МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
(МИИГАиК)

Геодезический факультет
Кафедра астрономии и космической геодезии

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 5387FD2AF5B17FED816FDE9A1D4973B1
Владелец: Степанченко Алексей Леонидович
Действителен: с 21.07.2025 по 14.10.2026

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор
А. Л. Степанченко
15 мая 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
МОДУЛЬ. КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ И НАВИГАЦИИ
«Б1.В.01.ДВ.02.02 СПУТНИКОВАЯ ГРАДИЕНТОМЕТРИЯ»

Уровень высшего образования: бакалавриат

Направление подготовки: 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

Направленность(профиль) подготовки: Космическая геодезия и навигация

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2026

Срок получения образования: 4 года

Объем: в зачетных единицах: 3 з.е.
в академических часах: 108 ак.ч.

Москва, 2026

Разработчики:

Преподаватель кафедры Астрономии и космической геодезии
Рахманов А. С.

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, утвержденного приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 972

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	Геодезический факультет	Председатель ученого совета факультета	Половнев О. В.	Рассмотрено	28.01.2026, № 14

Содержание

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

3. Место дисциплины в структуре ОП

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

5. Содержание дисциплины
   5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий
   5.2. Содержание разделов, тем дисциплины и формы текущего контроля

6. Оценочные материалы текущего контроля

7. Оценочные материалы промежуточной аттестации

8. Порядок проведения промежуточной аттестации

9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины
   9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы
   9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся
   9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине
   9.4. Оборудование и технические средства обучения

10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины - является формирование профессиональных компетенций, определяющих готовность и способность бакалавра по направлению подготовки «Геодезия и дистанционное зондирование», профиль «Космическая геодезия и навигация» к использованию знаний из области теории движения искусственных спутников Земли для решения основных задач геодезии.

Задачи изучения дисциплины:

- новейшие перспективные направления в области детального изучения гравитационного поля Земли для дальнейшего использования в народно-хозяйственных и оборонных целях..

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Компетенции, индикаторы и результаты обучения

ПК-4 Способен выполнять технологические операции по подготовке предложений для принятия решения, в том числе на основе результатов космической деятельности

ПК-4.1 Формирует и направляет запросы на предоставление данных (информации), получаемых на основе использования результатов космической деятельности, в информационно-аналитические и мониторинговые системы различных уровней

Знать:

ПК-4.1/Зн2 Порядок, регламент и официальные нормативные документы для формирования и направления запросов на предоставление данных, полученных на основе результатов космической деятельности

ПК-4.1/Зн3 Принципы формирования и направления запросов на предоставление данных, получаемых на основе использования результатов космической деятельности, в информационно-аналитические и мониторинговые системы различных уровней

Уметь:

ПК-4.1/Ум2 Составлять официальные запросы на получение космических данных в соответствии с установленными требованиями и направлять их в информационно-аналитические и мониторинговые системы

Владеть:

ПК-4.1/Нв1 Принятой терминологией в области изучения характеристик физических полей, способами представления информации о них.

ПК-4.1/Нв2 Навыками деловой переписки и оформления документации для взаимодействия с поставщиками данных и операторами мониторинговых систем различных уровней

ПК-4.2 Выполняет сбор, первичную обработку, систематизацию, каталогизацию и визуализацию данных (информации), полученных на основе использования результатов космической деятельности и результатов их обработки

Знать:

ПК-4.2/Зн2 Методы сбора, первичной обработки, систематизации и каталогизации данных, полученных на основе результатов космической деятельности

Уметь:

ПК-4.2/Ум2 Выполнять комплексную обработку космических геодезических данных, включая их преобразование в заданные системы координат.

Владеть:

ПК-4.2/Нв2 Навыками работы со специализированным геодезическим программным обеспечением для обработки космических данных, методами их визуализации

ПК-4.3 Выполняет комплексный анализ данных (информации), полученных на основе использования результатов космической деятельности

Знать:

ПК-4.3/Зн4 Способы представления гравитационного потенциала Земли

ПК-4.3/Зн5 Теорию гравитационного поля Земли

ПК-4.3/Зн7 Теорию движения ИСЗ, методы численного и аналитического интегрирования уравнений движения ИСЗ

Уметь:

ПК-4.3/Ум5 Вычислять невозмущённую эфемериду ИСЗ

ПК-4.3/Ум6 Определять элементы предварительной орбиты ИСЗ

ПК-4.3/Ум7 Применять теоретические знания для исследований в области гравитационного поля земли

Владеть:

ПК-4.3/Нв5 Навыками применения теории спутниковой градиентометрии для детального изучения гравитационного поля Земли

ПК-4.3/Нв6 Методикой прогнозирования движения ИСЗ

ПК-4.4 Формирует набор возможных вариантов решения на основе использования результатов космической деятельности

Знать:

ПК-4.4/Зн5 Методы и способы технологических операций по подготовке предложений для принятия решений в профессиональной деятельности

Уметь:

ПК-4.4/Ум4 Разрабатывать и анализировать варианты технологических схем и методик выполнения геодезических работ на основе различных типов информации

ПК-4.4/Ум5 Выполнять технологические операции по подготовке предложений для принятия решения в профессиональной деятельности

Владеть:

ПК-4.4/Нв5 Навыками выполнения технологических операций по подготовке предложений для принятия решения в профессиональной деятельности

ПК-13 Способен развивать и эксплуатировать ГНСС, их ФД, а также средства их анализа и мониторинга

ПК-13.1 Выполняет анализ характеристик ГНСС и их функциональных дополнений

Знать:

ПК-13.1/Зн2 Предмет и проблемы градиентометрии

ПК-13.1/Зн3 Теорию поля силы тяжести

ПК-13.1/Зн4 Теорию инерциальных навигационных систем

Уметь:

ПК-13.1/Ум2 Использовать имеющиеся теоретические знания в профессиональной деятельности

Владеть:

ПК-13.1/Нв2 Методами применения теоретических знаний спутниковой градиентометрии в профессиональной деятельности

ПК-13.2 Выполняет расчет эфемеридно-временной информации

Знать:

ПК-13.2/Зн1 Знать теорию движения ИСЗ

ПК-13.2/Зн4 Принципы работы гравитационных гравиметров

ПК-13.2/Зн5 Теорию и реализацию спутниковой градиентометрии

Уметь:

ПК-13.2/Ум1 Уметь применять теорию движения ИСЗ

Владеть:

ПК-13.2/Нв2 Навыками расчета эфемеридно-временной информации

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.В.01.ДВ.02.02 «Спутниковая градиентометрия» относится к формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 8.

В процессе изучения дисциплины студент готовится к решению типов задач профессиональной деятельности, предусмотренных ФГОС ВО и образовательной программой.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Период обучения	Общая трудоемкость (часы)	Общая трудоемкость (ЗЕТ)	Лекционные занятия (часы)	Практические занятия (часы)	Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация (часы)
8 семестр	108	3	24	24	24	Зачет с оценкой (36)
Всего	108	3	24	24	24	36

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий

(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы	Всего	Лекционные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Планируемые результаты обучения, соотнесенные с результатами освоения программы
Раздел 1. Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.	**6**	**2**	**2**	**2**	ПК-13.1 ПК-13.2

Тема 1.1. Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.	6	2	2	2	
Раздел 2. Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.	**6**	**2**	**2**	**2**	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.1
Тема 2.1. Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.	6	2	2	2	
Раздел 3. Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.	**6**	**2**	**2**	**2**	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.3
Тема 3.1. Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.	6	2	2	2	
Раздел 4. Теоретические основы гравитационной градиентометрии.	**12**	**4**	**4**	**4**	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.2 ПК-4.3
Тема 4.1. Теоретические основы гравитационной градиентометрии.	12	4	4	4	
Раздел 5. Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.	**12**	**4**	**4**	**4**	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.2 ПК-4.3
Тема 5.1. Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.	12	4	4	4	
Раздел 6. Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.	**12**	**4**	**4**	**4**	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.1 ПК-4.2
Тема 6.1. Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.	12	4	4	4	
Раздел 7. Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.	**12**	**4**	**4**	**4**	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.3 ПК-4.4
Тема 7.1. Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.	12	4	4	4	

Раздел 8. Априорная оценка точности градиентометрических измерений.	**6**	**2**	**2**	**2**	ПК-13.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.4
Тема 8.1. Априорная оценка точности градиентометрических измерений.	6	2	2	2	
Итого	**72**	**24**	**24**	**24**	

5.2. Содержание разделов, тем дисциплин и формы текущего контроля

Раздел 1. Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.

Тема 1.1. Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.

Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

Раздел 2. Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.

Тема 2.1. Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.

Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

Раздел 3. Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.

Тема 3.1. Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.

Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

Раздел 4. Теоретические основы гравитационной градиентометрии.

Тема 4.1. Теоретические основы гравитационной градиентометрии.

Теоретические основы гравитационной градиентометрии.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля

Тестирование

Раздел 5. Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.

Тема 5.1. Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.

Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

Раздел 6. Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.

Тема 6.1. Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.

Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

Раздел 7. Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.

Тема 7.1. Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.

Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

Раздел 8. Априорная оценка точности градиентометрических измерений.

Тема 8.1. Априорная оценка точности градиентометрических измерений.

Априорная оценка точности градиентометрических измерений.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Тестирование

6. Порядок проведения промежуточной аттестации

Порядок проведения промежуточной аттестации регламентируется локальными нормативными актами Университета:
- Положением о формах, периодичности, порядке текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по основным образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.6 «Организация и проведение промежуточной аттестации».
- Положением о порядке осуществления образовательного процесса, проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.8 «Проведение промежуточной аттестации с применением ЭО и ДОТ».

Промежуточная аттестация: Зачет с оценкой, 8 семестр.

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 1. Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.
Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2

Тема 1.1. Предмет курса. Проблемы спутниковой градиентометрии.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Градиентометрия изучает:

1. Градиенты от потенциала силы притяжения;
2. Градиенты от потенциала силы тяжести;
3. Градиенты от ускорения силы тяжести.

2. Задачей гравиметрии и градиентометрии являются:

1. Изучение электромагнитного поля Земли и его градиентов;
2. Изучение температурного поля атмосферы Земли и её градиентов;
3. Изучение гравитационного поля Земли по измерениям ускорений силы тяжести и её градиентов.

3. Укажите последовательность этапов и важнейшие события этих этапов в развитии гравиметрии:

1. Открытие закона инерции и создание теории маятниковых гравиметров;
2. Создание маятниковых гравиметров и развитие теории потенциала силы тяжести Земли;
3. Создание и совершенствование статических гравиметров;
4. Создание и совершенствование морских и баллистических гравиметров.

4. В гравиметрии измеряют:

1. Полный вектор ускорения силы тяжести Земли;
2. Модуль вектора ускорения силы тяжести Земли;
3. Направляющие косинусы вектора ускорения силы тяжести Земли;
4. Уклонения силы тяжести Земли и аномалии высот.

5. В международной системе СИ размерность ускорения силы тяжести Земли:

1. м^2 * с^-2;
2. м * с^-2;
3. м * с^-1;
4. м^-1 * с^-2.

6. В международной системе СИ размерность градиента ускорения силы тяжести Земли:

1. м/с^2;
2. с^-2;
3. м/с;
4. м^2 * с.

7. Один «мГал» от стандартной единицы системы СИ составляет

1. 10^-4 м/с^2;
2. 10^-5 м/с2;
3. 10^-3 м/с2;
4. 10^-6 м/с2.

8. Один «Этвёш» от стандартной единицы системы СИ составляет

1. 10^-8 * с^-2
2. 10^-9 * с^-2
3. 10^-7 * с^-2
4. 10^-6 * с^-2

9. Назовите в порядке убывания влияния компонентов силы тяжести Земли:

1. Сила притяжения Земли;
2. Центробежная сила, вызванная вращением Земли;
3. Сила притяжения от Луны и Солнца;
4. Силы, вызванные деформацией Земли из-за лунно-солнечных приливов.

10. Основой возникновения градиентометрии послужило:

1. Создание Этвёшем «крутильных весов» и возникновение маятниковых гравиметров;
2. Создание Этвёшем «крутильных весов», совершенствование статических и морских гравиметров и достижения инерциальной гравиметрии;
3. Достижения инерциальной гравиметрии и создание баллистических гравиметров.

11. Укажите последовательность реализации проектов:

1. ARISTOTELES;
2. GRACE;
3. CHAMP;
4. GOCE.

Раздел 2. Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.

Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.1

Тема 2.1. Системы координат и время, используемое в спутниковой градиентометрии.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Основная плоскость хоу инерциальной системы координат расположена:

1. В плоскости экватора;
2. В плоскости горизонта;
3. В плоскости начального меридиана;
4. В плоскости орбиты Земли.

2. Основная плоскость хоу гринвичской системы координат расположена:

1. В плоскости экватора;
2. В плоскости горизонта;
3. В плоскости начального меридиана;
4. В плоскости орбиты Земли.

3. Главная плоскость xoz инерциальной системы координат расположена:

1. В плоскости колюра равноденствий;
2. В плоскости экватора;
3. В плоскости начального меридиана;

4. В плоскости орбиты Земли.

4. Главная плоскость xoz гринвичской системы координат расположена:

1. В плоскости колюра равноденствий;
2. В плоскости экватора;
3. В плоскости начального меридиана;
4. В плоскости орбиты Земли.

5. В инерциальной системе координат оси направлены:

1. ox ~ в точку весеннего равноденствия;
2. oy ~ дополняет систему до правой;
3. oz ~ вдоль оси вращения Земли.

6. В гринвичской системе координат оси направлены:

1. ox ~ в точку пересечения начального меридиана с экватором
2. oy ~ дополняет систему до правой;
3. oz ~ вдоль оси вращения Земли.

7. В горизонтной системе координат оси направлены:

1. ox ~ направлена к полюсу;
2. oy ~ дополняет систему до левой;
3. oz ~ направлена в зенит.

8. В локальной системе координат оси направлены:

1. ox ~ направлена к полюсу;
2. oy ~ дополняет систему до правой;
3. oz ~ направлена к центру масс Земли.

9. В инструментальной (инструмент расположен на борту ИСЗ) системе координат оси направлены:

1. ox ~ направлена вдоль вектора скорости ИСЗ;
2. oy ~ дополняет систему до правой;
3. oz ~ перпендикулярна к вектору скорости, лежит в плоскости орбиты и направлена в сторону центра масс Земли.

10. В спутникоцентрической системе координат оси направлены:

1. ox ~ перпендикулярна радиус- вектору ИСЗ и направлена в сторону движения спутника, лежит в плоскости орбиты;
2. oy ~ дополняет систему до правой;
3. oz ~ направлена к центру масс Земли, совпадает с радиус-вектором ИСЗ.

Раздел 3. Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.

Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.3

Тема 3.1. Сведения о векторных и тензорных полях. Методы определения гравитационного поля Земли.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Установите соответствие определений:

1. Скалярное поле ~ определяют функции, задаваемые в трехмерной декартовой системе координат тремя числами
2. Векторное поле ~ определяют функции, задаваемые в трехмерной декартовой системе координат тремя отрезками
3. Центральное поле ~ определяют функции, которые принимают равные значения для точек, находящихся на равном расстоянии от начала координат
4. Ротор ~ определяется формулой

$$\nabla \times \vec{V} = \begin{pmatrix} 0 & -\partial/\partial z & \partial/\partial y \\ \partial/ & 0 & -\partial/ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_x \\ V \end{pmatrix}$$

$$\nabla \times V = \begin{pmatrix} \partial/\partial z & 0 & -\partial/\partial x \\ -\partial/\partial y & \partial/\partial x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_y \\ V_z \end{pmatrix}$$

2. Безвихревое поле определяется:

1. Дивергенцией, равной 0;
2. Ротором, равным 0;
3. Градиентом, равным 0;
4. Ротором и дивергенцией, равными 0.

3. В безвихревом поле операции повторного применения оператора (набла) соответствуют следующим названиям:

1. ∇*(∇U) ~ дивергенция от градиента;
2. ∇(∇U) ~ градиент от дивергенции;
3. ∇(∇U) ~ градиент от градиента.

4. Производная от потенциала силы тяжести пропорциональна:

1. Скорости;
2. Ускорению;
3. Изменению силы тяжести;
4. Изменению ускорения.

5. Пуассоном было доказано, что для точек, находящихся внутри Земли, справедливо равенство, когда Лапласиан от потенциала притяжения равен:

1. ∇^2 U(r)=4π·f·δ;
2. ∇^2 U(r)=4π·f·δ^2;
3. ∇^2 U(r)=-4π·f·δ;
4. ∇^2 U(r)=-4π·f^2·δ.

6. Лапласом было доказано, что для точек, находящихся вне Земли, справедливо равенство, когда Лапласиан от потенциала притяжения равен

1. ∇^2 U(r)=2·ω_o;
2. ∇^2 U(r)=4π;
3. ∇^2 U(r)=0;
4. ∇^2 U(r)=-4π·f·δ.

7. Установите соответствие определений:

1. 1-ая краевая задача (Дирихле) ~ по заданным значениям U(P_i)=b_i (r̅) на поверхности σ найти гармоническую функцию U(r), удовлетворяющую уравнению Лапласа единственным образом;
2. 2-ая краевая задача (Неймана) ~ по заданным значениям нормальной производной |∂U/∂n|=-g(r_i) на поверхности σ найти гармоническую функцию U(r), удовлетворяющую уравнению Лапласа единственным образом;
3. 3-ая краевая задача (смешанная) ~ по заданным комбинациям значений f(r¯)=α·U(r¯)+|∂U/∂n| на поверхности σ найти гармоническую функцию U(r), удовлетворяющую уравнению Лапласа единственным образом.

8. Дайте определение потенциала силы тяжести, выраженного через ускорение и превышение:

1. разность потенциалов силы тяжести W_P-W_Q между двумя точками P и Q, находящимися на конечном расстоянии друг от друга, есть интегральная сумма ускорений силы притяжения умноженных на превышение в каждой точке маршрута PQ;
2. разность потенциалов силы тяжести W_P-W_Q между двумя точками P и Q, находящимися на конечном расстоянии друг от друга, есть интегральная сумма ускорений силы тяжести умноженных на превышение в каждой точке маршрута PQ;
3. разность потенциалов силы тяжести W_P-W_Q между двумя точками P и Q, находящимися на конечном расстоянии друг от друга, есть интегральная сумма ускорений силы тяжести умноженных на превышение между конечными точками маршрута PQ;
4. разность потенциалов силы тяжести W_P-W_Q между двумя точками P и Q, находящимися на конечном расстоянии друг от друга, есть интегральная сумма ускорений силы тяжести

делённых на превышение в каждой точке маршрута PQ.

9. Из классического определения потенциала силы тяжести следует:

1. Необходимо выполнить несколько измерений по всему земному шару ускорений силы тяжести и превышений;
2. Необходимо выполнить точечные измерения равномерно по всему земному шару ускорений силы тяжести и превышений;
3. Необходимо выполнить точечные измерения равномерно по всему земному шару ускорений силы притяжения и превышений;
4. Необходимо выполнить точечные измерения равномерно по всему земному шару ускорений силы тяжести и расстояний.

10. Установите соответствие между названием сферической функции и ее индексами:

1. Зональная ~ m=0;
2. Секториальная ~ l=m;
3. Тессеральная ~ l m.

11. Установите соответствие между стандартными, нормированными и полностью нормированными присоединенными функциями Лежандра:

1. стандартные, у которых ~ h_lm=(χ_m (l-m))/((l+m));
2. нормированные, у которых ~ h_lm=1;
3. полностью нормированные, у которых ~ h_lm=1/(2l+1).

12. Установите соответствие между обозначениями стандартных, нормированных и полностью нормированных присоединенных функций Лежандра:

1. стандартные обозначаются ~ P_lm;
2. нормированные обозначаются ~ P¯_lm;
3. полностью нормированные обозначаются ~ P ̂_lm.

Раздел 4. Теоретические основы гравитационной градиентометрии.

Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.2 ПК-4.3

Тема 4.1. Теоретические основы гравитационной градиентометрии.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Под градиентом силы тяжести Земли понимают:

1. Двойное применение производной к вектору ускорения силы притяжения;
2. Двойное применение градиента к потенциалу силы притяжения Земли;
3. Двойное применение градиента к потенциалу силы тяжести Земли;
4. Производную от потенциала силы тяжести Земли.

2. Одним из свойств градиента силы тяжести Земли является равенство лапласиана на поверхности Земли

1. 2 ω^2;
2. 2 ω^-1;
3. 2 ω;
4. 2 ω^-2.

3. Средняя гауссова кривизна имеет вид:

1. H= (-(W_xx-W_yy))/2|g¯| ;
2. H= (-(W_xx+W_yy))/|g¯| ;
3. H= (-(W_xx+W_yy))/2|g¯| ;
4. H= (-(W_xx * W_yy))/2|g¯| .

4. Полная гауссова кривизна имеет вид:

1. K=(-(W_xx * W_yy))/2|g¯| ;
2. K=((W_xx * W_yy))/|g¯|^2;
3. K=((W_xx * W_yy))/2|g¯| ;
4. K=(-(W_xx * W_yy))/|g¯|^2.

5. Установите соответствие между следующими кривизнами:

1. Кривизна уровенной поверхности в плоскости меридиана ~ $k_1=-W_{xx}/|g^{-}|$;
2. Кривизна уровенной поверхности в плоскости первого вертикала ~ $k_2=-W_{yy}/|g^{-}|$;
3. Кривизна отвесной линии в плоскости меридиана ~ $f_1=-W_{xz}/|g^{-}|$;
4. Кривизна отвесной линии в плоскости первого вертикала ~ $f_2=-W_{yz}/|g^{-}|$.

6. Какой из элементов тензора характеризует кручение силовой линии вокруг самой себя в плоскости экватора:

1. $-W_{yz}/|g^{-}|$;
2. $-W_{xz}/|g^{-}|$;
3. $-W_{xy}/|g^{-}|$;
4. $-W_{xx}/|g^{-}|$

7. Установите соответствие между видами градиентометрий и основными источниками ошибок:

1. Наземная градиентометрия ~ влияния ближних и дальних зон;
2. Самолётная градиентометрия ~ учет влияния дальних зон и разделение влияния гравитационных и инерциальных ускорений;
3. Спутниковая градиентометрия ~ существенное повышение точности измерений градиентометром.

8. В спутниковой градиентометрии различают два метода:

1. Дифференциальный ~ при использовании градиентометра, так как расстояние между пробными массами m_1 и m_2 градиентометра пренебрежимо мало в сравнении с расстоянием до центра притяжения;
2. Разностный ~ в системе «спутник-спутник», где расстояния между пробными массами спутника m_1 и спутника m_2 составляют сотни километров.

Раздел 5. Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.

Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.2 ПК-4.3

Тема 5.1. Принципы устройства гравитационных градиентометров. Гравитационная градиентометрия на подвижном основании.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Удельной силой f называют:

1. F^{-}/r^{-};
2. F^{-}/a^{-};
3. F^{-}/m;
4. F^{-}/b^{-}.

2. Инерциальные навигационные системы в конечном результате получают:

1. Удельную силу;
2. Ускорение;
3. Местоположение;
4. Скорость.

3. Укажите последовательность действий при определении местоположения инерциальным методом:

1. Ускорение определяют в инструментальной системе координат акселерометра;
2. Преобразуют измеренное ускорение в локальную систему координат, связанную с гравиполем Земли;
3. Определяют при помощи модели геопотенциала гравитационное ускорение и вычитают его из измеренного ускорения;
4. Полученное инерциальное ускорение преобразуют в местоположение.

4. Установите соответствие видов ускорений и их формул:

1. $2\Omega\dot{\bar{r}}$ ~ является кариолисовыми ускорением;
2. $\Omega\,\dot{\bar{r}}$ ~ учитывает переносное ускорение;
3. $\Omega\cdot\Omega\cdot\bar{r}$ ~ есть центробежное ускорение.

5. Укажите на физическую сущность видов ускорений:

1. Вращение Земли и одновременное движение объекта по поверхности Земли ~ учитывает кариолисово ускорение;
2. Изменение скорости вращения Земли ~ учитывает переносное ускорение;
3. Вращение Земли ~ даёт центробежное ускорение.

6. Для неизменной ориентировки навигационной системы предназначены:

1. Гироскопы;
2. Теодолиты;
3. Аксельрометры;
4. Компьютеры.

7. Аксельрометры измеряют:

1. Скорость;
2. Координаты;
3. Ускорения;
4. Ориентировку системы.

8. В инерциальной гравиметрии конечной определяемой величиной являются:

1. Уклонения отвеса;
2. Инерциальные ускорения;
3. Ускорения силы тяжести;
4. Нормальные ускорения силы тяжести.

9. Укажите последовательность действий при измерениях навигационными инерциальными системами:

1. Прогрев аппаратуры;
2. Ориентировка платформы в локально-уровенной системе;
3. Измерения по трассе определяемых точек и привязка к точкам стояния;
4. Обратное прохождение маршрута.

10. Назовите типы систем «спутник-спутник»:

1. Два спутника на одной орбите;
2. Спутник с градиентометром на тросе;
3. Спутник с градиентометром на борту;
4. Два спутника на разных орбитах.

11. Установите соответствие источников ошибок аксельрометров и гироскопов и действий по их устранению:

1. Неортогональность осей ~ калибровка и юстировка;
2. Уход нуля и ошибки калибровки ~ определяют накопления ошибок на пунктах стояния и твердых пунктах;
3. Ошибки в определении положений начальных и промежуточных пунктов ~ моделирование и распределение ошибок в оперативном режиме и в режиме пост-обработки.

12. Наземная градиентометрия измеряет:

1. Ууклонения отвеса;
2. Градиенты инерциального ускорения;
3. Градиенты ускорения силы тяжести;
4. Градиенты нормального ускорения силы тяжести.

13. Основным источником ошибок наземной градиентометрии является:

1. Ошибки акселерометров;
2. Ошибки учета влияния масс ближних и дальних зон;
3. Ошибки ориентации, которая поддерживается гироскопами;
4. Ошибки исходных пунктов.

14. В наземной градиентометрии измерения производят в следующей системе координат:

1. Геоцентрической, гринвичской;
2. Горизонтной;
3. Геоцентрической, инерциальной;
4. Локально-уровенной.

15. В наземной градиентометрии потенциал Земли (соответственно и градиенты) разделяют на:

1. Потенциал шара, равный массе Земли, и возмущенный потенциал;
2. Потенциал спутникового эллипсоида, равного массе Земли, и возмущенный потенциал;
3. Потенциал референц-эллипсоида Красовского, равный массе Земли, и возмущенный потенциал;
4. Потенциал общего земного эллипсоида (Хейфорда), равного массе Земли, и возмущенный потенциал.

16. Установите соответствие между высотой, средней квадратической ошибкой возмущенных градиентов и точностью измерений:

1. 1 км ~ ±40нс^(-2) и±10нс^(-2);
2. 10 км ~ ±10нс^(-2) и±1нс^(-2);
3. 250км ~ ±0.3нс^(-2) и±0.001нс^(-2).

17. В наземной градиентометрии градиентометр ориентируют в следующей системе координат:

1. Геоцентрической, гринвичской;
2. Горизонтной;
3. Гецентрической, инерциальной;
4. Локально-уровенной.

Раздел 6. Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.

Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.1 ПК-4.2

Тема 6.1. Теоретические основы градиентометрических измерения с градиентометром на борту спутника.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Из девяти элементов первых производных от ускорения силы тяжести или вторых производных от потенциала силы тяжести Земли линейно-независимых:

1. 7;
2. 6;
3. 5;
4. 4.

2. Вектор горизонтального градиента силы тяжести лежит в плоскости:

1. xoz;
2. yoz;
3. xoy;
4. не лежит ни в одной из вышеуказанных плоскостей.

3. Установите соответствие значения вертикального градиента силы тяжести:

1. внутри масс Земли ~ W_zz=-(W_xx+W_yy)-4πfδ+2ω;
2. вне масс Земли(на поверхности) ~ W_zz=-(W_xx+W_yy)+2ω^2.

4. Средняя кривизна уровенной поверхности равна:

1. K=-1/2g (W_xy+W_yx);
2. K=-1/2g (W_xz+W_zx);
3. K=-1/2g (W_zz+W_yy);

4. K=-1/2g (W_xx+W_yy).

5. Кручение силовой линии описывает:

1. W_xz;
2. W_xy;
3. W_zz;
4. W_yx.

6. Сколько типов градиентометров в принципиальном различии вы знаете:

1. 5;
2. 4;
3. 3;
4. 2.

7. В скольких азимутах проводят измерения вариометром Этвёша:

1. в двух;
2. в трех;
3. в четырёх;
4. в пяти.

8. Установите соответствие между значениями разности вертикальных ускорений на расстоянии в 1 м. и ошибкой в измерении этой разности, если градиент необходимо получать с ошибкой ±1нс^(-2):

1. на поверхности Земли 3.0×10^(-7) ~ 10^(-10) g(±1 нм⁄с^2);
2. на высоте 200 км 2.8×10^(-10) ~ 10^(-13) g(±0.001 нм⁄с^2) .

9. В стационарной градиентометрии измерения проводят:

1. градиентометрами;
2. вариометрами Этвёша;
3. акселерометрами;
4. гравиметрами.

10. Вариометром Этвёша не измеряют:

1. составляющие в вертикальных плоскостях(в проекции на меридиан и первый вертикал);
2. вертикальную составляющую;
3. составляющие в плоскости горизонта(в проекции на меридиан и первый вертикал).

11. Вариометром Этвёша не измеряют:

1. W_yy-W_xx;
2. W_zz;
3. W_zx;
4. W_zy;
5. W_xy.

12. Установите соответствие в измерении градиентов гравиметрами:

1. вертикальную составляющую градиентов ~ определяют при измерениях со специальных штативов;
2. горизонтальную составляющую градиентов ~ определяют при измерениях по профилям и площадям.

Раздел 7. Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.

Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-4.3 ПК-4.4

Тема 7.1. Систем «спутник-спутник» и ее использование в градиентометрии.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Ориентировка инструментальной системы координат в спутниковой градиентометрии и в системе «спутник-спутник» следующая:

1. Ось mx^i ~ совмещена с вектором скорости спутника r¯;
2. Ось my^i ~ совмещена с вектором интеграла площадей c¯(вектор момента количества

движения), но направлена в противоположную сторону вектору $\bar{c}$;
3. Ось mz^i ~ дополняет систему до правой, то есть будет совпадать с вектором, который образуются произведением $\bar{\zeta}=\bar{r}\times\bar{k}$, где $\bar{k}= - \bar{c}$.

2. Подвижная платформа с градиентометром совершает движение с угловой скоростью Δω относительно:

1. локально-уровенной системы координат;
2. гринвичской системы координат;
3. инерциальной системы координат;
4. горизонтной системы координат.

3. Подвижная платформа с градиентометром совершает движение с угловой скоростью ω_c + Δω относительно:

1. локально-уровенной системы координат;
2. гринвичской системы координат;
3. инерциальнойсистемы координат;
4. горизонтной системы координат.

4. Укажите соответствие:

1. члены, имеющие множителем скорость ~ учитывают кориолисово ускорение;
2. члены, имеющие множителем координаты ~ учитывают переносную скорость, переносное и центробежное ускорения.

5. В самолетной градиентометрии отсутствуют влияния:

1. ускорения, вызываемые притяжением Луны и Солнца;
2. ускорения, вызываемые центробежной силой;
3. ускорения, вызываемые притяжением планет;
4. ускорения от приливов, вызываемых притяжением Луны и Солнца.

6. Более чувствительной к низким гармоникам геопотенциала является:

1. система с градиентометром на борту спутника;
2. система «спутник –спутник»;
3. динамический метод космической геодезии;
4. совместное использование систем с градиентометром на борту и «спутник-спутник».

7. Высокие гармоники (для 1 и m больше 60) увереннее определяются:

1. системой с градиентометром на борту спутника;
2. системами «спутник –спутник»;
3. динамическим методом космической геодезии;
4. при совместном использовании систем с градиентометром на борту и «спутник-спутник».

8. Какие из нижеперечисленных проектов используют градиентометр на борту спутника:

1. «ARISTOTEL»;
2. «CHAMP»;
3. «GOCE»;
4. «GRACE».

9. В каких из нижеперечисленных проектах задействована только система «спутник-спутник»:

1. «ARISTOTEL»;
2. «CHAMP»;
3. «GOCE»;
4. «GRACE».

10. Дифференциальные уравнения движения одной пробной массы по отношению к другой градиентометра отличается от дифференциальных уравнений движения спутника тем, что в правых частях этих уравнений стоят:

1. частные производные первого порядка от потенциала силы притяжения;
2. частные производные второго порядка от потенциала силы притяжения;
3. частные производные первого порядка от потенциала силы тяжести;
4. частные производные второго порядка от потенциала силы тяжести.

11. Установите соответствие между выражениями ускорений спутника, вращающегося вокруг центра масс, и их названиями:

1. $[\dot{\bar{\omega}} \times \bar{r}]$ ~ переносное ускорение;
2. $[\bar{\omega} \times \dot{\bar{r}}]$ ~ кориолисово ускорение;
3. $[\bar{\omega} \times [\bar{\omega} \times \bar{r}]]$ ~ центробежное ускорение.

12. Полусумма полного и транспортированного полного тензора градиентометрии дает следующее соотношение:

1. U-Ω;
2. ∇(∇U)-Ω^2;
3. ∇(∇U)-$\dot{\Omega}$;
4. 1/2 · $\ddot{\Omega}$.

13. Полуразность полного и транспортированного полного тензора градиентометрии дает следующее соотношение:

1. U-Ω;
2. ∇(∇U)-Ω^2;
3. ∇(∇U)-$\dot{\Omega}$;
4. $\ddot{\Omega}$.

14. Если сложить диагональные элементы левой части полного тензора градиентометрии и учесть уравнение Лапласа, то получим следующее выражение:

1. ω^2
2. 2ω^2
3. ω

15. Начало локальной системы координат при использовании системы «спутник-спутник» находится:

1. в центре масс одного из спутников;
2. в общем центре масс системы «спутник-спутник»;
3. в центре масс Земли;
4. на поверхности Земли пункта наблюдений.

16. Начало локальной системы координат в спутниковой градиентометрии с градиентометром на борту находится:

1. в центре масс спутника;
2. в общем центре масс прибора и спутника;
3. в центре масс градиентометра;
4. на поверхности Земли пункта наблюдений.

17. Начало локальной системы координат в спутниковой градиентометрии с градиентометром на тросу находится

1. в центре масс спутника;
2. в общем центре масс прибора и спутника;
3. в центре масс градиентометра;
4. на поверхности Земли пункта наблюдений.

18. Ориентировка локальной системы координат в спутниковой градиентометрии и в системе «спутник-спутник» следующая:

1. Ось mx ~ направлена по касательной к меридиану из начала системы точки m в сторону северного полюса;
2. Ось my ~ направлена перпендикулярно оси mx по касательной к параллели из точки m в сторону Востока;
3. Ось mz ~ дополняет систему до правой, то есть будет направлена в сторону центра масс Земли.

19. Начало инструментальной системы координат при использовании системы «спутник-спутник» находится:

1. в центре масс спутника;
2. в общем центре масс прибора и спутника;
3. в центре масс градиентометра;

4. на поверхности Земли пункта наблюдений.

Раздел 8. Априорная оценка точности градиентометрических измерений.
Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.4

Тема 8.1. Априорная оценка точности градиентометрических измерений.

Форма контроля/оценочное средство: Тестирование

Вопросы/Задания:

1. Начало инструментальной системы координат в спутниковой градиентометрии с градиентометром на борту находится:

1. в центре масс спутника;
2. в общем центре масс прибора и спутника;
3. в центре масс градиентометра;
4. на поверхности Земли пункта наблюдений.

2. Низкие гармоники (1 и m менее 50) более уверено определяются:

1. из наземных наблюдений;
2. из спутниковых наблюдений в динамическом методе;
3. из градиентометрических измерений;
4. из наблюдений в системе «спутник-спутник».

3. Высокие гармоники (1 и m более 50) уверено определяются:

1. из наземных наблюдений;
2. из спутниковых наблюдений в динамическом методе;
3. из спутниковых градиентометрических измерений;
4. из наблюдений в системе «спутник-спутник».

4. Высокие гармоники (1 и m более 100 и выше) определяют:

1. из наземных наблюдений;
2. из спутниковых наблюдений в динамическом методе;
3. из градиентометрических измерений совместно с системой «спутник-спутник»;
4. из спутникового нивелирования.

8. Оценочные материалы промежуточной аттестации

8 семестр, Зачет с оценкой
Контролируемые ИДК: ПК-13.1 ПК-4.1 ПК-13.2 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.4
Вопросы/Задания:

1. Дайте определения скалярному, векторному и центральному полям.

2. Приведите примеры вышеперечисленных полей.

3. Дайте определение градиенту, дивергенции и ротору.

4. Чем характеризуется безвихревое поле?

5. Что представляет собой градиент от потенциала, от ускорения силы тяжести, от ускорения силы притяжения?

6. Какие функции называют гармоническими?

7. Перечислите краевые задачи теории фигуры Земли.

8. Какие величины необходимо измерить, чтобы получить потенциал силы тяжести?

9. Перечислите свойства полного градиента потенциала силы тяжести.

10. Перечислите свойства градиентов потенциала силы тяжести.

11. Чем отличается удельная сила от обычной силы F?

12. Чему равна удельная сила?

13. Что измеряют и что получают на выходе в инерциальной гравиметрии?

14. Из каких составляющих состоит инерциальная система?

15. Какие типы акселерометров вам известны?

16. Какие типы градиентометров вы знаете?

17. Какие измерения относят к стационарной градиентометрии?

18. На какие разновидности делится градиентометрия на подвижном основании?

19. Какие основные источники ошибок наземной градиентометрии на подвижном основании?

20. Какие основные источники ошибок самолоетной градиентометрии на подвижном основании?

21. Какие виды градиентометрических определений и определений в системе «спутник-спутник» вы знаете?

22. Какими методами измеряют низкие гармоники геопотенциалаи какими методами можно определить средние и высокие гармоники?

23. Чем отличается полный тензор гравитационного поля Земли от тензора Этвёша?

24. Перечислите свойства полного тензора гравитационного поля Земли.

25. Какое свойство полного тензора гравитационного поля Земли даёт возможность проводить априорный анализ необходимости учёта изменений угловых скоростей или их пренебрежении?

26. Чем отличаются градиентометрические измерения от измерений в системе «спутник-спутник»?

27. В какой системе координат производят определения, и в какой – обработку градиентометрических измерений и измерений в системе «спутник-спутник»?

28. По априорной оценке точности проанализируйте определение гармоник геопотенциала различными методами.

9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Шимбирев Б.П. Теория фигуры Земли. / Б.П. Шимбирев. - Недра, 1975. - 432 - Текст: непосредственный.

2. Космическая геодезия: Учебник длч вузов. / В.Н. Баранов, Е.Г. Бойко, И.И. Краснорылов и др. - Недра, 1986. - 407 - Текст: непосредственный.

3. Юзефович А.П. Гравиметрия: Учебник для вузов. / А.П. Юзефович, Л.В. Огородова. - Недра, 1980. - 320 - Текст: непосредственный.

4. Дубошин Г.Н. Небесная механика: Методы теории движения искусственных небесных тел. / Г.Н. Дубошин. - Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. - 352 - Текст: непосредственный.

Дополнительная литература

1. Торге В. Гравиметрия / В. Торге; Пер. с англ. Г.А. Шанурова, под. ред. А.П. Юзефовича. - Издательство Мир, 1999. - 429 - 5-03-002809-9. - Текст: непосредственный.

9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся

Профессиональные базы данных

1. https://lms.miigaik.ru - Система дистанционного обучения МИИГАиК

Ресурсы «Интернет»

1. http://www.miigaik.ru - сайт Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)
2. http://www.iprbookshop.ru - Электронная библиотечная система
3. https://www.miigaik.ru/library/tutorials/ - Учебные модули в электронной библиотеке виртуального университета МИИГАиК

9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения
(обновление производится по мере появления новых версий программы)
Не используется.

Перечень информационно-справочных систем
(обновление выполняется еженедельно)
Не используется.

9.4. Оборудование и технические средства обучения

Смешанный тип

Интерактивная панель - 2 шт.

Меловая доска - 2 шт.

10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

С целью успешного освоения данного предмета студенту необходимо выполнять домашние

работы по указанным преподавателям темам и представленным на занятиях материалам. Для более успешного выполнения работы студенту предлагается использование учебно-методических материалов, соответствующих указанной теме.

Самостоятельная работа студентов описывается и регулируется:

- Методическими рекомендациями по дисциплине;
- Методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов МИИГАиК;

Описание возможностей изучения дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами

При необходимости обучения студентов-инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья аудиторные занятия могут быть заменены или дополнены изучением полнотекстовых лекций, презентаций, видео- и аудиоматериалов в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) университета. Индивидуальные задания подбираются в адаптированных к ограничениям здоровья формах (письменно или устно, в форме презентаций). Выбор методов обучения зависит от их доступности для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Рабочая программа дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.