



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

Геодезический факультет
Кафедра 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)
«Б1.В.05 ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДИК ТРЕХМЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ»**

Уровень высшего образования: магистратура

Направление подготовки: 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование

Направленность(профиль) подготовки: Геодезия

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2026

Срок получения образования: 2 года

Объем:
в зачетных единицах: 4 з.е.
в академических часах: 144 ак.ч.

Москва, 2026

Разработчики:

Доцент кафедры Геодезии, к.т.н. Насереддин Х.

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование, утвержденного приказом Минобрнауки от 11.08.2020 № 938

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 - овладение способностью критически оценивать и внедрять в производственную практику перспективные методики трехмерного параметрического и полигонального моделирования для повышения точности, наглядности и эффективности геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов недвижимости

Задачи изучения дисциплины:

- Изучение эффективности разных подходов (например, БАПЛ-фотограмметрия - Лазерное сканирование) в зависимости от условий местности;
- Исследование влияния разрешения облака точек на конечную геометрическую точность модели;
- Освоение алгоритмов работы в специализированном ПО (например, Agisoft Metashape, Trimble RealWorks, Leica Cyclone, AutoCAD Civil 3D или отечественные аналоги) с целью выбора оптимального пайплайна обработки;
- Исследование того, как 3D-модель служит инструментом для хранения истории изменений объекта (мониторинг).

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

Компетенции, индикаторы и результаты обучения

ПК-5 Способен планировать, организовывать и осуществлять техническое руководство выполнением специальных работ в сфере профессиональной деятельности

ПК-5.4 Повышает качество информационного обеспечения геодезической деятельности

Знать:

ПК-5.4/Зн4 Правила внедрения проектных решений в процесс производства геодезических работ, стандарты разработки проектных решений для производства геодезических работ

Уметь:

ПК-5.4/Ум4 Разрабатывать проекты (программы) по организации основных видов геодезических работ, внедрять проектные решения в сфере профессиональной деятельности

Владеть:

ПК-5.4/Нв4 Навыками разработки проектных решений для основных видов геодезических работ, навыками руководства внедрением проектных решений

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.В.05 «Исследования перспективных методик трехмерного моделирования при выполнении геодезических работ» относится к формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 3.

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)	Лабораторные занятия (часы)	Лекционные занятия (часы)	Практические занятия (часы)	Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация (часы)
3 семестр	144	4	72	18	36	18	Зачет с оценкой
Всего	144	4	72	18	36	18	

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий (часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы	Всего	Лабораторные занятия	Лекционные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Планируемые результаты обучения, соотношенные с результатами освоения программы
Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ АЭРОФОТОСЪЁМКИ	44	22	6	10	6	ПК-5.4
Тема 1.1. Основные понятия аэрофотосъёмки и фотограмметрии	23	12	3	5	3	
Тема 1.2. Формулы расчёта элементов аэрофотосъёмки и фотограмметрии	21	10	3	5	3	
Раздел 2. ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ	61	30	8	15	8	ПК-5.4
Тема 2.1. Создание цифровых моделей местности (ЦМР) и рельефа (ЦМР) в Blender на основе аэрофотосъёмки	21	10	3	5	3	
Тема 2.2. Экспериментальные исследования влияния навигационного оснащения БВС на точность результатов фотограмметрической обработки	21	10	3	5	3	

Тема 2.3. Исследование вариантов создания ЦММ по данным АФС при отсутствии наземных опорных точек геодезической сети	19	10	2	5	2	
Раздел 3. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ БВС	39	20	4	11	4	ПК-5.4
Тема 3.1. Моделирование процесса создания ЦММ по данным лазерного сканирования	19	10	2	5	2	
Тема 3.2. Использование БВС в аэрофотосъемки	20	10	2	6	2	
Итого	144	72	18	36	18	

5.2. Содержание разделов, тем дисциплин и формы текущего контроля

Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ АЭРОФОТОСЪЁМКИ

Тема 1.1. Основные понятия аэрофотосъёмки и фотограмметрии

Аэрофотосъёмка — это метод получения изображений земной поверхности с летательного аппарата для создания карт и моделей местности. Фотограмметрия — дисциплина, определяющая форму, размеры и координаты объектов по их снимкам. Основной принцип — использование перекрывающихся снимков (стереопар), позволяющих восстановить пространственное положение объектов. Ключевые понятия: центральная проекция, элементы внутреннего (фокус, дисторсия) и внешнего ориентирования (координаты и углы наклона снимка). Обработка включает поиск общих точек, взаимное и абсолютное ориентирование, построение облака точек и создание ортофотоплана. Ортофотоплан устраняет геометрические искажения, вызванные рельефом и перспективой. Современная цифровая фотограмметрия использует БВС и автоматизированное ПО. Таким образом, аэрофотосъёмка даёт исходные данные, а фотограмметрия превращает их в точную пространственную информацию.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчетно-графическая работа

Тема 1.2. Формулы расчёта элементов аэрофотосъёмки и фотограмметрии

Расчёт параметров съёмки необходим для планирования полёта и оценки точности материалов. Основной параметр — масштаб снимка, определяемый отношением фокусного расстояния к высоте фотографирования: $m = f / H$. Высота полёта рассчитывается исходя из требуемого масштаба и фокусного расстояния камеры. Продольное перекрытие P_x определяет перекрытие соседних снимков, а базис фотографирования вычисляется по формуле $B = L (1 - P_x/100)$. Поперечное перекрытие P_y задаёт перекрытие между маршрутами, расстояние между которыми определяется как $A = W (1 - P_y/100)$. Для цифровой съёмки ключевым параметром является GSD — размер наземного пикселя, зависящий от высоты полёта, фокуса и размера пикселя матрицы. Корректный расчёт масштаба, высоты, перекрытий и межмаршрутных расстояний обеспечивает получение качественных данных. Это позволяет гарантировать требуемую точность построения ортофотопланов и цифровых моделей местности.

Текущий контроль
Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчетно-графическая работа

Раздел 2. ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ

Тема 2.1. Создание цифровых моделей местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР) в Blender на основе аэрофотосъемки

Цифровая модель местности (ЦММ) — это цифровое описание поверхности по данным геодезических или фотограмметрических измерений. Цифровая модель рельефа (ЦМР) отражает высотную поверхность и используется для анализа уклонов и перепадов высот. При аэрофотосъемке с БПЛА получают перекрывающиеся снимки, которые обрабатываются фотограмметрическими методами. В результате формируется облако точек с пространственными координатами множества точек поверхности. Из облака точек строится ЦМП или выделяется ЦМР. Blender применяется для визуализации, редактирования и 3D-моделирования этих данных. Пространственные данные преобразуются в сеточную модель (mesh), где высота вершин определяет форму рельефа, а модель текстурируется ортофотоснимком. Общая последовательность: аэрофотосъемка → фотограмметрическая обработка → облако точек/ЦМР → импорт в Blender → построение и визуализация 3D-модели.

Текущий контроль
Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчетно-графическая работа

Тема 2.2. Экспериментальные исследования влияния навигационного оснащения БВС на точность результатов фотограмметрической обработки

Экспериментальные исследования направлены на определение влияния качества навигационных данных БВС на точность фотограмметрических результатов. Навигационное оснащение включает GNSS-приёмники, IMU, магнитометры, определяющие положение и ориентацию аппарата. Точность координат центров фотографирования и углов ориентации камеры качество взаимного и абсолютного ориентирования снимков. В экспериментах сравниваются различные режимы (GNSS, PPK, RTK), а полученные модели оцениваются по контрольным точкам с известными координатами. Основные показатели качества — плановые и высотные ошибки, СКО, точность ортофотоплана и ЦМР. Особое внимание уделяется влиянию точности координат центров на необходимость использования наземных опорных точек (GCP). Исследования позволяют определить оптимальную комбинацию оборудования, параметров съёмки и методов геопривязки. Результаты имеют практическое значение для повышения точности и надёжности фотограмметрических работ с БВС.

Текущий контроль
Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчетно-графическая работа

Тема 2.3. Исследование вариантов создания ЦММ по данным АФС при отсутствии наземных опорных точек геодезической сети

Исследование направлено на оценку возможностей получения точных ЦММ по данным АФС без использования традиционных геодезических опорных точек. В таких условиях ключевую роль играет навигационное оснащение БВС, обеспечивающее координатную привязку центров фотографирования. Стандартные GNSS-данные могут быть недостаточно точными, тогда как технологии RTK и PPK позволяют определять координаты центров с сантиметровой точностью. Обработка включает взаимное ориентирование, построение облака точек и формирование ЦММ. При отсутствии опорных точек оценка точности выполняется по контрольным точкам из независимых источников. Учитываются точность GNSS-приёмника, качество спутниковых наблюдений, параметры камеры и геометрия съёмки. Для повышения надёжности применяются избыточное перекрытие и качественное планирование маршрутов. Практическая значимость — снижение объёма наземных работ, сокращение времени и расширение применения БВС на труднодоступных территориях.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчетно-графическая работа

Раздел 3. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ БВС

Тема 3.1. Моделирование процесса создания ЦММ по данным лазерного сканирования

Моделирование создания ЦММ по данным лазерного сканирования — это последовательность вычислительных операций по преобразованию сырых облаков точек в цифровое представление поверхности. Процесс начинается с калибровки и синхронизации навигационных данных (GPS/IMU) для точной привязки точек. Критический этап — автоматическая фильтрация для отделения точек земли (Ground) от объектов (Non-Ground). После фильтрации применяются алгоритмы интерполяции (кригинг, IDW, TIN) для заполнения пустот и создания регулярной растровой сетки. Ключевая задача — подбор пороговых параметров для минимизации ошибок, вызванных растительностью и многократными отражениями. Выполняется статистический анализ качества модели (RMSE) и верификация по контрольным точкам. Готовые ЦММ применяются в гидрологии, проектировании дорог и подсчёте объёмов. Сложность различается для воздушного (ALS) и наземного (TLS) сканирования. Современные тенденции — использование нейросетей для автоматической классификации точек, сокращающее время ручной правки.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчетно-графическая работа

Тема 3.2. Использование БВС в аэрофотосъёмки

Использование БВС в аэрофотосъёмке — современный метод дистанционного зондирования, где носителем камеры выступает дрон, позволяющий получать сверхдетальные снимки с высот 50–500 м. Преимущества перед пилотируемой авиацией: оперативность, низкая стоимость и съёмка под облаками с разрешением до 1–2 см/пиксель (GSD). Процесс начинается с планирования маршрута в ПО с заданием высоты, перекрытий (80% продольного, 60% поперечного) и скорости. Ключевая интеграция с GNSS/IMU и модулями RTK/PPK для высокоточной привязки снимков. После полёта материал обрабатывается в Agisoft Metashape, Pix4D или DJI Terra: выравнивание, построение облака точек, создание ЦММ и ортофотоплана. Для повышения точности закладываются опорные точки (GCP), координируемые геодезическим оборудованием. Технология применяется в землеустройстве, мониторинге строительства, подсчёте объёмов, точном земледелии и оценке последствий бедствий. Успех зависит от погодных условий и соблюдения воздушного законодательства.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций
Расчётно-графическая работа

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, 3 семестр.

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ АЭРОФОТОСЪЁМКИ

Контролируемые ИДК: ПК-5.4

Тема 1.1. Основные понятия аэрофотосъёмки и фотограмметрии

Форма контроля/оценочное средство: Расчётно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Получение данных аэрофотосъёмки, Установка Blender-GIS, Импорт облака точек, Классификация облака точек, Создание поверхности.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы
 1. Что такое аэрофотосъёмка?
 2. Для каких целей применяется аэрофотосъёмка?

3. Что такое фотограмметрия?
4. В чём заключается основная задача фотограмметрии?
5. Какой принцип используется для определения пространственного положения объектов по снимкам?
6. Что такое центральная проекция?
7. Что называется внутренним ориентированием аэрофотоснимка?
8. Что такое внешнее ориентирование снимка?
9. Для чего необходимо продольное перекрытие аэрофотоснимков?
10. Что такое поперечное перекрытие снимков?

Тема 1.2. Формулы расчёта элементов аэрофотосъёмки и фотограмметрии

Форма контроля/оценочное средство: Расчетно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Расчёт элементов аэрофотосъёмки и фотограмметрии, Формула масштаба, Пространственное разрешение GSD (Ground Sample Distance), Расчёт высоты фотографирования, Agisoft Metashape • Калькулятор GSD в интерфейсе • Анализ качества покрытия после съёмки • Оценка достаточности перекрытий.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы

1. Для чего выполняется расчёт элементов аэрофотосъёмки?
2. Что такое масштаб аэрофотоснимка?
3. По какой формуле определяется масштаб аэрофотоснимка?
4. Какие параметры входят в формулу масштаба снимка?
5. Что называется высотой фотографирования?
6. Что такое продольное перекрытие аэрофотоснимков?
7. Что такое поперечное перекрытие аэрофотоснимков?
8. Что называется базисом фотографирования?
9. По какой формуле определяется расстояние между экспозициями?
10. Как рассчитывается расстояние между соседними маршрутами?

Раздел 2. ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ

Контролируемые ИДК: ПК-5.4

Тема 2.1. Создание цифровых моделей местности (ЦМР) и рельефа (ЦМР) в Blender на основе аэрофотосъёмки

Форма контроля/оценочное средство: Расчетно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Подготовка данных, Пример в Agisoft Metashape, Импорт в Blender, Установка Blender-GIS, Импорт облака точек, Импорт растра высот, Обработка и визуализация, Оптимизация геометрии, Анализ и измерения.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы

1. Что такое цифровая модель местности?
2. Что такое цифровая модель рельефа?
3. В чём заключается различие между ЦММ и ЦМР?
4. Какие данные получают в результате аэрофотосъёмки с БПЛА?
5. Что такое фотограмметрическое облако точек?
6. Как из облака точек формируется цифровая модель рельефа?
7. Для чего используется Blender при работе с геодезическими и фотограмметрическими данными?
8. Что такое сеточная модель (mesh) в Blender?

9. Из каких основных элементов состоит трёхмерная сетка?
10. Как высотные координаты определяют форму цифрового рельефа?

Тема 2.2. Экспериментальные исследования влияния навигационного оснащения БВС на точность результатов фотограмметрической обработки

Форма контроля/оценочное средство: Расчетно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Практическое занятие посвящено проведению эксперимента по оценке влияния качества навигационных данных БВС на точность фотограмметрических продуктов. Студенты выполняют аэрофотосъёмку тестового полигона с использованием БВС в различных навигационных режимах: стандартный GNSS, PPK и RTK. Полученные данные обрабатываются в фотограмметрическом ПО с построением облаков точек, ЦМР и ортофотопланов для каждого режима.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы

1. Какова основная цель экспериментального исследования влияния навигационного оснащения БВС на фотограмметрические результаты?
2. Что относится к навигационному оснащению беспилотного воздушного судна?
3. Какую роль выполняет GNSS-приёмник на БВС?
4. Что такое инерциальное измерительное устройство (IMU)?
5. Какие параметры определяются навигационной системой БВС во время аэрофотосъёмки?
6. Как точность координат центра фотографирования влияет на фотограмметрическую обработку?
7. Что такое RTK и как он используется при аэрофотосъёмке?
8. Что такое PPK и чем он отличается от RTK?
9. Как можно экспериментально сравнить различные режимы навигационного обеспечения БВС?

Тема 2.3. Исследование вариантов создания ЦММ по данным АФС при отсутствии наземных опорных точек геодезической сети

Форма контроля/оценочное средство: Расчетно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Практическое занятие посвящено оценке точности создания ЦММ без использования наземных опорных точек. Студенты обрабатывают данные АФС в трёх вариантах: по стандартному GNSS, PPK и RTK. Для каждого варианта строятся облака точек, ЦМР и ортофотопланы. Полученные модели сравниваются по контрольным точкам с вычислением плановых и высотных СКО. Формулируются выводы о применимости каждого варианта для различных задач и условиях местности.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы

1. Что такое аэрофотосъёмка (АФС)?
2. Что такое цифровая модель местности (ЦММ)?
3. Почему наземные опорные точки обычно используются при фотограмметрической обработке?
4. Какие проблемы возникают при создании ЦММ без наземных опорных точек?
5. Какую роль играет GNSS-навигация БВС при отсутствии наземных опорных точек?
6. Что такое RTK и какие преимущества он обеспечивает при аэрофотосъёмке?
7. Что такое PPK и почему эта технология может применяться для создания ЦММ без GCP?
8. Как точность координат центров фотографирования влияет на точность ЦММ?
9. Какие параметры аэрофотосъёмки особенно важны при отсутствии наземных опорных точек?

10. Как продольное и поперечное перекрытие снимков влияет на качество фотограмметрической модели?
11. Что является основной целью исследования создания ЦММ при отсутствии наземных опорных точек?

Раздел 3. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ БВС

Контролируемые ИДК: ПК-5.4

Тема 3.1. Моделирование процесса создания ЦММ по данным лазерного сканирования

Форма контроля/оценочное средство: Расчетно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Практическое занятие посвящено освоению этапов создания ЦММ из облака точек лазерного сканирования. Студенты выполняют калибровку и привязку данных, применяют алгоритмы фильтрации для отделения земли от объектов (растительность, здания). Используются методы интерполяции (IDW, TIN, кригинг). Формируются навыки выбора оптимальных параметров для различных типов ландшафта.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы

1. Дайте определение ЦММ (цифровой модели местности) в контексте данных лазерного сканирования и чётко сформулируйте, чем она принципиально отличается от цифровой модели поверхности (ЦМП / DSM).
2. Перечислите основные аппаратные компоненты воздушного лазерного сканера (ALS), участвующие в генерации исходного облака точек, и кратко опишите роль каждого из них.
3. Подробно опишите этап фильтрации облака точек. Почему этот этап считается самым критичным для построения качественной ЦММ, особенно в лесной и городской застройке?
4. Сравните два подхода к фильтрации: алгоритм, основанный на анализе уклонов (Slope-based), и алгоритм, основанный на построении опорной поверхности (Surface-based). Укажите сильные и слабые стороны каждого.
5. Как влияет плотность облака точек (измеряемая в pts/m²) на итоговую точность ЦММ и на время вычислительной обработки? Приведите количественные примеры.
6. Назовите три наиболее распространённых метода интерполяции (IDW, Kriging, TIN) для построения регулярной сетки. В каких инженерных задачах предпочтительнее использовать каждый из них?
7. Какими методами в процессе моделирования принято выявлять и устранять аномальные выбросы (outliers), возникающие из-за отражения луча от птиц, капель дождя или зеркальных поверхностей?
8. Раскройте суть понятий «первый импульс» (First Pulse) и «последний импульс» (Last Pulse) в системах LiDAR. Как использование этих режимов помогает моделировать рельеф под густым пологом леса?
9. Объясните физическую зависимость между углом падения лазерного луча на поверхность и интенсивностью отражённого сигнала. Как эта зависимость сказывается на качестве точек на крутых склонах?
10. Приведите пошаговую методику расчёта объёмов грунта (выемка/насыпь, Cut and Fill) на основе двух разновременных ЦММ. Напишите общую формулу расчёта объёма по сетке квадратов.

Тема 3.2. Использование БВС в аэрофотосъёмки

Форма контроля/оценочное средство: Расчетно-графическая работа

Вопросы/Задания:

1. Практическое занятие посвящено освоению полного цикла аэрофотосъёмки с использованием БВС. Студенты выполняют наземное планирование маршрута в специализированном ПО с заданием высоты, перекрытий и параметров съёмки. Проводится полевой вылет с БВС, включая контроль навигационных параметров и качества получаемых снимков. Выполняется оценка точности полученных продуктов и разбор типичных ошибок при планировании и выполнении съёмки.

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Вопросы/Задания:

1. Контрольные вопросы

61. Дайте чёткое определение аэрофотосъёмке с использованием БВС. Перечислите минимум три ключевых преимущества дронов перед пилотируемой авиацией при выполнении топографической съёмки.
62. Назовите два основных типа БВС (мультироторные и самолётного типа), используемых в аэрофотосъёмке, и подробно опишите, в каких ситуациях (по площади и сложности объекта) применение каждого из них более оправдано.
63. Что такое GSD (Ground Sample Distance) и как оно рассчитывается? Как изменение высоты полёта и фокусного расстояния камеры влияет на итоговое разрешение снимка?
64. Объясните физический смысл продольного и поперечного перекрытия снимков. Какие стандартные значения закладываются при планировании полёта и почему недостаточное перекрытие делает невозможным построение трёхмерной модели?
65. В чём принципиальное отличие систем RTK (кинематика в реальном времени) и PPK (постобработка) при использовании их на борту БВС? Какой из методов обеспечивает более стабильную точность в условиях плохого спутникового сигнала?
66. С какой целью на местности раскладываются наземные контрольные точки (GCPs)? Опишите процедуру их координатной привязки. Можно ли полностью отказаться от GCPs, используя только дрон с RTK, и в каких случаях?
67. Какие требования предъявляются к метеоусловиям (скорость ветра, облачность, высота солнца) для получения качественных снимков без смаза и с равномерной гистограммой яркости?
68. Перечислите в хронологическом порядке основные этапы фотограмметрической обработки данных (от выравнивания снимков до экспорта ортофотоплана). Какое промежуточное звено (облако точек или ЦМР) является основой для построения точного ортофотоплана?
69. В чём заключается проблема «неметрических» камер, устанавливаемых на большинство серийных дронов? Как выполняется калибровка внутренних параметров камеры (фокусное расстояние, дисторсия) в процессе программной обработки?
70. Какие специфические трудности возникают при выполнении аэрофотосъёмки с БВС в горной местности (перепады высот) и как программное обеспечение планирования позволяет учитывать рельеф для выдерживания постоянного GSD?

8. Оценочные материалы промежуточной аттестации

3 семестр, Зачет с оценкой

Контролируемые ИДК: ПК-5.4

Вопросы/Задания:

1. Вопросы к зачёту

1. Расчёт параметров полёта (GSD и высота) Условие: Вам выдан дрон с камерой, имеющей фокусное расстояние 24 мм и размер матрицы 6000×4000 пикселей (размер пикселя = 4 мкм). Заказчик требует получить итоговое пространственное разрешение (GSD) = 2 см/пиксель.
2. Планирование маршрута и расчёт количества снимков Условие: необходимо отнять прямоугольный участок размером 800 м × 600 м. Высота полёта установлена на 120 м. Размер одного снимка в натуре (с учётом GSD) составляет 150 м × 100 м. Вы закладываете

продольное перекрытие = 80% и поперечное перекрытие = 60%. Задание: Рассчитайте фактический шаг между центрами снимков вдоль линии (по курсу) и между линиями. Определите, сколько снимков будет в одном маршруте и сколько всего маршрутов потребуется для покрытия всего участка.

3 Выбор системы позиционирования (RTK vs PPK vs GCP) Условие: у вас есть два дрона: Дрон А — с модулем RTK, Дрон Б — без RTK, но с обычным GNSS. Погода облачная, связь с базовой станцией RTK нестабильна. Площадь съёмки — открытый карьер, где геодезисты не могут заложить наземные марки (GCP) из-за техники безопасности (работает тяжёлая техника).

4 Дешифрирование и выбраковка некачественных снимков (Оценка качества полёта) Условие: В программу фотограмметрической обработки загружены 200 снимков. В логе полёта зафиксированы следующие проблемы: в середине полёта (снимки №№ 45–60) резко усилился ветер (порывы до 12 м/с), а на снимках №№ 110–115 камера зафиксировала пересвет (солнце вышло из-за туч и попало прямо в объектив под углом). Задание: 1- Предложите критерии (по параметрам EXIF и визуально), по которым вы выявите снимки со смазом (blur) и с пересветом. 2- Что вы сделаете: удалите эти снимки из проекта или попытаетесь их сохранить с помощью коррекции? Если удалить 20% снимков, как это повлияет на перекрытие и итоговую модель? Дайте рекомендации по повторному вылёту на досъёмку.

5 Инженерная задача (Подсчёт объёма грунта) Условие: у вас есть два ортофотоплана и две ЦМР (цифровые модели рельефа) одного и того же строительного участка: первая снята 1 марта (до строительства), вторая — 1 июня (котлован уже вырыт). Размер сетки (шаг пикселя) ЦМР = 0, 5 м. Программное обеспечение выдало разностную модель (Cut/Fill), но студент вместо подсчёта объёма умножил среднюю глубину на площадь.

2. Вопросы к зачёту

Комплексное задание №1. Организация спасательной миссии в условиях ЧС (отказ связи и смена погоды) Условие: поступил срочный заказ от МЧС на съёмку участка горной местности (площадь 15 км²) после схода селевого потока. Мост разрушен, наземные геодезические марки (GCP) заложить физически невозможно (небезопасно). У вас есть мультироторный дрон с LiDAR и RTK, а также самолетный БВС с фотокамерой. На момент выезда — солнечно, но метеосводка предупреждает о подходе циклона через 4 часа. Во время второго вылета связь с дроном по управляющему каналу прерывается. Задание (проверка владения): 1. Разработайте двухэтапную стратегию: как перераспределить задачи между LiDAR-ом и фотоБВС, чтобы успеть за 3, 5 часа получить данные, достаточные для построения и ЦММ, и ортофотоплана? 2. Опишите алгоритм ваших действий при потере связи (сценарий failsafe). На какие параметры вы обратите внимание в логе полета после возврата дрона? Предложите метод постобработки данных без наземных марок, используя только траекторную информацию от спутников. Напишите обоснование для заказчика, почему точность соответствует требованиям (порядок RMSE 3–5 см) даже при отсутствии GCP.

Комплексное задание №2. Арбитражный спор по объёмам строительства («Сложный рельеф + Склад») Условие: Подрядчик предъявил заказчику акты выполненных работ с подсчетом объёма вынутого грунта (Cut & Fill) по результатам съёмки БВС. Заказчик нанял другую компанию для контрольной съёмки, но их цифры разошлись на 30%. У обеих компаний есть сертифицированное оборудование. Вскрылась деталь: первая компания строила модель по облаку точек только первых отражений (First Pulse), игнорируя землю под кучами; вторая использовала лидар. Более того, на участке лежат штабеля песка, форма которых постоянно менялась ветром. Задание (проверка владения): 1. Вы выступаете как независимый технический эксперт. Составьте письменное заключение-преамбулу: какие типы ошибок могли привести к расхождению в 30%? (Укажите влияние фильтрации, алгоритма интерполяции, и времени суток съёмки). 2. Разработайте Регламент контрольной съёмки для данного спора: выберите тип БВС, высоту, плотность облака точек и метод сканирования (мультиугловой или вертикальный), чтобы минимизировать влияние отвалов. Опишите процедуру «поправки на ветер» для штабелей песка при подсчете товарной массы, если плотность материала известна, а геометрия меняется

Комплексное задание №3. Проектирование «цифрового двойника» (Digital Twin) для карьера с автоматическим обновлением Условие: Крупный горно-обогатительный комбинат требует

внедрения системы еженедельного мониторинга карьера глубиной 150 метров. Борты карьера имеют отрицательные углы наклона (козырьки). Программное обеспечение для построения ЦММ по снимкам (фотограмметрия) постоянно «проваливается» в пустоты на отвесных стенках, а LiDAR дает слишком шумные точки на мокрой глине. Инженерам комбината нужна не просто ЦММ, а результат в виде точной триангуляционной сети (TIN) с расчетом углов устойчивости бортов. Задание (проверка владения): 1. Предложите комбинированную технологию сбора данных (БВС + Наземное лазерное сканирование с коллапсированных точек). 2. Напишите алгоритм «сшивки» разнородных облаков точек (с разных систем координат) в единый блок. Как быть с систематическим сдвигом (порядка 10 см) между данными дрона и наземного сканера? Разработайте ТЗ (Техническое задание) для программиста, чтобы автоматизировать отсеечение «плохих» точек на мокрых глинистых поверхностях (опишите критерий классификации по интенсивности отражения).

Комплексное задание №4. Интеграция с ГИС и правовой режим (Лесное хозяйство) Условие: Лесхоз заказал съемку 2000 га леса для выявления незаконных вырубок и оценки запаса древесины. Данные получены. При обработке выяснилось, что навигационный файл (RINEX) с базовой станции поврежден и не читается, поэтому все точки облака плавают с ошибкой до 3 метров в плане. Восстановить вылет и переснять невозможно (уже зима, лес под снегом). Росреестр требует абсолютной привязки к государственной системе координат (МСК) для судебных исков к браконьерам. Задание (проверка владения): 1. Предложите нестандартный метод «спасения» проекта: как привязать облако точек к земле, используя только открытые карты (например, спутниковые снимки высокого разрешения или карты OSM) и характерные контуры (пересечения дорог, русла рек)? Опишите метод «трансформации подобия» (Helmert) по 3–4 опорным контурам. 2. Оцените юридическую силу такой привязки. Что вы пропишете в акте сдачи-приемки, чтобы снять с себя ответственность за абсолютную погрешность 1-2 метра, но гарантировать относительную точность внутри модели (для подсчета объемов древесины)? 3. Спрогнозируйте, как изменится ЦММ (высота деревьев) при съемке зимой (снег на кронах) по сравнению с летом. Предложите поправочный коэффициент на снеговую нагрузку.

Комплексное задание №5. Экстремальный городской полигон (Помехи и отражения) Условие: Дано задание на создание высокоточной ЦММ для центральной площади города с исторической застройкой (шпили, купола, колоннады, стеклянные витрины). БВС поднимать выше 50 метров над зданиями запрещено законом. Вокруг плотная застройка, GNSS-сигнал постоянно теряется в «городском каньоне». В данных лазерного сканирования огромное количество шумов от стеклянных поверхностей (лазер уходит в бесконечность или дает двойные отражения). Сроки горят. Задание (проверка владения): 1. Разработайте детальный план полетного задания: траектория движения (прямоугольники, круги, «восьмерки»), чтобы обеспечить достаточную геометрическую связь снимков при плохом GNSS. 2. Предложите метод фильтрации данных LiDAR для исторического центра без потери архитектурных деталей (карнизы, статуи). Какой размер ядра фильтра вы зададите и почему? 3. Создайте чек-лист визуального контроля модели для заказчика, указав, на какие именно элементы зданий нужно обратить внимание при проверке, чтобы доказать, что моделирование выполнено на уровне ВЛАДЕНИЯ (схвачены даже мелкие элементы декора).

3. Что такое RTK и как он используется при аэрофотосъемке?

1. RTK — это технология постобработки навигационных данных, применяемая после завершения полёта для уточнения координат центров фотографирования
2. RTK (Real-Time Kinematic) — это метод спутниковой навигации, позволяющий в реальном времени определять координаты БВС с сантиметровой точностью на основе поправок с базовой станции
3. RTK — это формат хранения метаданных аэрофотоснимков, содержащий информацию о высоте полёта и угле наклона камеры
4. RTK — это программный модуль для автоматической фильтрации облака точек от растительности

4. Что такое PPK и чем он отличается от RTK?

1. PPK (Post-Processing Kinematic) — это метод постобработки навигационных данных после

полёта, а RTK (Real-Time Kinematic) — метод коррекции координат в реальном времени

2. PPK обеспечивает коррекцию в реальном времени, а RTK — постобработку после полёта

3. PPK используется только для высотных координат, а RTK — только для плановых

4. PPK и RTK — это разные названия одной и той же технологии спутниковой навигации

5. Какие проблемы возникают при создании ЦММ без наземных опорных точек (GCP)?

1. Невозможность выполнения взаимного ориентирования снимков.

2. Полное отсутствие возможности построения облака точек

3. Накопление систематических ошибок по высоте и координатам из-за неточной навигационной привязки

4. Невозможность использования фотограмметрического ПО

6. По какому закону описывается распространение ошибок от центров фотографирования на точки модели?

1. Закон квадратичного роста

2. Закон распространения ошибок с коэффициентом H/B

3. Линейный закон без усиления

4. Логарифмический закон

7. Какие параметры учитываются при фильтрации для классификации точек

1. Только абсолютная высота точки

2. Только цвет точки

3. Только интенсивность отражения

4. Отклонение от опорной поверхности и угол наклона к соседям

8. Какой процент ошибки в подсчёте объёмов грунта может возникнуть при неверной фильтрации?

1. Менее 1%

2. До 2–5%

3. До 15–20%

4. Ошибка не зависит от фильтрации

9. Что такое «первый импульс» (First Pulse) в системах LiDAR?

1. Отражение от самой верхней части объекта (макушка дерева, крыша здания)

2. Сигнал, зарегистрированный после отражения от твёрдой поверхности земли

3. Сигнал, прошедший сквозь все препятствия

4. Импульс с максимальной интенсивностью

10. Что позволяет повысить достоверность интерполяции рельефа при малом количестве «земных» точек (2–3 точки на m^2)?

1. Использование только первого импульса

2. Высокоточное позиционирование дрона с PPK/RTK и статистическая фильтрация низких точек

3. Увеличение высоты полёта

4. Использование камеры высокого разрешения

11. Какие признаки используются алгоритмами машинного обучения для различения подлеска и земли?

1. Только абсолютная высота

2. Только цвет

3. Интенсивность отражения, локальная кривизна, вертикальное распределение точек, яркость текстуры

4. Только расстояние до центра сканирования

12. Во сколько раз может повыситься точность ЦММ на сложных участках при использовании машинного обучения?

1. В 1.2–1.5 раза

2. Вплоть до 2–3 раз

3. В 10 раз

4. Точность не изменяется

9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Беликова И. П. Основы управления проектами: учебное пособие / И. П. Беликова, О. Н. Федиско. - Ставрополь: СтГАУ, 2020. - 112 с. - Текст: электронный // Издательство Лань: [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/169715> - Режим доступа: по подписке
2. Бойко О. Е. Основы управления проектами: учебное пособие / О. Е. Бойко. - Основы управления проектами - Москва: Издательский Дом МИСиС, 2019. - 81 с. - 978-5-907061-93-4. - Текст: электронный // IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/98216.html> - Режим доступа: по подписке

Дополнительная литература

1. Боронина Л. Н. Основы управления проектами: учебное пособие / Л. Н. Боронина, З. В. Сенук; под редакцией Ю. Вишневецкий. - Основы управления проектами - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 136 с. - 978-5-7996-1751-6. - Текст: электронный // IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/65961.html> - Режим доступа: по подписке

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

Профессиональные базы данных

1. <https://www.garant.ru> - Информационно-правовой портал "Гарант"
2. www.znaniium.com - Коллекция электронных версий изданий (книг, журналов, статей и пр.), сгруппированных по тематическим и целевым признакам

Ресурсы «Интернет»

Не используются.

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

Специализированная лаборатория

- Интерактивная панель - 3 шт.
- Кронштейн для приборов - 24 шт.
- Меловая доска - 3 шт.
- Моноблок - 1 шт.

Смешанный тип

Интерактивная панель - 1 шт.
Кронштейн для приборов - 8 шт.
Меловая доска - 1 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 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.