

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
декан физического факультета



С.Н. Филимонов

«26» июня 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

**Методы уравнивания геодезических сетей**

по направлению подготовки

**09.04.02 Информационные системы и технологии**

Направленность (профиль) подготовки:

**«Информационные системы и технологии в космической геодезии»**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистратура**

Год приема

**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

Т.В.Бордовицына

Председатель УМК

О.М. Сюзина

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-2 – Способен выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера для решения задач космической геодезии и геодинамики.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

- ИПК 2.1 – знает методы работы с современными информационными спутниковыми системами;
- ИПК 2.2 – умеет моделировать динамику спутниковых систем и использовать полученные математические модели для разработки методов решения задач геодинамики
- ИПК 2.3 – владеет методами компьютерного моделирования для решения исследовательских задач космической геодезии и геодинамики

## **2. Задачи освоения дисциплины**

- ознакомление с видами геодезических сетей и системами координат, которые используются в задачах уравнивания геодезических сетей;
- умение ориентироваться в методах уравнивания геодезических сетей и находить оптимальный вариант уравнивания сложных сетей, например, включающие современные спутниковые и старые полигонометрические сети;
- изучение особенностей и свойств параметрического способа решения линейных и нелинейных задач уравнивания, а также его аналогов рекуррентных алгоритмов и способа подвижного блока;
- формирование представлений о способах оценки точности решений задач уравнивания, включая определение доверительных эллипсоидов, а также способах задания весовых множителей, отбраковки измерений и учета ошибок исходных данных

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является дисциплиной по выбору.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 3, зачет с оценкой.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 32 ч.;

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## 8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Геодезические сети. Основные понятия и методы решения задач минимизации целевых функций

Общее представление о видах геодезических сетей и задаче уравнивания сетей. Особенности терминологии в задачах геодезии. Измерения. Классификация ошибок измерений. Элементы линейной алгебры и математической статистики. Оценки и их классификация. Метод максимального правдоподобия. Методы безусловной и условной минимизации целевых функций. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Примеры.

Тема 2. Задача наименьших квадратов. Способы уравнивания геодезических сетей.

Линейная задача наименьших квадратов (НК) и ее вероятностное обоснование. Системы условных и нормальных уравнений. Ковариационная матрица ошибок НК-оценок. Методы определения точности оценок. Доверительные эллипсоиды и методы их построения. Весовые матрицы и способы их задания. Нелинейная задача наименьших квадратов (НК). Системы условных и нормальных уравнений. Параметрический способ уравнивания. Рекуррентные алгоритмы уравнивания. Алгоритмы уравнивания с учетом ошибок исходных данных. Методы отбраковки измерений.

Тема 3. Классические задачи уравнивания по наземным измерениям.

Уравнивание угловых измерений на станции. Уравнивание координат пункта многократной прямой засечкой. Параметрический способ. Способ коррелат. Уравнивание нивелирных сетей параметрическим способом. Уравнивание нивелирных сетей способом подвижного блока. Уравнивание сетей трилатерации. Уравнивание сетей триангуляции. Уравнивание полигонометрических ходов и сетей. Приближенные способы уравнивания геодезических сетей

Тема 4. Задачи уравнивания пространственных геодезических сетей.

Уравнивание пространственных наземных геодезических сетей. Уравнивание пространственных спутниковых геодезических сетей. Городские геодезические сети и их классификация. Системы координат. Уравнивание спутниковой городской геодезической сети. Уравнивание старой полигонометрической городской сети.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

### Примеры контрольных вопросов к разделу 1

1. Какие виды геодезических сетей вы знаете?
2. Что представляет собой задача уравнивания геодезической сети?
3. Какие особенности в терминологии, используемой в задачах геодезии и математической статистики?
4. В чем отличие «личной» ошибки измерений от «инструментальной» ошибки измерений?
5. Определение понятия «внешняя» ошибка, «методическая» ошибка и ошибка «модели». В чем их отличие?
6. Определение понятия «систематическая», «случайная» и «грубая» ошибка измерений.
7. Существует ли четкое разделение между систематическими и случайными ошибками?
8. В каких случаях можно делать предположение о нормальном распределении случайных ошибок?
9. Какую матрицу называют диагональной, единичной, симметрической, нулевой и транспонированной по отношению к данной матрице?

10. Сформулируйте необходимые и достаточные условия существования у квадратной матрицы обратной матрицы.
11. Определение понятия собственные значения и собственные вектора матрицы.
12. Сингулярное разложение матрицы. Перечислите применения сингулярного разложения матриц в задачах геодезии.
13. Приведите для вещественных чисел аналог операции обращения матриц. Какие способы обращения матриц вы знаете?
14. Определение понятия математическое ожидание, дисперсия и ковариация. В чем отличие матриц ковариаций от корреляционных матриц?
15. Какие оценки называют несмещенными, состоятельными и эффективными? Имеют ли эти свойства оценки, которые находятся из решения реальных задач?
16. Что нужно знать для нахождения оценок по методу максимального правдоподобия?
17. К какой задаче сводится метод максимального правдоподобия при нормальном распределении ошибок измерений?
18. Как называется в геодезии метод неопределенных множителей Лагранжа? В каких задачах геодезии этот метод раньше часто применялся?
19. Можно ли применять метод неопределенных множителей для решения задач уравнивания?

#### Примеры контрольных вопросов к разделу 2

1. Какие математические модели лежат в основе линейной и нелинейной задачи НК?
2. Какие делаются допущения в трактовке нелинейной задачи НК?
3. Является ли в математической статистике строго обоснованной теория нелинейного оценивания?
4. Какую матрицу называют матрицей Гессе? Какой должна быть матрица Гессе, чтобы задача уравнивания была корректной?
5. Влияет ли наличие систематических ошибок на точность результатов уравнивания и достоверность оценок точности, определяемых на основе ковариационных матриц?
6. Как определяются вершины доверительного эллипсоида, если известно сингулярное разложение матрицы ковариации оценок.
7. Какие способы построения доверительных эллипсоидов вы знаете?
8. Что можно сказать о точности оценок и доверительных эллипсоидах, если они получены при одинаковой точности измерений, но в одном случае ошибки измерений распределены по нормальному закону, в другом по иному закону?
9. Каким образом можно сравнивать объемы доверительных эллипсоидов?
10. Что показывают собственные значения и числа обусловленности матрицы ковариации ошибок параметров, которые определяются в задачах уравнивания?
11. Обязательно ли использование весовых множителей в задачах уравнивания, в которых измеряются угловые и линейные величины?
12. Обязательно ли знание приближенного решения в линейной задаче уравнивания?
13. Что представляют собой уровенные поверхности целевой функции в линейной и нелинейной задаче уравнивания?
14. Как называется параметрический способ в математике?
15. В чем отличие параметрического способа, рекуррентных алгоритмов и способа подвижного блока?
16. Какой способ уравнивания является основным?
17. Позволяют ли алгоритмы уравнивания с учетом ошибок исходных данных определять более точные оценки, чем обычный параметрический способ?

18. Знание какой матрицы необходимо, чтобы было оправдано применение алгоритма уравнивания с учетом ошибок исходных данных?
19. Какие способы отбраковки измерений вы знаете?

### Примеры контрольных вопросов к разделу 3

1. Перечислите задачи уравнивания, которые относятся к классу линейных и нелинейных задач оценивания?
2. В каких случаях определяют координаты пункта путем решения задач многократной прямой и обратной засечек? Являются ли эти задачи линейными задачами оценивания?
3. К каким задачам оценивания (линейным или нелинейным) относятся задачи уравнивания нивелирных сетей?
4. Обязательно ли знание начальных приближений в параметрическом способе при решении следующих задач: уравнивании полигонометрического хода; уравнивании нивелирной сети; уравнивании угловых измерений на станции; уравнивании координат пунктов многократной прямой засечкой; уравнивании координат пунктов многократной обратной засечкой?
5. Обосновано ли задание разных весовых множителей в задаче уравнивания нивелирной сети?
6. Оправдано ли задание разных весовых множителей при уравнивании координат пункта многократной прямой и обратной засечек с использованием равноточных измерений?
7. Дайте определение трилатерации, триангуляции и полигонометрии.
8. При каких измерениях спутниковые геодезические сети рассматриваются, как сети трилатерации?
9. Обязательным ли является задание весовых множителей при уравнивании полигонометрических ходов и сетей?
10. Можно ли утверждать, что способом подвижного блока можно получить более точное уравнивание сети, чем параметрическим способом?
11. Какой вариант сетей при одинаковой точности исходных данных является лучшим: полигонометрия, трилатерация, триангуляция? Обосновать ответ.
12. В каких случаях применяют приближенные способы уравнивания?

### Примеры контрольных вопросов к разделу 4

1. Что представляют собой пространственные наземные и спутниковые геодезические сети?
2. Какие виды спутниковых измерений вы знаете? Точность спутниковых измерений.
3. Какие системы координат используются при уравнивании городских геодезических сетей?
4. Что представляют собой городские геодезические сети? Основные принципы построения сети.
5. Что представляет собой каркасная геодезическая сеть, и с какой целью ее создают?
6. Какой способ уравнивания обычно применяют при уравнивании городских геодезических сетей?
7. Какие методы измерений используются на пунктах городских спутниковых сетей?
8. Уравнивают ли старые полигонометрические городские сети?
9. В какой последовательности решается задача уравнивания городской геодезической сети?

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

**Зачет с оценкой** проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса.

Примерный перечень теоретических вопросов

### По разделу 1

1. Предмет и основные задачи теории уравнивания геодезических сетей.
2. Классификация ошибок измерений и их значение в задачах уравнивания.
3. Основные вероятностные характеристики оценок.
4. Метод максимального правдоподобия.
5. Методы обращения матриц. Сингулярное разложение матриц.
6. Методы минимизации целевых функций.
7. Метод неопределенных множителей Лагранжа.

### По разделу 2

1. Линейная задача наименьших квадратов. Методы оценивания точности решения задачи.
2. Условные и нормальные уравнения в линейной и нелинейной задаче наименьших квадратов.
3. Доверительные эллипсоиды и способы их построения.
4. Весовые матрицы и способы их задания в задачах уравнивания.
5. Параметрический способ уравнивания.
6. Рекуррентные алгоритмы уравнивания.
7. Алгоритмы уравнивания геодезических сетей с учетом ошибок исходных данных.
8. Методы отбраковки измерений в задачах уравнивания.

### По разделу 3

1. Уравнивание угловых измерений на станции.
2. Уравнивание координат пунктов многократной прямой засечкой.
3. Уравнивание координат пунктов многократной обратной засечкой.
4. Уравнивание нивелирных сетей параметрическим способом.
5. Уравнивание нивелирных сетей способом подвижного блока. Достоинство и недостатки способа.
6. Уравнивание сетей трилатерации.
7. Уравнивание сетей триангуляции.
8. Уравнивание полигонометрических ходов и сетей.
9. Приближенные способы уравнивания. Достоинства и недостатки.

### По разделу 4

1. Уравнивание пространственных наземных геодезических сетей.
2. Уравнивание пространственных спутниковых геодезических сетей.
3. Городские геодезические сети и их классификация.
4. Системы координат используемые в задачах уравнивания городской геодезической сети.
5. Уравнивание спутниковой городской геодезической сети.
6. Уравнивание старой полигонометрической городской сети.
7. Каркасная геодезическая сеть, ее назначение.
8. Методы измерений на пунктах городских спутниковых сетей.
9. Характеристики точности городских геодезических сетей.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка промежуточной успеваемости студента формируется в соответствии с таблицей ниже.

Оценивание ответа студента на экзамене

Оценка	Критерий оценивания	
	Б	Д
5		
4		
3		

	Полный развернутый ответ или задача решена
	Неполный ответ
	Фрагментарный ответ
	Отсутствие ответа

Здесь Б — вопросы по билету; Д — дополнительные вопросы; 5 — отлично; 4 — хорошо; 3 — удовлетворительно. Неудовлетворительная оценка соответствует всем иным случаям, не указанным в таблице.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Маркузе Ю.И. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ. М.: Недра, 1989. 248 с.
2. Маркузе Ю.И. Основы уравнивательных вычислений. М.: Недра, 1990. 240 с.
3. Маркузе Ю.И., Хоанг Нгок Ха. Уравнивание пространственных наземных и спутниковых геодезических сетей. М.: Недра, 1991. 275 с.
4. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М.:Физматгиз, 1962. 352 с

5. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия: учебное пособие для вузов. М.: Академический Проспект, 2007. 592с.
6. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1966. 576 с.
7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. М.: Финансы и статистика, 1986. Кн. 1. 366с.

– ...

б) дополнительная литература:

1. Большаков В.Д., Маркузе Ю.М., Голубев В.В. Уравнивание геодезических построений: Справочное пособие. М.: Недра, 1984. 413 с.
2. Большаков В.Д., Маркузе Ю.М. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. М.: Недра, 1984. 352 с.
3. Кемниц Ю.В. Теория ошибок измерений. М.: Недра, 1970. 188 с.
4. Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2004. 461 с.
5. Уоткинс Д.С. Основы матричных вычислений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 644 с.
6. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. М.: Мир, 1980. 280 с.
7. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: Изд-во МГТУ, 2001. 440 с.

– ...

в) ресурсы сети Интернет:

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система.

<http://www.consultant.ru>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.



## **15. Информация о разработчиках**

Автор: доцент Лазарев Владимир Михайлович