

Г. А. ФЕДОТОВ, А. А. НЕРЕТИН

ОСНОВЫ АЭРОГЕОДЕЗИИ И ИНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

УЧЕБНИК

Допущено

Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» направления подготовки «Транспортное строительство»



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 528(075.8)
ББК 26.12я73
Ф342

Рецензенты:

проф. кафедры геодезии ГОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, проф. ВАК, канд. техн. наук *А. Ф. Стороженко*;
гл. специалист ООО «Союздорпроект», проф., д-р техн. наук, Заслуженный строитель РФ, Заслуженный деятель науки РФ *Б. Ф. Перевозников*

Федотов Г. А.

Ф342 Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Г. А. Федотов, А. А. Неретин. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 272 с.

ISBN 978-5-7695-6976-0

Изложены теория аэрофотограмметрии и вопросы ее применения в изысканиях и проектировании объектов строительства, современные методы и технологии производства аэрогеодезических работ, методы дешифрирования аэрофотоснимков, методы плано-высотного обоснования аэросъемок, современные цифровые фотометрические системы и методы обработки аэрофотоснимков. Особое внимание уделено методам дистанционного зондирования высокого разрешения. Рассмотрены современные методы аэроизысканий для разработки проектов новых автомобильных дорог и для реконструкции существующих, а также мостовых переходов и аэродромов, технология аэрогидрометрических работ. Представлены современные приборы для производства наземных инженерно-геодезических работ, а также технологии и методы, используемые при изысканиях и строительстве зданий и сооружений, автомобильных дорог, мостовых переходов и аэродромов. Описано применение лазерной техники и автоматизации управления строительными процессами.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 528(075.8)
ББК 26.12я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение
любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Федотов Г. А., Неретин А. А., 2012
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-6976-0

Важнейшими задачами экономического развития России являются повышение эффективности инвестиций во всех сферах хозяйственной деятельности и резкое улучшение качества получаемой продукции. Высоким требованиям в связи с этим должно отвечать и транспортное строительство: проектирование и строительство автомобильных дорог, мостов, транспортных тоннелей и аэродромов. Проектирование транспортных сооружений должно быть направлено на достижение ими высоких транспортно-эксплуатационных качеств при минимуме строительных затрат и материалоемкости строительства. Традиционные технологии и методы изысканий и проектирования транспортных сооружений уже не могут в полной мере отвечать этим требованиям.

Произошедший в стране переход на современные технологии и методы системного автоматизированного проектирования (САПР) транспортных сооружений и использование геоинформационных систем (ГИС) позволяют решать эти задачи.

Технология изысканий транспортных сооружений в связи с переходом на системное автоматизированное проектирование претерпела существенные изменения. Так, при изысканиях автомобильных дорог и сооружений на них отказались от традиционной технологии сбора исходной изыскательской информации на узкой полосе вдоль априори выбранного на стадии предварительных работ единственного, как правило, не самого рационального варианта трассы. В настоящее время на стадии предварительных работ основное внимание уделяют обоснованию полосы варьирования конкурентоспособных вариантов трассы, на которой и собирают необходимую для разработки проекта информацию о местности с соответствующим многократным увеличением объемов полевых работ. Однако эту информацию требуется собирать в те же конкретные фиксированные сроки и с необходимой точностью, что невозможно осуществлять с использованием традиционных технологий, методов и технических средств для выполнения изыскательских работ. Именно поэтому в последние десятилетия при изысканиях транспортных сооружений стали широко применяться такие современные высокопроизводительные методы сбора топографической, инженерно-геологической, экономической и других видов информации о местности, как космическая фото-

грамметрия, цифровая аэрофотограмметрия, наземная фотограмметрия, воздушное и наземное сканирование, наземно-космические съемки с использованием систем спутниковой навигации GPS, ГЛОНАСС и других, электронная тахеометрия, геофизические методы подповерхностных съемок при инженерно-геологических изысканиях.

В отличие от традиционного представления исходных изыскательских материалов на бумажных носителях информации для разработки проектов в виде топографических карт и планов, продольных и поперечных профилей земли, инженерно-геологических разрезов вдоль априори выбранного, как правило, единственного варианта трассы для современного системного автоматизированного проектирования необходима информация (топографическая, инженерно-геологическая, гидрометеорологическая, экономическая и т.д.) в трехмерном виде на широкой полосе варьирования конкурентоспособных вариантов трассы — крупномасштабные топографические планы и цифровые модели местности (ЦММ) в единой системе координат.

Инженер-дорожник должен знать современные технологии аэроизысканий и современной стереофотограмметрической обработки материалов аэросъемок, методы спутниковой навигации, методы воздушного и наземного сканирования, электронную тахеометрию и современные технические средства сбора информации о местности.

В связи с произошедшим переходом на системное автоматизированное проектирование автомобильных дорог и сооружений на них (САПР — АД) изменились и способы выноса проектов транспортных сооружений на местность для строительства. Эти способы и технологии инженер-дорожник также должен знать.

Методы проектирования в САПР существенно отличаются от методов традиционного проектирования. Большинство из них построены на использовании принципов математической оптимизации проектных решений и математического моделирования. Качественный переход на новые технологии и методы проектирования транспортных сооружений потребовал и коренного изменения технологии производства их изысканий.

Создание систем спутниковой навигации GPS и, в частности, отечественной системы ГЛОНАСС, позволило качественно изменить технологии изысканий транспортных сооружений, в том числе и технологии производства аэросъемочных работ.

Развитие цифровой фотографии определило появление принципиально новых типов аэросъемочной аппаратуры с соответствующим изменением носителей аэросъемочной информации (цифровых носителей взамен традиционных аэрофотопленок и фотобумаг). Более того, развитие цифровой фотограмметрии привело к появлению и развитию принципиально новых технологий производства аэросъемок с использованием специальных сканеров воздушного базирова-

ния и последующей фотограмметрической обработки материалов аэросъемок.

Появление цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) сделало не нужным использование огромного парка громоздких, дорогих, но морально устаревших оптико-механических стереофотограмметрических приборов для обработки аэрофотоснимков.

В учебнике нашли отражение следующие вопросы:

- современные методы и технологии производства аэрогеодезических работ;
- современные методы дешифрирования аэрофотоснимков;
- особенности современных методов планово-высотного обоснования аэросъемок и фототриангуляционных сетей;
- современные технологии производства изысканий транспортных сооружений (автомобильных дорог, мостовых переходов, аэродромов);
- особенности современных систем цифровой фотограмметрии;
- методы автоматизированной подготовки топографических планов, цифровых и математических моделей местности (МММ);
- технологии и методы речной аэрогидрометрии;
- современные методы и приборы для выноса проектов автомобильных дорог, мостов и аэродромов на местность для строительства.

Учебник написан д-ром техн. наук, проф. Г.А. Федотовым (кроме гл. 7). Глава 7 написана канд. техн. наук, доц. А.А. Неретиным. При подготовке раздела «Основы аэрогеодезии» авторы учли опыт Белорусского государственного университета (канд. техн. наук, доц. А.С. Назаров).

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОСНОВЫ АЭРОГЕОДЕЗИИ

Глава 1

АЭРОСЪЕМКА ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. Понятие о фотограмметрии. Аэрофотосъемка

Фотограмметрия — это научная дисциплина, изучающая способы определения форм, размеров и пространственного положения объектов в заданной системе координат по их фотографическим и иным изображениям.

В связи со стремительным развитием вычислительной техники в современной фотограмметрии развивается и находит широкое применение один из самых перспективных методов — метод цифровой обработки фотографических изображений, получаемых непосредственно в процессе съемки местности или путем сканирования традиционных аэрофотоснимков.

Цифровая фотограмметрия — это реализованные в компьютерных программах способы обработки фотографических изображений, базирующиеся на аналитических методах обработки снимков, использующих достижения теории компьютерного зрения, машинной графики, методов распознавания образов и преобразования изображений, цифровой фильтрации и теории сигналов, вычислительной геометрии и теории информации, теории вероятности и математической статистики, операционных методов и теории связи, остающихся невидимыми для пользователя.

В зависимости от назначения, способа производства работ и используемых технических средств различают аэрокосмическую и наземную фотограмметрию.

Методы аэрокосмической фотограмметрии предполагают выполнение фотосъемки местности с летательных или космических аппаратов с помощью установленной на них специальной аэрофотосъемочной аппаратуры, в то время как наземная фотограмметрия использует материалы наземных фотосъемок, выполняемых с ис-

пользованием специально созданных для этой цели приборов — фототеодолитов и сканеров.

В ходе изысканий автомобильных дорог, мостовых переходов и аэродромов в настоящее время находят широкое применение методы как наземной, так и аэро- и космической фотограмметрии. Аэрофотосъемка является одной из основных форм фотограмметрии.

Аэрофотосъемкой называется комплекс работ, выполняемых для получения топографических планов различных масштабов и цифровых моделей местности с использованием материалов фотографирования местности с помощью специальной аэрофотографической аппаратуры (АФА), установленной на летальных аппаратах (ЛА) или искусственных спутниках Земли — космических аппаратах (КА).

Воздушное лазерное сканирование рассматривается как разновидность аэрофотосъемки (отличная как по способу производства съемочных работ, так и по способу фотограмметрической обработки материала съемки), выполняемой с использованием специального съемочно-оборудования — лазерных сканеров воздушного базирования.

В связи с переходом на технологии и методы системного автоматизированного проектирования транспортных сооружений и резким увеличением (на порядки) объемов необходимой для проектирования изыскательской информации требуемой точности аэросъемка выступает уже как один из основных видов изыскательских работ, позволяющих при резком увеличении производительности полевых работ (по сравнению с наземными видами изысканий) перенести основной объем работ по получению необходимой исходной изыскательской информации о местности в камеральные условия с широким привлечением для этих целей средств автоматизации, а также компьютерной техники.

Аэроизыскания — это комплекс специальных наземных полевых, воздушных и камеральных работ, направленных на получение исходной топографической, инженерно-геологической, гидрогеологической, гидрометеорологической, экономической и других видов информации, необходимой для разработки проектов объектов строительства.

Значительный опыт, накопленный в области применения аэрокосмических методов при изысканиях, показал их исключительную эффективность по сравнению с традиционными методами сбора информации как в части резкого снижения трудоемкости и сокращения сроков изысканий, так и в части широты охвата и полноты различных видов информации, необходимой для проектирования.

Аэрофотосъемка, применявшаяся эпизодически при традиционных изысканиях и проектировании автомобильных дорог и сооружений на них, является уже обязательным и наиболее важным элементом технологии изысканий при проектировании на уровне САПР.

Аэроизыскания объектов строительства состоят из аэросъемочных, аэрогеодезических, аэрогеологических, аэрогидрологических и других

видов специальных инженерных работ. Аэроизыскания, как и другие виды изыскательских работ, выполняют в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

В подготовительный период осуществляют сбор имеющейся в районе изысканий топографической информации и материалов аэрокосмических съемок прошлых лет, с учетом которых обосновывают полосу варьирования конкурентоспособных вариантов трассы и составляют проект производства полевых и камеральных аэрофотограмметрических работ.

В полевой период производят наземные инженерно-геодезические работы по созданию планово-высотных обоснований аэросъемок, закрепление и маркировку точек опорной сети, различные виды аэрокосмических съемочных работ, фотолaborаторные и контрольно-сдаточные работы, привязку и дешифрирование аэрофотоснимков.

В камеральный период выполняют полную обработку результатов геодезических измерений, стереофотограмметрические работы, фототриангуляцию или аналитическую компьютерную фототриангуляцию, готовят топографические планы и ЦММ.

Аэрогеодезические изыскания осуществляются в поле методами наземной геодезии при создании опорных геодезических сетей аэрофотосъемок и камеральными методами стереофотограмметрической обработки материалов аэросъемок, являющихся обязательным и важным этапом изысканий.

Камеральные фотограмметрические работы направлены главным образом на преобразование изображений земной поверхности и ее измерение для подготовки топографических планов и ЦММ в единой системе координат.

Одним из этапов стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков является не только получение цифровой информации о рельефе местности, но и *дешифрирование* — выявление отдельных объектов и ситуационных особенностей местности (лесных угодий, пашен, болот, рек, озер, дорог, населенных пунктов, отдельных строений и объектов и т. д.).

Аэрогеологические изыскания — это комплекс наземных, воздушных и камеральных работ по установлению почвенно-грунтовых, геологических и гидрогеологических условий местности, включающий в себя также поиск и разведку местных дорожно-строительных материалов. Результаты аэрогеологических изысканий оказываются особенно эффективными и надежными при совместном использовании наземных методов традиционных инженерно-геологических изысканий, с обязательным применением необходимого арсенала геофизических методов разведки (электроразведки, подповерхностной радиолокации, сейсморазведки, методов геоакустики, ядерно-физических методов, статического и динамического зондирования и т. д.).

Аэрогидрологические изыскания направлены на выявление морфометрических, гидравлических и гидрологических характеристик водотоков, типа и интенсивности русловых процессов, ледового режима, характеристик водосборов и т. д. Эта информация необходима для проектирования мостовых переходов, малых водопропускных сооружений (например, водопропускных дорожных труб и малых мостов) и системы поверхностного водоотвода.

Аэрэкономические изыскания позволяют прежде всего установить характеристики транспортных потоков на существующей сети автомобильных дорог в разное время суток, разные дни недели, месяцы и годы (интенсивность и состав движения, скорости, плотности на различных участках дорог, распределение интервалов между автомобилями и т. д.), направления транспортных связей, границы и типы земельных и лесных угодий с последующей оценкой стоимости их отчуждения и т. д.

Аэроизыскания производят с применением аэросъемочного, навигационного (в частности, инерциальных систем прямого геопозиционирования GPS/IMU и т. д.), сканирующего, стереофотограмметрического оборудования и цифровых фотограмметрических систем на базе широкого использования современных средств автоматизации и компьютерной техники.

1.2. Виды аэросъемок

В зависимости от высоты аэрофотосъемки, положения оптической оси и конструктивных особенностей применяемого аэросъемочного оборудования, используемых видов носителей информации и зон спектра электромагнитных волн, а также в зависимости от способа организации работ различают следующие виды аэрофотосъемок.

Удаленность от Земли (высота) летательного аппарата. *Космическая съемка* высотой до 200 км — выполняется из космоса с космических аппаратов методами дистанционного зондирования: сверхдлиннофокусными АФА с высокой разрешающей способностью при практически отвесном положении оптической оси, лазерной и радиолокационной аппаратурой.

Аэрофотосъемка высотой до 2 км — осуществляется с самолетов или вертолетов специально оборудованными для этой цели АФА различных конструкций и аэронавигационными приборами. Допустимое отклонение оптической оси от отвесной линии $\alpha \leq 3^\circ$.

Крупномасштабная аэрофотосъемка высотой до 500 м — осуществляется с низколетящих летательных аппаратов (мотодельтапланов, парапланов) или радиоуправляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оборудованных короткофокусными АФА. Допустимое отклонение оптической оси от отвесной линии $\alpha \leq 10^\circ$.

Чем выше высота съемки, тем меньше отклонения оптической оси АФА от отвесной линии допускаются и тем более длиннофокусные объективы камер используют.

Положение оптической оси АФА. *Плановая аэрофотосъемка* — оптическая ось АФА практически отвесна. Получила наибольшее распространение в практике изысканий транспортных объектов строительства. Используя плановые аэрофотосъемки, получают наибольший объем информации о рельефе, ситуации и других особенностях местности.

Перспективная аэрофотосъемка — осуществляется при наклонном положении оптической оси АФА. Перспективные аэросъемки используют в процессе воздушных обследований, при дешифрировании плановых аэроснимков, а также при автоматизированном проектировании автомобильных дорог для ландшафтного проектирования, решения различных экологических и других задач.

Конструктивные особенности используемых АФА. *Покадровая аэросъемка* — фотоносители информации (аэрофотопленки, ПЗС-матрицы) экспонируются с помощью затвора, открывающегося через заданный промежуток времени, с получением отдельных кадров (аэрофотоснимков) определенного размера и масштаба (рис. 1.1, а). Интервал открытия затвора АФА назначают в зависимости от высоты и скорости полета летательного аппарата при условии обеспечения не менее 60 % взаимного продольного перекрытия и от 20 до 60 % поперечного перекрытия аэрофотоснимков.

Перекрытие аэрофотоснимков — это части смежных снимков, на которых изображены одни и те же участки местности, снятые с разных точек положения центра проекций (объектива) АФА (рис. 1.2).

Щелевая аэрофотосъемка — непрерывная фотосъемка через постоянно открытую щель, расположенную в фокальной плоскости

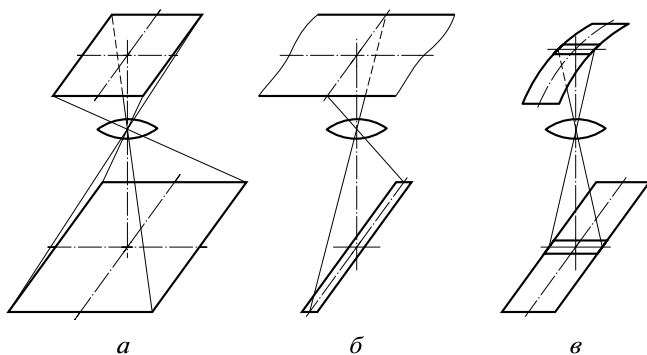


Рис. 1.1. Схемы построения изображений различными аэрофотокамерами: а — кадровой; б — щелевой; в — панорамной

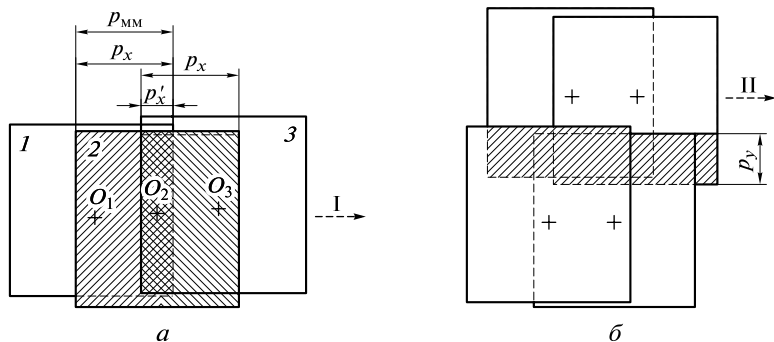


Рис. 1.2. Продольное (а) и поперечное (б) взаимное перекрытие аэрофотоснимков. Зоны перекрытия:

p_x — двойного; p'_x — тройного; p_y — поперечного; I, II — маршруты

объектива специального АФА и перпендикулярную направлению полета (рис. 1.1, б). Регулирование экспонирования осуществляется изменением ширины щели и диафрагмированием. Таким образом, щелевой аэрофотоснимок представляет собой сплошную ленту (ковер) вдоль маршрута, в которой образуется ортогональная проекция вдоль маршрута и центральная — поперек.

При съемке на фотопленку скорость ее перемещения устанавливают в зависимости от скорости и высоты полета.

Панорамная аэросъемка — экспонирование осуществляется движением элементов оптической системы специального АФА поперек направления полета (рис. 1.1, в). При этом получают прямоугольные аэрофотоснимки с большим поперечным углом поля зрения и высокими изобразительными свойствами по всему полю снимка.

Используемые носители информации. *Аэрофотосъемку* производят на черно-белую (панхроматическую), цветную трехслойную и цветную двухслойную (спектрзональную) фотопленки (аналоговое фотоизображение), либо цифровое фотоизображение формируется с помощью фотодиодов, или приемников с зарядовой связью (ПЗС), в форме ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки с примерно одинаковыми техническими возможностями.

Аналоговая аэрофотосъемка — осуществляется с использованием аналоговых АФА на какие-либо физические носители информации (фотобумагу, фотопластины, фотопленки и т. д.).

Цифровая аэросъемка — осуществляется с использованием специальных цифровых и сканирующих камер с записью информации в цифровом виде на магнитные носители. Это качественно новый шаг в развитии стереофотограмметрии.

Разрешающая способность цифровых аэрофотоснимков не уступает качеству аэрофотоснимков на традиционных носителях инфор-

мации — фотопленках. Получаемую информацию о местности вводят непосредственно в память компьютера и производят аналитическую фотограмметрическую обработку аэрофотоснимков без использования парка дефицитных дорогих и громоздких оптико-механических стереофотограмметрических приборов. Все это делает цифровую аэросъемку одной из наиболее перспективных.

Использование разных зон спектра электромагнитных волн.

Черно-белая (бинарная) аэросъемка — осуществляется на черно-белую фотопленку или на цифровые носители информации. Она позволяет получать достаточно надежную информацию о рельефе и контурах местности. Является самой простой, доступной и дешевой, поэтому получила наибольшее распространение в практике изысканий объектов транспортного строительства.

Цветная аэросъемка — производится на трехслойную цветную фотопленку или цифровые носители информации с использованием той или иной палитры (*RGB*, *СМУК* и др.). Палитра *RGB* предполагает использование трех основных цветов: красного (**Red**), зеленого (**Green**) и синего (**Blue**), соответствующее сочетание которых передает окраску объектов в естественных цветах. Палитра *СМУК* обеспечивает более качественную передачу оттенков при смешении четырех цветов: голубого (**Cyan**), сиреневого (**Magenta**), желтого (**Yellow**) и черного (**Black**).

Наиболее часто цветные аэрофотосъемки применяют в районах крупных населенных пунктов, на территориях с развитой сетью дорог, обилием малоконтрастных и мелких объектов, в пустынных и горных районах со сложным геологическим строением.

Спектральная аэрофотосъемка на цветной двухслойной фотопленке (в одном слое получают одноцветное изображение для видимой части спектра, в другом — для невидимой инфракрасной части спектра) или на цифровых носителях информации — передает окраску объектов в условных цветах.

Поскольку такая съемка фиксирует малейшие изменения оттенков объектов, ее применение эффективно в районах с различным растительным покровом при определении состава, влажности и типов грунтов (используется их связь с естественным растительным покровом).

Спектральную аэросъемку применяют для оценки почвенно-грунтовых, гидрогеологических условий района изысканий, нанесения на топографическую основу границ и типов земельных и лесных угодий с последующей оценкой стоимостей отчуждения земель под инженерные сооружения, а также для разведки местных строительных материалов.

Многозональная аэрофотосъемка — производится с использованием нескольких соединенных и работающих синхронно АФА на фотопленки с различными их комбинациями или на цифровые носители информации, когда фотографирование осуществляется с ис-

пользованием специальных цифровых аэрокамер, одновременно в одном панхроматическом или четырех спектральных (красный, зеленый, голубой и ближний инфракрасный) каналах.

Применяют в районах со сложными инженерно-геологическими условиями, на оползневых, закарстованных участках местности, на конусах выноса и т. д.

Инфракрасная (тепловая) аэрофотосъемка — производится с использованием специальных черно-белых или цветных приборо-сканеров — *тепловизоров*. Используется инфракрасная область спектра электромагнитных волн.

Инфракрасную аэросъемку применяют в районах с переувлажненными грунтами, в районах распространения вечномёрзлых и многолетнемерзлых грунтов, на заболоченных, оползневых участках местности, на участках выхода грунтовых вод и т. д.

Радиолокационная аэросъемка — получают изображения по отраженным местностью электромагнитным волнам, записываемым на магнитные носители информации. Радиолокационную съемку можно выполнять как днем, так и ночью. Она практически не зависит от метеорологических условий и может производиться сквозь сплошной облачный покров.

Воздушное лазерное сканирование — построчное сканирование местности пучком лазерного излучения, осуществляемое перпендикулярно маршруту со скоростью несколько тысяч точек в секунду (рис. 1.3).

Способы организации работ. *Маршрутная аэросъемка* (рис. 1.4, а) — снимают узкую полосу вдоль некоторого направления (например, вдоль трассы линейного сооружения — автомобильной дороги, канала, линии электропередачи и т. д.) и получают один маршрут, состоящий из аэрофотоснимков, имеющих только продольное взаимное перекрытие.

Маршрутную аэросъемку применяют при традиционной технологии изысканий и проектирования автомобильных дорог вдоль априори выбранного, как правило единственного, варианта трассы.

Площадная (многомаршрутная) (рис. 1.4, б) *аэрофотосъемка* — в настоящее время является основным видом съемки при изыскани-

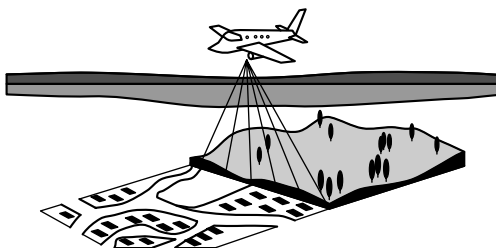


Рис. 1.3. Воздушное лазерное сканирование местности

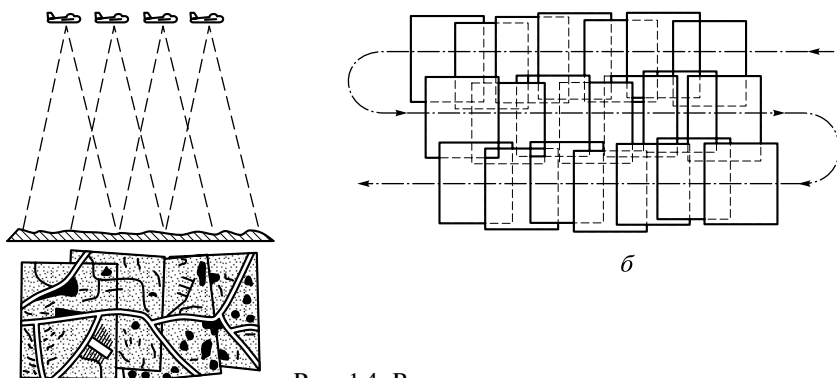


Рис. 1.4. Виды аэросъемок:
 а — маршрутная; б — площадная (многомаршрутная)

ях как сосредоточенных, так и линейных объектов, поскольку в рамках САПР их изыскания производят на широкой полосе варьирования конкурентоспособных вариантов трассы.

При площадной аэрофотосъемке получают материалы фотографирования, представленные параллельными маршрутами, имеющими не только продольное, но и поперечное взаимное перекрытие аэрофотоснимков.

Комбинированная аэросъемка — сочетание аэросъемки и одного из видов наземных топографических съемок; ее применяют в районах со слабовыраженным рельефом. При этом ситуационные особенности местности получают путем фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, а рельеф — посредством обработки материалов наземной топографической съемки.

1.3. Современное аэросъемочное оборудование

Аэросъемку производят с использованием специального аэросъемочного и навигационного оборудования, устанавливаемого на самолетах, вертолетах, искусственных спутниках Земли — космических аппаратах, а также для производства крупномасштабных съемок — на мотодельтапланах и БПЛА (рис. 1.5).

Современные аэросъемочные системы — сложные устройства, состоящие из АФА, гиросtabilизирующей аэроустановки для автоматического приведения оптической оси АФА (рис. 1.6) в положение, близкое к отвесному, и управляющего (командного) прибора.

Традиционный пленочный (аналоговый) аэрофотоаппарат (рис. 1.7) объединяет три основные части: объективную 1, камерную 2 и кассетную 3.

Рис. 1.5. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) «Эльф ПП-40» для производства крупномасштабной аэро съемки



В зависимости от высоты аэрофотосъемки используют АФА с объективами, имеющими различные фокусные расстояния f_k . В связи с этим различают АФА:

- короткофокусные с $f_k = 35, 40, 50, 70$ мм;
- среднефокусные с $f_k = 100, 110, 140$ мм;
- длиннофокусные с $f_k = 200, 300, 350, 500$ мм;
- сверхдлиннофокусные с $f_k > 500$ мм.

При крупномасштабных съемках обычно используют короткофокусные АФА, при аэро съемках — среднефокусные и длиннофокусные, при космических съемках — сверхдлиннофокусные.

Экспонирующее устройство АФА обеспечивает автоматическую установку выдержки и диафрагмы в зависимости от чувствительности фотопленки и освещенности местности.

Объектив АФА формирует резкое и геометрически правильное изображение снимаемой местности в фокальной плоскости, в которой размещается прикладная рамка с координатными метками. Размеры прикладной рамки в современных АФА, определяющие формат кадра, обычно бывают $18 \times 18, 23 \times 23, 30 \times 30$ см.

Наиболее часто используют АФА с форматом кадра 18×18 см. Кассеты, являющиеся съемной частью АФА, вмещают 60 м фотопленки и позволяют получать по 300 аэроснимков. Двигательный механизм обеспечивает автоматическое перемещение фотопленки в ходе съемки в заданном режиме.

Аэрофотоустановка предназначена для крепления АФА к корпусу летательного аппарата, ориентирования положения оптической оси АФА и его амортизации.

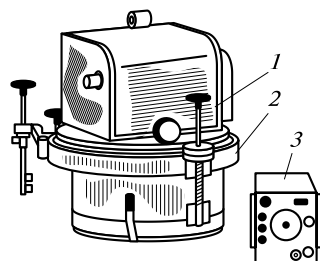


Рис. 1.6. Общий вид традиционного аэрофотоаппарата (АФА):

- 1 — аэрофотоаппарат; 2 — аэрофотоустановка;
3 — управляющий (командный) прибор

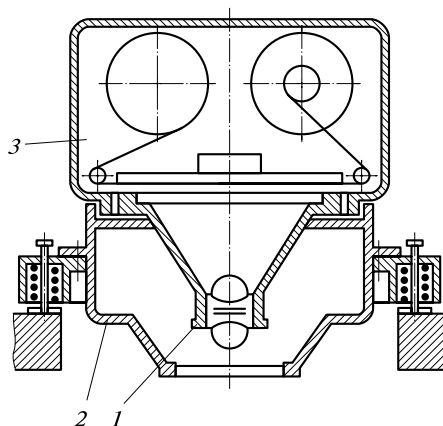


Рис. 1.7. Основные части традиционного пленочного (аналогового) аэрофотоаппарата (АФА):

1 — объективная; 2 — камерная; 3 — кассетная

Обычно применяют гиросtabilизирующие установки, автоматически обеспечивающие приведение оптической оси АФА в отвесное положение с ошибкой, не превышающей $\pm 10'$.

В состав навигационного оборудования до недавнего времени входили в основном два типа приборов: радиовысотомеры (или лазерные высотомеры) и статоскопы, которые позволяют определять высоту полета летательного аппарата в момент производства аэрофотосъемки. При стереофотограмметрической обработке аэрофотоснимков высота полета является одной из основных характеристик, используемых для вычисления координат точек местности и определения масштабов аэрофотоснимков.

Радиовысотомеры работают по принципу определения расстояний по скорости распространения радиоволн прямого и отраженного сигналов. Передающая часть радиовысотомера периодически, через очень короткие промежутки времени, излучает импульсы электромагнитных волн, которые, отражаясь от поверхности Земли, улавливаются приемной частью высотомера. Показания радиовысотомера фиксируются на фотопленке. Средняя ошибка определения высоты полета радиовысотомером составляет около $\pm(1,5 \dots 2,0)$ м. Лазерные высотомеры обеспечивают большую точность определения высот в пределах $\pm(0,5 \dots 1,0)$ м.

Статоскопы барометрического принципа действия предназначены для определения колебаний высоты полета летательного аппарата (воздушные ямы, воздушные потоки). Точность определения колебаний высоты с помощью статоскопов составляет $\pm(1,0 \dots 1,5)$ м.

Системы спутниковой навигации — приемники GPS, ГЛОНАСС, которые в настоящее время широко используются для целей навига-

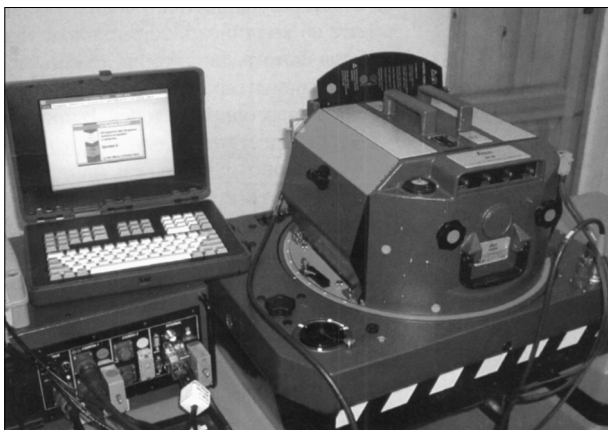


Рис. 1.8. Современная пленочная (аналоговая) аэрокамера RC-30

ции аэросъемок, заменили весь парк традиционного навигационного оборудования аэрофотосъемок и расширили его возможности. Так, приборы спутниковой навигации позволяют с высокой точностью определять в режиме реального времени (практически мгновенно) трехмерные координаты центра проекции (оптического центра объектива АФА), траекторию, скорость полета и угловые элементы ориентирования.

На рис. 1.8 представлена современная аналоговая (пленочная) аэрофотокамера RC-30 (фокусное расстояние $f_k = 150$ мм).



Рис. 1.9. Современная цифровая аэрокамера Hasselblad

Аэросъемочный комплекс включает в себя также систему стабилизации камеры, систему компенсации сдвига изображения, систему навигации и определения координат центра проекций (центра объекта).

На рис. 1.9 представлена современная цифровая (электронная) аэрофотокамера Hasselblad (фокусное расстояние $f_k = 40$ мм).

Этот аэросъемочный комплект включает в себя также систему стабилизации камеры, систему навигации и определения координат центра проекций. Сенсор обеспечивает получение изображения размером 16 мегапикселей с разрешающей способностью 9 мкм.

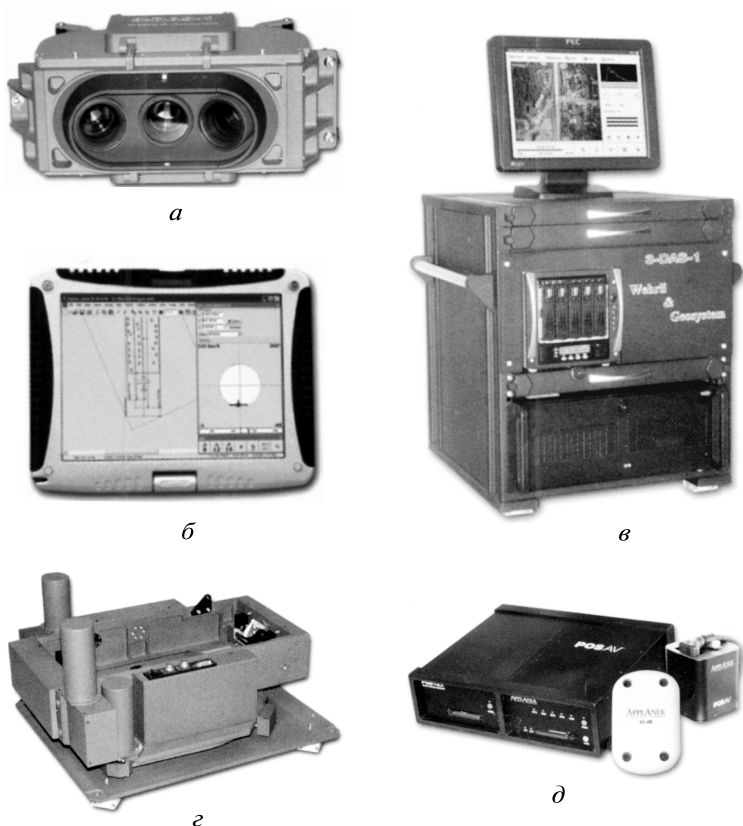


Рис. 1.10. Сканирующая система воздушного базирования для производства аэрофотосъемки:

а — сканирующий модуль «3-DAS-1»; *б* — система управления полетом; *в* — управляющий компьютер; *г* — стабилизирующая платформа; *д* — инерциальная система прямого геопозиционирования GPS/IMU (Applanix POS AV)

Сканирующая система воздушного базирования для производства аэрофотосъемки включает в себя:

- сканирующий модуль (фокусное расстояние $f_k = 110$ мм) для производства собственно аэрофотосъемки (рис. 1.10, а);
- систему управления полетом (рис. 1.10, б), представляющую собой планшетный компьютер, устанавливаемый в кабине пилота для контроля положения летательного аппарата, курса и отклонения от маршрута;
- управляющий компьютер (рис. 1.10, в);
- стабилизирующую платформу (рис. 1.10, г), компенсирующую углы наклона и разворота самолета и постоянно удерживающую камеру в горизонтальном положении с отклонением менее $0,2^\circ$ (рис. 1.10, д);
- инерциальную систему прямого геопозиционирования GPS/IMU, обеспечивающую в процессе полета определение в режиме реального времени шести элементов внешнего ориентирования (линейных и угловых) (рис. 1.10, е).

Космическую съемку осуществляют с искусственных спутников Земли — космических аппаратов.

Аэрофотосъемку производят:

- с самолетов АН-2, АН-24, АН-28, АН-30, ЯК-18Т, ЯК-40, ТУ-134 и т.д.;
- с вертолетов МИ-4, МИ-8, КА-8 и т.д.

Крупномасштабную аэрофотосъемку производят с мотодельтапланов, парашютов или радиоуправляемых БПЛА (см. рис. 1.5).

1.4. Основные положения по аэрофотосъемке

Аэрофотосъемку производят для создания и обновления топографических карт М 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000 и их электронных аналогов — цифровых карт, а также топографических планов М 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500 и их электронных аналогов — ЦММ.

Объектами аэрофотосъемки являются участки земной поверхности с границами, заданными заказчиком. При аэрофотосъемке для создания топографических карт границы площадей аэрофотосъемки задаются номенклатурой вновь создаваемых или обновляемых карт. При аэрофотосъемках для разработки проектов линейных объектов (дорог, мостовых переходов, каналов, ЛЭП и т.д.) аэрофотосъемку производят по заранее намеченным на топографических картах или фотосхемах маршрутам.

При производстве площадных аэрофотосъемок (например, полосы варьирования трассы автомобильной дороги) их осуществляют по

многомаршрутным схемам с обеспечением не только необходимого продольного, но и поперечного перекрытий между маршрутами.

Масштабы аэрофотосъемок, сезонный период, фокусное расстояние АФА, тип используемого носителя информации и другие условия задает заказчик.

Фотограмметрическое качество аэрофотоснимков определяет пригодность их для измерительных целей при создании топографических планов и ЦММ.

Под *фотограмметрическим качеством* понимают: величину линейного сдвига изображения за поступательную скорость АФА в момент экспозиции; выдерживание заданной высоты полета летательного аппарата над средней плоскостью снимаемого участка; выдерживание заданных величин продольного и поперечного перекрытия аэрофотоснимков, величин взаимных углов наклона аэрофотоснимков; непараллельность базиса фотографирования стороне аэрофотоснимка; прямолинейность маршрутов.

Высота полета над средней плоскостью съёмочного участка не должна отличаться от заданной при аэросъемке равнинных районов более чем на 3 %. При высоте полета до 1 000 м она не должна отличаться от заданной более чем на 30 м в равнинных районах и 50 м — в горных районах.

Среднюю плоскость на съёмочном участке рассчитывают по следующей формуле:

$$H_{\text{cp}} = \frac{H_{\text{min}} + H_{\text{max}}}{2},$$

где H_{min} , H_{max} — соответственно минимальная и максимальная высота рельефа.

При расчетах H_{cp} высота одиночной вершины на съёмочном участке может не учитываться.

Продольное перекрытие аэрофотоснимков является одним из показателей, определяющих точность стереофотограмметрических измерений по аэрофотоснимкам.

Рекомендуемую величину продольного перекрытия (от 60 до 90 %) задает заказчик.

Поперечное перекрытие принимают от 20 до 60 %.

Углы наклона аэрофотоснимков при фотографировании не должны превышать, как правило, 1,5... 2,5°. Максимальные углы наклона аэрофотоснимков не должны превышать 3°. На съёмочном участке максимальное значение взаимных и продольных углов наклона могут иметь не более 3 % стереопар, а взаимных поперечных углов наклона — не более 5 % стереопар.

Непараллельность базиса фотографирования стороне аэрофотоснимка зависит от фокусного расстояния АФА и не должна превышать следующих значений:

<i>Фокусное расстояние АФА, мм</i>	<i>Максимальные углы непараллельности, °</i>
100 и менее.....	5
140.....	7
200.....	10
350.....	12
500.....	14

Фотографическое качество изображения определяет информативность аэроснимка, методы и качество, полноту и детальность дешифрирования, зависит от типа носителя информации и АФА, правильности экспонирования, времени фотографирования и состояния атмосферы, высоты Солнца, масштаба фотографирования и высоты полета, качества фотолабораторной обработки.

Для получения аэрофотоснимков надлежащего качества аэросъемку проводят при отсутствии облачности, атмосферной дымки и производственных дымов при высоте Солнца над горизонтом не менее 20° при фотографировании на черно-белый носитель и не менее 25° — на спектрозональный и цветной.

Технический проект на аэросъемочные работы является основным документом, определяющим экономические показатели для планирования и необходимые технические средства выполнения аэросъемочных работ, затраты летного времени, производительность, потребность в основных материалах, группы районов и тарифы на аэрофотосъемку.

Технический проект разрабатывают в соответствии с договором на каждый объект аэросъемки.

На одном объекте аэросъемку выполняют при единых условиях: масштаб залета, тип, фокусное расстояние АФА, применяемые специальные приборы, тип носителя информации и т. д. Населенные пункты городского и поселкового типов, а также крупные населенные пункты сельского типа являются самостоятельными объектами.

В задании на разработку технического проекта включают требования, предъявляемые заказчиком в договоре: объем работ в квадратных километрах, масштаб аэросъемки, тип АФА, технические условия получения материалов аэрофотосъемки, дополнительные условия, перечень материалов, подлежащих сдаче заказчику. Исходными данными для разработки проекта служат географическое размещение объекта, картограмма (схема размещения съемочных участков), тип воздушного носителя (самолета, вертолета и т. д.), высота фотографирования над средней плоскостью съемочного участка, количество съемочных дней по месяцам, место базирования аэросъемочной партии и воздушного носителя, возможные сроки выполнения аэрофотосъемки.

Высота полета над средней плоскостью $H_{\text{ф}}$, м, определяется по формуле

$$H_{\phi} = f_{\kappa} m_{\kappa}$$

где f_{κ} — фокусное расстояние АФА, мм; m_{κ} — линейный масштаб аэрофотосъемки.

Количество съемочных дней определяют по специальным таблицам.

При составлении технического проекта на выполнение аэросъемки определяют следующие показатели: общая площадь аэросъемки, количество съемочных маршрутов, потребное летное время, общее количество аэрофотоснимков, потребное количество фотоматериалов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое фотограмметрия? Охарактеризуйте ее виды (космическая, аэрофотограмметрия, наземная фотограмметрия) и назначение.
2. Каковы особенности цифровой фотограмметрии?
3. Назовите виды аэрофотосъемок и области их применения.
4. На какой высоте летательные аппараты выполняют различные виды аэрофотосъемок (космическую съемку, аэрофотосъемку и крупномасштабную аэрофотосъемку)?
5. Назовите максимально допустимые углы отклонения оптической оси АФА от отвесной линии для различных видах аэрофотосъемок.
6. Какие основные виды носителей информации, используемых при производстве аэрофотосъемок, вы знаете?