

## **Секция 1**

### **«Аэрокосмические съёмки, фотограмметрия»/ Section 1**

#### **«Aerospace surveys, photogrammetry»**

**Лавров В.В., ООО «Геопроект»/Geoproject Ltd**

**«Космическая съёмка высокого и сверхвысокого разрешения в оптико-электронном и радиодиапазоне»**

Космические системы дистанционного зондирования Земли сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне(обзор).

Космическая съёмка в видимом спектральном диапазоне в последнее время претерпела весьма ощутимое развитие в сторону увеличения разрешающей способности космических изображений. Это принципиально делает возможным использование этой информации, в том числе для целей картографирования.

Радарные космические системы дистанционного зондирования Земли высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (обзор).

Новые возможности и алгоритмы улучшения пространственного разрешения космических изображений МАХАR.

Перспективные космические системы сверхвысокого разрешения (0,3м - 0,4 м) WorldView Legion МАХАR (США) - 6 космических аппаратов; Pleiades Neo (Франция) - 4 космических аппарата; РБКС (Россия-Беларусь) - 1 космический аппарат.

**Безменов В.М., Казанский Федеральный Университет**

**«Методы фотограмметрии - основа для формирования комплексных требований к точности навигационного оборудования носителей съёмочных систем»**

В условиях цифровой трансформации экономики основными требованиями к пространственным данным являются надёжность, оперативность и эффективность их получения. Реализация этих требований может быть достигнута за счет обеспечения необходимой точности геопривязки целевой информации (изображений), получаемой с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) и т. д.

Для формирования требований к точности навигационного оборудования носителей съёмочных систем: БПЛА, КА ДЗЗ предлагается использовать аналитические формулы вычисления средних квадратических ошибок (СКО) пространственных координат, полученные из решения условия прямой фотограмметрической засечки для произвольного случая съёмки: для любых значений элементов внешнего и внутреннего ориентирования съёмочных камер. Модель ошибок учитывает 24 параметра. При этом предполагается, что изображения формируются разными съёмочными камерами, например, «роем» БПЛА. Задача решена для пяти систем углов внешнего ориентирования. Предлагаемый подход позволяет:

1. Определять вклад любой группы параметров (или отдельного параметра) в итоговую СКО определения пространственных координат;
2. Выбирать оптимальное сочетание значений ошибок, соответствующих различным группам параметров.

Достоверность модели СКО определения пространственных координат подтверждена различными численными экспериментами, моделирующими аэросъёмку с БПЛА и съёмку КА ДЗЗ при разных условиях. Разработаны соответствующие алгоритмы.

Решение также позволяет определять СКО пространственных координат любой точки объекта из обработки его перекрывающихся изображений с использованием только бортовой навигационной информации, т. е. без применения опорных точек.

**Макаров А.П., Чибуничев А.Г., Полякова Е.В., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Применение роботизированной системы для получения информации о местности»**

На кафедре фотограмметрии МИИГАиК разрабатывается «Автоматизированная система генерации информации» (АСГИ), которая предназначена для выполнения аэросъемки объекта с помощью беспилотного летательного аппарата и получения документов о местности (ортофотоплан, ЦМР и т. д.) в автоматическом режиме.

Роботизированная станция способна осуществлять работу как индивидуально, так и в составе сети станций. Комплексы равномерно распределяются на территории, где будут осуществляться работы. Оператор находится в офисе, формирует задание и отправляет по интернет-каналу на станции. Выполнение заданий осуществляется автоматически по расписанию.

Состав исполнительного комплекса:

- мобильный робот-манипулятор;
- квадрокоптер DJI Phantom (при доработке возможно использование других аппаратов);
- программное обеспечение Flight Control;
- зарядная станция.

Мобильный робот-манипулятор состоит из следующих модулей: гусеничной платформы, зарядной стойки на 6 аккумуляторов (робот может автономно, без зарядной станции, зарядить до 3 аккумуляторов от своего блока), а также горизонтально перемещающегося по платформе, специализированного манипулятора для обслуживания БПЛА, подъемного портала с клешневыми захватами, удерживающими БПЛА при замене АКБ, видеокамерой и устройством для чтения карт памяти.

Программное обеспечение 1 обеспечивает автономную работу комплекса и управление всеми системными процессами. Программное обеспечение

может использоваться для планирования и выполнения съемок территории в автоматическом режиме.

Зарядная станция представляет собой, модуль зарядки робота-манипулятора и аккумуляторов БПЛА. Модуль оснащен GPS приемником, метео-датчиками для определения фактического состояния погоды, системой видеонаблюдения и фиксации различных событий.

Функциональные возможности комплекса:

- доставка БПЛА на место взлета по заданному маршруту;
- планирование съемки и контроль полета БПЛА, посадка в обозначенной точке благодаря разработанному ПО Flight Control;
- поиск БПЛА по видеокамере в точке посадки, замена аккумулятора, повторный запуск БПЛА;
- скачивание и передача информации на обработку и анализ.

Решаемые задачи:

- непрерывный мониторинг территории с целью получения актуальной пространственной информации - ортофотопланов М 1:500-2 000 и 3D-моделей;
- видеосъемка объектов с прямой трансляцией или записью данных;
- контроль за ведением строительных работ;
- обеспечение безопасности - контрольный облет периметров охраняемых территорий или любой сложный маршрут вокруг зданий («летающая камера-охранник»);
- анализ состояния объектов инфраструктуры (нефтегазовые объекты, горные разработки, крупные предприятия и др.);
- тепловизионная съемка объектов;
- анализ качества воздуха;
- контроль движения транспорта;
- мониторинг полей с помощью спектральной камеры.

**Кобзев А.А., Чибуничев А.Г., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Исследование возможности совместной фотограмметрической обработки разновременных аэроснимков полученных различными съемочными системам»**

Основное развитие в мире происходит вокруг городов и городских агломераций. При решении городских задач требуются пространственные данные, основой которых является высокодетальная и высокоточная аэрофотосъемка. Цикличность создания исходных пространственных данных (проведения АФС) - от 1 до 3 лет, в зависимости от развития города, его застройки и изменения облика. Обычно при проведении новой съемки старые данные «забываются» - уходят в архив и не используются. В работе проведено исследование возможности выполнения совместной фотограмметрической обработки архивных и новых аэрофотоснимков для улучшения качественных характеристик производных продуктов, а также для геодезической привязки новой съемки при её отсутствии или недостаточной точности. В результате исследования выявлено, что архивные данные аэрофотосъемки можно использовать для привязки новых аэрофотосъемок при выполнении совместной аналитической фототриангуляции. Потери точности при 100% перекрытии блоков и менее 50% изменениях местности в границах каждого отдельного кадра не выявлены. При частичном перекрытии архивного и нового блоков также возможна геодезическая привязка нового блока по архивным данным со значительным сокращением полевых работ. Исследования проводились на материалах пилотируемой аэрофотосъемки города-миллионника и АФС районного центра с беспилотных воздушных судов.

**Сенчуриин Е.Е., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Разработка автономной стереофотосистемы, предназначенной для съемки и трехмерного моделирования пещер»**

Актуальность разработки заключается в возрастающем интересе к использованию пространственных данных об объекте в формате трехмерной модели. Это необходимо для документации, изучения, обзора и отслеживания динамики развития внутренних полостей Земли.

Пещеры (подземные ландшафты) являются сложными объектами для трехмерного сканирования и моделирования. Смоделированные элементы подземных ландшафтов должны правдоподобно передавать форму и текстуру поверхности со всеми образованиями, нелинейными системами проходов и залов, не освещенных солнечным светом и являющихся зачастую труднодоступными для сканирования.

Концепцией системы является проведение автономной панорамной стереофото съемки. Данная система будет состоять из двух цифровых фотокамер, закрепленных на базе с возможностью последовательного синхронного изменения углов наклона и поворота устройства. Движения элементов системы обеспечиваются шаговыми двигателями (ШД). Работа системы выполняется по параметрам съемки, предварительно заложенным в командное устройство (КУ). Принципиальная схема включает в себя: микроконтроллер Arduino NANO, 2 драйвера ШД, плата защиты питания, 2 понижающих преобразователя питания, блок аккумуляторов, 4 резистора, 1 транзистор, 1 диод и реле.

По принципиальной схеме была создана печатная плата и написана программа управления системой на языке Arduino. После сборки всех комплектующих частей стереосистема готова к работе.

Тестовая съемка проводилась на кафедре фотограмметрии и показала работоспособность разработанного комплекса.

**Чернышев В.Е., Говоров А.В., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Исследование калибровки по сериям снимков с общим центром проекции»**

В докладе рассматривается метод калибровки цифровых фотокамер (ЦФК) по маркированному тест-объекту с использованием дополнительных геометрических условий. Съемка производится при вращении камеры вокруг передней узловой точки объектива. В этом случае все снимки имеют общий центр проекции. Общий центр проекции является дополнительным геометрическим условием при калибровке ЦФК. Представлены результаты исследований калибровки по макетным снимкам.

**Кобзева Е.А., АО «Урало-Сибирская геоинформационная компания»,  
Широков В. Н., Институт истории и археологии УрО РАН  
«Древнее наскальное искусство, охрана культурного наследия и  
фотограмметрия»**

На примере объекта культурного наследия федерального значения «Сергинская писаница» показано применение аэрофотосъемки и фотограмметрии для изучения и охраны археологических памятников. Помимо всего прочего, решаются такие важные задачи, как определение границ объекта культурного наследия, фиксация современного состояния наскальных изображений и другие. Работа выполнена совместно Институтом истории и археологии Уральского отделения Российской Академии наук и производственным предприятием «Урало-Сибирская геоинформационная компания».

**Говоров А.В., Чибуничев А.Г., Макаров С.Б., Московский  
государственный университет геодезии и картографии  
«Исследование калибровки цифровых камер по плоскому тест-объекту»**

Несмотря на то, что калибровка цифровых камер была хорошо изучена и развита, исследования в этой области продолжают с целью повышения точности этого фотограмметрического процесса. Кроме того, многие исследователи стремятся использовать плоский тестовый объект для калибровки камеры, поскольку он дешевле пространственного и более

доступен. В данной работе предлагается усовершенствованный метод калибровки камеры с помощью плоского тестового объекта. Суть метода заключается в следующем. Камера монтируется на штативе и на разных расстояниях и углах наклона испытуемого объекта снимается серия изображений плоского испытуемого объекта (например, шахматной доски). Затем все изображения обрабатываются вместе, будучи рассматриваемыми как одно изображение с фиксированными элементами внешнего ориентирования. Выполненные исследования показали точность, сопоставимую с традиционным методом калибровки по пространственному тест-объекту, что позволяет использовать плоский тест-объект.

**Говоров А.В., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Опыт использования трехмерных компьютерных моделей как наглядных пособий для преподавания основам фотограмметрии»**

В докладе приводятся сведения об опыте использования 3D моделирования для разработки серии интерактивных компьютерных моделей, используемых в качестве наглядных пособий во время чтения лекций и проведения лабораторных работ по фотограмметрии. Модели позволяют сформировать у слушателей образы, существенно облегчающие понимание основных фотограмметрических процессов. Рассмотрены пути возможной публикации таких наглядных пособий через Интернет.

**Киселева А.С., Курков В.М., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Оценка точности ЦМР, построенных по материалам беспилотной АФС»**

Цифровые модели поверхности (ЦМП), построенные по фотограмметрическим измерениям, становятся все более востребованным продуктом в инженерно-геодезических изысканиях, маркшейдерии, топографических съемках, археологии и других областях. В статье приведены



результаты оценки точности ЦМП, построенной фотограмметрическим методом по беспилотной аэрофотосъемке различными аэросъемочными системами. В качестве эталонных контрольных измерений использованы 40 маркированных опознаков, координаты которых определены ГНС-технологией в режиме короткой статики и 80 высотных пикетов, полученных методом тахеометрической съемки на открытых участках населенного пункта. Экспериментальные работы выполнялись с апреля по октябрь 2019 года кафедрой фотограмметрии МИИГАиК и ее партнеров из различных компаний. В летно-съемочных и геодезических работах участвовали студенты 3-го курса ФПК и Ф по специальности ГидЗакс. Контрольный участок съемки составил 1 км. кв. Фотограмметрическая обработка выполнена в ЦФС Agisoft Metashape, PHOTOMOD и Pix4DMapper. В качестве геодезического обеспечения использовались маркированные опознаки с точностью определения координат 2 см и точные центры проекции, если аэросъемочный комплекс их обеспечивал. Пространственное разрешение на местности составило от 3 до 9 см. Если пространственное разрешение на местности принимаем за единицу, то общий вывод по всем экспериментам:

- 1) точность фотограмметрических измерений обеспечивается на уровне 1-1.5 пикселя в плане и 1.5-2 пикселя по высоте;
- 2) точность матрицы высот колеблется в пределах 1.5-2.5 пикселя.

Полученные результаты статистически достоверны и подтверждают теоретические ожидания.

**Уколова А.В., Скрыпицына Т.Н., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Исследование микрорельефа по данным съёмки с беспилотных съёмочных систем»**

В докладе рассмотрены два примера цифровых моделей микрорельефа, полученных по данным съемки беспилотных воздушных судов (БВС).

В первом случае - по материалам аэросъемки, выполнявшейся с целью изучения микрорельефа ледника в районе санно-гусеничного тракта между станциями «Прогресс» и «Восток» (Антарктида). Главными задачами при этом являлось изучение эоловых форм рельефа и эволюции рельефа на микроуровне.

Во втором случае аэросъемка проводилась с целью выявления археологических объектов в районе сельских памятников «Ахтанизовская 1» и «Соленый 3», располагающихся в зоне активного земледелия (Таманский полуостров).

В приведенных примерах для достижения поставленных целей использовались морфологический, морфометрический и текстурный анализ построенных ЦМР. Данные исследования микрорельефа позволили значительно скорректировать и дополнить предыдущие археологические и гляциологические исследования: текстурный анализ позволил выявить протяженные объекты, морфометрический анализ - локализованные объекты.

Исследования показали, что ЦМР, применяемые для изучения мезо- и микроформ, имеют ряд особенностей, связанных с процессами получения и фотограмметрической обработки снимков. К ним следует отнести:

- 1) Ошибки на стыках соседних блоков ЦМР могут достигать 1 метра (при использовании метода прямой геопривязки с дефицитом или отсутствием наземного обоснования).
- 2) Избыточная плотность точек при использовании алгоритма Semi Global Matching создает на стыках стереопар ложный микрорельеф в виде террас.
- 3) Ошибки вычисления ЭВО на отдельных снимках внутри маршрута ведут к возникновению ложного микрорельефа нелинейного характера. Такие ошибки не превышают 0.5 м, но искажают результаты текстурного и морфометрического анализа.
- 4) Для получения правдоподобной модели рельефа требуется ручное редактирование ЦМР в стереорежиме.

**Шарлай Г.И., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Проблемы геодезических изысканий на шельфе»**

В состав нефтегазопромысловых сооружений на континентальном шельфе входят: временные (плавучие буровые установки - ПБУ) и стационарные платформы, эстакады, нефтепогрузочные сооружения, объекты подводного обустройства месторождений, морские хранилища, внутрипромысловые трубопроводы и др. При этом под континентальным шельфом понимается зона вокруг материков, простирающаяся от береговой линии (при низком стоянии уровня воды во время отлива) до бровки континентального склона, где отмечается резкое увеличение глубин моря.

Инженерные изыскания на континентальном шельфе характеризуются следующими особенностями:

- 1) Спецификой морских нефтегазопромысловых сооружений и нагрузок на них в процессе эксплуатации.
- 2) Выполнением практически всех видов изысканий со специализированных или приспособленных судов, плавучих установок, понтонов или со льда.
- 3) Необходимостью широкого использования дистанционных методов исследований геолого-литологического разреза и рельефа дна.
- 4) Спецификой морских условий, требующих использования современных и эффективных способов бурения, методов геодезической привязки, промеров и съемок в связи с большой удаленностью от берега.

**Аккиева Т., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Исследование ошибок преобразования координат при геодезическом обеспечении ДЗЗ»**

Актуальность задачи определения элементов трансформирования координат заключается в том, что в настоящее время на практике используют большое количество различных систем координат (сокращенно СК). Очень часто инженеры в геодезии прибегают к созданию местных СК для отдельного объекта и его дальнейшего геодезического обеспечения. И тогда возникает необходимость исследовать ошибки перехода из одной системы координат в другую, так как от этого зависит геодезическая основа обеспечения данных дистанционного зондирования. Корректный переход является несложной теоретической задачей, но достаточно сложной на практике организационной проблемой в связи с появлением ошибок трансформирования и преобразования систем координат.

**Мавлянова Д., Московский государственный университет геодезии и картографии**

**«Использование информационных технологий в задачах применения БПЛА для создания трехмерной модели местности»**

Создание трехмерной модели является актуальной темой на данный момент. В настоящее время на рынке присутствует довольно большое количество продуктов для создания трехмерной модели по фотографиям.

Цель работы: исследовать возможности информационных технологий при создании трехмерных моделей местности.

Материалы и методы: обзор существующей научно-технической литературы и сравнительный анализ программ применительно к созданию 3D моделей. Будут проанализированы несколько программных комплексов, которые обрабатывают фотографии и строят по ним трехмерную модель. Кроме того, будет рассмотрена технология обработки фото, а также методология работы с программным комплексом.

В результате проведенных исследований были выбраны наиболее соответствующие нашим задачам продукты: Agisoft PhotoScan и ContextCapture.

Результаты: был сделан анализ научной литературы, а также сравнительный анализ возможностей программ Agisoft PhotoScan и ContexCapture. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что программа ContexCapture по сравнению с Agisoft PhotoScan позволяет получить более приемлемый по точности результат.

Таким образом, дальнейшие перспективы совершенствования Agisoft PhotoScan заключаются в разработке более эффективной фотограмметрической обработки для улучшения точности модели, а также повышении качества, т. е. получении более детальной текстуры.

### **Рамбоусек Вит (Rambousek Vit), Чехия, Phase One Industrial**

**«Высокая производительность аэрофотосъемки с применением широкоформатной аэрофотосъемочной системы Phase One 280MP» / «High productivity of aerial survey using large format Phase One 280MP aerial solution system»**

Будут представлены причины высокой производительности широкоформатной аэрофотосъемочной системы Phase One 280MP.

техническая конструкция и оптические принципы;

компоненты системы и их функции;

параметры и характеристики системы и сенсора;

описание рабочего процесса;

анализ производительности;

анализ точности АФС;

экономический анализ - эксплуатационные расходы;

ключевые преимущества;

примеры производительности аэрофотосъемочной системы PAS280 по российским проектам;

закключение.

Reasons of high productivity of large format Phase One 280MP aerial solution system will be presented

technical construction and optical principles;  
components of the system and their function;  
system and sensor parameters and specifications;  
workflow description;  
productivity analyses;  
accuracy analyses;  
economical analyses - Operational costs;  
key benefits;  
samples of the Phase One PAS280 aerial survey productivity on  
Russian projects;  
conclusion.

**Шлюпиков В.А., Замшин В.В., Харченко В.Д., Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»**

**«Исследование пространственного распределения количества релевантных наблюдений на примере мониторинга прибрежных акваторий Крыма с использованием нескольких космических систем»**

В настоящее время характерной особенностью развития дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса является увеличение количества используемых космических аппаратов и их созвездий (систем). В связи с этим возрастает актуальность задач выбора космических систем ДЗЗ и их сочетаний для выполнения тех или иных тематических проектов.

В исследованиях, предполагающих длительный мониторинг обширных площадей и анализ временных рядов накапливаемых данных, принципиальными становятся не только характеристики спектральных каналов и пространственного разрешения используемых съёмочных систем, но и пространственное распределение количества выполненных наблюдений.

Целью настоящей работы является исследование пространственного распределения количества релевантных наблюдений на примере мониторинга прибрежных акваторий Крыма с использованием нескольких космических

систем. Решались задачи сбора, систематизации, комплексной обработки и анализа данных о количестве наблюдений, выполненных в пределах тестового участка с 01.01.2019 по 31.12.2019 с космических аппаратов Landsat-8, Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B. Количество релевантных для предполагаемой тематической задачи (дешифрирование нефтяных сликов) наблюдений определялось на растровой сетке с размером пикселя 60 метров с учётом мешающих факторов, таких как непрозрачная облачность (для оптических изображений) и недопустимая скорость ветра  $V < 2$  м/с и  $V > 9$  м/с (для радиолокационных изображений).

Показано, что в выполненном эксперименте пространственное распределение количества наблюдений характеризуется сильной пространственной изменчивостью (от 13 до 298, в зависимости от выбранной системы), а потери информации от неблагоприятных условий могут достигать 32-38% (для оптических систем), что необходимо учитывать при реализации исследований, связанных с обработкой длительных временных рядов данных ДЗЗ среднего разрешения.

Исследование выполняется при поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60719X0306.