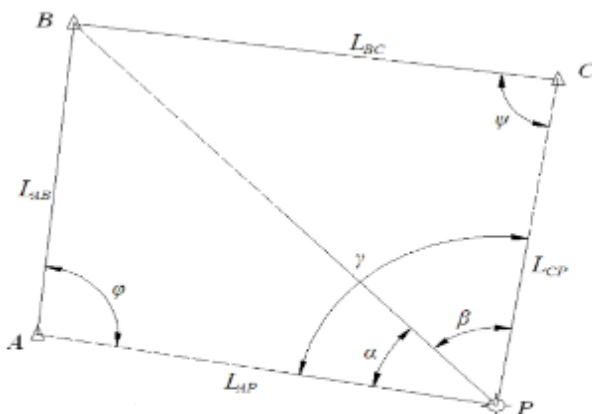
Рассчитать

Сохранить

$P_x = -4509.171$, $P_y = -128.495$;
 $m_p = 0.351$

Рис. 3.4. Определение координат пункта P относительно пунктов 18-73-75 опорной сети

←



Пункт А:

Пункт В:

Пункт С:

Угол α:

Угол γ:

Рассчитать

Сохранить

$P_x = -4509.196, P_y = -128.485;$
 $m_p = 0.255$

Рис. 3.5. Определение координат пункта P относительно пунктов 73-74-75 опорной сети

После проведённых операций перейти во вкладку «Список пунктов» – «Расчётные пункты», где внесены рассчитанные ранее плановые координаты и погрешности положения пункта P относительно пунктов опорной сети (рис. 3.6).

Имя пункта	X	Y	H	Mr	Mh	Способ определения координат
18-73-74	-4509.229	-128.408	—	1.359	—	Обратная засечка
18-74-75	-4509.187	-128.482	—	0.195	—	Обратная засечка
18-73-75	-4509.171	-128.495	—	0.351	—	Обратная засечка
73-74-75	-4509.196	-128.485	—	0.255	—	Обратная засечка

Рис. 3.6. Плановые координаты и погрешности положения пункта съёмочного обоснования P

6. Провести расчёт высотной отметки пункта съёмочного обоснования P для вариантов, расхождение которых в положении координат пункта P из двух вариантов засечки [7, п. 69] и погрешность положения в плане [7, п. 60] не превышают допустимых значений. Перейти во вкладку «Расчёт высотной отметки», ввести необходимые параметры. Проанализировав вычисленные значения высотной отметки Z , сохранить два варианта, в которых расхождение вычисленных отметок не превышает допустимого значения [7, п. 79]¹ (рис. 3.7–3.9).

Определяемый пункт:

18-74-75

Пункт с (на) которого(ый) измеряется
угол наклона:

74

Угол наклона:

0°4'5.0"

Высота прибора:

1.35

Высота цели:

3.92

Рассчитать

Сохранить

$h=625.871;$

$mh=0.143$

Рис. 3.7. Расчёт высотной отметки и её погрешности для пункта P (18-74-75)² относительно пункта 74 опорной сети

¹ От опорного пункта 18 измерения для определения высотной отметки не выполнялись, поэтому на экране против отметки пункта 18 записано 0°00'00".

² В скобках указаны пункты опорного обоснования, относительно которых определялись координаты пункта P .

←

Определяемый пункт:

73-74-75 ▼

Пункт с (на) которого(ый) измеряется угол наклона:

75 ▼

Угол наклона:

-0°25'45.0"

Высота прибора:

1.35

Высота цели:

4.01

Рассчитать

Сохранить

$h=625.768;$
 $mh=0.168$

Рис. 3.8. Расчёт высотной отметки и её погрешности для пункта *P* (73-74-75) относительно пункта 75

←

Исходные пункты

Расчётные пункты

Имя пункта	X	Y	H	Мр	Мh	Способ определения координат
18-73-74	-4509.229	-128.408	—	1.359	—	Обратная засечка
18-74-75	-4509.187	-128.482	625.871	0.195	0.143	Обратная засечка
18-73-75	-4509.171	-128.495	—	0.351	—	Обратная засечка
73-74-75	-4509.196	-128.485	625.768	0.255	0.168	Обратная засечка

Рис. 3.9. Координаты и погрешности положения пункта съёмочного обоснования *P*

7. Для получения средних значений плановых координат X и Y , высотной отметки Z , а также средней квадратической погрешности положения пункта P в плане и по высоте перейти во вкладку «Расчёт средних значений XYZ и СКП». Выбрать два оптимальных просчитанных ранее варианта, нажать кнопку «Рассчитать» (рис. 3.10), полученные результаты внести в отчет.

Первое определение пункта: 18-74-75 ▼

Второе определение пункта: 73-74-75 ▼

Рассчитать

$P_x=-4509.191$, $P_y=-128.483$, $P_z=625.819$;
 $mp=0.225$, $mh=0.155$

Рис. 3.10 – Расчёт средних значений координат и погрешностей в плане и по высоте положения пункта P

8. Математический аппарат, реализованный в программе, приведен в Приложении 1.

Список рекомендуемой литературы

1. Бахаева С. П. Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых: учебное пособие / С. П. Бахаева ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный университет им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2020. – 210 с. – Текст : непосредственный.

2. Бахаева С. П. Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых: лабораторный практикум / С. П. Бахаева, К. А. Тур, В. Д. Илюшкин; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. Кемерово: КузГТУ, 2023. ISBN 978-5-00137-379-7. Режим доступа: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91928&type=utchposob:common>. Текст: электронный.

3. Попов В. Н. Геодезия и маркшейдерия. – Москва: Горная книга, 2010. – 452 с. – Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=79284. – Загл. с экрана. (22.03.2026).

4. Бузук Р. В. Маркшейдерские опорные геодезические сети : учебное пособие / Р. В. Бузук; ГОУ ВПО Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово : Издательство КузГТУ, 2004. – 287 с.

5. Горная графическая документация. ГОСТ 2.850–75 – ГОСТ 2.857–75. Введ. 01.01.1980. – Москва : Изд-во стандартов, 1976. – 199 с.

6. Маркшейдерские работы на карьерах и приисках / М. А. Перегудов, И. И. Падеев, В. И. Борщ-Компаниец и др. – Москва : Недра, 1980. – 366 с.

7. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ РД 07-603-03 / Федер. горн. и пром. надзор России (Госгортехнадзор). – Москва : Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 118 с.

**Математический аппарат, реализованный
в программе «simple_geocalc»**

1. Прямая геодезическая засечка

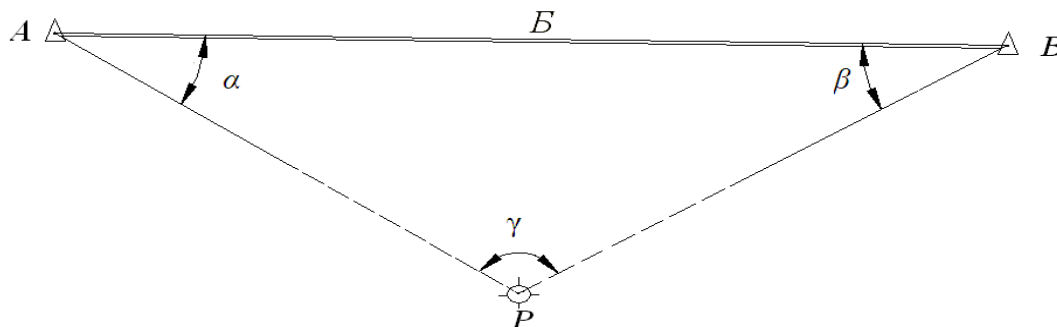


Рис. П.1. Схема определения положения пункта P способом прямой геодезической засечки

Вычисление координат определяемого пункта P для прямой геодезической засечки.

$$x_P = \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta + x_B \operatorname{ctg} \alpha + y_A - y_B}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta} \quad (\text{П.1})$$

$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta + y_B \operatorname{ctg} \alpha - x_A + x_B}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta} \quad (\text{П.2})$$

Вычисление погрешности положения пункта P в плане для прямой геодезической засечки

$$M_P = \frac{m_\beta B \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}}{\rho \sin^2 \gamma} \quad (\text{П.3})$$

где m_β – СКП измерения горизонтального угла в засечках, с;
 B – длина базиса (расстояние между пунктами опорной сети), м;
 α и β – измеренные горизонтальные углы, град.; γ – вычисленный горизонтальный угол при определяемом пункте, град.;
 $\rho = 206265''$ – переводной коэффициент из градусной меры в радианную, с.

2. Обратная геодезическая засечка

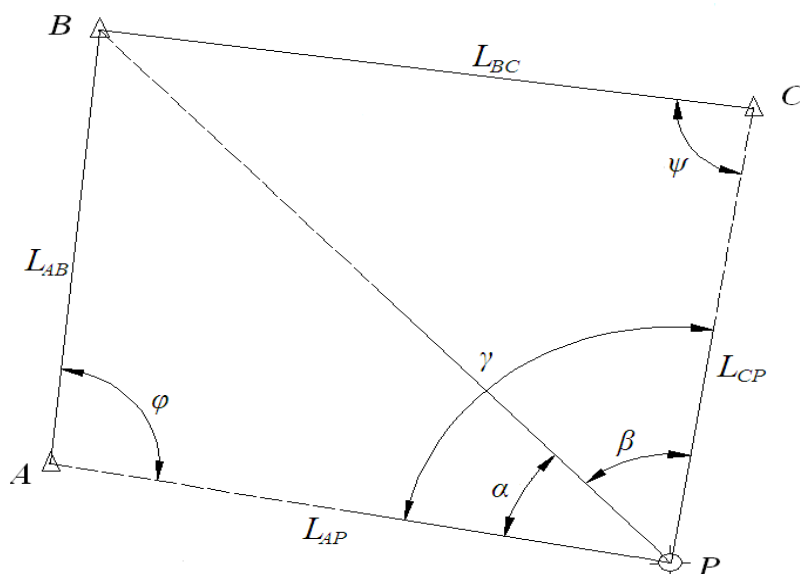


Рис. П.2. Схема определения положения пункта P способом обратной геодезической засечки

Вычисление координат пункта P для обратной геодезической засечки

$$x_P = x_A + \frac{K_1 - CK_2}{1 + C^2} C \quad (\text{П.4})$$

$$y_P = y_A + \frac{K_1 - CK_2}{1 + C^2} \quad (\text{П.5})$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, C – коэффициенты, вычисляемые по формулам:

$$K_1 = \frac{x_B - x_A}{\operatorname{tg} \alpha} + (y_B - y_A) \quad (\text{П.6})$$

$$K_2 = \frac{y_B - y_A}{\operatorname{tg} \alpha} - (x_B - x_A) \quad (\text{П.7})$$

$$K_3 = \frac{x_C - x_A}{\operatorname{tg} \gamma} + (y_C - y_A) \quad (\text{П.8})$$

$$K_4 = \frac{y_C - y_A}{\operatorname{tg} \gamma} - (x_C - x_A) \quad (\text{П.9})$$

$$C = \frac{K_1 - K_3}{K_2 - K_4} \quad (\text{П.10})$$

Вычисление погрешности положения пункта P в плане для обратной геодезической засечки

$$M_P = \frac{m_\beta L_{BP}}{\rho |\sin(\varphi + \psi)|} \sqrt{\left(\frac{L_{AP}}{L_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{L_{CP}}{L_{BC}}\right)^2} \quad (\text{П.11})$$

где φ, ψ – углы, определяемые по разности дирекционных углов прилежащих к ним сторон, град.; L – горизонтальное проложение соответствующей стороны, определяемое из решения обратной геодезической задачи, м.

3. Полярный способ

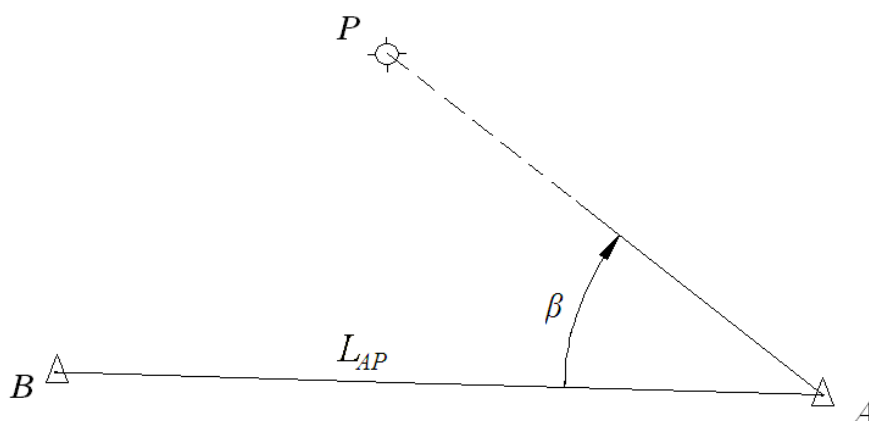


Рис. П.3. Схема определения положения пункта P полярным способом

Вычисление координат пункта P для полярного способа

$$x_P = x_A + L_{AP} \cos \alpha_{AP} \quad (\text{П.12})$$

$$y_P = y_A + L_{AP} \sin \alpha_{AP} \quad (\text{П.13})$$

Вычисление погрешности положения пункта P в плане для полярного способа

$$M_P = \sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2} L_{AP}^2 + m_l^2} \quad (\text{П.14})$$

где m_l – СКП измерения длины, определяется в зависимости от способа измерения длины, при измерении длины светодальномером или электронным тахеометром погрешность вычисляется по формуле

$$m_l = a + b L \quad (\text{П.15})$$

где a и b – постоянные коэффициенты светодальномера (принимать по паспорту прибора); L – горизонтальное проложение от пункта опорной сети до определяемого пункта P , м.

Расчет погрешности положения пункта по высоте

При определении планового положения пунктов геодезическими засечками высотную отметку, как правило, определяют тригонометрическим нивелированием (рис. П.4).

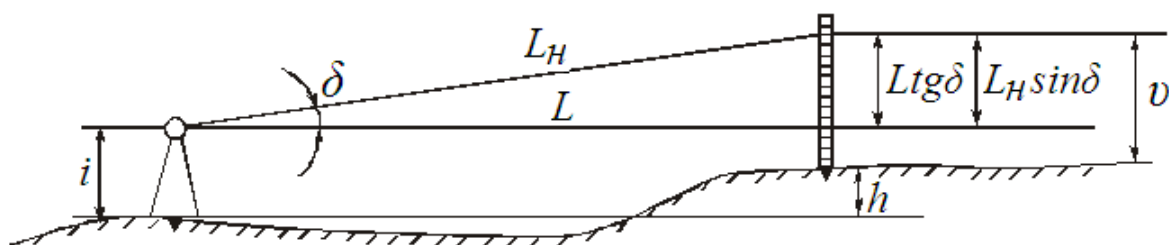


Рис. П.4. Схема тригонометрического нивелирования

Вычисление высотной отметки при определении расстояния между пунктами аналитическим способом из решения обратной геодезической задачи

$$h = L \operatorname{tg} \delta + i - v + f \quad (\text{П.16})$$

где δ – вертикальный угол, град.; i – высота инструмента, м; v – высота визирной цели, м; L – горизонтальное проложение, м; f – суммарная поправка за кривизну Земли и рефракцию.

$$f = 0,42 \frac{L^2}{R} \quad (\text{П.17})$$

где R – средний радиус Земли $R = 6370000$, м.

Вычисление погрешности положения пункта по высоте

$$M_h = \sqrt{m_l^2 \operatorname{tg}^2 \delta + \frac{m_\delta^2 L^2}{\rho^2 \cos^4 \delta} + m_i^2 + m_v^2 + \frac{m_k^2 L^4}{4R^2}} \quad (\text{П.18})$$

где $m_l, m_\delta, m_i, m_v, m_k$ – средние квадратические погрешности, обусловленные соответственно погрешностями вычисления расстояния, измерения угла наклона, высоты инструмента, высоты визирования и коэффициента рефракции; L – горизонтальное проложение от пункта опорной сети до определяемого пункта, м.

Поскольку стороны не измеряются, а вычисляются по теореме синусов, погрешность определения расстояния может быть вычислена по формуле:

$$m_l = \sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2} R L^2} \quad (\text{П.19})$$

где R – коэффициент, вычисляется по формуле:

$$R = \operatorname{ctg}^2 \alpha + 2 \operatorname{ctg}^2 (\alpha + \beta) + 2 \operatorname{ctg}^2 \alpha \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \quad (\text{П.20})$$

где α, β – измеренные горизонтальные углы, град (рис. П.1).

Приложение 2

Каталог координат пунктов опорной сети карьера

Номер пункта	Координаты, м			Высота наведения, м
	X	Y	Z	
1	−0797,56	−4852,83	460,04	7,05
2	1548,17	−5407,23	468,79	4,08
3	1839,32	−3899,02	394,73	3,97
4	1563,55	−1352,80	294,61	4,44
5	2873,55	−5965,00	617,07	3,92
6	0949,14	−5752,45	495,87	4,27
7	−0797,56	−4852,83	473,59	3,45
8	−0797,55	−4852,83	238,82	4,05
9	1325,45	−6324,65	282,63	4,70
10	3652,52	−3649,70	206,59	4,20
11	−5454,51	1314,63	501,39	4,01
12	−4774,85	786,92	426,36	4,42
13	−4006,02	1253,41	516,47	3,92
14	1566,55	−1352,80	188,03	3,94
15	−4767,55	2319,61	234,53	2,47
16	2873,55	−5965,00	486,36	4,02
17	1548,17	−5407,20	362,29	3,88
18	−3474,71	−0602,90	364,92	3,94
19	−4006,02	1253,41	360,52	3,92
20	−5454,91	1314,63	345,84	4,01
21	−4406,84	0216,58	085,49	1,48
22	−4774,85	0786,92	244,98	2,38
23	−4767,55	2319,51	125,94	2,10
24	−5454,91	1314,63	087,14	2,48
25	1325,45	−6324,61	412,04	4,07
26	2873,55	−5965,00	511,39	4,02
27	1839,32	−3899,02	312,81	3,97
28	3834,30	0789,37	368,08	4,28
29	−0892,49	2949,30	387,74	2,50
30	−3474,71	−0602,90	422,01	4,64
31	−5372,35	0214,53	303,58	2,47
32	−4406,84	0216,58	103,67	2,48
33	−4006,02	1253,41	120,19	3,92
34	−4767,55	2319,51	144,24	2,47
35	3652,52	−3649,70	196,53	3,90

Продолжение приложения 2

Номер пункта	Координаты, м			Высота наведения, м
	X	Y	Z	
36	1839,32	–3899,02	173,39	4,27
37	0623,30	–3158,27	177,04	4,15
38	–5454,91	1314,63	395,84	4,01
39	–4406,86	0216,58	393,95	4,66
40	–3474,71	–0602,90	414,82	3,54
41	–0892,49	2949,30	173,08	4,30
42	–4006,02	1253,41	202,35	2,92
43	–3474,70	–0602,90	206,43	3,74
44	–0797,56	–4852,83	834,17	4,05
45	1325,45	–6324,61	878,14	4,70
46	2873,55	–5965,00	977,43	4,02
47	–2967,52	5610,85	281,97	2,29
48	–5454,91	1314,63	173,68	4,01
49	–4406,84	0216,58	171,69	4,96
50	–0892,49	2949,30	395,39	3,30
51	0000,00	0000,00	306,50	4,24
52	3834,80	0789,37	376,10	4,28
53	1325,45	–6324,61	498,05	4,70
54	3652,52	–3649,70	422,10	3,40
55	1839,32	–3899,02	398,84	3,77
56	1566,55	–1352,80	719,83	3,44
57	2873,55	–5965,00	1018,77	3,82
58	3652,52	–3649,70	843,13	4,20
59	1566,55	–1352,80	446,44	4,24
60	0623,30	–3158,22	551,87	5,15
61	–0797,50	–4852,83	601,16	4,35
62	–4006,02	1253,41	240,69	3,92
63	–5454,91	1314,63	225,99	4,01
64	–5372,35	0214,53	208,99	4,20
65	–4509,20	–0128,47	336,11	4,03
66	–4774,85	0780,92	244,98	2,38
67	0623,30	–3158,22	462,74	4,15
68	1548,17	–5407,23	531,38	4,08
69	3652,52	–3649,70	480,49	4,06
70	0949,14	–5752,45	237,36	4,07
71	1325,45	–6324,61	258,86	4,70
72	3652,52	–3649,70	182,85	3,20

Продолжение приложения 2

Номер пункта	Координаты, м			Высота наведения, м
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	
73	–2519,02	0609,05	542,31	1,75
74	–4006,02	1253,41	625,19	3,92
75	–5454,91	1314,63	610,38	4,01
76	1548,17	–5407,22	185,04	3,88
77	3652,52	–3649,70	134,28	4,20
78	1566,55	–1352,80	010,82	4,44
79	–5372,35	0214,53	178,89	2,47
80	–4006,02	1253,41	210,48	3,92
81	–4006,02	1253,41	400,79	3,62
82	–3474,71	–0602,90	405,60	4,54
83	3834,80	0789,37	351,88	4,28
84	1566,55	–1352,80	316,57	4,44
85	0623,30	–3158,22	422,45	4,15
86	2873,55	–5965,00	614,96	4,22
87	0623,30	–3158,22	250,86	4,15
88	2873,55	–5965,00	444,28	3,72
89	1566,55	–1352,80	145,22	4,44
90	–0892,49	2949,30	056,95	3,10
91	–2967,52	5610,85	181,13	4,49
92	–5372,35	0214,53	055,62	4,10
93	–3474,71	–0602,90	091,74	3,94
94	–5454,91	1314,63	594,50	4,01
95	–4406,84	0216,58	592,57	4,66
96	–3474,71	–0602,90	613,42	3,94

Приложение 3

Номера опорных пунктов и результаты полевых измерений

Вариант	Опорный пункт	Измеренное направление			Измеренный угол наклона				Высота теодолита, м
		°	'	"	±	°	'	"	
1	1	00	00	00	+	00	00	00	1,11
	2	62	19	58	+	01	40	50	
	3	98	37	40	–	00	06	18	
	4	192	23	32	–	02	52	50	
2	5	00	00	00	+	03	41	02	1,02
	2	63	16	36	–	00	00	00	
	6	110	15	19	–	01	33	32	
	7	132	11	26	–	00	54	58	
3	8	00	00	00	–	00	23	48	1,33
	9	89	39	11	+	01	42	28	
	5	170	28	34	+	00	00	00	
	10	233	10	05	–	01	01	12	
4	76	110	25	18	+	02	52	32	1,04
	5	147	50	29	±	00	00	00	
	77	219	10	38	+	00	49	45	
	78	307	27	42	–	02	10	00	
5	14	00	00	00	–	02	13	10	1,21
	3	55	35	11	–	00	00	00	
	17	87	37	18	+	01	07	28	
	16	119	09	37	+	04	10	02	
6	18	00	00	00	+	00	18	45	1,0
	19	94	37	45	+	00	04	05	
	15	120	39	35	+	00	00	00	
	20	147	52	29	–	00	25	45	
7	79	00	00	00	–	00	48	15	1,17
	65	28	56	52	+	00	37	00	
	80	83	17	25	+	00	41	30	
	15	141	20	08	+	01	53	26	
8	21	21	47	44	+	00	55	30	1,09
	22	65	26	41	–	00	00	00	
	23	95	38	32	+	01	29	12	
	24	115	57	50	+	00	57	02	

Продолжение приложения 3

Вариант	Опорный пункт	Измеренное направление			Измеренный угол наклона				Высота теодолита, м
		°	'	''	±	°	'	''	
9	25	89	39	11	+	01	42	28	1,33
	26	170	28	34	+	05	02	22	
	10	233	10	05	–	00	00	00	
	27	272	22	19	–	02	40	50	
10	81	129	08	51	+	01	37	54	1,21
	82	156	21	59	+	02	01	43	
	1	227	11	21	±	00	00	00	
	83	338	09	09	+	01	02	37	
11	28	00	00	00	–	00	00	00	1,14
	29	53	04	00	–	00	12	25	
	30	97	11	06	+	00	08	55	
	1	179	09	11	+	01	20	35	
12	31	00	00	00	–	00	00	00	1,17
	32	39	22	27	–	00	00	50	
	33	83	17	25	+	00	41	30	
	34	141	20	08	+	01	53	25	
13	35	233	10	05	–	01	01	12	1,33
	36	272	22	19	–	02	40	50	
	37	305	39	18	–	01	33	35	
	1	00	00	00	–	00	00	00	
14	84	00	00	00	–	02	13	10	1,21
	85	38	32	02	–	00	16	22	
	2	87	37	28	±	00	00	00	
	86	119	09	37	+	04	10	02	
15	38	149	00	14	–	00	28	40	1,32
	31	188	40	14	–	00	00	00	
	39	220	17	14	–	00	41	02	
	40	257	23	44	+	00	11	48	
16	41	73	21	33	+	01	41	32	1,21
	42	129	08	51	+	01	37	54	
	43	156	21	59	+	02	00	52	
	1	227	11	21	+	00	00	00	
17	87	00	00	00	+	00	21	00	1,04
	2	110	25	18	±	00	00	00	
	88	147	56	29	+	04	59	25	
	89	307	27	42	–	02	10	00	

Продолжение приложения 3

Вариант	Опорный пункт	Измеренное направление			Измеренный угол наклона				Высота теодолита, м
		°	'	"	±	°	'	"	
18	41	00	00	00	—	00	00	00	1,32
	47	48	00	56	+	01	13	20	
	48	149	00	14	—	00	28	40	
	49	220	17	14	—	00	41	02	
19	50	00	00	00	+	01	03	32	1,22
	51	65	49	21	—	00	44	20	
	1	98	50	57	+	00`	0	00	
	52	200	12	15	+	01	09	28	
20	1	00	00	00	—	00	00	00	1,33
	53	89	39	11	+	01	42	28	
	54	233	10	05	—	01	01	12	
	55	272	22	19	—	02	40	50	
21	90	00	00	00	—	00	27	22	1,32
	91	48	00	56	+	01	13	20	
	92	188	40	14	—	00	58	30	
	93	257	23	44	+	00	11	48	
22	56	307	27	42	—	02	10	00	1,04
	1	51	14	01	+	00	00	00	
	57	147	56	29	+	04	59	25	
	58	219	10	38	+	00	49	45	
23	67	00	00	00	+	00	21	00	1,04
	1	51	14	01	±	00	00	00	
	68	110	25	18	+	02	52	37	
	69	219	10	38	+	00	49	45	
24	47	48	00	56	±	00	00	00	1,32
	94	149	00	14	—	00	28	40	
	95	220	17	14	—	00	41	02	
	96	257	23	45	+	00	11	48	
25	59	307	27	42	—	02	10	00	1,04
	60	00	00	00	+	00	21	00	
	61	51	14	01	+	01	10	22	
	2	110	25	18	+	00	00	00	

Продолжение приложения 3

Вариант	Опорный пункт	Измеренное направление			Измеренный угол наклона				Высота теодолита, м
		°	'	"	±	°	'	"	
26	62	94	37	45	+	00	04	05	1,30
	23	120	39	35	+	00	00	00	
	63	147	52	29	–	00	25	45	
	64	182	57	53	–	01	50	05	
27	31	00	00	00	–	00	48	15	1,17
	65	28	56	52	+	00	37	00	
	66	47	53	47	–	04	54	52	
	19	83	17	25	+	00	00	00	
28	60	305	39	18	±	00	00	00	1,33
	44	00	00	00	–	00	23	48	
	45	89	39	11	+	01	42	28	
	46	170	28	34	+	05	02	22	
29	70	43	19	07	+	00	29	40	1,33
	71	89	39	11	+	01	42	28	
	5	170	28	34	+	00	00	00	
	72	233	10	05	–	01	01	12	
30	18	00	00	00	+	00	00	00	1,35
	73	44	58	15	–	02	14	52	
	74	94	37	45	+	00	04	05	
	75	147	52	29	–	00	25	45	