

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
Отделение школы (НОЦ) информационных технологий

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка и исследование алгоритмов решения геодезических задач на дирекционных измерениях</b>

УДК 004.421:528.2/.5:53.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Романова Татьяна Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Рыбалка Сергей Анатольевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШНКБ	Авдеева Ирина Ивановна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШИТР	Коваль Тамара Васильевна	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по направлению 01.04.02

### «Прикладная математика и информатика»

Код результата	Результат обучения
<b>Общекультурные компетенции</b>	
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
ОК-2	Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения.
ОК-3	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности.
ОПК-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия.
ОПК-3	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение.
ОПК-4	Способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики.
ОПК-5	Способность использовать углублённые знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной

	деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК-1	Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.
ПК-2	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач.
ПК-3	Способность углубленного анализа проблем, постановки и обоснования задач научной и проектно-технологической деятельности.
ПК-4	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности.
ПК-5	Способность управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта.
ПК-6	Способность организовывать процессы корпоративного обучения на основе технологий и развития корпоративных баз знаний.
ПК-7	Способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов
ПК-8	Способность разрабатывать корпоративные стандарты и профили функциональной стандартизации приложений, систем, информационной инфраструктуры.
ПК-9	Способность разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
Отделение школы (НОЦ) информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Коваль Т.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ61	Романовой Татьяне Александровне

Тема работы:

Разработка и исследование алгоритмов решения геодезических задач на дирекционных измерениях

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Технология проведения угловых геодезических измерений на местности; описание инструментов для геодезических измерений; методы формирования СЛАУ по угловым измерениям.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Исследование влияния методологии и погрешностей измерения и методов формирования СЛАУ на точность вычисления координат определяемой точки; Разработка процедур моделирования геодезических измерений и исследование погрешностей вычислений.
<b>Перечень графического материала</b>	Мультимедийная презентация в формате .pptx на ___ слайдах
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шаповалова Наталья Владимировна
Английский язык	Комиссарова Ольга Валентиновна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Рыбалка Сергей Анатольевич	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Романова Татьяна Александровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8БМ61	Романовой Татьяне Александровне

<b>Школа</b>	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	<b>Отделение</b>	Информационных технологий
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	01.04.02 Прикладная математика и информатика

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>стоимость расходных материалов.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>коэффициенты для расчёта заработной платы.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>отчисления во внебюджетные фонды (30%); расчёт дополнительной заработной платы (12%).</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	– <i>потенциальные потребители результатов исследования;</i> – <i>анализ конкурентных технических решений;</i> – <i>SWOT – анализ.</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	– <i>структура работ в рамках научного исследования;</i> – <i>определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования;</i> – <i>бюджет научно - технического исследования.</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>оценка сравнительной эффективности исследования.</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4.. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	07.03.2018 г
---	--------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Шаповалова Наталья Владимировна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8БМ61	Романова Татьяна Александровна		07.03.2018

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ61	Романовой Татьяне Александровне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Информационных технологий
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Объектом исследования являются дирекционные измерения. Результаты работы находят своё применение в маркшейдерии и геодезии. Рабочее место располагается в Кибернетическом центре ТПУ в 102 аудитории.</i>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</i>	<i>Анализ выявленных вредных факторов: - повышенный уровень электромагнитных излучений; - повышенная или пониженная влажность воздуха; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - отсутствие или недостаток естественного света; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - статические физические перегрузки; - нервно-психические перегрузки такие, как умственное перенапряжение, монотонность труда; Анализ выявленных опасных факторов: - статическое электричество; - короткое замыкание; Средства индивидуальной защиты.</i>
<i>2. Экологическая безопасность</i>	<i>Разрабатываемый объект не несёт негативного влияния на окружающую среду, потому что он не является материальным. Анализ негативного воздействия на литосферу: утилизация люминесцентных ламп, непригодных для работы компьютеров и другой оргтехники.</i>
<i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</i>	<i>Пожар. Обоснование мероприятий по предотвращению пожара и разработка порядка действия в случае его возникновения ЧС.</i>
<i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i>	<i>- Рабочее место при выполнении работ сидя регулируется ГОСТом 12.2.032 – 78 - Организация рабочих мест с электронно-вычислительными машинами регулируется СанПиНом 2.2.2/2.4.1340 – 03</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
--	------------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна			01.03.2018

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Романова Татьяна Александровна		01.03.2018

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120 с., 20 рис., 34 табл., 31 источников.

Ключевые слова: геодезия, маркшейдерия, угол, координата, обусловленность, СЛАУ.

Объектом исследования являются особенности технологии проведения геодезических и маркшейдерских измерений, методики выполнения расчётов.

Целью данной работы – разработка новых методов и алгоритмов выполнения расчётов при решении геодезических задач.

В процессе исследования проводились исследования влияния методологии измерений на точность определения неизвестной точки; сравнивались методики формирования матриц.

В результате исследования разрабатывались алгоритмы процедур решения задач геодезии с использованием СЛАУ; проектировались и реализовывались приложения по выполнению геодезических расчётов по результатам измерения углов на местности.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: высокий современный научный уровень, достаточная степень новизны и оригинальности, влечет снижение трудозатрат.

Степень внедрения: работа выполнена на актуальную тему. Планируется внедрение в организации в геодезические и маркшейдерские организации.

Областью применения: геодезические работы.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в уменьшении трудозатрат геодезистов, т.е. повышении скорости работы, увеличении точности результатов.

В будущем планируется результаты ВКР и разработанные программные модули использовать в работе геодезистов при расчётах координат геодезических пунктов, а также при исследовании предлагаемой методики расчётов.



## Определения

В работе используются следующие определения:

Геодезия – наука о методах и технике производства измерений на земной поверхности, выполняемых с целью изучения фигуры Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также решения различных прикладных задач.

Маркшейдерия – раздел горных наук, изучающий на основе измерений, вычислений, геометрических и графических построений размер, форму и другие параметры залежей полезных ископаемых, и пространственное положение горных выработок.

Измерение – процесс сравнения некоторой физической величины с другой однородной ей величиной, принятой за единицу меры.

Дирекционные измерения – вид геодезических измерений, в которых измеряемой геодезической величиной являются горизонтальные и (или) вертикальные углы.

Дирекционный угол – угол между проходящим через данную точку направлением и линией, параллельной оси абсцисс, отсчитываемый от северного направления оси абсцисс по ходу часовой стрелки.

Дистанционные измерения – измерения физических величин на расстоянии.

СЛАУ – система уравнений, каждое уравнение в котором является линейным – алгебраическим уравнением первой степени.

## Сокращения

СЛАУ – система линейных алгебраических уравнений;

ЭВМ – электронная вычислительная машина;

ВТ – вычислительная техника;

БД – база данных.

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	13
<b>1 Обзор литературы</b> .....	16
<b>2 Объекты и методы исследования</b> .....	19
<b>2.1 Геодезические измерения</b> .....	19
<b>2.2 Теодолитные ходы</b> .....	20
<b>2.3 Геодезические приборы</b> .....	23
<b>3 Решение задач геодезии</b> .....	27
<b>3.1 Постановка задачи</b> .....	27
<b>3.2 Геодезические задачи засечки</b> .....	29
<b>3.3 Решение задач засечки методами линейных уравнений</b> .....	32
<b>3.4 Решение задач засечки с учётом особенностей технологии проведения измерений</b> .....	39
<b>4 Разработка программ и исследование обусловленности</b> .....	42
<b>4.1 Выбор программной среды</b> .....	43
<b>4.2 Проведение экспериментов и анализ полученных результатов</b> .....	44
<b>5 Разработка Desktop приложения</b> .....	59
<b>6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....	66
<b>6.1 Предпроектный анализ</b> .....	66
6.1.1 SWOT-анализ.....	66
6.1.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	67
6.1.3 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	68
<b>6.2 Планирование управлением научно-технических проектом</b> .....	69
6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	69
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	70
6.2.3 Бюджет научно-технического исследования .....	74
6.2.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	79
<b>6.3 Оценка экономической эффективности проекта</b> .....	80
6.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР.....	80
<b>6.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</b> .....	83
<b>7 Социальная ответственность</b> .....	84

<b>7.1</b>	<b>Производственная безопасность</b> .....	84
7.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	84
<b>7.2</b>	<b>Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов</b> .....	85
<b>7.3</b>	<b>Экологическая безопасность</b> .....	93
7.3.1	Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	93
7.3.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	93
7.3.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	93
<b>7.4</b>	<b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b> .....	94
7.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	94
7.4.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	94
7.4.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	95
<b>7.5</b>	<b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b> .....	96
<b>7.6</b>	<b>Выводы по разделу «Социальная ответственность»</b> .....	98
	<b>Заключение</b> .....	100
	<b>Список литературы</b> .....	102
	<b>Приложение А</b> .....	105
	<b>Приложение Б</b> .....	119
	<b>Приложение В</b> .....	120
	<b>Приложение Г</b> .....	121

## ВВЕДЕНИЕ

Большое количество видов наземных работ опираются на результаты проведения геодезических и маркшейдерских измерений. Измерения в геодезии являются количественной и качественной основой для изучения форм Земли, отдельных ее фрагментов, для получения исходной информации при решении всех инженерно-геодезических задач и выполнения топографических работ. Любое измерение выражается количественной характеристикой (величиной угла, длиной линии, площадью участка местности и т.п.) и имеет качественную сторону, которая характеризует точность полученного результата. Маркшейдерская съёмка представляет собой совокупность угловых и линейных измерений на земной поверхности и в горных выработках, обеспечивающих после вычислений и графических построений получение пространственного положения объектов поверхности, горных выработок, параметров залегания полезного ископаемого, распределения его свойств, состояния геологической обстановки и т.п. Вышеперечисленные работы дают возможность получить информацию о рельефе местности, а также наличии инженерных коммуникаций, строений и т.д., когда такие работы выполняются на промышленных территориях или в жилой местности.

Результаты, полученные при проведении топографических, геодезических и маркшейдерских съёмках, требуют математической обработки и выполнения огромного количества расчётов. Целесообразность решения геодезических задач на компьютере продиктована следующими факторами: функциональной связью маркшейдерских задач с автоматизированной системой управления предприятия или отрасли; полученным экономическим эффектом; экономией труда специалистов высокой квалификации; ускорением процесса камеральной обработки результатов маркшейдерских измерений; увеличением точности результатов за счет применения более совершенных способов математической обработки; повышением качества документации.

Оперативное построение планов на плоскости, формирование пространственных изображений и автоматическое формирование документов по стандарту с помощью средств компьютерной графики, позволяет дополнительно оценивать специалисту качество проведенных измерений и результаты расчётов. При использовании портативной техники, это может выполняться непосредственно в полевых условиях. Увиденные недостатки позволят оперативно принять решение и выполнить дополнительные или повторные контрольные измерения.

Классические схемы решения геодезических задач являются трудоёмкими и плохо поддаются автоматизации. Учеными и практиками-геодезистами, ставится задача разработки новых технологий расчётов. Поэтому **актуальной** является задача, осуществления перехода на единую схему вычислений, активно использующую вычислительную технику.

**Целью** данной работы является разработка методов и алгоритмов выполнения расчётов при решении геодезических задач на основе дирекционных измерений на определяемую точку.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- разработать технологию решения геодезических задач с использованием методов линейной алгебры;
- создать процедуры решения задач геодезии с использованием систем линейных уравнений;
- провести исследование влияния методологии измерений на точность вычисления координат неизвестной точки;
- разработать отдельные процедуры для приложения по выполнению геодезических расчётов по результатам измерения углов на местности.

**Объектом исследования** являются особенности технологии проведения геодезических и маркшейдерских измерений, методики выполнения расчётов.

**Предметом исследования** является возможность повышения точности вычисления координат определяемой точки с использованием различных конфигураций измерений и методов вычислений.

**Научная и практическая новизна** работы заключается в том, что предлагается альтернативный подход к решению классических задач геодезии, опирающийся на автоматизированное формирование и решение систем линейных алгебраических уравнений.

**Практическая значимость результатов ВКР.** Результаты ВКР и разработанные программные модули предполагается использовать в работе геодезистов при расчётах координат геодезических пунктов, а также при исследовании предлагаемой методики расчётов.

## **1 Обзор литературы**

Геодезия и маркшейдерия являются неотъемлемой частью современного мира. Эти дисциплины являются близкими и в них решаются вопросы, которые во многом схожие между собой.

Наука геодезия одна из самых древнейших, предметом её исследования является формы и размеры Земли. Современная геодезия является многогранной наукой, решающей сложные научные, научно-технические и инженерные задачи путём специальных измерений, выполняемых при помощи геодезических и других приборов, и последующей математической и графической обработки результатов [1]. Геодезия прогрессирует благодаря многим научным дисциплинам, одно из которых является математика. Данная наука обеспечивает геодезию средствами анализа и методами обработки результатов измерений.

Исторически маркшейдерия явилась ответвлением науки геодезии применительно к горному делу и геологоразведочному делу. Маркшейдерское дело является разделом горной науки, включающим измерения на поверхности и в горных выработках, выполняемых при разведке и эксплуатации месторождений строительстве горных предприятий с целью построения планов и чертежей изучаемых объектов, а также для решения горно-геометрических задач [2].

По выше описанным дисциплинам написано большое количество специализированной литературы: сборников, учебников, методических рекомендаций, энциклопедий и т.д. В данных источниках рассматриваются всевозможные проблемы, касающиеся освоения вышеописанных наук: геодезии и маркшейдерии.

В первую очередь, чтобы ознакомиться с ключевыми моментами предложенных дисциплин, были изучены книги, учебники и другие материалы, в которых раскрываются базовые терминологические понятия и определения,



типовые задачи геодезии и маркшейдерии. В источниках [2–6] понятно и доступно описаны эти стороны маркшейдерского дела и геодезии.

Задача проведения измерений на земной поверхности занимает особое место в рассматриваемых дисциплинах. В данном вопросе затрагиваются следующие аспекты:

- местность, на которой проводятся измерения;
- приборы, с помощью которых данные замеры проводятся;
- погодные условия, сопровождающие геодезистов во время работы;
- стандарты, по которым осуществляется маркшейдерская или геодезическая съёмка;
- проведение регистрации замеров, занесение их в журнал.

Такие вопросы излагаются в [4–6, 12–14].

Проблема проведения расчётов на базе полученных измерений также является очень важной и находит своё отражение в литературных источниках. Первостепенным вопросом геодезии является решение задач по определению координат точек, лежащих в основе теодолитных или маркшейдерских ходов, опирающихся на решение классических задач прямой и обратной засечки. Основу этих задач составляют измерения, проведенные из нескольких точек с известными координатами, на точку с неизвестными координатами. С помощью современных технологий решение таких задач сводится к решению серии тригонометрических, так как две известные точки и одна неизвестная составляют геометрическую фигуру – треугольник. Классические методы решения задач геодезии опираются на решение серии задач тригонометрии и систем уравнений [5, 7].

При обработке маркшейдерской или геодезической информации большое значение имеет решение проблемы устранения невязок. Невязка – разность между значением функции, вычисленным по результатам измерений, и истинным её значением, возникающая вследствие неизбежных погрешностей измерений. Измерения, проводимые с различной степенью точности, не

позволяют рассчитывать точные координаты, дистанции или углы на маркшейдерские и геодезические объекты. Для этого разработаны и широко применяются уравнивательные вычисления, которые и устраняют несогласованность данных, полученных при избыточных измерениях с различной степенью точности [3,5,7].

Помимо классических методов расчётов на основе решения тригонометрических задач разрабатываются альтернативные способы проведения расчётов, которые представлены, в частности, в работах [8–11]. Эти технологии расчётов позволяют активно использовать средства вычислительной техники, резко снизить затраты ручного труда при проведении вычислений. И при этом задача расчётов совмещается с решением задачи уравнивания полученных результатов.

## **2 Объекты и методы исследования**

Геодезические работы включают в себя много важных аспектов, которые требуют рассмотрения. Например, это геодезические измерения, геодезические опорные сети, приборы и т.д.

### **2.1 Геодезические измерения**

В геодезии используют три основных вида измерений: линейные, угловые и высотные (нивелирование). Для определения расстояния между точками применяют линейные измерения. Угловые необходим для определения значений горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на заданные точки. Высотные или нивелирование применяют для определения превышений (разности высот) между двумя точками местности [16].

Для линейных и высотных измерений единицей измерения является метр, при угловых – градус, равный  $1/360$  части окружности. Он содержит 60 угловых минут, а минута – 60 угловых секунд. Также для угловых измерений единицей меры может служить радиан – величина центрального угла, стягиваемого дугой равной радиусу. В свою очередь, в современных автоматизированных угломерных приборах угловой единицей служит гон, равный 1 град или 54 угл. мин [16].

Методы измерения бывают прямые (непосредственные), дистанционные и косвенные (посредственные). Прямой метод осуществляют приборами, которые позволяют непосредственно сравнить измеряемую величину с единицей меры. Дистанционный метод осуществляется в виде сигналов (импульсов) с передачей результатов по индивидуальным каналам связи. Косвенные методы – это те, при которых определяемую величину находят путем вычислений по результатам прямых измерений вспомогательных величин – длин, углов и др., связанных с определяемой величиной математической зависимостью [16].

Обозначенные на местности точки, от которых выполняют геодезические измерения, называются исходными. Точки, положение которых

на местности необходимо определить, называют определяемыми. Исходные и определяемые точки могут располагаться в горизонтальной плоскости в плане (плановые точки) и вертикальной – по высоте (высотные точки) [16].

## **2.2 Теодолитные ходы**

В геодезии теодолитным ходом называю систему надёжно зафиксированных точек и линий, которые представляют собой многоугольник. В нём теодолитом измерены поворотные углы (правые по ходу) и вычислены координаты. Расстояния между точками измерены лентой или дальномером с соответствующей точностью 1/2000, 1/1000.

При прокладке теодолитных ходов на местности закрепляют вершины, измеряют горизонтальные углы, длины сторон и их углы наклона.

Теодолитные ходы привязываются к пунктам опорной геодезической сети. Это выполняется для того, чтобы вершины теодолитных ходов были определены в существующей системе координат. Привязка может быть осуществлена различными способами. В результате ее выполнения на стороны и вершины теодолитного хода должны быть переданы дирекционный угол и координаты  $x$ ,  $y$ .

Виды теодолитных ходов:

- замкнутый;
- разомкнутый;
- висячий;
- диагональный.

Рассмотри каждый из этих ходов поподробнее.

Замкнутым называют такой ход, при котором начальная и конечная точки совпадают. На рисунке 1 представлен замкнутый теодолитный ход.

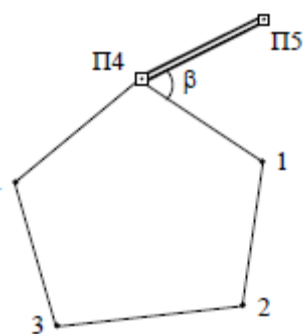


Рисунок 1 – Замкнутый ход П4-1-2-3-4

Координаты начальной и конечной точки известны потому, что эта точка является пунктом ранее созданной плановой геодезической сети более высокой точности. Замкнутые ходы ещё называют полигонами. Их используют при съёмках небольших участков местности.

Разомкнутый теодолитный ход – это такой ход, начало и конец которого опираются на существующие опорные пункты с известными координатами. На рисунке 2 приведён разомкнутый ход.

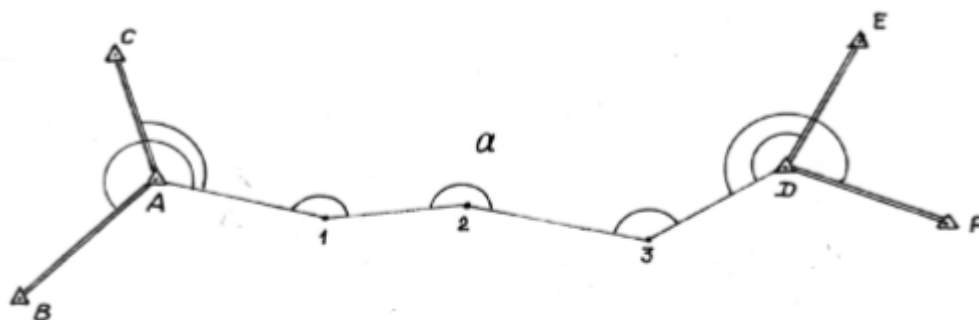


Рисунок 2 – Разомкнутый теодолитный ход

Разомкнутые теодолитные ходы используют при топографической съёмке вытянутых участков местности, при съёмках рек, съёмках под строительство линейных инженерных сооружений и т.п.

Висячим теодолитным ходом называют разомкнутый ход, который опирается на точку с известными координатами только одним из концов. На рисунке 3 представлен висячий ход, где  $\beta$  – примычный угол. Примычный угол – это угол между линиями опорной геодезической сети и начальной (конечной) линией прокладываемого хода.

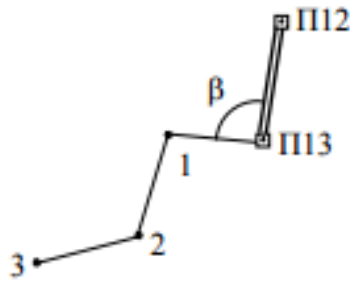


Рисунок 3 – Висячий ход П13-1-2-3

Такие построения часто используют на застроенных территориях при съёмках глухих дворов, тупиков и т.п. Висячий ход полностью является бесконтрольным для окончательных результатов (координат и высот).

Диагональный теодолитный ход прокладывают в том случае, если нет возможности с точек основного хода выполнить съёмку всего участка. На рисунке 4 представлен диагональный ход.

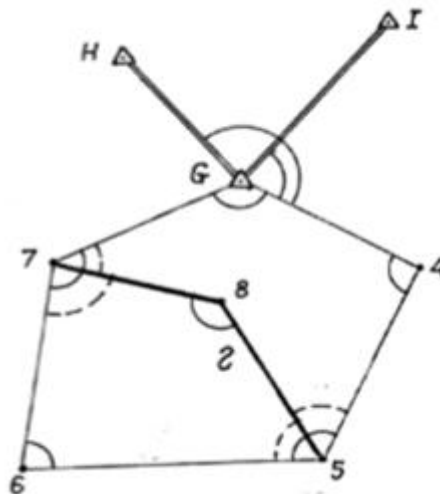


Рисунок 4 – Диагональный теодолитный ход 7 – 8 – 5

Данный теодолитный ход по принципу построения похож на разомкнутый, но опирающемся на точки и линии основного теодолитного хода.

Теодолитных ход является неотъемлемой частью работы геодезиста и в зависимости от места его построения существуют различные его вариации.

Для получения координат точек теодолитных ходов в общегосударственной системе координат и для осуществления контроля измерений теодолитные ходы следует привязать к пунктам геодезической

опорной сети [1]. Геодезическая опорная сеть – это совокупность зафиксированных на земной поверхности пунктов, положение которых определено в единой системе координат. Положение опорных пунктов на местности может определяться астрономическим, геодезическим, спутниковым (космическим) и другим способами [1].

### **2.3 Геодезические приборы**

Для нахождения каждого типа измерений линейного, высотного или углового необходимы определённые приборы. Для линейных измерений используют различного вида рулетки, землемерные ленты, дальномеры, светодальномеры и т.д. Для высотных измерений используют разного рода нивелиры, нивелирные рейки и т.д.

Для проведения угловых измерений используют теодолиты. Теодолиты – это специальные приборы, которые предназначены для проведения измерений горизонтальных и вертикальных углов на местности. Горизонтальным углом называют ортогональную проекцию пространственного угла на горизонтальную плоскость. Угол наклона или вертикальный угол – это угол, заключенный между наклонной и горизонтальной линиями [16].

В современном мире в зависимости от конструкции угломерной части теодолита и способа отсчитывания по ней углов все теодолиты делятся на оптические и электронные.

В зависимости от допускаемой погрешности измерения горизонтального угла одним приемом в лабораторных условиях теодолиты подразделяют на следующие типы и группы:

- Т1, высокоточные;
- Т2 и Т5, точные;
- Т15, Т30 и Т60, технические.

Теодолиты серии 3Т являются одними из приоритетных, потому что являются высокопроизводительными, удобными в работе, многофункциональными угломерными приборами.

Оптический теодолит Т1 – это высокоточный оптический прибор. Его предназначением является замеры горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции, углов при выполнении инженерно-геодезических работ высокой точности и для астрономических наблюдений. Теодолит Т1 представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Теодолит Т1

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приёмом составляет для горизонтальных углов  $1,5''$ , для зенитных расстояний –  $4''$ .

Для измерения углов в геодезических сетях сгущения, съёмочных сетях, в строительстве, для проведения изыскательских работ, теодолитных съёмок, измерения в прикладной геодезии и определения магнитных азимутов применяют теодолиты типа ЗТ5КП. Данный тип теодолита представлен на рисунке 6.



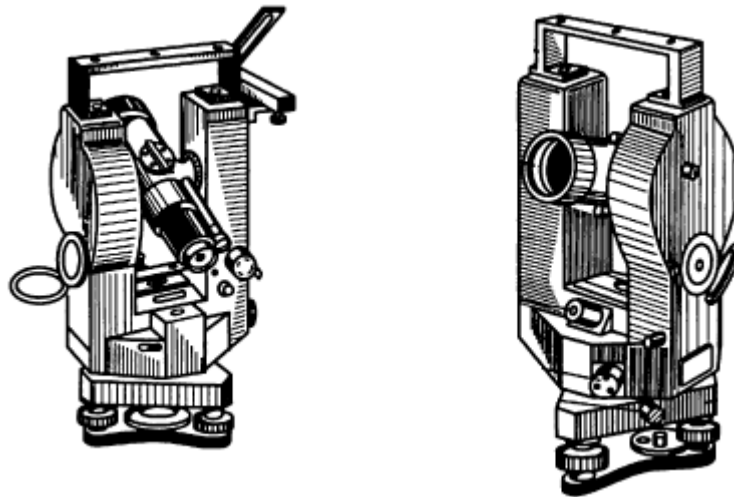


Рисунок 6 – Теодолиты типа 3Т5КП

Данный прибор имеет невысокую точность вычислений, его угломерная точность (горизонтального и вертикального углов) 5 секунд (5").

Теодолит Т15 – оптический угломерный прибор технической точности. Данный прибор используют для измерения углов при построении сетей, проведении изыскательских, строительных, маркшейдерских, лесотехнических, мелиоративных, землеустроительных и других работ. На рисунке 7 представлен теодолит Т15.



Рисунок 7 – Теодолит Т15

Данный теодолит обладает технической точностью измерения горизонтальных углов одним приёмом – 15", вертикальных углов – 20".

Существует большое количество теодолитов с различной точностью, в данной работе описаны только 3. Из представленных приборов можно сделать вывод, что точность замеров напрямую зависит от того, каким прибором будут проводиться измерения. Точность измерения горизонтальных и вертикальных углов теодолитами варьируется от 1,5" до 60" (от 1,5 до 60 секунд).

Погрешность измерений зависит не только от точности прибора, но и от погодных условий во время проведения замеров; от особенностей местности, на которой проводят измерения; от того, как установили прибор и т.д. Достигнуть минимальной погрешности на этом этапе можно благодаря качественному выполнению процедуры измерения. При выполнении вычислений необходимо использовать такие методы, чтобы эта погрешность не возрастала.

### **3 Решение задач геодезии**

Разнообразные виды работ в строительстве, добычи полезных ископаемых и т.п. сопровождаются геодезическими исследованиями. Такие исследования состоят из этапов измерения и расчётов по результатам измерений. Существует большой набор различных задач геодезии, которые необходимо решать. Традиционно эти задачи решаются с помощью тригонометрических функций и нелинейных уравнений. Как правило, эти задачи опираются на задачу засечки, которая для них является базовой. Предлагается новый подход к выполнению расчётов для этой задачи, а именно решать методами линейной алгебры.

#### **3.1 Постановка задачи**

Технологическая цепочка получения координат определяемой точки по результатам измерений от известных точек включает в себя несколько этапов:

- проведение измерений;
- формирование систем линейных уравнений;
- выполнение расчётов по результатам измерений.

И на этапе проведения измерений, и на этапе выполнения расчётов возникают погрешности. Погрешность результата напрямую зависит от точности проведенных измерений. А в зависимости от используемых методик выполнения расчётов погрешность результата может быть низкой, а может быть высокой. В частности, если используемая технология является неустойчивой, то при малых возмущениях исходных данных результат будет сильно отклоняться от точного значения. Поэтому необходимо всесторонне исследовать фазы получения исходных данных в виде результатов измерений и расчётов.

В данной работе проводится исследование зависимости погрешностей вычисления координат неизвестной точки от погрешностей геодезических измерений и геометрии известных точек.

Для проведения таких исследований необходимо иметь серию измерений, проведённых для разных конфигураций известных точек, разного положения по отношению к неизвестной точке, а также процедуры для выполнения полного цикла вычислений и накопления статистических данных. Накопление большого количества измерений на местности в разных топографических условиях является дорогостоящей задачей. Поэтому в работе реализуется синтез данных, имитирующих проведение геодезических угловых измерений. Для этого необходимо сгенерировать набор координат известных точек и соответствующий набор результатов измерений на неизвестную точку. Поэтому задача исследования разбивается на четыре этапа:

- разработка процедур формирования точек с известными координатами для заданной неизвестной точки;

- создание процедур формирования результатов измерений для заданной конфигурации известных точек. На этом этапе входными данными будут и координаты неизвестной точки, чтобы получить значение результатов точных измерений. Помимо этого, такая процедура должна имитировать результаты измерений, полученных с использованием приборов, имеющих заданную точность;

- разработка процедур проведения расчётов координат неизвестной точки по синтезированным результатам измерений. Такая процедура должна выполнять весь цикл вычислений, используемых при расчётах координат неизвестной точки;

- проведение серии расчётов и накопление статистических данных, характеризующих используемую методику.

Для выполнения таких исследований достаточно использовать известные математические пакеты, такие как MATLAB и Mathcad. Это позволяет разрабатывать и запускать отдельные процедуры, легко их модифицировать для генерации различных наборов известных точек и результатов измерений в различных условиях. Кроме того, это позволяет

отработать алгоритмы формирования коэффициентов СЛАУ и векторов свободных коэффициентов, а также решать сформированные системы средствами пакетов.

Изготовление программ в виде исполняемых модулей на данном этапе представляется более громоздким и менее гибким для проведения серии различных экспериментов. Более того, наличие программы решения задачи расчётов, реализованной в стандартном математическом пакете, позволит намного проще разработать и протестировать комплексную программу выполнения расчётов по геодезическим данным.

### 3.2 Геодезические задачи засечки


Задача на определение координат засечки является одной из важнейших в геодезии. Засечка – способ нахождения координат новых пунктов, по результатам измерений, связывающих их положение с исходными объектами, чьи координаты известны. Для определения планового положения точки необходимо измерить два элемента. Для контроля, кроме необходимых, выполняют избыточные измерения. Засечки различают прямые, обратные и комбинированные. В прямой засечке измерения выполняют на исходных пунктах; в обратной – на определяемом пункте; в комбинированной – на исходных и определяемом пунктах. В зависимости от вида измерений засечки бывают угловые, линейные, линейно-угловые [17].


При рассмотрении задач подробнее необходимо знать условные обозначения, которыми пользуются геодезисты. Они выглядят следующим образом:

 – исходная сторона триангуляции;

 – исходный геодезический пункт;

 – определяемый пункт;

 – базис;

 – стороны триангуляции с двусторонними направлениями;

..... – односторонние направления.

Рассмотрим задачу прямой угловой засечки. На исходных пунктах  $A$  и  $B$  измеряют углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Координаты пунктов  $x_A, y_A, x_B, y_B$ . На рисунке 8 представлена прямая угловая засечка.

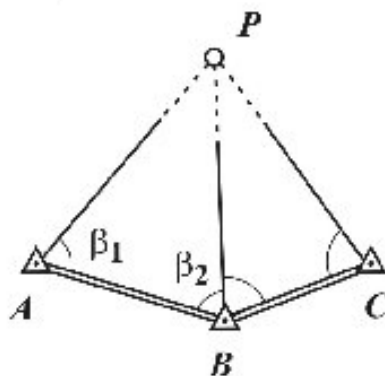


Рисунок 8 – Прямая угловая засечка

При обработке измерений в первую очередь вычисляют дирекционные углы направлений  $AP$  и  $BP$ :

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \beta_1; \alpha_{BP} = \alpha_{BA} + \beta_2.$$

Формулой обратной геодезической засечки связаны координаты с дирекционными углами:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AP} = \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A}; \operatorname{tg} \alpha_{BP} = \frac{y_P - y_B}{x_P - x_B}.$$

Получив решение этих уравнений относительно  $x_P$  и  $y_P$ , выходят формулы, для вычисления координаты определяемой точки  $P$  (формулы Гаусса):

$$x_P = \frac{x_A \operatorname{tg} \alpha_{AP} - x_B \operatorname{tg} \alpha_{BP} + y_B - y_A}{\operatorname{tg} \alpha_{AP} - \operatorname{tg} \alpha_{BP}}; \quad (1)$$

$$y_P = y_A + (x_P - x_A) \operatorname{tg} \alpha_{AP}.$$

Для проверки  $y_P$  вычисляется дополнительно по следующей формуле:

$$y_P = y_B + (x_P - x_B) \operatorname{tg} \alpha_{BP}.$$

Если один из дирекционных углов  $\alpha_{AP}$  или  $\alpha_{BP}$  близок к  $90^\circ$  или  $270^\circ$ , то вычисления выполняются по формулам

$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \alpha_{AP} - y_B \operatorname{ctg} \alpha_{BP} + x_B - x_A}{\operatorname{ctg} \alpha_{AP} - \operatorname{ctg} \alpha_{BP}};$$

$$x_P = x_A + (y_P - y_A) \operatorname{ctg} \alpha_{AP} = x_B + (y_P - y_B) \operatorname{ctg} \alpha_{BP}.$$

Для проверки выполняют аналогичные измерения и вычисления, опираясь на другую исходную сторону  $BC$ . За окончательные значения координат определяемой точки принимают средние.

Рассмотрим обратную угловую засечку. Она представлена на рисунке 9.

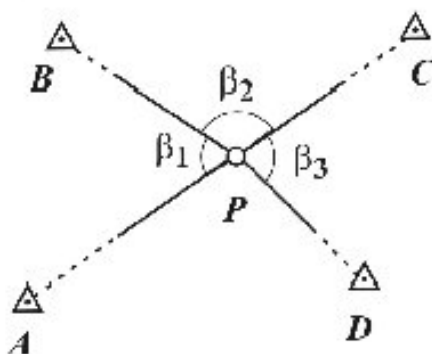


Рисунок 9 – Обратная угловая засечка

На определяемой точке  $P$  измеряют углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  между направлениями на исходные пункты  $A$ ,  $B$  и  $C$ . При этом исходные пункты выбирают такие, чтобы они с точкой  $P$  не оказались на одной окружности или вблизи нее. Координаты точки  $P$  вычисляют по формулам Гаусса, предварительно вычислив дирекционные углы:

$$\operatorname{tg} \alpha_{BP} = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_1 - y_B (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) + y_C \operatorname{ctg} \beta_2 + x_A - x_C}{x_A \operatorname{ctg} \beta_1 - x_B (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) + x_C \operatorname{ctg} \beta_2 + y_A - y_C};$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{BP} - \beta_1.$$

Для проверки измеряют избыточный угол  $\beta_1$  и вычисляют координаты, используя другую пару измеренных углов.

Рассмотрим линейную засечку. Она представлена на рисунке 10.

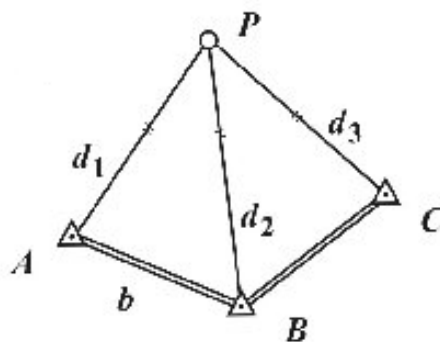


Рисунок 10 – Линейная засечка

Для определения координат точки  $P$  измеряют расстояния  $d_1$ ,  $d_2$ . По формуле косинусов находят углы треугольника  $APB$ . Вычисляют дирекционный угол  $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \Delta A$ . После этого по формулам прямой геодезической задачи находят искомые координаты

$$x_P = x_A + d_1 \cos \alpha_{AP}; y_P = y_A + d_1 \sin \alpha_{AP}.$$

Для проверки измеряют избыточное расстояние  $d_3$  и вычисляют координаты из другого треугольника  $BPC$ .

### 3.3 Решение задач засечки методами линейных уравнений

Рассмотрим другой подход к решению классических задач геодезии – задачи с угловыми и задачи с дистанционными измерениями на определяемую точку.

Задача с угловыми измерениями звучит так: даны два угловых измерения от двух точек  $X_1$  и  $X_2$ , с известными координатами, на точку  $X_z$ , с неизвестными координатами. Требуется определить координаты точки  $X_z$ . В источниках приводится решение такой задачи через использование тригонометрических функций. Будем полагать, что все измерения произведены на плоскости, а углы и координаты заданы в декартовой системе координат [15].

Пусть при наблюдении из точки  $X_1$  на точку  $X_z$  был получен полярный угол  $\alpha_1$ . Тогда исходная точка  $X_1$  может быть записана как вектор-столбец:



$X_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}$ , а неизвестная точка вектором  $X_Z = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ . А угол наблюдения  $\alpha_1$

может быть выражен вектором  $P_1 = \begin{pmatrix} x_{p1} \\ y_{p1} \end{pmatrix}$  или  $P_1 = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 \\ \sin \alpha_1 \end{pmatrix}$ . Тогда координаты

неизвестной точки  $X_Z$  будут вычисляться как

$$X_Z = X_1 + c_1 P_1. \quad (2)$$

Аналогично при наблюдении из точки  $X_2$  на точку  $X_Z$  под углом  $\alpha_2$

будут получены данные:  $X_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix}$ ,  $P_2 = \begin{pmatrix} x_{p2} \\ y_{p2} \end{pmatrix}$ , координаты неизвестной точки

$X_Z$  будут вычисляться как

$$X_Z = X_2 + c_2 P_2. \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) видно, что правые части равны и можно получить, что

$$X_1 + c_1 P_1 = X_2 + c_2 P_2. \quad (4)$$

Уравнение (4) можно переписать в другом виде

$$X_2 - X_1 = c_1 P_1 - c_2 P_2 \quad (5)$$

или

$$X_2 - X_1 = P \begin{pmatrix} c_1 \\ -c_2 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Здесь  $P$  – матрица, сформированная как вектор-строка состоящий из

столбцов  $P_1$  и  $P_2$ :  $P = \left( \begin{pmatrix} x_{p1} \\ y_{p1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{p2} \\ y_{p2} \end{pmatrix} \right)$ .

Не изменяя уравнения (6), вектор коэффициентов  $\begin{pmatrix} c_1 \\ -c_2 \end{pmatrix}$  в правой

части, можно искусственно записать как произведение  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$  или  $I' \cdot C$ ,

где  $C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$  – вектор-столбец коэффициентов, а  $I' = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$  – инволютивная

матрица. Тогда уравнение (5) можно записать в виде

$$X_2 - X_1 = P \cdot I' \cdot C.$$

После вычисления необходимых параметров и выполнения преобразований координаты новой точки  $X_Z$  можно определять как из уравнения (2), так и (3).

Классические задачи геодезии и маркшейдерии для дистанционных и угловых измерений аналогично выстраиваются и для пространственных измерений. Для дирекционной задачи также достаточно наличие минимум двух угловых измерений, но такие прямые в общем случае скрещиваются, а не пересекаются. И тогда решение классических задач геодезии с использованием СЛАУ основано на следующем математическом подходе. По результатам измерений на местности могут быть получены координаты известной точки  $X_i$  и измеренный из нее вектор направления  $P_i$  на неизвестную точку  $X_Z$ . Они определяют уравнение прямой, проходящей через точки  $X_Z$  и  $X_i$ :

$$X_Z = X_i + d_i \cdot P_i, \quad (7)$$

где  $X_Z$  – координаты произвольной точки, принадлежащей данной прямой,

$d_i$  – скаляр, определяющий расстояние от точки  $X_i$  до  $X_Z$ .

Минимально необходимое количество измерений для определения координат неизвестной точки равно двум (точка пересечения двух лучей, исходящих из  $X_i$  и  $X_2$  на  $X_Z$ ).

Решение этой задачи на минимально необходимом количестве измерений может быть такое. Из выражения (7) для двух точек можно составить уравнение вида:

$$X_1 + d_1 \cdot P_1 = X_2 + d_2 \cdot P_2, \quad (8)$$

которое приводятся к системе двух линейных уравнений.

Каждая пара точек  $X_i$  и  $X_j$  даст уравнение вида (8), соответственно система линейных уравнений преобразуется к виду:

$$\tilde{P} \cdot \tilde{D} = \tilde{X},$$

где матрица системы формируется из векторов наблюдения:

$$\tilde{P} = \begin{pmatrix} P_1 & -P_2 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ P_1 & 0 & -P_3 & 0 & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots & \dots \\ P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & -P_n \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & P_{n-1} & -P_n \end{pmatrix},$$

а вектор правой части из координат известных точек:

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} X_2 - X_1 \\ X_3 - X_1 \\ \vdots \\ X_n - X_{n-1} \end{pmatrix}.$$

Вычисляемый вектор неизвестных равен:

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}.$$

Оценка вектора неизвестных  $\tilde{D}$  может быть получена в виде  $\bar{D} = \tilde{P}^+ \cdot \tilde{X}$ .

Другой подход к решению геодезической задачи на угловых измерениях основан на поиске таких точек на этих прямых, расстояние между которыми будет минимальным. Из функции, определяющей расстояние между двумя точками, лежащими на двух прямых:

$$I(d_1, d_2) = (X_1 + d_1 \cdot P_1 - X_2 - d_2 \cdot P_2)^T \cdot (X_1 + d_1 \cdot P_1 - X_2 - d_2 \cdot P_2), \quad (9)$$

где неизвестными являются также скаляры  $d_1$  и  $d_2$ . Необходимым и достаточным условием экстремума является равенство нулю частных производных по аргументам. Приравняв их к нулю и, разрешив относительно  $d_1$  и  $d_2$ , получим систему уравнений:

$$\begin{cases} d_1 \cdot P_1^T \cdot P_1 - d_2 \cdot P_1^T \cdot P_2 = (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ -d_1 \cdot P_1^T \cdot P_2 + d_2 \cdot P_2^T \cdot P_2 = (X_1 - X_2)^T \cdot P_2 \end{cases}$$

Отсюда следует  $d_1 = \frac{B^T \cdot (P_1 - a \cdot P_2)}{1 - a^2}$  и  $d_2 = \frac{B^T \cdot (a \cdot P_1 - P_2)}{1 - a^2}$ , где  $a = P_1^T \cdot P_2$  – известная скалярная величина и  $B = X_2 - X_1$  – известный вектор.

Решения не существует при  $a=1$ , что соответствует параллельности направлений  $P_1$  и  $P_2$ . При этом вывод решения не зависит от размерности пространства оценок, т.е. одинаков и для планарной, и для пространственной задачи.

Для множества точек с известными координатами расстояние записывается следующим выражением:

$$\begin{aligned} I(d_i, d_j) = & X_i^T \cdot X_i + d_i^2 \cdot P_i^T \cdot P_i + X_j^T \cdot X_j + d_j^2 \cdot P_j^T \cdot P_j + 2d_i \cdot X_i^T \cdot X_j - \\ & - 2X_i^T \cdot X_j - 2d_j \cdot X_i^T \cdot P_j - 2d_i \cdot X_j^T \cdot P_i - 2d_i d_j \cdot P_i^T \cdot P_j + 2d_j \cdot X_j^T \cdot P_j, \end{aligned}$$

где  $i = 1, \dots, n-1$ ,  $j = i+1, \dots, n$ . Частные производные от этих выражений:

$$\frac{\partial I(d_i, d_j)}{\partial d_i} = 2d_i \cdot P_i^T \cdot P_i - 2(X_j - X_i)^T \cdot P_i - 2d_j \cdot P_i^T \cdot P_j.$$

Приравняв их к нулю приходим к системе уравнений вида  $\tilde{P} \cdot \tilde{D} = \tilde{X}$ , где матрица системы

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} P_1^T \cdot P_1 & -P_1^T \cdot P_2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & -P_1^T \cdot P_3 & 0 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & & \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & -P_1^T \cdot P_n \\ & & \vdots & & & \\ 0 & \dots & 0 & 0 & P_{n-1}^T \cdot P_{n-1} & -P_{n-1}^T \cdot P_n \end{vmatrix},$$

вектор правой части

$$\tilde{X} = \begin{vmatrix} (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 - X_1)^T \cdot P_1 \\ \vdots \\ (X_n - X_{n-1})^T \cdot P_{n-1} \end{vmatrix},$$

а вычисляемый вектор неизвестных так же

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}.$$

Для решения таких переопределенных систем можно использовать численные методы, например, применение обобщенной обратной или псевдообратной матрицы.

В векторной форме получаем  $N=C_n^2$  уравнений, а размерности матриц и векторов

$$(N \times n) \cdot (n \times 1) = (N \times 1).$$

Для реализации процедуры формирования матрицы коэффициентов и вектора свободных членов векторной формы записи недостаточно. Поэтому необходимо представить эти объекты в подробной форме – покоординатной.

Для первого варианта решения задачи в векторной форме система имеет  $N=C_n^2$  (число сочетаний по 2). В покоординатной форме каждая строка расписывается в три строки. Тогда имеем  $3N$  уравнений, матрицы размеров

$$(3N \times n) \cdot (n \times 1) = (3N \times 1).$$

Матрицы при этом записываются в виде

$$\mathfrak{N} = \begin{vmatrix} x_{P1} & -x_{P2} & 0 & \vdots & 0 \\ y_{P1} & -y_{P2} & 0 & \vdots & 0 \\ z_{P1} & -z_{P2} & 0 & \vdots & 0 \\ x_{P1} & 0 & -x_{P3} & \vdots & 0 \\ y_{P1} & 0 & -y_{P3} & \vdots & 0 \\ z_{P1} & 0 & -z_{P2} & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ x_{P1} & 0 & 0 & \vdots & -x_{Pn} \\ y_{P1} & 0 & 0 & \vdots & -y_{Pn} \\ z_{P1} & 0 & 0 & \vdots & -z_{Pn} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ 0 & 0 & \vdots & x_{Pn-1} & -x_{Pn} \\ 0 & 0 & \vdots & y_{Pn-1} & -y_{Pn} \\ 0 & 0 & \vdots & z_{Pn-1} & -z_{Pn} \end{vmatrix}; \mathfrak{R} = \begin{vmatrix} x_{P2} - x_{P1} \\ y_{P2} - y_{P1} \\ z_{P2} - z_{P1} \\ x_{P3} - x_{P1} \\ y_{P3} - y_{P1} \\ z_{P3} - z_{P1} \\ \dots \\ x_{Pn} - x_{P1} \\ y_{Pn} - y_{P1} \\ z_{Pn} - z_{P1} \\ \dots \\ x_{Pn} - x_{Pn-1} \\ y_{Pn} - y_{Pn-1} \\ z_{Pn} - z_{Pn-1} \end{vmatrix};$$

$$D = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_n \end{vmatrix}.$$

Второй вариант решения задачи в покоординатной форме записывается

как

$$\mathfrak{N} = \begin{vmatrix} x_{P1}^2 + y_{P1}^2 + z_{P1}^2 & -x_{P1}x_{P2} - y_{P1}y_{P2} - z_{P1}z_{P2} & \dots & 0 \\ x_{P1}^2 + y_{P1}^2 + z_{P1}^2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{P1}^2 + y_{P1}^2 + z_{P1}^2 & 0 & 0 & -x_{P1}x_n - y_{P1}y_n - z_{P1}z_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & x_{n-1}^2 + y_{n-1}^2 + z_{n-1}^2 & -x_{Pn-1}x_n - y_{Pn-1}y_n - z_{Pn-1}z_n \end{vmatrix};$$

$$\mathfrak{R} = \begin{vmatrix} (x_2 - x_1)x_{P1} + (y_2 - y_1)y_{P1} + (z_2 - z_1)z_{P1} \\ (x_3 - x_1)x_{P1} + (y_3 - y_1)y_{P1} + (z_3 - z_1)z_{P1} \\ \vdots \\ (x_n - x_{n-1})x_{Pn-1} + (y_n - y_{n-1})y_{Pn-1} + (z_n - z_{n-1})z_{Pn-1} \end{vmatrix}.$$

Здесь количество уравнений как в покоординатной, так и векторной форме равно  $N$ .

Такая форма записи позволяет легко реализовывать процедуры формирования матриц как в математических пакетах, так и в средах разработки программ.

### 3.4 Решение задач засечки с учётом особенностей технологии проведения измерений

Системы уравнений построены исходя из условия, что измерения проводятся из одного геодезического пункта на другой. В действительности, измерения проводятся из центра измерительного прибора на некоторую точку геодезической рейки.

При проведении одиночного измерения геодезист фиксирует смещение центра прибора от геодезического пункта. Это смещение можно перевести в математический пространственный вектор. Обозначим векторы смещения от пункта, где стоит прибор, как  $\Omega_i$  или  $\Omega_Z$  в зависимости от того это известная точка или неизвестная. А смещение в пункте приёма как  $\square_i$  или  $\square_Z$ .

Построим систему для случая, когда все измерения проводились от известных точек на неизвестную. Для первого варианта одно уравнение записывается как

$$(X_i + \Omega_i) + d_i \cdot P_i = (X_j + \Omega_j) + d_j \cdot P_j.$$

Тогда получаем систему в виде

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} P_1 & -P_2 & \dots & 0 \\ P_1 & 0 & -P_3 & 0 \\ P_1 & 0 & \dots & -P_n \\ 0 & 0 & P_{n-1} & -P_n \end{vmatrix}, B = \begin{vmatrix} X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1 \\ X_3 + \Omega_3 - X_1 - \Omega_1 \\ \vdots \\ X_n + \Omega_n - X_{n-1} - \Omega_{n-1} \end{vmatrix}.$$

для неизвестных коэффициентов

$$D = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_n \end{pmatrix}.$$

Таким образом при составлении системы учитываются смещения только на известных точках. Но искомое решение суть точка  $X_Z$ . Её значение определяется для каждого найденного  $d_i$  из выражения

$$X_Z + \square_Z = X_i + \square_i + d_i P_i.$$

Тогда искомая величина есть

$$X_Z = X_i + \square_i + d_i P_i - \square_Z.$$

Для второго варианта матрица коэффициентов также не зависит от координат точек

$$\tilde{P} = \begin{pmatrix} P_1^T \cdot P_1 & -P_1^T P_2 & 0 & \dots & 0 \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & -P_1^T P_3 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & \dots & 0 & -P_1^T P_n \\ & & \vdots & & \\ 0 & \dots & 0 & P_{n-1}^T P_{n-1} & -P_{n-1}^T P_n \end{pmatrix},$$

А вектор свободных членов зависит

$$X^0 = \begin{pmatrix} (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 - X_1)^T \cdot P_1 \\ M \\ (X_{n-1} - X_n)^T \cdot P_{n-1} \end{pmatrix},$$

Поэтому для случая учитывающего, что измерения проводятся в стороне от геодезического пункта, вектор записывается как

$$B = \begin{pmatrix} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 + \Omega_3 - X_1 - \Omega_1)^T \cdot P \\ \vdots \\ (X_n + \Omega_n - X_{n-1} - \Omega_{n-1})^T \cdot P_{n-1} \end{pmatrix}.$$



И аналогично первому варианту искомая величина будет вычисляться по выражению

$$X_z = X_i + \Omega_i + d_i P_i - \square_z.$$

Построение СЛАУ с учётом смещения точек, между которыми проводились измерения, от геодезических пунктов позволяет проектировать программу, которая лучше учитывает специфику геодезических работ.

Данный раздел переведён на английский язык и представлен в приложении А.

#### 4 Разработка программ и исследование обусловленности

Решения задач, которые опираются на решение СЛАУ, зависят и от свойств матрицы коэффициентов.

Известно, что решение системы линейных уравнений  $Ax=b$  существует и единственно, если детерминант квадратной матрицы  $A$  не равен 0. Система называется вырожденной в случае, если определитель матрицы  $A$  равен 0. В общем случае, когда матрица не квадратная, качество решения системы оценивают по обусловленности матрицы коэффициентов. Матрица плохо обусловлена, если её определитель не равен 0, но число обусловленности очень велико. Обусловленность численно оценивает насколько близка матрица коэффициентов к вырожденной. Число обусловленности  $cond(A)$  – количественная оценка обусловленности. Число обусловленности всегда  $\geq 1$ . Если  $cond(A) \geq 10^3$ , то матрица  $A$  плохо обусловлена. Матрица хорошо обусловлена, если число обусловленности  $1 \leq cond(A) \leq 100$ .

Формула оценки числа обусловленности для произвольной матрицы

$A: cond(A) = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$ , где  $\sigma_i$  – сингулярные числа матрицы  $A$ ;  $\sigma_i = +\sqrt{\mu_i}$ , где  $\mu_i$  –

собственные числа матрицы  $A^T A$ ;  $A^T A$  – симметричная неотрицательно определённая матрица.

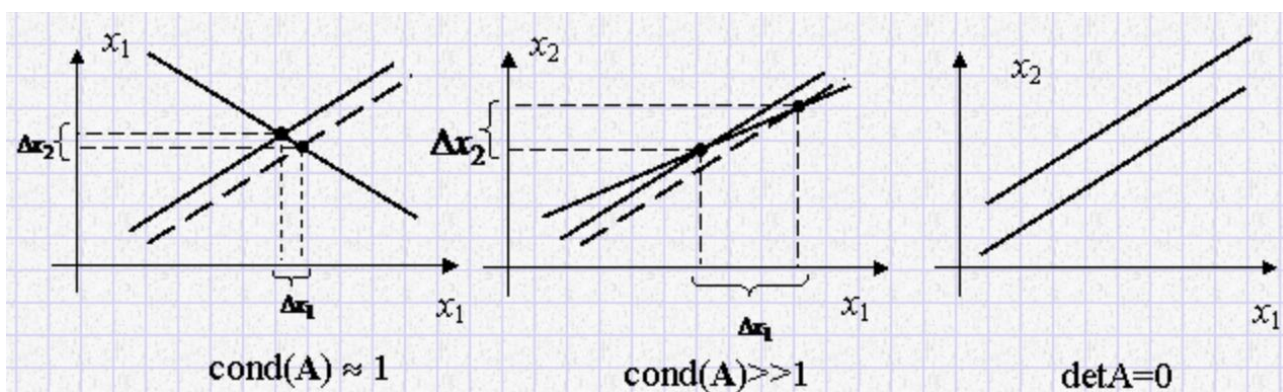


Рисунок 11 – Графики СЛАУ с двумя неизвестными:

а – хорошо обусловленная; б – плохо обусловленная; в – вырожденная система уравнений.

В итоге результатом решения задачи является оценка искомого истинного значения. Погрешность оценки решения линейной системы определяется перемножением погрешности исходных данных на число обусловленности матрицы.

Поэтому при разработке программ, использующих СЛАУ для получения результатов, необходимо проводить исследования обусловленности формируемых матриц. И такие программы должны отказываться от выполнения вычислений с плохо обусловленными матрицами или предупреждать пользователя о возможных больших погрешностях.

Для проверки правильности теоретических выкладок и макетирования выполнения вычислений для одной неизвестной точки разработаны документы в среде Mathcad. Для проведения серии экспериментов и подведения статистики на таких программах требуются большие затраты ручного труда. Для осуществления многократных вычислений на больших наборах данных реализован комплекс программ в математических пакетах MATLAB и Mathcad.

#### **4.1 Выбор программной среды**

В работе ставится задача разработки программы генерации множественных экспериментов, имитирующих проведение измерений, а также разработка процедур, которые на этой серии экспериментов набирали бы статистику. Для этого требуется разработать несколько программ, с помощью которых будут проводиться исследования.

Программы для формирования наборов с результатами измерения и выполнения подсчёта статистики реализованы в математических пакетах MATLAB и Mathcad. Математические пакеты хороши тем, что в них достаточно удобно реализовано моделирование и можно решить практически любые задачи.

MATLAB – это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчётов и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы,

создавать модели и приложения [18]. MATLAB достаточно удобен и прост в обращении. Встроенные математические функции, инструментарий, язык – всё это даёт возможность находить решение гораздо быстрее, чем при использовании, например, стандартных языков программирования, таких как Java, C/C++ и т.д.

Mathcad – это приложение для математических и инженерных вычислений, промышленный стандарт проведения, распространения и хранения расчётов [19]. Mathcad можно использовать во многих областях науки и техники, в технических сферах, где используются математические методы.

#### **4.2 Проведение экспериментов и анализ полученных результатов**

Для выполнения серии экспериментов следует их предварительно спланировать: определить задачи экспериментов, спроектировать и реализовать необходимые инструменты и информационные потоки. На заключительном этапе собственно провести эксперименты и проанализировать результаты.

В данной работе целью исследований является изучение свойств СЛАУ в зависимости от условий проведения измерений геодезистами. Погрешности измерений зависят от качества аппаратуры, квалификации геодезиста и множества других параметров. На свойства СЛАУ точность измерений не влияет, но влияет на погрешность результата. На погрешность результата влияет, в том числе, свойства матрицы коэффициентов. Обусловленность матрицы в данной задаче зависит от взаимного расположения геодезических пунктов: опорных и определяемых. Поэтому необходимо смоделировать достаточное количество результатов проведения геодезических измерений и исследовать эту зависимость.

Для выполнения полного цикла формирования матриц коэффициентов и векторов свободных членов разработаны документы в среде Mathcad. Такие документы удобны для выполнения одиночных вычислений для одной неизвестной точки. Для проведения серии экспериментов и подведения

статистики использование таких программ требует больших затрат ручного труда. Код программы представлен в приложении Б.

Для выполнения исследований на большом количестве данных разработаны программы, формирующие наборы данных, имитирующие проведение серии измерений. Программы для формирования наборов с результатами измерения и выполнения подсчёта статистики реализованы в математических пакетах MATLAB и Mathcad. Обмен данными между отдельными программами осуществляется текстовыми файлами. В данной работе разработаны структуры таких файлов.

Структура файла для организации исследования текущей конфигурации известных точек на погрешность вычислений должна иметь вид, представленный в таблице 1.

Таблица 1 – Файл конфигураций

Количество строк N	Количество точек M	Кратность последней точки K				
x1	y1	z1	x2	y2	z2	...
x1	y1	z1	x2	y2	z2	...
...	...	...	...	...	...	...
x1	y1	z1	x2	y2	z2	...

Формат файла является достаточно гибким. Он позволяет записывать эксперименты различных видов. Например, следующие варианты серии измерений:

- все строки могут быть одинаковыми – для исследования разных измерений на одной конфигурации;
- все строки могут быть разными – для исследования на разных конфигурациях;
- все строки могут быть одинаковыми группами – для исследования разных измерений на разных конфигурациях.

Для формирования таких файлов была выбран математический пакет MATLAB. Этот пакет имеет встроенный язык программирования, подобный языку C++. И обладает операторами вывода, позволяющими формировать текстовые файлы достаточно сложной структуры.

Ниже представлены листинги основной программы и программы-функции, которые генерируют серию экспериментов со случайными точками. Задача заключается в том, чтобы сгенерировать случайные точки, которые попадают в интервал между двумя сферами разного радиуса. Также они должны попадать в конус, который является дополнительным ограничением. Всё это является имитацией реальных геодезических работ. Исходными данными для задачи будут:

- 1) количество случайных точек  $M = 200$ ;
- 2) количество экспериментов  $N = 2$ ;
- 3) кратность последней точки  $K = 2$ ;
- 4) радиус малой сферы  $r = 10$ ;
- 5) радиус большой сферы  $R = 40$ ;
- б) угол, заданный в радианах,  $\alpha = 0,26$ .

Программа на MATLAB формирует файлы с необходимой конфигурацией, с нужными правилами расчёта дирекционных измерений, имитирующих проведение измерений геодезистами.

Листинг 1. Главная программа main.m:

```
clc
clear all
%исходные данные
r = 10;%радиус малой сферы 1
R = 40;%радиус большой сферы 2
N = 2; %количество экспериментов
M = 200;%количество случайных точек
K = 2;%кратность последней точки
alpha = 0.26;%угол радианах
n = 0;%Количество точек попавших в интервал R-r
%проверка корректности задания радиусов
if R <= r
    disp('Ошибка! Радиусы R и r введены некорректно!')
```

```

        break
    end
    %запись данных в файл с расширением .txt
    f = fopen('config.txt','w+');%создание файла и запись в него
    fprintf(f,'%u %u %u\r\n',N, M, K);
    for i=1:N
        [X,Y,Z] = generatePoints(r,R,M,K,alpha,n);
        fprintf(f,'%5f %5f %5f\t\t', [X;Y;Z]);
        fprintf(f,'\r\n');
    end
    fclose(f);
    %визуализация расположения полученных точек
    figure
    hold on
    [xx, yy, zz] = sphere(33);
    h1 = surfl(xx*r, yy*r, zz*r);
    h = surfl(xx*R, yy*R, zz*R);
    set(h1, 'FaceAlpha', 0.6)
    set(h, 'FaceAlpha', 0.2)
    shading interp
    grid on
    scatter3(X,Y,Z)
    xlabel('X');
    ylabel('Y');
    zlabel('Z');

```

## Листинг 2. Программа-функция generatePoints.m:

```

function [X,Y,Z] = generatePoints(r,R,M,K,alpha,n)
X = zeros(1,M-1+K);%Координата X
Y = zeros(1,M-1+K);%Координата Y
Z = zeros(1,M-1+K);%Координата Z
%Генерация случайных точек в промежутке [r,R]
while (true)
    x = (2*rand(1)-1)*R;
    y = (2*rand(1)-1)*R;
    z = (2*rand(1)-1)*R;
    if (norm([x,y,z])<R) && (norm([x,y,z])>r) && (z>0)
    && ((cos(alpha)^2*( x.^2 + y.^2))+((cos(alpha)^2)-1)*z.^2)<0)
    %проверка условия на попадания в заданные границы
        X(n+1) = x;
        Y(n+1) = y;
        Z(n+1) = z;
        n = n+1; %увеличиваем количество точек, попавших
в границы
        if n == M %если количество попавших точек равно
N(требуемому количеству), то выходим из цикла
            break;
        end
    end
end
%размножаем последнюю точку

```

```
for i= M+1:M-1+K
    X(i) = X(M);
    Y(i) = Y(M);
    Z(i) = Z(M);
end
end
```

Результаты работы программы представлены на рисунках 12 и 13. На рисунке 12 показаны точки, попавшие в заданные границы.

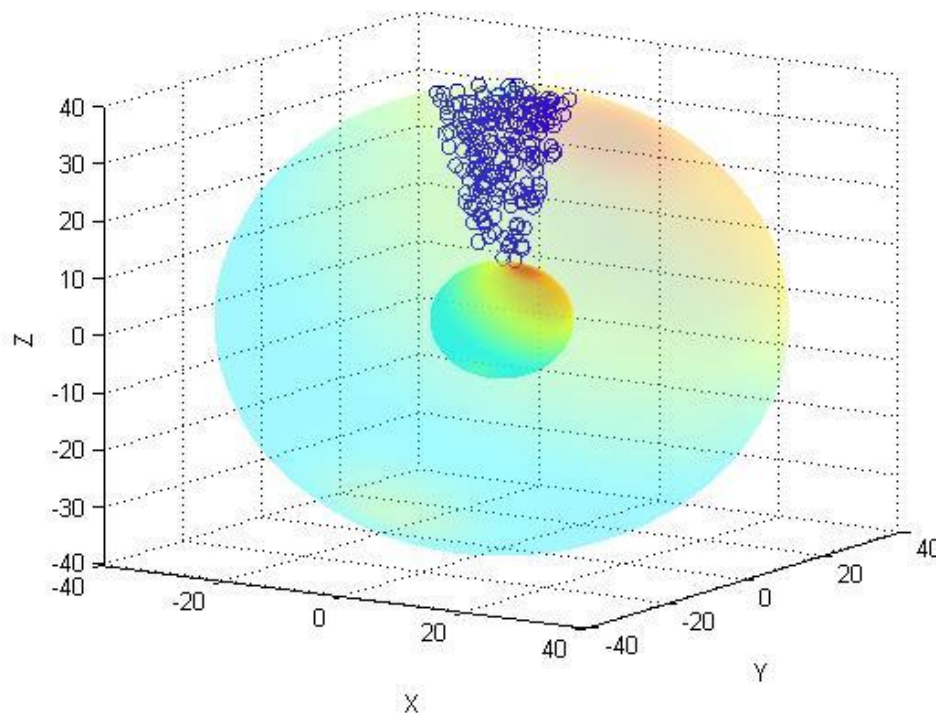


Рисунок 12 – Распределение известных точек, попавших в заданные границы

На рисунке 13 показано содержание файла config.txt, созданного с помощью данной программы. В данный файл заносятся координаты точек, попавших в заданный интервал, а также количество экспериментов, количество самих точек и кратность последней точки.



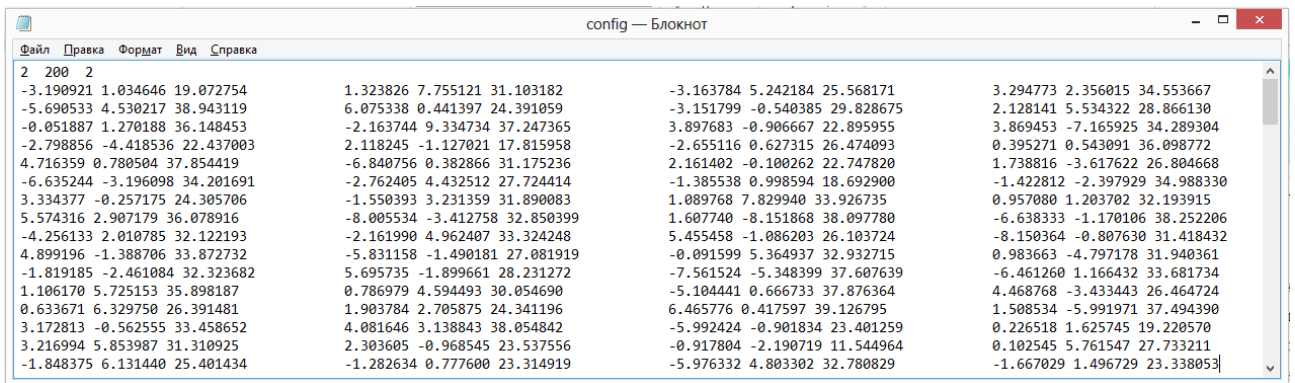


Рисунок 13 – Содержание файла config.txt

Исходя из полученных данных можно сказать, что программа работает верно. На рисунке 12 видно, что точки попадают в область между двумя сферами, а также в область конуса.

Структура файла, который должен содержать рассчитанные углы и погрешности прибора, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Структура файла измерений

Количество строк N	Количество точек M							
$\alpha 1$ (градусы)	$\alpha 1$ (минуты)	$\alpha 1$ (секунды)	$\Delta_{\alpha 1}$	$\beta 1$ (град.)	$\beta 1$ (мин.)	$\beta 1$ (секун.)	$\Delta_{\beta 1}$	...
$\alpha 1$ (градусы)	$\alpha 1$ (минуты)	$\alpha 1$ (секунды)	$\Delta_{\alpha 1}$	$\beta 1$ (град.)	$\beta 1$ (мин.)	$\beta 1$ (секун.)	$\Delta_{\beta 1}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\alpha 1$ (градусы)	$\alpha 1$ (минуты)	$\alpha 1$ (секунды)	$\Delta_{\alpha 1}$	$\beta 1$ (град.)	$\beta 1$ (мин.)	$\beta 1$ (секун.)	$\Delta_{\beta 1}$	...

Программа должна выдавать углы, расписанные на градусы, минуты, секунды, а следом должна идти погрешность прибора.

Первая строка файла должна соответствовать строке файла конфигураций. В таком формате файла все строки могут быть разными – для исследования на разных конфигурациях или на единой конфигурации, но разные измерения (разными исполнителями).

Далее представлен листинг программы, которая считывает файл конфигураций, реализованный в предыдущей программе, и выдаёт рассчитанные углы и погрешности прибора, которые записываются в файл с расширением .txt. К исходным данным добавляется точность прибора: систематическая ошибка при измерении горизонтальных углов  $d\alpha$  и систематическая ошибка по вертикали  $d\beta$ .

### Листинг 3. Главная программа main\_iz.m:

```
clc
clear all
%задание начальных данных
r = 10;%радиус малой сферы 1
R = 40;%радиус большой сферы 2
%координаты неизвестной точки
x0 = 0;
y0 = 0;
z0 = 0;
%точность прибора
aD = 2; % в секундах
bD = 4;% в секундах
w = 60;%переменная для перевода в минуты, секунды
% погрешность
deltaalpha = aD/3600;
deltabeta = bD/3600;
dalp = 120/3600.0;%систематическая ошибка по горизонтали
dbeta = 120/3600.0;%систематическая ошибка по вертикали
%проверка корректности задания радиусов
if R <= r
    disp('Ошибка! Радиусы R и r введены некорректно!')
    break
end
%считывание данных из файла с расширением .txt
Xiz = dlmread('config.txt');
N = Xiz(1,1); %количество экспериментов
M = Xiz(1,2);%количество случайных точек
K = Xiz(1,3);%кратность последней точки
%нахождение массива векторов, направленных от известных точек
for j = 2:N+1
    i = 1;
    iA = 1; iB = 5;
    while i < (M-1)*3
        norma = norm([(x0-Xiz(j,i)), (y0-Xiz(j,i+1)), (z0-
Xiz(j,i+2))]);%длина
        Px = (x0-Xiz(j,i))/norma;
        Py = (y0-Xiz(j,i+1))/norma;
        Pz = (z0-Xiz(j,i+2))/norma;
        %расчёт горизонтальных и вертикальных углов
        alphas = atan2(Py,Px) ;%угол на плоскости
        bettas = acos(Pz/ 1.0);%угол возвышения // 1.0 -- потому
что он уже нормирован
        %перевод углов в градусы и в таблицу
        angle(j-1, iA) = alphas*180/pi;
        if (angle(j-1, iA) >= 0) aS = 1; else aS = -1; end
        angle(j-1, iA) = abs(angle(j-1, iA)) ;
        L = angle(j-1, iA) + rand(1)*2*deltaalpha-deltaalpha;
        %отделяем целую часть для градусов
        % L = floor(angle(j-1, iA));
    end
end
```

```

angle(j-1, iA) = floor (L) * aS;
%отделяем целую часть для минут
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iA + 1) = floor (L);
%отделяем целую часть для секунд
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iA + 2) = floor (L);
angle (j-1, iA + 3) = aD;

angle (j-1, iB) = bettar*180/pi;
if (angle (j-1, iB) >= 0) bS = 1; else bS = -1; end
angle (j-1, iB) = abs(angle (j-1, iB)) ;
L = angle(j-1, iB) + rand(1)*2*deltabetta-deltabetta;
%отделяем целую часть для градусов
angle(j-1, iB) = floor (L)*bS;
%отделяем целую часть для минут
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iB + 1) = floor (L);
%отделяем целую часть для секунд
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iB + 2) = floor (L);
angle (j-1, iB + 3) = bD;
i = i+3;
iA = iA + 8; iB = iB + 8;
end
while i < (M+K-1)*3
norma = norm([(x0-Xiz(j,i)), (y0-Xiz(j,i+1)), (z0-
Xiz(j,i+2))] );%длина
Px = (x0-Xiz(j,i))/norma;
Py = (y0-Xiz(j,i+1))/norma;
Pz = (z0-Xiz(j,i+2))/norma;
%расчёт горизонтальных и вертикальных углов
alphan = atan2(Py,Px) ;%угол на плоскости
bettar = acos(Pz/ 1.0);%угол возвышения // 1.0 -- потому
что он уже нормирован
%перевод углов в градусы и в таблицу
angle (j-1, iA) = alphan*180/pi + dalphan;
if (angle (j-1, iA) >= 0) aS = 1; else aS = -1; end
angle (j-1, iA) = abs(angle (j-1, iA)) ;
L = angle(j-1, iA) + rand(1)*2*deltaalpha-deltaalpha;
%отделяем целую часть для градусов
angle(j-1, iA) = floor (L)*aS;
%отделяем целую часть для минут
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iA + 1) = floor (L);
%отделяем целую часть для секунд
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iA + 2) = floor (L);
angle (j-1, iA+3) = aD;
angle (j-1, iB) = bettar*180/pi + dbetta;
if (angle (j-1, iB) >= 0) bS = 1; else bS = -1; end

```

```

angle (j-1, iB) = abs(angle (j-1, iB)) ;
L = angle(j-1, iB) + rand(1)*2*deltabeta-deltabeta;
%отделяем целую часть для градусов
angle(j-1, iB) = floor (L)*bS;
%отделяем целую часть для минут
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iB + 1) = floor (L);
%отделяем целую часть для секунд
L = (L - floor(L)) * w;
angle(j-1, iB + 2) = floor (L);
angle (j-1, iB + 3) = bD;
i = i+3;
iA = iA + 8; iB = iB + 8;
end
i = 1;
end
% %запись в файл
ppp=[N, M];
dlmwrite('angle.txt', ppp, 'delimiter', '\t', 'newline', 'pc');
dlmwrite('angle.txt', angle, 'delimiter', '\t', '-append',
'newline', 'pc', 'precision', 12);

```

Результаты работы программы представлены на рисунке 14. На рисунке показано содержание файла измерений angle.txt.

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка														
2	200																	
-17	57	55	2	170	1	33	4	-99	41	12	2	165	48	22	4	-58	53	17
100	56	7	2	170	46	26	4	-99	43	9	2	171	10	58	4	-7	26	30
3	12	4	88	6	29	2	167	49	1	4	33	52	9	2	167	10	36	4
01	48	52	2	171	15	43	4	91	29	53	2	167	42	38	4	53	13	20
77	27	47	2	171	39	22	4	-54	54	30	2	165	15	32	4	111	49	15
164	14	58	2	167	31	32	4	110	6	51	2	165	53	52	4	135	23	16
23	2	166	15	32	4	-34	22	0	2	165	33	16	4	-5	21	23	2	16
40	2	170	56	42	4	-111	9	17	2	168	42	18	4	-176	46	9	2	16
2	169	42	37	4	1	30	34	2	166	57	49	4	65	19	28	2	170	6
56	4	-51	24	30	2	168	51	45	4	-167	20	31	2	172	47	56	4	66

Рисунок 14 – Содержание файла измерений angle.txt

Для выполнения расчётов на большой серии синтезированных результатов угловых измерений разработаны отдельные документы в математическом пакете Mathcad. Эти документы содержат блок чтения исходных данных. На основе документов для одиночных вычислений сформированы блоки для выполнения многочисленных расчётов на серии измерений, хранящейся в исходном файле.

Необходимые процедуры, реализованные в математических пакета MATLAB и Mathcad, протестированы и результаты их работы показали, что программы работают исправно.

Спланированы и проведены три вида экспериментов:

- 1) Равномерное распределение опорных пунктов с увеличением расстояния до определяемого пункта;
- 2) Сужение области распределения опорных точек; видимость из определяемой точки в конусе с углом от  $180^\circ$  до  $1^\circ$  при вершине;
- 3) С кратными измерениями (измерение из одной точки кратные и присутствует систематическая ошибка).

Для проведения экспериментов первого вида сгенерированы несколько файлов при разных начальных условиях. Файлы первой серии экспериментов для исследования на удалённость опорных точек созданы при следующих условиях:

- 1)  $r = 90, R = 110, M = 10, N = 40, K = 1$ ;
- 2)  $r = 490, R = 510, M = 10, N = 40, K = 1$ ;
- 3)  $r = 990, R = 1010, M = 10, N = 40, K = 1$ ;
- 4)  $r = 90, R = 1010, M = 10, N = 40, K = 1$ .

При первых условиях файл конфигураций выглядит так, как показано в таблице 3.

Таблица 3 – Файл конфигураций при первых условиях для первого вида эксперимента

40	10	1				
-76,1615	55,4065	49,7927	-33,2833	-28,5389	97,4771	...
-102,1403	-13,8593	-18,2003	-101,5574	-5,1532	-23,6194	...
...	...	...	...	...	...	...
-88,6233	20,9656	-21,0718	-89,3815	1,0509	-37,9051	...

Файл измерений представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Файл измерений при первых условиях для первого вида эксперимента

40	10						
-36	2	8	2	117	51	50	4
7	43	36	2	79	59	10	4
...	...	...	...	...	...	...	...
-13	18	34	2	76	58	22	4

Результаты работы программы для задачи на исследование влияния изменения расстояния при равномерном распределении точек представлены в таблице 5. Из 40 экспериментов представлено только пять.

Таблица 5 – Результаты работы программы для первого вида экспериментов

Условие № 1						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	1,88250	1,53724	2,47520	2,09730	2,16349	
Обусловленность через сингулярные числа	10,92591	10,57138	11,58611	11,11290	11,14131	
Погрешность, м	0,00162	0,00190	0,00222	0,00148	0,00195	0,00259
Условие № 2						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	2,00964	1,76680	1,86310	2,00370	1,96829	
Обусловленность через сингулярные числа	10,91967	10,75806	10,84620	10,95944	10,95048	
Погрешность, м	0,01092	0,01040	0,00944	0,00991	0,00924	0,01301
Условие № 3						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	1,81639	2,24684	1,84381	2,13692	1,75122	
Обусловленность через сингулярные числа	10,75417	11,23778	10,78001	11,12330	10,68050	
Погрешность, м	0,01854	0,02240	0,02207	0,02185	0,02016	0,02576
Условие № 4						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	2,07400	1,68543	1,81149	1,73693	2,00365	
Обусловленность через сингулярные числа	11,05727	10,67554	10,76252	10,72252	11,01325	
Погрешность, м	0,01576	0,01788	0,01543	0,01808	0,01738	0,02162

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что обусловленность матрицы хорошая и для Евклидовой нормы, и для SVD

разложения. С ростом удалённости опорных точек обусловленность матрицы не изменяется. Но увеличение расстояния между пунктами повышает погрешность результата.

Эксперимент при сужении области распределения опорных точек проводился при  $r = 90$ ,  $R = 110$ ,  $M = 10$ ,  $N = 40$ ,  $K = 1$ ,  $d\alpha = 0/3600.0$ ,  $d\beta = 0/3600.0$ , точность прибора для измерения горизонтального угла равна  $2''$ , для вертикального –  $4''$ . Менялся угол конуса при вершине  $\alpha G$ : 89; 45; 5; 0,5.

Файл конфигураций при первых условиях имеет вид, как показано в таблице 6.

Таблица 6 – Файл конфигураций при первом условии для второго вида эксперимента

40	10	1				
-35,8330	-74,3199	64,7426	-76,4768	71,6797	8,4353	...
-94,8627	-39,6881	6,7901	-38,4679	-86,7616	24,4109	...
...	...	...	...	...	...	...
11,0746	-98,1556	38,8418	86,5193	-25,0800	50,0611	...

Файл измерений для первого условия представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Файл измерений при первом условии для второго вида эксперимента

40	10							
64	15	33	2	128	7	16	4	...
22	42	9	2	93	46	38	4	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
96	26	14	2	111	27	58	4	...

Результаты работы программы для задачи на исследование влияния сужения области конуса представлены в таблице 8.

По результатам, которые приведены в таблице 8 можно сказать, что обусловленность матрицы при сужении области конуса ухудшается, число обусловленности растёт. Соответственно, и погрешность результатов расчётов тоже растёт.

Таблица 8 – Результаты работы программы для второго вида экспериментов

Условие № 1						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	1,60754	1,92729	1,87310	2,20464	1,91708	
Обусловленность через сингулярные числа	10,57083	10,87957	10,80137	11,20016	10,84512	
Погрешность, м	0,00233	0,00199	0,00219	0,00207	0,00245	0,0024
Условие № 2						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	3,90668	4,44138	4,89172	3,70119	3,48280	
Обусловленность через сингулярные числа	14,49374	15,60924	16,66191	13,93394	13,48280	
Погрешность, м	0,00283	0,00242	0,00209	0,00150	0,00240	0,0028
Условие № 3						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	320,2369	218,5556	248,9321	254,5462	332,3864	
Обусловленность через сингулярные числа	959,8923	655,1683	746,3081	762,8516	996,4232	
Погрешность, м	0,01063	0,00542	0,01256	0,00335	0,01298	0,01745
Условие № 4						Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через Евклидову норму	41624,553	27261,29	27725,63	26172,88	34396,99	
Обусловленность через сингулярные числа	124872,88	81783,16	83175,98	78517,82	103190,28	
Погрешность, м	0,023	0,030	0,076	0,002	0,006	0,0939

Файлы для эксперимента на исследование влияния кратности известных точек на результаты расчётов созданы при следующих условиях:

$$1) r = 90, R = 110, M = 10, N = 40, K = 1, d\alpha = 0/3600.0, d\beta = 0/3600.0;$$



2)  $r = 90, R = 110, M = 10, N = 40, K = 10, d\alpha = 60/3600.0,$   
 $d\beta = 60/3600.0;$

3)  $r = 90, R = 110, M = 10, N = 40, K = 20, d\alpha = 120/3600.0,$   
 $d\beta = 120/3600.0.$

При первых условиях задачи файл конфигураций выглядит следующим образом. Данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Файл конфигураций при первом условии для третьего вида эксперимента

40	10	1				
-26,73533	62,60892	-77,89790	83,55534	-8,09525	49,60787	...
-80,13522	62,75286	36,11955	50,85715	-71,32975	-28,93333	...
...	...	...	...	...	...	...
-56,08545	53,42457	-47,38291	-96,49533	24,80829	-26,7186	...

Файл измерений имеет структуру, представленную в таблице 10.

Таблица 10 – Файл измерений при первом условии для третьего вида эксперимента

40	10							
-66	52	34	2	41	9	6	4	...
-38	3	50	2	109	32	17	4	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
-43	36	28	2	58	32	43	4	...

Результаты работы программы для кратных измерений. В таблице 10 приведена небольшая часть полученных данных.

Из представленных в таблице значений можно сделать следующие выводы. Число обусловленности низкое для всех условий эксперимента. Погрешность вычислений растёт с увеличением кратности измерений и при увеличении систематической ошибки для горизонтального и вертикального углов. Это говорит о том, что решение приближается к тому измерению, которое имеет высокую кратность. Следовательно, при выполнении расчётов нужно учитывать кратность измерений, т.к. она влияет на точность результата.

Таблица 11 – Результаты работы программы для третьего вида экспериментов

Условие № 1	Ф Н И Ф
-------------	---------

Обусловленность через Евклидову норму	1,71866	1,75980	1,77828	1,67945	1,88788	
Обусловленность через сингулярные числа	10,68360	10,69482	10,73578	10,62411	10,80501	
Погрешность, м	0,00221	0,00166	0,00205	0,00240	0,00232	0,00265
Условие № 2						
Обусловленность через Евклидову норму	1,93715	1,81297	1,65775	2,03351	2,22004	Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через сингулярные числа	10,89870	10,73254	10,76060	11,01201	11,25694	
Погрешность, м	0,03797	0,03435	0,03668	0,03453	0,04204	
Условие № 3						
Обусловленность через Евклидову норму	1,77972	1,69331	1,74523	1,75858	1,72635	Максимальное отклонение от точного решения
Обусловленность через сингулярные числа	10,82195	10,69716	10,71020	10,76414	10,66820	
Погрешность, м	0,06657	0,09029	0,07234	0,06653	0,05564	

Из трёх видов проведённых экспериментов можно сделать следующие выводы. На обусловленность матрицы оказывает отрицательное воздействие сужение области распределения. Это говорит о том, что такой конфигурации нужно избегать. Увеличение расстояния между пунктами повышает погрешность результата, что тоже должно учитываться при выполнении замеров геодезистами. Кратность измерений влияет на результаты расчётов. Это должно учитываться и для расчётов браться измерения с одинаковой кратностью, например, однократные, как результат осреднения многократных.

## 5 Разработка Desktop приложения

По результатам разработки новых методов решения геодезических задач реализовано несколько процедур для приложения Geodetic, которое представляет собой сложный комплекс программных средств, который включает в себя набор программ, библиотек и баз данных. Полный комплекс предполагает решение следующих задач:

- создание и ведение (администрирование) базы данных;
- наполнение БД результатами измерений. Сопровождение результатов измерений информацией, которую принято вносить в журналы геодезистами;
- корректировка информации об измерениях;
- выборка геодезических пунктов, координаты которых необходимо определить. Выбор опорных пунктов от которых производилось измерение на этот определяемый пункт;
- выполнение расчётов координат определяемого пункта по результатам измерений на него;
- регистрация результатов расчётов в БД. Занесение информации в БД об условиях проведения расчётов.

При проектировании приложения выявлены его предполагаемые потребители. Обслуживанием и контролем за функционированием комплекса будут заниматься программист и администратор БД. Использовать данное приложение и БД будет геодезист.

Предполагается, что под каждый новый проект, требующий геодезического сопровождения, будет создаваться отдельная независимая БД проекта. Такая база данных связана с глобальной БД, содержащей, например, триангуляционную сеть страны. Данные из глобальной сети будут порождать БД проекта. Это будут первые данные об опорных точках проекта.

Процесс работы над геодезическим сопровождением является длительным и трудоёмким. Поэтому предполагается, что база данных проекта будет состоять из двух БД:

- БД проекта – стационарная база данных проекта, используемая в камеральных условиях (в офисе). Хранит все измеренные и рассчитанные данные по проекту;

- полевая БД – база данных оперативной работы. Содержит материалы текущей работы, результаты последних измерений, а также экспресс расчёты, выполненные в полевых условиях. Размещается на переносных вычислительных устройствах.

Программное обеспечение реализуется в виде нескольких отдельных приложений:

- программа ведения БД – наполнение и редактирование записей баз данных проекта, контроль корректности записей, перенос информации между базами разного уровня;

- программа сопровождения полевых геодезических и маркшейдерских измерений;

- программа проведения расчётов – выбор данных по результатам измерений, выполнение автоматизированного формирования СЛАУ, решение систем, занесение результатов в БД.

Данная работа включает в себя спроектированную программу для расчёта координат определяемого геодезического пункта по результатам измерений от исходных пунктов на основе дирекционных измерений. Также для этого реализованы отдельные процедуры программы.

Спроектирован и реализован макет программы Geodetic для выполнения расчётов по результатам геодезических измерений. Данное приложение должно предоставлять пользователю следующие возможности:

- запуск и остановка приложения;

- выбор определяемой точки.

Предложенная архитектура для данной программы включает в себя следующие элементы:

- класс формы Form – основное и дополнительные окна программы;
- модуль UBaseClass – содержит определения нескольких структур, используемых для описания переменных программы, базовый тип для классов проекта TGeodeticCustom;

- модуль UGeodeticClsass – содержит набор взаимодействующих классов, реализующих функциональность приложения.

Приложение Geodetic содержит следующие основные классы:

- TFixedPnts – для хранения координат известных геодезических пунктов в оперативной памяти и оперирования с этим списком.

- TDesignedPnts – для хранения в оперативной памяти и оперирования геодезическими пунктами, координаты которых были рассчитаны в ходе сеанса работы с программой.

- TUnexploredPnts – для хранения в оперативной памяти и оперирования определяемыми геодезическими пунктами, координаты которых ещё не были рассчитаны в ходе сеанса работы с программой.

- TSurveys – для хранения в оперативной памяти и оперирования с результатами измерений от известных геодезических пунктов на неизвестные.

- TSolver – содержит набор методов по формированию СЛАУ, решения их и формирования результатов в зависимости набора имеющихся измерений.

При разработке программы Geodetic для выполнения геодезических вычислений созданы несколько методов, которые входят в состав различных классов, и обеспечивают автоматизированное решение геодезических задач засечки на основе дирекционных измерений.

Процедура формирования предварительного списка опорных точек, от которых проводилось угловые измерения на заданную определяемую точку, представлена в приложении В.

Процедура отображения информации об угловых измерениях на заданную определяемую точку представлена в приложении Г.

Процедуры формирования матрицы коэффициентов по результатам угловых измерений на заданную определяемую точку представлена в листинге 4.

Листинг 4. Программа для формирования матрицы коэффициентов по результатам угловых измерений.

```
void TSolver::ConstructSystemOfDirect_010 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts
^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv)
{ // матрица коэффициентов для задачи угловых измерений 010

    MakeListPntsDirect (dbCode, aCode, aFix, aDes, aSurv);
    unsigned int cou = FPntsCount;
    FRowCount = 3 * BINION (FPntsCount); FColCount = FPntsCount;
#ifdef _TEST_OUT_
    ofstream test ("..\test.txt");
    test << "Alpha & Betta at ConstructSystemOfDirect_010: " << endl;
#endif // _TEST_OUT_
    FCoeff = gcnew array <long double, 2> (FRowCount, FColCount);
    unsigned int knd = 0;
    for (unsigned int ind = 0; ind < cou - 1; ind++)
    {double alphaI = abs (FAngleDist [ind].AlphaDeg) + FAngleDist [ind].AlphaMin /
60.0 + FAngleDist [ind].AlphaSec / 3600.0,
        bettaI = abs (FAngleDist [ind].BettaDeg) + FAngleDist [ind].BettaMin /
60.0 + FAngleDist [ind].BettaSec / 3600.0;
        if (FAngleDist [ind].AlphaDeg < 0) alphaI = -alphaI; if (FAngleDist
[ind].BettaDeg < 0) bettaI = -bettaI;
        alphaI = alphaI * M_PI / 180.0; bettaI = bettaI * M_PI / 180.0;
        TXYZ Pind = {cosl (bettaI) * cosl (alphaI), cosl (bettaI) * sinl (alphaI), sinl
(bettaI)};
#ifdef _TEST_OUT_
    test << FAngleDist [ind].AlphaDeg << " " << FAngleDist [ind].AlphaMin << "\" " <<
FAngleDist [ind].AlphaSec << "\" "
        << FAngleDist [ind].BettaDeg << " " << FAngleDist [ind].BettaMin << "\" " <<
FAngleDist [ind].BettaSec << "\" "
        << " -- " << alphaI << " -- " << bettaI
        << endl;
#endif
        for (unsigned int jnd = ind + 1; jnd < cou; jnd++)
        {double alphaJ = abs (FAngleDist [jnd].AlphaDeg) + FAngleDist
[jnd].AlphaMin / 60.0 + FAngleDist [jnd].AlphaSec / 3600.0,
            bettaJ = abs (FAngleDist [jnd].BettaDeg) + FAngleDist
[jnd].BettaMin / 60.0 + FAngleDist [jnd].BettaSec / 3600.0;
            if (FAngleDist [jnd].AlphaDeg < 0) alphaJ = -alphaJ; if
(FAngleDist [jnd].BettaDeg < 0) bettaJ = -bettaJ;
            alphaJ = alphaJ * M_PI / 180.0; bettaJ = bettaJ * M_PI / 180.0;
            TXYZ Pjnd = {cosl (bettaJ) * cosl (alphaJ), cosl (bettaJ) * sinl (alphaJ),
sinl (bettaJ)};
            FCoeff [knd, ind] = Pind.X; FCoeff [knd++, jnd] = -Pjnd.X;
            FCoeff [knd, ind] = Pind.Y; FCoeff [knd++, jnd] = -Pjnd.Y;
            FCoeff [knd, ind] = Pind.Z; FCoeff [knd++, jnd] = -Pjnd.Z;
        } // jnd
    } // ind
}
```

```

#ifdef _TEST_OUT_
int ind = cou - 1;
test << FAngleDist [ind].AlphaDeg << " " << FAngleDist [ind].AlphaMin << "\" " <<
FAngleDist [ind].AlphaSec << "\" "
    << FAngleDist [ind].BetaDeg << " " << FAngleDist [ind].BetaMin << "\" " <<
FAngleDist [ind].BetaSec << "\""
    << endl;
test.close();
#endif

// свободные коэффициенты
FFree = gcnew array <long double> (FRowCount);
knd = 0;
for (unsigned int ind = 0; ind < cou - 1; ind++)
{
    for (unsigned int jnd = ind + 1; jnd < cou; jnd++)
    {
        FFree [knd++] = FPnts [jnd].X - FPnts [ind].X;
        FFree [knd++] = FPnts [jnd].Y - FPnts [ind].Y;
        FFree [knd++] = FPnts [jnd].Z - FPnts [ind].Z;
        //knd++;
    } // jnd
} // ind
} // ConstructSystemOfDirect_010

```

Для проверки функционирования программы и её отладки данные загружались из текстовых файлов. Для задания координат опорных пунктов разработан формат файла данных об известных точках и формат файла для регистрации результатов измерений. Файлы представлены на рисунке 15.

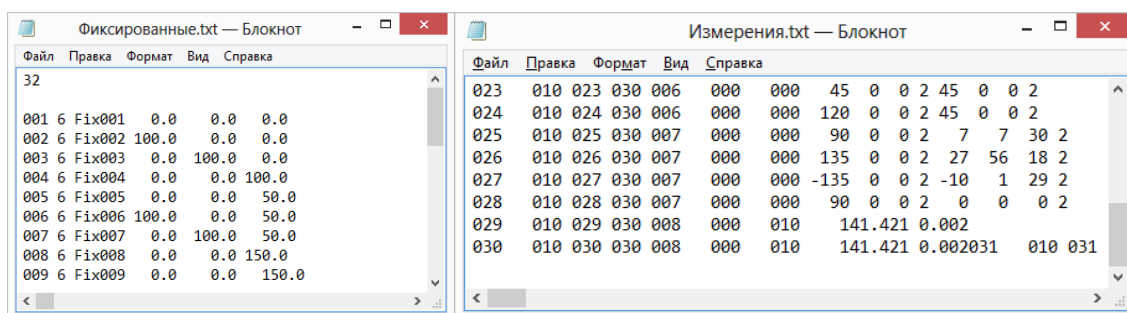


Рисунок 15 – Текстовые файлы

В описании известных точек указывается маркер (имя) геодезического пункта и его координаты. В файле измерений указывается коды баз данных и индексы точек между которыми производилось измерение, направление измерения и его тип. Для угловых измерений далее идёт две группы целых чисел, указывающих угол по горизонтали и погрешность прибора, и также по вертикали – угол и погрешность.

Интерфейс программы Geodetic представлен на рисунках 16 – 18. Страница выбора определяемого пункта для расчёта координат показана на

рисунке 16. Выбор геодезистом осуществляется исходя из количества и типов проведенных измерений, на данную точку.

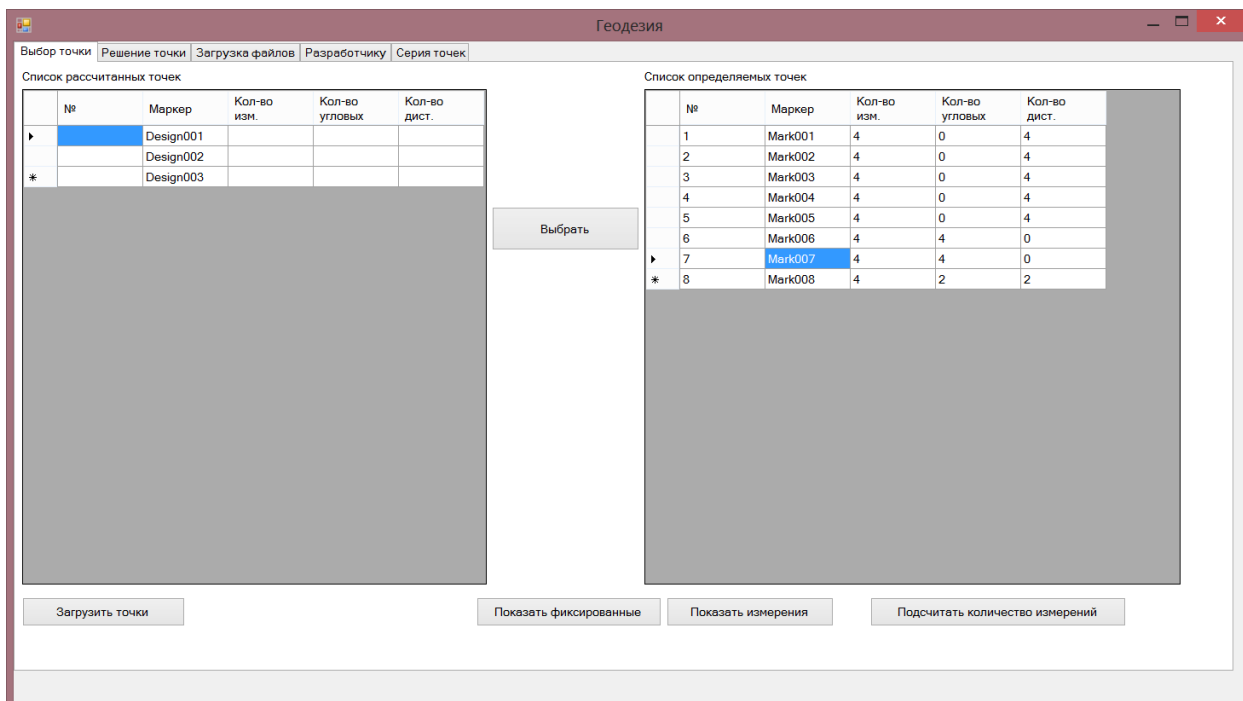


Рисунок 16 – Страница выбора определяемого пункта

На рисунке 17 представлена страница получения решения по дирекционным измерениям.

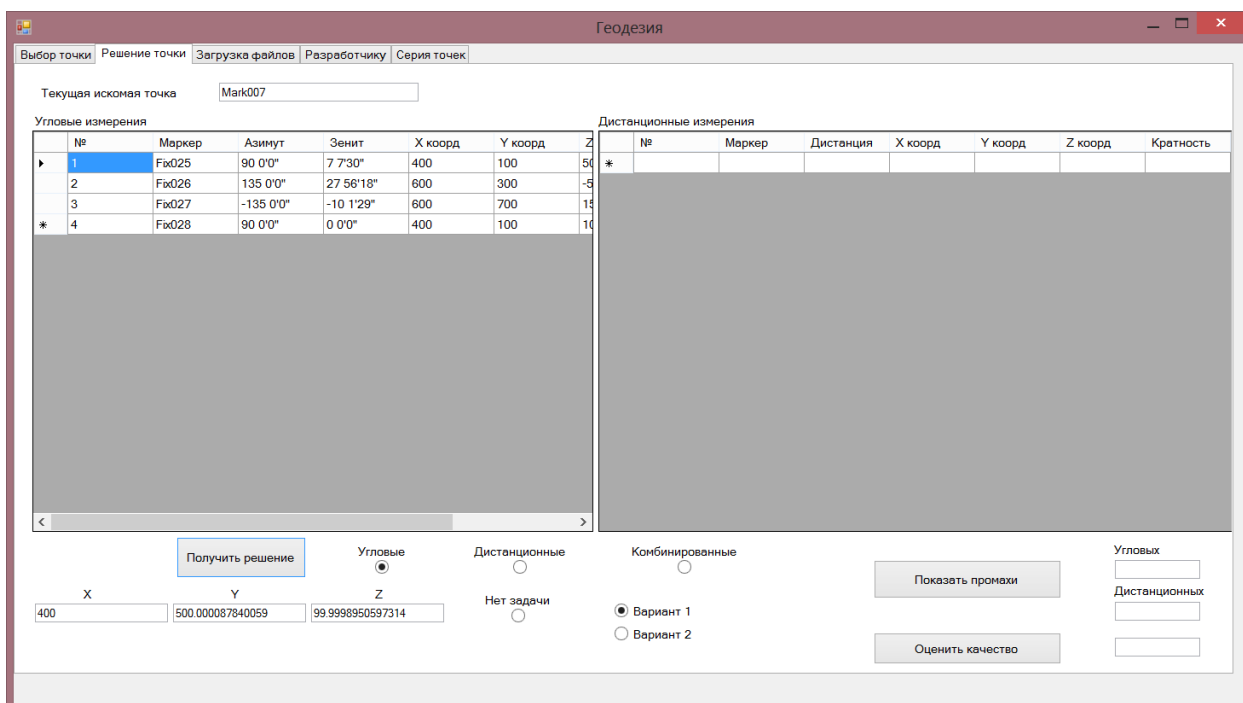


Рисунок 17 – Страница получения решения



Страница контроля формирования матрицы и получения SVD разложения показана на рисунке 18. Используется разработчиками программы для контроля процесса вычислений.

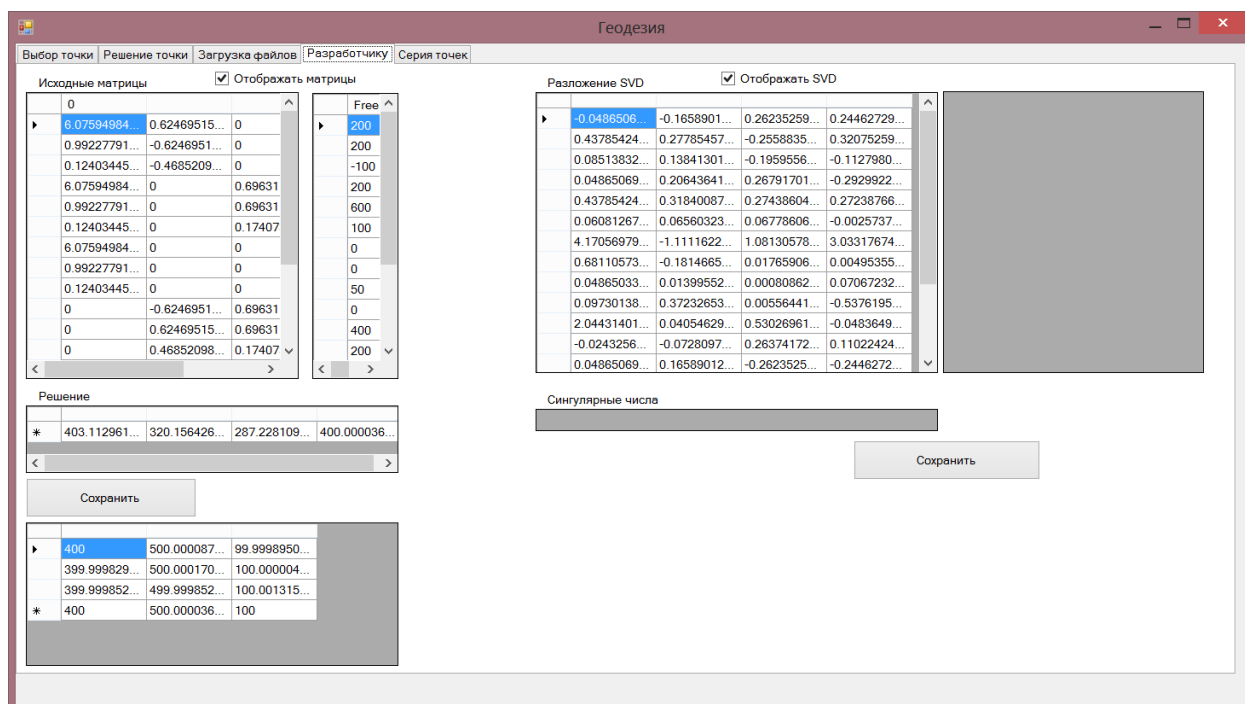


Рисунок 18 – Страница контроля формирования матрицы и получения SVD разложения

Здесь решением являются коэффициенты параметрической записи прямой. Для каждой из прямых, соответствующих угловым измерениям, определяется свой коэффициент.

Для контроля решения выводятся рассчитанные координаты определяемой точки, получаемые по каждому из коэффициентов.

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **6.1 Предпроектный анализ**

При осуществлении любой проектной и научно-исследовательской деятельности большую роль играет экономическое обоснование работ. Понятие «экономическое обоснование работ» включает в себя: определение потенциальных потребителей и сегмента рынка, сравнительный анализ предлагаемого решения по отношению к конкурентам, определение себестоимости разработки. Себестоимость проекта содержит в себе следующие статьи затрат: основная и дополнительная заработная плата участников проекта, затраты на необходимое оборудование и его амортизацию и прочие накладные расходы. Таким образом, происходит формирование бюджета научно – исследовательского проекта, в соответствии с календарным.

#### **6.1.1 SWOT-анализ**

**SWOT** – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT – анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 12 представлена матрица SWOT-анализа работы.

Таблица 12 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1: Работа реализована в математических пакетах Matlab и Mathcad С2: Низкие денежные затраты на разработку. С3: Использование СЛАУ. С4: Разработка эффективных методов и алгоритмов нахождения координат неизвестной точки.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1: Большой срок выхода на рынок. Сл2: Уровень проникновения на рынок. Сл3: Необходимость наличия большой оперативной памяти у компьютера, на котором производятся расчёты.
<b>Возможности:</b> В1. Доработка в связи с пожеланиями. В2. Возможность продать разработку. В3. Возможность интегрировать с другими системами.	<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на доработку. У2. Развитая конкуренция технологий производства.

Разрабатываемый продукт включает в себя эффективные методы и алгоритмы нахождения координат неизвестной точки, что будет всегда востребовано в таких областях, как маркшейдерия и геодезия.

### 6.1.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации полезна на любой её стадии жизненного цикла. Для её выполнения необходимо заполнить специальную форму, которая содержит показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта. В таблице 13 представлен перечень вопросов.

Таблица 13 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического Задела	3	1
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	2
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	1
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.	Проработаны вопросы	1	1

	международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок		
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	44	31

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (10)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Полученные результаты говорят о том, что перспективность данной работы средняя.

### **6.1.3 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок продавец преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда

в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

Этот метод коммерциализации является приоритетным потому, что собственник изобретения, который является лицензиаром, не вкладывает собственных средств в организацию производства, он не несет расходов по организации сбытовой сети. На начальных этапах развития любого проекта основной проблемой является нехватка средств, а лицензиат (юридическое лицо, которое приобретает лицензию на данную продукцию) эту проблему может решить, взяв все расходы на себя.

## **6.2 Планирование управлением научно-технических проектом**

### **6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Для организации и систематизации работы выпускника необходимо сформировать план работ. Данный этап предназначен для обеспечения своевременного и эффективного выполнения задания ВКР.

В таблице 14 представлен перечень этапов, работ и распределение исполнителей. В качестве исполнителей были выбраны следующие участники процесса:

- студент (С);
- научный руководитель (НР).

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1	Выбор темы ВКР	Студент Научный руководитель
	2	Получение ТЗ	Студент Научный руководитель
	3	Подбор материала, его анализ и обобщение	Студент
	4	Выбор метода выполнения работы	Студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель Студент
Основной этап	6	Разработка алгоритмов процедур решения задач геодезии с использованием (СЛАУ) и сравнение методик формирования матриц	Студент
	7	Проектирование и реализация приложения по выполнению геодезических расчётов по результатам измерения углов на местности	Студент
	8	Тестирование модели	Студент
Заключительный этап	9	Составление отчета о проделанной работе и оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель Студент
	10	Защита дипломного проекта	Студент

В результате анализа работы получилось 10 этапов разработки и 2 исполнителя: научный руководитель и студент.

### 6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (11)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (12)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (13)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году (365);

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году (52);

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году (10).

$$k_{КАЛ} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,2.$$

В таблице 15 приведен расчёт определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. По показанию полученных величины трудоемкости этапов по исполнителям

построен линейный график осуществления проекта, который представлен в таблице 16





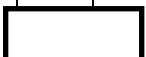










Таблица 15 – Определение временных затрат на проект

№ работы	Продолжительность работ, дни			Исполнители	Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
	t <sub>min</sub> , чел-дни	t <sub>max</sub> , чел-дни	T <sub>ожі</sub> чел-дни		T <sub>рд</sub>		T <sub>кд</sub>	
					НР	И	НР	И
1	2	6	3,6	С, НР	1,8	1,8	2	2
2	4	6	4,8	С, НР	2,4	2,4	3	3
3	12	20	15,2	С	0	15,2	0	18
4	12	19	14,8	С	0	14,8	0	18
5	5	8	6,2	НР, С	3,1	3,1	4	4
6	11	18	13,8	С	0	13,8	0	17
7	29	33	30,6	С	0	30,6	0	37
8	10	12	10,8	С	0	10,8	0	13
9	12	15	13,2	НР, С	6,6	6,6	8	8
10	1	1	1	С	0	1	0	1
Итого			114		13,9	100,1	17	120

На основе полученных данных строится Диаграмма Ганта, которая наглядно отображает оптимальные сроки начала и окончания выполнения работ. Результат представлен в таблице 16.



Таблица 16 – Календарный план-график

№	Вид работ	С	НР	Продолжительность выполнения работ												
				февраль			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Выбор темы ВКР	2	2													
2	Получение ТЗ	3	3													
3	Подбор материала, его анализ и обобщение	0	18													
4	Выбор метода выполнения работы	0	18													
5	Календарное планирование работ по теме	4	4													
6	Разработка алгоритмов процедур решения задач геодезии с использованием (СЛАУ) и сравнение методик формирования матриц	0	17													
7	Проектирование и реализация приложения по выполнению геодезических расчётов по результатам измерения углов на местности	0	37													
8	Тестирование модели	0	13													
9	Составление отчета о проделанной работе и оценка эффективности полученных результатов	8	8													
10	Защита дипломного проекта	0	1													
	 -научный руководитель	 -студент														

### **6.2.3 Бюджет научно-технического исследования**

Формирование бюджета для выполнения научно-технического исследования складывается из следующих статей:

- материальные затраты;
- оборудование для научного исследования;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### **Затраты на материалы**

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме.

Расчёт стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Расчёт затрат на материалы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	Лист	110	1,9	209
Картридж для принтера	Шт.	1	1000	1000
Итого		1209	1140	2300

#### **Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной

аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Расчёт затрат на спецоборудование для научных работ представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчёт затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Компьютер	шт.	2	41300	82600
МФУ		1	8550	8550
Монитор		4	7 690	30760
Итого				121910

### Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда):

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (14)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (15)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (16)$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн. (298 дней).

Руководителем научной работы в университете является доцент, к.т.н., заработная плата взята из системы оплаты труда в ТПУ. Зарботная плата магистранта соответствует должности учебно-вспомогательного персонала ТПУ. В таблице 19 представлен расчёт основной заработной платы руководителя и студента.

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Районный коэффициент	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33664	1,3	1644,79	23,8	39146,04
Студент	9489		463,62	99,6	46176,91
				ИТОГО	85322,95

### Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчёт дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}, \quad (17)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт дополнительной заработной платы представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	39146,04	0,15	5871,91
Студент	46176,91		6926,54
ИТОГО			12798,44

### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (18)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В таблице 21 представлен результат расчёта отчислений во внебюджетные фонды.

Таблица 21 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	39146,04	5871,91
Студент	46176,91	6926,54
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого	29436,42	

### Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (19)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл}} = (2300 + 121910 + 85322,95 + 12798,44 + 29436,42) \cdot 16\% = 40282,85 \text{ руб.}$$

#### **6.2.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Расчёт бюджета затрат НИИ

Статьи расходов	рублей
Материальные затраты	2300
Спецоборудование для научных работ	121910
Основная заработная плата	85322,95
Дополнительная заработная плата	12798,44
Отчисления во внебюджетные фонды	29436,42
Накладные расходы	40282,85
<b>Бюджет затрат НИИ</b>	<b>292050,66</b>

Из данной таблицы можно сделать вывод, что затраты на полную реализацию проекта составляют 292050,66 рублей.

### **6.3 Оценка экономической эффективности проекта**

В зависимости от того, в какой сфере и форме проявляется эффективность проекта различают следующие его виды: бюджетный, народнохозяйственный, коммерческий.

Разрабатываемый проект – это методы и алгоритмы для выполнения расчётов при решении геодезических задач на основе дирекционных измерений на точку с неизвестными координатами.

Реализуемый проект предполагает получение коммерческого эффекта. Разработка более эффективной методики вычисления координат неизвестной точки с помощью вычислительной техники намного упростит работу геодезистов и маркшейдеров, сократит временные затраты на работу, повысит производительность.

#### **6.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР**

Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На ее основе делается вывод о целесообразности проекта.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{HTU} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (20)$$

где  $K_{HTU}$  – интегральный индекс научно-технического уровня;

$R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;



$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

В таблицах 23 – 26 представлены данные, необходимые для расчёта интегрального индекса научно-технического уровня.

Таблица 23 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признаки научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИР	$R_i$
Уровень новизны	Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований	0,4
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,1
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,5

Таблица 24 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны – $n_1$	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 25 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов – $n_2$	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 26 – Возможность реализации результатов по времени

Время реализации – пз	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

В таблице 27 указано соответствие качественных уровней НИР значениям показателя, рассчитываемого по формуле 20.

Таблица 27 – Качественные уровни НИР

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

В таблице 28 приведены оценки научно-технического уровня реализованной логики.

Таблица 28 – Оценки научно-технического уровня НИР

Значимость	Фактор НТУ	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
0,4	Уровень новизны	Принципиально новая	8	Позволяет увеличить производительность вычислений
0,1	Теоретический уровень	Разработка способа	6	Разработка нового методов и алгоритмов вычисления координат неизвестной точки
0,5	Возможность реализации	От 5 до 10 лет	4	Проект не реализован до конца, проводятся эксперименты

Интегральный показатель научно-технического уровня для данного проекта составляет:

$$K_{НТУ} = 0,5 \cdot 4 + 0,3 \cdot 6 + 0,2 \cdot 12 = 6,2$$

Полученные результаты говорят о том, что реализуемый проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

#### **6.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсобережение»**

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсобережение» проведен SWOT-анализа. Выявлено, что разрабатываемый продукт включает в себя эффективные методы и алгоритмы нахождения координат неизвестной точки, что будет всегда востребовано в таких областях, как маркшейдерия и геодезия. Оценка готовности проекта к коммерциализации говорит о том, что перспективность данной работы средняя.

Выполнено планирование научно-технических решений, построена диаграмма Ганта, которая отображает последовательность работ, их длительность и занятость исполнителей в то или иное время.

Рассчитан бюджет НИИ и он составил 292050,66рублей. В него входят: затраты на материалы, заработные платы исполнителям, отчисления в фонды и прочие расходы.

Оценка научно-технического уровня НИИ показала, что реализуемый проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

## **7 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данном разделе проанализированы проблемы, связанные с организацией рабочего места инженера – программиста в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности, охраны труда и окружающей среды. Все вышеупомянутые аспекты регламентируются рядом соответствующих документов.

Рабочая зона программиста – офисное помещение, рабочее место – компьютерный стол с персональным компьютером.

Инженеру – программисту необходимо исследовать влияния конфигурации пунктов наблюдения, погрешностей измерения и методов формирования СЛАУ на точность вычисления координат неизвестной точки, а также разработать процедуры имитации проведения измерений и выполнения статистических расчётов. Результаты, полученные во время работы, могут быть востребованы маркшейдерами и геодезистами, а также студентами, преподавателями, имеющими дело с геодезией. Итоги исследования погрешностей дирекционных измерений при нахождении координат неизвестной точки находят своё применение в маркшейдерии и геодезии. В данном разделе представлены вредные и опасные факторы, которые оказывают негативное влияние на организм программиста при выполнении работы за персональным компьютером. Так же описаны ЧС, которые могли случиться на рабочем месте и действия, которые необходимо выполнить в случае их возникновения.

### **7.1 Производственная безопасность**

#### **7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 29.

Таблица 29 – Опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-программиста

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 - 74) [20]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером в офисном помещении	1) Повышенный уровень шума на рабочем месте; 2) повышенная или пониженная влажность воздуха; 3) отсутствие или недостаток естественного света; 4) повышенный уровень электромагнитных излучений; 5) повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; 6) недостаточная освещенность рабочей зоны; 7) статические физические перегрузки; 8) умственное перенапряжение 9) монотонность труда.	1) Повышенный уровень статического электричество; 2) короткое замыкание.	1) Шум. Общие требования безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [21]. 2) Показатели микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.2.548-96 [22]. 3) Нормы освещения устанавливаются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [23]. 4) Допустимые уровни напряженности электростатических полей устанавливается ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ [24]. 5) ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [26]. 6) Электробезопасность устанавливается по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ [25].

## 7.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

### Повышенный уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте инженера-программиста в офисном помещении, исходя из ГОСТ 12.1.003–83[21], действует постоянный шум. Шум возникает в

помещении кондиционерами и вентиляторами при охлаждении нагреваемых частей ЭВМ и т.д.

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение и т. д. При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ [21]. Допустимый уровень шума для работы программиста представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Предельно допустимые уровни звукового давления по ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ

Вид трудовой деятельности/ Частоты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, программистов вычислительных машин и т.д.	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Если уровень шума в помещении выше допустимого, то необходимо принимать меры по снижению его уровня. Например, для снижения шума систем вентиляции и кондиционирования воздуха можно использовать различные глушители, ограничение скорости воздуха на воздухораспределительных устройствах. Средства индивидуальной защиты органов слуха работающих установлены ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [30] – это наушники, заглушки, вкладыши.

**Вывод:** на рабочем месте уровень шума не должен превышать 50 Дб. В помещении, в котором работает инженер-программист, основным источником шума является системный блок компьютера. Общий уровень шума компьютера не превышает 30 Дб, что не превышает допустимой нормы.

#### **Отклонение показателей микроклимата**

Выполняемые работы программистом, по степени физической тяжести, относятся к категории легких работ [22]. Оптимальные и допустимые значения показателей температуры, влажности воздуха и скорости движения воздуха в производственном помещении с ВДТ и ПЭВМ представлены в таблицах 31 и 32 соответственно, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [22].

Таблица 31 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1

Таблица 32 – Допустимые величины показателей микроклимата по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более**
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2

**Вывод:** рабочее место инженера-программиста соответствует нормам. В помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В аудитории установлена вентиляция, которая поможет регулировать температуру в помещении в летнее время. Также имеются окна, которые способствуют проветриванию помещения.

### **Недостаточная освещённость рабочей зоны**

При плохой освещенности у работников ощущается усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. Часто причинами являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее

действие источников света и соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано на рабочих местах. Головные боли могут быть вызваны пульсацией освещения, что является результатом использования электромагнитных пускорегулирующих аппаратов (ПРА) для газоразрядных ламп, работающих на частоте 50 Гц [28].

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы; равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней; отсутствие пульсации светового потока; оптимальная направленность светового потока и оптимальный спектральный состав; все элементы осветительных установок должны быть долговечны, взрыво-, пожаро-, электробезопасны [28].

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [28], такие помещения должны удовлетворять требованиям, представленным в таблице 33.

Таблица 33 – Нормы освещенности по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО ед, %		КЕО ед, %		Освещенность, лк		Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более	
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении				
						при общем освещении	при комбинированном освещении			
						всего	от общего			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Административные здания (министерства, ведомства, комитеты, префектуры, муниципалитеты управления, конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения и т.п.)										
1. Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300	40	15

### Освещенность рабочего помещения

Рассмотрим офисное помещение, в котором производились работы, с размерами: длина  $A = 5$  м, ширина  $B = 7$  м, высота  $H = 4$  м. Всего имеется шесть светильников, по 4 лампы в каждом. Фактическая освещенность рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{cm} \cdot \gamma}{S \cdot K \cdot z}, \quad (21)$$



где  $N$  – число светильников, шт;  $n$  – число ламп в светильнике, шт;  $\Phi_{ст}$  – световой поток люминесцентной лампы, Лм (при мощности 11Вт – 750лм);  $y$  – коэффициент использования светового потока (для исследуемого помещения – 0,8);  $S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;  $k$  – коэффициент запаса (помещения с малым выделением пыли – 1,5);  $z$  – коэффициент неравномерного освещения (для люминесцентных ламп – 1,1).

Получаем

$$E_{\phi} = \frac{6 \cdot 4 \cdot 750 \cdot 0.8}{35 \cdot 1.5 \cdot 1.1} = 249 \text{ (Лк)}.$$

Отличие от нормированного уровня

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{норм}}{E_{норм}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta E = \frac{249 - 300}{300} \cdot 100\% = 17\% .$$

В результате получаем  $-10\% \leq 17\% \leq +20\%$ .

**Вывод:** полученное значение попадает в необходимый интервал, значит, нормы освещенности в рабочем помещении соблюдаются.

### Повышенный уровень электромагнитных излучений

В данной работе источником электромагнитного излучения является персональный компьютер. Степень и характер воздействия ЭМП на организм человека зависят: от интенсивности излучения; частоты колебаний; поверхности тела, облучаемого и т.д.

Деятельность программиста проходит перед монитором, поэтому необходимо чаще делать перерыв. Помимо опасности от электромагнитных волн излучение от монитора может нести опасность возникновения ряда глазных заболеваний, таких как близорукость или сухость глаз [28]. Согласно СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03 [28] приемлемые временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах, указаны в таблице 34.

Таблица 34 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ по СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03

Наименование параметров	ВДУ ЭМП
-------------------------	---------

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

**Вывод:** рабочее помещение инженера-программиста удовлетворяет описанным нормам, но и от программиста зависит уровень его облучения ЭМП. Программист использует жидкокристаллический монитор, экранирующие очки с целью уменьшения негативного воздействия электромагнитного излучения, а также придерживается регламентированного режима труда и отдыха, проводит регулярную зарядку для глаз.

### **Статические физические перегрузки**

Рабочее положение «сидя» сопровождается статической физической нагрузкой значительного количества мышц ног, плеч, шеи и рук, что очень утомляет мышцы. Они находятся продолжительное время в сокращенном состоянии и не расслабляются, что ухудшает кровообращение. В результате возникают болевые ощущения в руках, шее, верхней части ног, спине и плечевых суставах.

Предотвращение таких перегрузок сводится к автоматизации и механизации труда, производственной гимнастике, смене положения вовремя перерывов (работал стоя – отдыхаешь сидя и наоборот), улучшения рабочей зоны для рационализации позы сотрудника и др.

### **Умственное перенапряжение**

Умственно-эмоциональные перегрузки вызываются информационной перегрузкой при дефиците времени на ее переработку, и приводят к перенапряжению процессов психики: внимания, ощущений, памяти, мышления, работоспособности, эмоций, утомляемости.

Умственно перенапряжения могут характеризоваться двумя типами запредельного психического напряжения: тормозной (скованность и

замедление движения и т.д.) и возбудимый (гиперактивность, многословность и т.д.).

Для профилактики необходимо делать перерывы в работе каждые 1,5 часа, а также гимнастику.

### **Монотонность труда**

Монотонность труда делится на 2 вида: монотонность действия и монотонность обстановки. Монотонность действия возникает в связи с выполнением однообразных рабочих действий и частым их повторением. Монотонность обстановки наступает в связи с воздействием на человека однообразных факторов окружающей рабочей среды, обстановки и дефицита поступающей информации и прочее.

Под влиянием монотонности работник становится вялым, безучастным к работе, что приводит к преждевременному утомлению. Чрезмерно выраженная монотонность может вызвать своеобразное нервное истощение со всеми вытекающими отрицательными последствиями.

Для предотвращения отрицательных последствий монотонности труда необходимо иметь правильное проектирование содержания трудовых операций, установление и соблюдение рационального режима труда и отдыха.

### **Повышенный уровень статического электричества**

Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на человеческий организм, и не только в случае непосредственного контакта с зарядом, но и за счет действий электрического поля, которое возникает при заряде. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека. Тем не менее, вблизи экрана электризуется пыль и оседает на нем. В результате чего

искажается резкость восприятия информации на экране. Кроме того, пыль попадает на лицо работающего и в его дыхательные пути [24].

Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха. Также целесообразно применение полов из антистатического материала [24].

### **Короткое замыкание**

Для защиты проводов от перегрева и предупреждения воспламенения окружающих предметов в цепь включаются аппараты защиты, например, плавкие предохранители [26].

Основной причиной возникновения коротких замыканий является нарушения изоляции электрооборудования.

Часто причиной повреждений в электрической части электроустановок являются неквалифицированные действия обслуживающего персонала.

Последствия коротких замыканий следующие:

1. механические и термические повреждения электрооборудования.
2. возгорания в электроустановках.
3. снижение уровня напряжения в сети.
4. Электромагнитное влияние на линии связи, коммуникации и т.п.

Меры по предотвращению короткого замыкания:

1. старые провода с несоответствующей изоляцией не используются;
2. установлены защитные устройства отключения – автоматические выключатели, устройства защитного отключения, дифавтоматы;
3. регулярно проходят проверки состояния электрических точек – розеток и выключателей (при необходимости сразу же заменять);
4. не эксплуатируются поврежденные электроприборы, от которых летят искры [26].

## **7.3 Экологическая безопасность**

### **7.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду**

Разрабатываемый объект не влияет на окружающую среду на этапах его разработки и эксплуатации.

### **7.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Работа производится в основном на персональном компьютере, поэтому большой проблемой является энергопотребление. Большой рост потребляемой электроэнергии влечет за собой увеличение мощности и количества электростанций. Так как электростанции используют большое количество различных видов топлива, водных ресурсов, помимо этого они являются источником вредных выбросов в атмосферу.

Поскольку работа происходит в офисе, то к отходам относятся сточные воды и бытовой мусор. Основной офисный мусор – бытовой мусор (в т. ч. люминесцентные лампы), отходы печати, неисправное электрооборудование и компьютерная техника, коробки от техники и т.д. Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от 3 до 5 миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации [31].

### **7.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Потребление большого количества электроэнергии является мировой проблемой. Поэтому во многих странах используют альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Использование энергосберегающих систем может также улучшить ситуацию.

Сточные воды здания относятся к бытовым сточным водам. За их очистку отвечает городской водоканал.

Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

Меры обращения с отходами предусматривают под собой утилизацию электронной техники: компьютеров, принтеров и т.п. Непосредственная переработка большей части компонентов включает в себя их сортировку, последующую гомогенизацию и отправку для повторного использования, т.е. с предварительным помолом или переплавкой.

Хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к контейнерам запрещен. Транспортировка люминесцентных ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов [31].

## **7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Объект исследования не может быть причиной возникновения пожара, потому что он не является материальным. После реализации на практике объект также не будет причиной возникновения пожара.

### **7.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91[26] и ГОСТ 12.1.010-76 [27].

По пожарной и взрывопожарной опасности в помещениях производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения, помещение, в котором производились работы, относится к категории Д – пониженная пожароопасность [26].

Основные причины возникновения пожаров:

- перегрузка электросети;
- поджог;
- курение в неположенных местах.

### **7.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Пожарная безопасность обеспечивается системой пожарной защиты и системой предотвращения пожара.

Мероприятия по предотвращению пожара [26]:

- помещение содержится в чистоте, мусор своевременно убирают. По окончании работы проводится влажная уборка всех помещений;
- работа проводится при исправном электрооборудовании;
- на видном месте вывешен план эвакуации из корпуса с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;
- уходящий из помещения последним проверяет выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т.д. и отключает силовую и осветительную электрическую сеть.

Соблюдение организационных мероприятий [26]:

- правильная эксплуатация приборов, установок;
- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;
- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий и т.п.

Действия в случае возникновения пожара [26]:

- при наличии телефона, «112» или «01» и сообщить о пожаре и своем местоположении;
- не входить в места с высокой концентрацией дыма и видимостью менее, чем 10 метров.

Если имеется возможность выйти из помещения (здания) наружу [26]:

- покинуть помещение, используя запасные и основные пути эвакуации;

- попутно отключить электроэнергию;
- передвигаться к выходу на четвереньках, при этом закрывая рот и нос подручными средствами защиты;

- плотно закрыть дверь при выходе.

Если дым и пламя в соседних помещениях не позволяет выйти наружу [26]:

- не поддаваться панике;

- проверить возможности спуститься по пожарной лестнице или выйти на крышу;

- при отсутствии возможности эвакуироваться для защиты от дыма и тепла необходимо загерметизировать своё помещение:

- закрыть плотно двери, заткнуть щели тканью, желательнее мокрой;

- закрыть окна и форточки.

- при наличии воды, постоянно смачивать двери и пол.

- при задымлении помещения, передвигаться только на четвереньках, прикрыв рот и нос влажным носовым платком или рукавом, в сторону окна и находиться возле окна, при этом привлекать к себе внимание людей на улице.

Пожарная безопасность в ТПУ обеспечивается в соответствии с требованиями ФЗ пожарной безопасности № 69-ФЗ от 21.12.1994 г., правилами противопожарного режима в РФ.

### **7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Площадь одного рабочего места с компьютером должна быть не менее 6 м<sup>2</sup>. При размещении рабочих мест с персональными компьютерами должны учитываться расстояния между рабочими столами с мониторами [28].



Помещения с компьютерами обязательно должны быть оборудованы системами эффективной приточно-вытяжной вентиляцией отопления и кондиционирования воздуха [28].

Внутренняя отделка интерьера помещений с компьютерами должна быть сделана при использовании диффузно-отражающих материалов с коэффициентами отражения для потолка от 0,7 до 0,8; для стен от 0,5 до 0,6; для пола от 0,3 до 0,5. В помещениях с эксплуатацией компьютеров поверхность пола должна быть нескользкой, ровной и удобной для влажной уборки, а также иметь антистатические свойства [28].

В обязательном порядке в помещении должны находиться углекислотный огнетушитель для тушения пожара и аптечка первой медицинской помощи.

Согласно СанПиН 2.2.2.548-96 [22] при 8-ми часовой рабочей смене на ВДТ и ПЭВМ перерывы в работе должны составлять от 10 до 20 минут каждые два часа работы [22]. В перерывах, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [28], рекомендуется проводить комплекс упражнений для глаз.

В процессе работы, все используемые предметы должны находиться в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации приведено на рисунке 19. Обозначения: а – зона максимальной досягаемости, б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке, в – зона легкой досягаемости ладони, г – оптимальное пространство для грубой ручной работы, д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы [29].

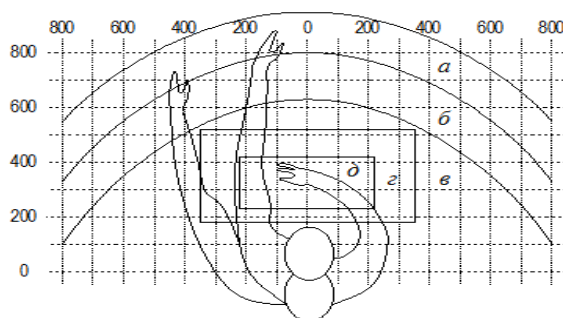


Рисунок 19 – Оптимальное размещения предметов труда

Дисплей размещается в зоне *a* (в центре), системный блок размещается в предусмотренной нише стола, клавиатура – в зоне *z/d*, «мышь» – в зоне *в* справа, сканер в зоне *a/б* (слева), принтер находится в зоне *a* (справа), документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – *в*, а в выдвижных ящиках стола – редко используемая литература.

На рисунке 20 приведен пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста. Введены следующие обозначения: 1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола, 5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь».

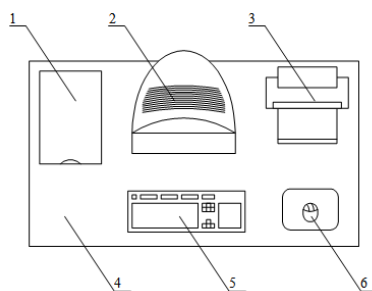


Рисунок 20 – Размещения основных и периферийных составляющих ПК

**Вывод:** рабочее место программиста  $6 \text{ м}^2$ , аудитория оснащена вентиляцией, имеются огнетушители и др., поэтому рабочее помещение удовлетворяет вышеописанные нормам.

### 7.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В работе описаны опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-программиста, приведены нормы, которым оно должно соответствовать. Представлены такие вредные факторы, как повышенный уровень шума на рабочем месте, отсутствие или недостаток естественного света, психофизиологические факторы и др. Опасные факторы включают в себя: повышенный уровень статического электричества, короткое замыкание.

Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду показал, что разрабатываемый объект не влияет на окружающую среду на этапах его разработки и эксплуатации.

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований показал, что объект исследования не может быть причиной возникновения пожара, потому что он не является материальным.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности показали также, что нарушений нет.

Проанализировав помещение для работы, можно сделать вывод, что оно соответствует необходимым требованиям.

## Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации в основной части:

- описаны классические задачи геодезии, возникающие при проведении геодезических работ;
- рассмотрены приборы и устоявшиеся методы решения классических задач;
- разработаны новые методы решения задачи на определение координат определяемой точки с помощью СЛАУ для дирекционных измерений;
- в математических пакетах MATLAB и Mathcad реализованы процедуры однократных вычислений координат определяемой точки, а также процедуры для моделирования многократных расчётов на больших наборах данных с результатами измерений;
- с помощью реализованных процедур проведены эксперименты при различных условиях;
- выявлено отрицательное влияние на обусловленность матрицы сужение области распределения известных точек;
- показано, что увеличение расстояния между пунктами повышает погрешность результата;
- изучено влияние кратности последней точки на погрешность измерений;
- разработано приложение для обработки геодезических измерений.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выявлено, что разрабатываемый продукт включает в себя эффективные методы и алгоритмы нахождения координат определяемой точки, что всегда востребовано в маркшейдерии и геодезии. Оценка готовности проекта к коммерциализации говорит о том, что перспективность данной работы средняя. Рассчитан бюджет НИИ и он составил

292050,66рублей. Оценка научно-технического уровня НИР показала, что реализуемый проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

В разделе «Социальная ответственность» описаны опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-программиста, приведены нормы, которым оно должно соответствовать. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду показал, что разрабатываемый объект на этапах его разработки и эксплуатации не влияет на окружающую среду. Анализ вероятных ЧС показал, что объект исследования не может быть причиной возникновения пожара, потому что он не является материальным. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности показали также, что нарушений нет. Помещение для работы соответствует необходимым требованиям.

## Список литературы

- 1 Геодезия: учебное пособие для вузов/Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2007. – 592 с.
- 2 Маркшейдерская энциклопедия/Л.А. Пучков. – М.: Мир горной книги, 2006. – 605 с.
- 3 Маркшейдерское дело/Д.Н. Оглоблина, П.П. Бастан, Г.И. Герасим, С.И. Никольский. – М.: Недра, 1972. – 590 с.
- 4 Геодезия в маркшейдерском деле: учеб, для вузов/ С.И. Чекалин. – М.: Академический Проект, 2012. – 506 с.
- 5 Маркшейдерское дело / В.И. Борщ-Компониец, В.М. Гудков, В.Г. Николаенко, Ю.И. Курячий. – М.: Недра, 1979 – 501 с.
- 6 Научно-образовательный материал «Инженерная геодезия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mgsu.ru/organizations/RealizDogovorov/realizatsiya-2009/2009-4-polnye/11.4.2.5-polnaya.pdf>, свободный. Дата обращения: 05.04.2017 г.
- 7 Уравнивание геодезических построений / В.Д. Большаков, Ю.И. Маркузе, В.В. Голубев. – М.: Недра, 1989. – 413 с.
- 8 Вылегжанин О.Н. Расчёт координат неизвестной точки по результатам дирекционных измерений / О.Н. Вылегжанин, С.А. Рыбалка, Ю.С. Сергеева: статья // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 5. – С. 18-21.
- 9 Вылегжанин О.Н. Расчёт координат неизвестной точки по результатам измерений дистанций / О.Н. Вылегжанин, С.А. Рыбалка: статья // Маркшейдерский вестник. – 2017. – № 1. – С. 15-27.
- 10 Сергеева Ю. С. Реализация алгоритмов обработки геодезических данных / Ю.С. Сергеева, С.А. Рыбалка, О.Н. Вылегжанин // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов III Международной научной конференции, 23-26 мая 2016 г., Томск: в 2 ч. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Ч. 1. – С. 203-205.

11 Разработка исследование унифицированного подхода к решению задач геодезии и маркшейдерии / А.С. Сергеева. – Томск. 2016. – 121 с.

12 Геометрическая основа маркшейдерских съёмок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://coalguide.ru/obshchie-svedeniya-o-markshejderskikh-s-emkakh/555-geometricheskaya-osnova-markshejderskikh-s-emoк/>, свободный. Дата обращения: 13.03.2017 г.

13 Инструкция по производству маркшейдерских работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/geologija--geodezija-i-kartografija/8/instrukcija-po-proizvodstvu-markshejderskih-rabot.html>, свободный. Дата обращения: 20.12.2016 г.

14 Теодолитные ходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tsuab.ru/upload/filesarchive/files/Vychislenie\\_koordinat\\_tochek\\_teodolitnogo\\_khoda\\_file\\_1\\_9588.pdf](http://www.tsuab.ru/upload/filesarchive/files/Vychislenie_koordinat_tochek_teodolitnogo_khoda_file_1_9588.pdf), свободный. Дата обращения: 19.11.2016 г.

15 Сергеева Ю.С., Рыбалка С.А., Вылегжанин О.Н. Реализация алгоритмов обработки геодезических данных: статья// Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск: ТПУ, 2014. С.208-209.

16 Инженерная геодезия: учебник для вузов/ Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман; Под ред. Д.Ш. Михелева. – 4-е изд., исп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 280 с.

17 Определение координат засечки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://injazshita.com/opredelenie-koordinat-zasechkami.html>, свободный. Дата обращения: 10.05.2018 г.

18 MATLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matlab.ru/products/matlab>, свободный. Дата обращения: 01.05.2018 г.

19 Mathcad – описание продукта и расширений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pts-russia.com/products/mathcad/mathcad-info.html>, свободный. Дата обращения: 11.05.2018 г.

20 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

21 ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

22 СанПиН 2.2.2.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

23 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

24 ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

25 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

26 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

27 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

28 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

29 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

30 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

31 Технологический регламент обращения с ртутьсодержащими отходами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://есо-profi.info/index.php/othod/instr/601-instr-3533010013011-3.html>, свободный. Дата обращения: 10.03.2018 г.



## Приложение А (обязательное)

### Раздел 3

### Solving the tasks of geodesy

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Романова Татьяна Александровна		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыбалка Сергей Анатольевич	к.т.н		

Консультант – лингвист:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Комиссарова Ольга Валентиновна	к.филол.н.		


## **Solving the tasks of geodesy**


Various types of work in construction, mining, etc. are accompanied by geodetic research. Such studies consist of measurement steps and calculations based on measurement results. There is a large set of different geodesy tasks that need to be addressed. Traditionally, these problems are solved with the help of trigonometric functions and nonlinear equations. As a rule, these tasks are based on the notch problem, which is basic for them. A new approach of performing calculations for this problem is proposed, namely by linear algebra methods.

### **Survey geodetic tasks**


The problem of determining the coordinates of the notch is one of the most important in geodesy. The notch is a way of finding the coordinates of a single point of measured points connecting its position with the initial objects. Two elements must be measured to determine the planned position of the point. Excessive measurements are performed for monitoring in addition to the necessary. Notches are divided into direct, reverse and combined. In direct notch, measurements are performed at the starting points; in the reverse - at the determined point; in combined - at the source and identified points. Depending on the type of measurements, the notches are divided into angular, linear and linear-angular.

It is necessary to know more particularly the conventions used by geodesists during the problems review. They look like this:


 – original side of the triangulation;

 – source geodetic point;

 – defined point;

 – basis;

 – sides of triangulation with bilateral directions;

 – one-way direction.

Let's consider the problem of direct angular notch. At the starting points  $A$  and  $B$ , the angles  $\beta_1$  and  $\beta_2$  are measured. The coordinates of the points are  $x_A, y_A, x_B, y_B$ . In Figure A.1 a direct angular intersection is showed.

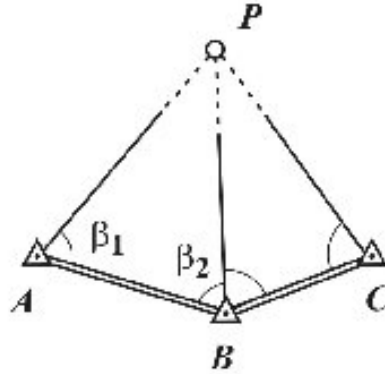


Figure A.21 – Direct angular notch

Firstly, during the measurements processing, the directional angles of the directions  $AP$  and  $BP$  are calculated.

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \beta_1; \alpha_{BP} = \alpha_{BA} + \beta_2.$$

Coordinates are related with directional angles by the inverse geodetic intersection formula:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AP} = \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A}; \operatorname{tg} \alpha_{BP} = \frac{y_P - y_B}{x_P - x_B}.$$

The formulas of calculating the coordinate of the determined point  $P$  after getting the solution of previous equations for  $x_p$  and  $y_p$  (Gauss's formula) are:

$$x_P = \frac{x_A \operatorname{tg} \alpha_{AP} - x_B \operatorname{tg} \alpha_{BP} + y_B - y_A}{\operatorname{tg} \alpha_{AP} - \operatorname{tg} \alpha_{BP}}; \quad (\text{A.1})$$

$$y_P = y_A + (x_P - x_A) \operatorname{tg} \alpha_{AP}.$$

$y_p$  is calculated additionally for verification according to the following formula:

$$y_P = y_B + (x_P - x_B) \operatorname{tg} \alpha_{BP}.$$

If one of the direction angles  $\alpha_{AP}$  or  $\alpha_{BP}$  is near to  $90^\circ$  or  $270^\circ$ , then the computations are performed by formulas

$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \alpha_{AP} - y_B \operatorname{ctg} \alpha_{BP} + x_B - x_A}{\operatorname{ctg} \alpha_{AP} - \operatorname{ctg} \alpha_{BP}};$$

$$x_P = x_A + (y_P - y_A) \operatorname{ctg} \alpha_{AP} = x_B + (y_P - y_B) \operatorname{ctg} \alpha_{BP}.$$

Similar measurements and calculations are checked with reliance on another original  $BC$  side. The final values of the coordinates of the determined point are the average values.

Let's regard the inverse angle notch, which is shown in Figure A.2.

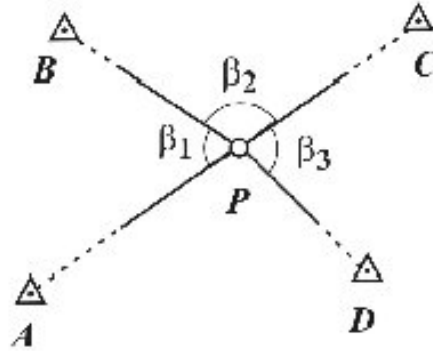


Figure A.22 – Inverse angle intersection

At the determined point  $P$ , the angles  $\beta_1$  and  $\beta_2$  are measured between the directions to the starting points  $A$ ,  $B$  and  $C$ . In this case, the starting points are chosen such that they don't be in the same circle or near it with the point  $P$ . Firstly, the directional angles are calculated, and then the coordinates of point  $P$  are calculated by the Gauss formulas:

$$\operatorname{tg} \alpha_{BP} = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_1 - y_B (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) + y_C \operatorname{ctg} \beta_2 + x_A - x_C}{x_A \operatorname{ctg} \beta_1 - x_B (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) + x_C \operatorname{ctg} \beta_2 + y_A - y_C};$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{BP} - \beta_1.$$

The excess angle  $\beta_1$  is measured and the coordinates are calculated using another pair of measured angles for control.

Let's regard a linear notch. It is shown in Figure A.3.

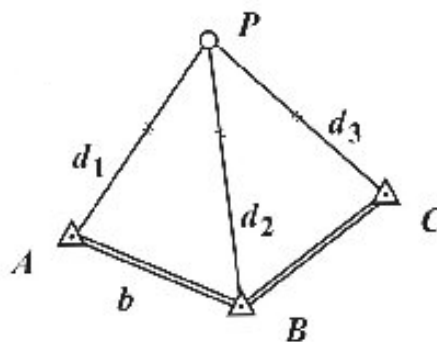


Figure A.23 – Linear intersection

The distances  $d_1$ , and  $d_2$  are measured to determine the coordinates of the point P. The angles of the triangle APB are found by the cosine formula. The direction angle is calculated as  $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \angle A$ . Then the required coordinates are found by the formulas of the direct geodetic problem

$$x_P = x_A + d_1 \cos \alpha_{AP}; y_P = y_A + d_1 \sin \alpha_{AP}.$$

The excess distance  $d_3$  and the coordinates from the triangle  $BPC$  are calculated for the check.

### **Solution tasks of notch by the methods of linear equations**

Let's regard another approach to the solution of classical tasks of geodesy, the tasks with angular and tasks with remote measurements at a definite point.

The tasks with remote measurements is as follows. There are two remote measurements from two points  $X_1$  and  $X_2$ , with known coordinates, to the point  $X_z$  with unknown coordinates. It's required to determine the coordinates of the point  $X_z$ . In this work, we propose to look for the solution starting from the fact that the original points  $X_1$  and  $X_2$ , and the desired point  $X_z$  form two right-angled triangles in the combination with the point O.

The task with angular measurements is as follows: there are given two angular measurements from two points  $X_1$  and  $X_2$ , with known coordinates, to the point  $X_z$ , with unknown coordinates. It is required to determine the coordinates of the point  $X_z$ . In the sources this task is solved through the using of trigonometric

functions. We assume that all measurements are made on the plane; the angles and coordinates are given in the Cartesian coordinate system.

Suppose that a polar angle  $\alpha_1$  was obtained during the view from point  $X_1$  to point  $X_z$ . Then the initial point  $X_1$  can be written as a column vector  $X_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}$ , and the unknown point by the vector  $X_z = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ . The revised angle  $\alpha_1$  can be expressed by the vector  $P_1 = \begin{pmatrix} x_{p1} \\ y_{p1} \end{pmatrix}$  or  $P_1 = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 \\ \sin \alpha_1 \end{pmatrix}$ . Then the coordinates of the unknown point  $X_z$  will be calculated as

$$X_z = X_1 + c_1 P_1. \quad (\text{A.2})$$

Similarly, during observing from  $X_2$  to point  $X_z$  at an angle  $\alpha_2$ , the data  $X_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix}$  and  $P_2 = \begin{pmatrix} x_{p2} \\ y_{p2} \end{pmatrix}$  will be obtained and the coordinates of the unknown point  $X_z$  will be calculated as follows

$$X_z = X_2 + c_2 P_2. \quad (\text{A.3})$$

From equations (A.2) and (A.3) we can see the equality of the right-hand sides and:

$$X_1 + c_1 P_1 = X_2 + c_2 P_2. \quad (\text{A.4})$$

Equation (A.4) can be rewritten in another form

$$X_2 - X_1 = c_1 P_1 - c_2 P_2 \quad (\text{A.5})$$

или

$$X_2 - X_1 = P \begin{pmatrix} c_1 \\ -c_2 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.6})$$

Here is a matrix  $P$  formed as a row vector consisting of columns  $P_1$  and  $P_2$ :

$$P = \left( \begin{pmatrix} x_{p1} \\ y_{p1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{p2} \\ y_{p2} \end{pmatrix} \right).$$

Without changing equation (A.6), the coefficient vector  $\begin{pmatrix} c_1 \\ -c_2 \end{pmatrix}$  in the right-hand side can be artificially written as the product  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$  or  $I' \cdot C$ , where  $C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$  is vector column of coefficients, and  $I' = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$  is involutive matrix.

Then equation (A.5) can be written in the form

$$X_2 - X_1 = P \cdot I' \cdot C.$$

After calculating the necessary parameters and performing the transformations, the coordinates of the new point  $X_Z$  can be determined both from equation (A.2) and (A.3).

Classical tasks of geodesy and mine surveying for remote and angular measurements are similarly arranged for spatial measurements. For the directional task, it is also sufficient to have a minimum of two angular measurements, but such lines are generally crossed, but not intersect. And then the solution of classical problems of geodesy with the use of system of linear equations is based on the following mathematical approach. From the results of measurements on the terrain, the coordinates of the known point  $X_i$  and the vector of the direction  $P_i$  are measured from it to the unknown point  $X_Z$ . They determine the equation of a straight line passing through the points  $X_Z$  and  $X_i$ :

$$X_Z = X_i + d_i \cdot P_i, \tag{A.7}$$

where  $X_Z$  are the coordinates of an arbitrary point belonging to a given straight line,  $d_i$  is a scalar defining the distance from a point  $X_i$  to  $X_Z$ . The minimum required number of measurements to determine the coordinates of an unknown point is two (the point of intersection of two rays emanating from  $X_i$  and  $X_2$  to  $X_Z$ ).

The solution of this task on the minimum necessary number of measurements can be such: it is possible to form an equation of the form from expression (A.7) for two points:

$$X_1 + d_1 \cdot P_1 = X_2 + d_2 \cdot P_2, \quad (\text{A.8})$$

which is reduced to a system of two linear equations.

Each pair of points  $X_i$  and  $X_j$  gives an equation of the form (A.8), respectively, the system of linear equations is transformed to the form:

$$\tilde{P} \cdot \tilde{D} = \tilde{X},$$

where the matrix of the system is formed from the observation vectors:

$$\tilde{P} = \begin{pmatrix} P_1 & -P_2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ P_1 & 0 & -P_3 & 0 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & & \\ P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & -P_n \\ & & \vdots & & & \\ 0 & \dots & 0 & 0 & P_{n-1} & -P_n \end{pmatrix},$$

and the vector of the right-hand side of the coordinates of known points is:

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} X_2 - X_1 \\ X_3 - X_1 \\ \vdots \\ X_n - X_{n-1} \end{pmatrix}.$$

The calculated vector of unknown variables is

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}.$$

An estimate of the unknown  $\tilde{D}$  vector can be obtained in the form  $\bar{D} = \tilde{P}^+ \cdot \tilde{X}$ .

Another approach to solve the geodesic problem on angular measurements is based on the search for such points on these lines, the distance between which is minimal. From the function that determines the distance between two points lying on two straight lines we have:

$$I(d_1, d_2) = (X_1 + d_1 \cdot P_1 - X_2 - d_2 \cdot P_2)^T \cdot (X_1 + d_1 \cdot P_1 - X_2 - d_2 \cdot P_2), \quad (\text{A.9})$$

where the variables are also scalars  $d_1$  and  $d_2$ . A necessary and sufficient condition for an extremum is the vanishing of partial derivatives at the arguments. After the



equating them to zero and, solving with respect to  $d_1$  and  $d_2$ , we obtain a system of equations:

$$\begin{cases} d_1 \cdot P_1^T \cdot P_1 - d_2 \cdot P_1^T \cdot P_2 = (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ -d_1 \cdot P_1^T \cdot P_2 + d_2 \cdot P_2^T \cdot P_2 = (X_1 - X_2)^T \cdot P_2 \end{cases}$$

This implies  $d_1 = \frac{B^T \cdot (P_1 - a \cdot P_2)}{1 - a^2}$  and  $d_2 = \frac{B^T \cdot (a \cdot P_1 - P_2)}{1 - a^2}$ , where  $a = P_1^T \cdot P_2$  is known scalar quantity and  $B = X_2 - X_1$  is known vector.

There is no solution for  $a=1$ , which corresponds to the parallelism of the directions  $P_1$  and  $P_2$ . In this case, the derivation of the solution does not depend on the dimension of the estimator space, that is the same for both planar and spatial problems.

For a set of points with known coordinates, the distance is written as follows:

$$\begin{aligned} I(d_i, d_j) = & X_i^T \cdot X_i + d_i^2 \cdot P_i^T \cdot P_i + X_j^T \cdot X_j + d_j^2 \cdot P_j^T \cdot P_j + 2d_i \cdot X_i^T \cdot X_j - \\ & - 2X_i^T \cdot X_j - 2d_j \cdot X_i^T \cdot P_j - 2d_i \cdot X_j^T \cdot P_i - 2d_i d_j \cdot P_i^T \cdot P_j + 2d_j \cdot X_j^T \cdot P_j, \end{aligned}$$

where  $i = 1, \dots, n-1$ ,  $j = i+1, \dots, n$ . Private derivatives of these expressions:

$$\frac{\partial I(d_i, d_j)}{\partial d_i} = 2d_i \cdot P_i^T \cdot P_i - 2(X_j - X_i)^T \cdot P_i - 2d_j \cdot P_i^T \cdot P_j.$$

After equating them to zero, we arrive at a system of equations of the form  $\tilde{P} \cdot \tilde{D} = \tilde{X}$ , where the matrix of the system

$$\tilde{P} = \begin{pmatrix} P_1^T \cdot P_1 & -P_1^T \cdot P_2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & -P_1^T \cdot P_3 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & & \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & -P_1^T \cdot P_n \\ \vdots & & \vdots & & & \\ 0 & \dots & 0 & 0 & P_{n-1}^T \cdot P_{n-1} & -P_{n-1}^T \cdot P_n \end{pmatrix},$$

The vector of the right side is

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 - X_1)^T \cdot P_1 \\ \vdots \\ (X_n - X_{n-1})^T \cdot P_{n-1} \end{pmatrix},$$

and the calculated vector of unknowns is

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}.$$

To solve such overdetermined systems, one can use numerical methods, for example, the application of a generalized inverse or pseudoinverse matrix.

In vector form we get  $N=C_n^2$  equations, and the dimensions of matrices and vectors are

$$(N \times n) \cdot (n \times 1) = (N \times 1).$$

It is not enough to implement the procedure to form the matrix of coefficients and the vector of the free terms of the vector form of recording. Therefore, it is necessary to present these objects in detailed form – for each coordinate. For the first variant of the solution in vector form, the system has  $N=C_n^2$ . In a coordinate form, each line is written in three lines. Then we have  $3N$  equations and the size matrices are

$$(3N \times n) \cdot (n \times 1) = (3N \times 1).$$

The matrices are written in the form

$$\mathfrak{N} = \begin{vmatrix} x_{P1} & -x_{P2} & 0 & \vdots & 0 \\ y_{P1} & -y_{P2} & 0 & \vdots & 0 \\ z_{P1} & -z_{P2} & 0 & \vdots & 0 \\ x_{P1} & 0 & -x_{P3} & \vdots & 0 \\ y_{P1} & 0 & -y_{P3} & \vdots & 0 \\ z_{P1} & 0 & -z_{P3} & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ x_{P1} & 0 & 0 & \vdots & -x_{Pn} \\ y_{P1} & 0 & 0 & \vdots & -y_{Pn} \\ z_{P1} & 0 & 0 & \vdots & -z_{Pn} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ 0 & 0 & \vdots & x_{Pn-1} & -x_{Pn} \\ 0 & 0 & \vdots & y_{Pn-1} & -y_{Pn} \\ 0 & 0 & \vdots & z_{Pn-1} & -z_{Pn} \end{vmatrix}; \mathfrak{R} = \begin{vmatrix} x_{P2} - x_{P1} \\ y_{P2} - y_{P1} \\ z_{P2} - z_{P1} \\ x_{P3} - x_{P1} \\ y_{P3} - y_{P1} \\ z_{P3} - z_{P1} \\ \dots \\ x_{Pn} - x_{P1} \\ y_{Pn} - y_{P1} \\ z_{Pn} - z_{P1} \\ \dots \\ x_{Pn} - x_{Pn-1} \\ y_{Pn} - y_{Pn-1} \\ z_{Pn} - z_{Pn-1} \end{vmatrix};$$

$$D = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_n \end{vmatrix}.$$

The second variant of solving the problem in the coordinate-wise form is written as

$$\mathfrak{N} = \begin{vmatrix} x_{P1}^2 + y_{P1}^2 + z_{P1}^2 & -x_{P1}x_{P2} - y_{P1}y_{P2} - z_{P1}z_{P2} & \dots & 0 \\ x_{P1}^2 + y_{P1}^2 + z_{P1}^2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{P1}^2 + y_{P1}^2 + z_{P1}^2 & 0 & 0 & -x_{P1}x_n - y_{P1}y_n - z_{P1}z_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & x_{n-1}^2 + y_{n-1}^2 + z_{n-1}^2 & -x_{Pn-1}x_n - y_{Pn-1}y_n - z_{Pn-1}z_n \end{vmatrix};$$

$$\mathfrak{R} = \begin{vmatrix} (x_2 - x_1)x_{P1} + (y_2 - y_1)y_{P1} + (z_2 - z_1)z_{P1} \\ (x_3 - x_1)x_{P1} + (y_3 - y_1)y_{P1} + (z_3 - z_1)z_{P1} \\ \vdots \\ (x_n - x_{n-1})x_{Pn-1} + (y_n - y_{n-1})y_{Pn-1} + (z_n - z_{n-1})z_{Pn-1} \end{vmatrix}.$$

Here the number of equations in both coordinate-wise and vector forms is equal to  $N$ .

This form of recording makes it easy to implement matrix generation procedures in both mathematical packages and in program development environments.

### **Solution of the serif tasks taking into account the features of measurement technology**

The systems of equations are constructed on the assumption that the measurements are taken from one geodetic point to another. In reality, measurements are taken from the center of the measuring instrument to a point on the geodetic rail.

When carrying out a single measurement, the surveyor records the displacement of the center of the instrument from the geodetic point. This displacement can be translated into a mathematically spatial vector. Denote the displacement vectors from the point where the device stands, as  $\Omega_i$  or  $\Omega_z$ , depending on whether it is a known point or unknown. A shift at the point of reception as  $\square_i$  or  $\square_z$ .

Let's construct a system for the case when all the measurements were taken from known points to the unknown. For the first variant, one equation is written as

$$(X_i + \Omega_i) + d_i \cdot P_i = (X_j + \Omega_j) + d_j \cdot P_j.$$

Then we obtain the system in the form

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} P_1 & -P_2 & \dots & 0 \\ P_1 & 0 & -P_3 & 0 \\ P_1 & 0 & \dots & -P_n \\ 0 & 0 & P_{n-1} & -P_n \end{vmatrix}, B = \begin{vmatrix} X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1 \\ X_3 + \Omega_3 - X_1 - \Omega_1 \\ \vdots \\ X_n + \Omega_n - X_{n-1} - \Omega_{n-1} \end{vmatrix}.$$

for unknown coefficients

$$D = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_n \end{vmatrix}.$$

Only displacements at known points are taken into account during composing of the system. But the desired solution is a point  $X_Z$ . Its value is determined for each found  $d_i$  from expression

$$X_Z + \square_Z = X_i + \square_i + d_i P_i.$$

Then the unknown quantity is

$$X_Z = X_i + \square_i + d_i P_i - \square_Z.$$

For the second variant, the coefficient matrix also does not depend on the coordinates of points

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} P_1^T \cdot P_1 & -P_1^T P_2 & 0 & \dots & 0 \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & -P_1^T P_3 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & \dots & 0 & -P_1^T P_n \\ & & \vdots & & \\ 0 & \dots & 0 & P_{n-1}^T P_{n-1} & -P_{n-1}^T P_n \end{vmatrix},$$

The vector of free terms depends

$$\mathcal{X}^0 = \begin{vmatrix} (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 - X_1)^T \cdot P_1 \\ M \\ (X_{n-1} - X_n)^T \cdot P_{n-1} \end{vmatrix},$$

Therefore, for the case taking into account that the measurements are taken away from the geodetic point, the vector is written as

$$B = \begin{vmatrix} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 + \Omega_3 - X_1 - \Omega_1)^T \cdot P \\ \vdots \\ (X_n + \Omega_n - X_{n-1} - \Omega_{n-1})^T \cdot P_{n-1} \end{vmatrix}.$$

And similarly to the first variant, the required quantity will be calculated from expression

$$X_Z = X_i + \Omega_i + d_i P_i - \square_Z.$$

The construction of systems of linear equations taking into account the displacement of the points between which the measurements were made, from survey points, allows us to design a program that better takes into account the specifics of geodetic work.

## Приложение Б (справочное)

### Программа расчёта по угловым измерениям в Mathcad.

#### **Задача 1: Решение задачи с произвольным количеством угловых измерений. Плоский случай.**

$ORIGIN := 1$  — нумерация массивов начинается с  
 $Num := 3$  — количество исходных точек  
 $scaX := 100$  — для укрупнения расстояний между  
 точками  
 $\Delta\alpha_1 := \frac{0}{360}$  — погрешность измерения одного из  
 углов

Расчет углов наблюдения

Нахождение вектора P

Составляем систему уравнений

#### **Решение задачи как системы линейных уравнений.**

При Num измерениях получаем  $2 \cdot C(Num, 2)$  уравнения

$$C2N := \frac{Num!}{2! \cdot (Num - 2)!}$$

$$C2N = 3$$

$$C0n := 2 \cdot C2N = 6$$

Столбцов будет Num — по числу неизвестных

а1

Определяем коэффициенты системы

knd = 1

AAA := for ind ∈ 1..Num - 1

for jnd ∈ ind + 1..Num

TEMP<sub>knd, ind</sub> ←  $(|P_{ind}|)^2$  В каждой строке по два элемента.  
Для пары P<sub>i</sub> и P<sub>j</sub> записывается две строки. Поэтому цикл два раза knd+1

$$TEMP_{knd, jnd} \leftarrow -P_{ind}^T \cdot P_{jnd}$$

knd ← knd + 1

$$TEMP_{knd, ind} \leftarrow -P_{ind}^T \cdot P_{jnd}$$

$$TEMP_{knd, jnd} \leftarrow (|P_{jnd}|)^2$$

knd ← knd + 1

return TEMP

$$AAA = \begin{pmatrix} 1 & -0.707 & 0 \\ -0.707 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0.707 \\ 0.707 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Составляем вектор свободных

knd = 1 элементов

BBB := for ind ∈ 1..Num - 1

for jnd ∈ ind + 1..Num

$$TEMP_{knd} \leftarrow -X_{ind}^T \cdot P_{ind} + X_{jnd}^T \cdot P_{ind}$$

knd ← knd + 1

$$TEMP_{knd} \leftarrow X_{ind}^T \cdot P_{jnd} - X_{jnd}^T \cdot P_{jnd}$$

knd ← knd + 1

return TEMP

$$BBB = \begin{pmatrix} 200 \\ 0 \\ 600 \\ 565.685 \\ 282.843 \\ 282.843 \end{pmatrix}$$

Составляем систему уравнений

Решение системы уравнений

Решение системы. Вариант 2

Анализ результатов

Составляем систему. Сокращенный вариант

Решение системы уравнений

Решение системы. Вариант 2

Анализ результатов

## Приложение В (справочное)

Процедура формирования предварительного списка опорных точек.

```
void TSurveys::MakeListPntsDirect (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts ^aFix,
TDesignedPnts ^aDes, TXYZ *aPnts, TAngleDist *aAngDis, unsigned int &aCou) {
    aCou = 0;
    for (unsigned int ind = 0; ind < FSurveyCount; ind++)
    {
        if (((FSurveys[ind].CodeSourceDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexSource ==
aCode)) ||
            ((FSurveys[ind].CodeDestinDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexDestin
== aCode))) // измерения были на эту точку
        {
            TMeasureType auxCD = static_cast<TMeasureType> (FSurveys
[ind].CodeDirect);
            if (auxCD == TMeasureType::mtDirection) // дирекционные
            {int indKnown = -1, codeKnown = cdbNoDef;
                if (FSurveys[ind].CodeSourceDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeSourceDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexSource;};
                if (FSurveys[ind].CodeDestinDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeDestinDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexDestin;};
                if (codeKnown == cdbFixed)
                    for (unsigned int indF = 0; indF < aFix->Count; indF++)
                        if (indKnown == aFix->CodeOf [indF])
                        {
                            aPnts [aCou].X = aFix->CoordOf [indF].X;
                            aPnts [aCou].Y = aFix->CoordOf [indF].Y;
                            aPnts [aCou].Z = aFix->CoordOf [indF].Z;
                            aAngDis [aCou].AlphaDeg =
FSurveys[ind].Datas.AlphaDeg;
                            aAngDis [aCou].AlphaMin =
FSurveys[ind].Datas.AlphaMin;
                            aAngDis [aCou].AlphaSec =
FSurveys[ind].Datas.AlphaSec;
                            aAngDis [aCou].BetaDeg =
FSurveys[ind].Datas.BettaDeg;
                            aAngDis [aCou].BetaMin =
FSurveys[ind].Datas.BettaMin;
                            aAngDis [aCou].BetaSec =
FSurveys[ind].Datas.BettaSec;
                            aCou++;
                            break;
                        } // } for indF
            if (codeKnown == cdbDesigned)
                for (unsigned int indD = 0; indD < aDes->Count; indD++)
                    if (indKnown == aDes->CodeOf [indD])
                    {
                        aPnts [aCou].X = aDes->CoordOf [indD].X;
                        aPnts [aCou].Y = aDes->CoordOf [indD].Y;
                        aPnts [aCou].Z = aDes->CoordOf [indD].Z;
                        aCou++;
                        break;
                    }
                } // if (auxCD == TMeasureType::mtDirection)
        } // for ind
    } // MakeListPntsDirect
}
```



## Приложение Г (справочное)

Процедура отображения информации об угловых измерениях на заданную определяемую точку.

```
void TSurveys::ShowSurveysDirectPntsToDGV (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
TSummarySurveysElement ^aSummSurvDirect, TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, DataGridView
^aDGV)
{
    aDGV->RowCount = aSummSurvDirect->CountPnts;

    int index = 0 ;
    for (unsigned int ind = 0; ind < FSurveyCount; ind++)
    {
        if (((FSurveys[ind].CodeSourceDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexSource ==
aCode)) ||
            ((FSurveys[ind].CodeDestinDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexDestin
== aCode))) // измерения были на эту точку
        {
            TMeasureType auxCD = static_cast<TMeasureType> (FSurveys
[ind].CodeDirect);
            if (auxCD == TMeasureType::mtDirection) // дирекционные
            {int indKnown = -1, codeKnown = cdbNoDef;
              if (FSurveys[ind].CodeSourceDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeSourceDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexSource;};
              if (FSurveys[ind].CodeDestinDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeDestinDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexDestin;};
              if (codeKnown == cdbFixed)
                  for (unsigned int indF = 0; indF < aFix->Count; indF++)
                      if (indKnown == aFix->CodeOf [indF])
                      {
                          aDGV->Rows[index]->Cells[0]->Value = index + 1;
                          String ^auxS = Marshal::PtrToStringAnsi((IntPtr)
(char *) aFix->GetName (indF).c_str());
                          aDGV->Rows[index]->Cells[1]->Value = auxS;
                          auxS = FSurveys [ind].Datas.AlphaDeg.ToString();
                          auxS += " " + FSurveys [ind].Datas.AlphaMin; auxS += "\' " + FSurveys [ind].Datas.AlphaSec +
                          "\"";
                          aDGV->Rows[index]->Cells[2]->Value = auxS;
                          auxS = FSurveys [ind].Datas.BettaDeg.ToString();
                          auxS += " " + FSurveys [ind].Datas.BettaMin; auxS += "\' " + FSurveys [ind].Datas.BettaSec +
                          "\"";
                          aDGV->Rows[index]->Cells[3]->Value = auxS;

                          aDGV->Rows[index]->Cells[4]->Value = aFix->CoordOf
[indF].X;
                          aDGV->Rows[index]->Cells[5]->Value = aFix->CoordOf
[indF].Y;
                          aDGV->Rows[index]->Cells[6]->Value = aFix->CoordOf
[indF].Z;

                          aDGV->Rows[index]->Cells[7]->Value = 1;
                          index++;
                          break;
                      }
            }
            // } for indF
            if (codeKnown == cdbDesigned)
                for (unsigned int indD = 0; indD < aDes->Count; indD++)
                    if (indKnown == aDes->CodeOf [indD])
                    {
```

```

(char *) aDes->GetName (indD).c_str());
[indD].X;
[indD].Y;
[indD].Z;

String ^auxS = Marshal::PtrToStringAnsi((IntPtr)
aDGV->Rows[ind]->Cells[1]->Value = auxS;
aDGV->Rows[ind]->Cells[3]->Value = aDes->CoordOf

aDGV->Rows[ind]->Cells[4]->Value = aDes->CoordOf
aDGV->Rows[ind]->Cells[5]->Value = aDes->CoordOf

break;
    }
    // } for indF
}
} // for ind
} // ShowSurveysDirectPntsToDGV

```