

Н. М. Бабашкин (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)

В 1972 г. окончил Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии по специальности «Аэрофотогеодезия». В настоящее время — заместитель начальника отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД».

С. А. Кадничанский (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)

В 1973 г. окончил Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии по специальности «Аэрофотогеодезия». В настоящее время — начальник отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». Кандидат технических наук.

С. С. Нехин (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)

В 1974 г. окончил Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии по специальности «Аэрофотогеодезия». В настоящее время — начальник Управления фотограмметрических исследований ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». Доктор технических наук.

Топографическая аэросъемка в России

Аэросъемка как метод дистанционного изучения местности получила практическое применение в России при проведении воздушной разведки во время первой мировой войны, а через десятилетие начала уже массово распространяться на многие отрасли хозяйственной деятельности: картографирование, инженерные изыскания, сельское хозяйство, лесоустройство и др. [1]. Развитие технологий аэросъемки проходило одновременно с развитием фотограмметрии и фототопографии, оказывая большое влияние на содержание топографо-геодезических и картографических работ в целом. Разработанные технологии стереотопографической съемки позволили в кратчайшие сроки выполнить на огромной территории СССР сплошное картографирование вплоть до карт масштаба 1:25 000 и проводить их периодическое обновление.

Растущие объемы аэрофотосъемки требовали совершенствования аэрофотоаппаратуры и ее носителей. Для аэрофотоаппаратов (АФА) был разработан ряд ортоскопических объективов с различными углами

поля зрения (от 30 до 120°), создано бортовое оборудование для автоматизированного управления процессом аэросъемки и регистрации ее параметров (аэрофотоустановки АФУС и гироустановки ГУТ, электронно-командные приборы ЭКП, статоскоп С-51, автоматы регулирования экспозиции АРЭ, радиогеодезические системы РДС, РГСЦ для определения координат центров проекции снимков и др.). На смену приспособленным под аэрофотосъемку самолетам (По-2, Ан-2, Ил-14) были созданы специализированные аэросъемочные самолеты Ан-30ФК (рис. 1) и Ту-134СХ.



Рис. 1. Аэросъемочный самолет Ан-30ФК

В результате к 1970-м гг. прошлого столетия ежегодные объемы заказов Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) СССР на аэрофотосъемку составляли около 2 млн кв. км приведенной площади (эквивалент АФС в масштабе 1:25 000), из них на долю Российской Федерации приходилось 1,5 млн кв. км. Эти объемы позволяли сбалансировать старение и обновление топографических карт всего масштабного ряда. В 1980-90-х гг. используемая в стране топографическая аэросъемочная аппаратура получила ряд дальнейших революционных изменений: увеличение формата кадра съемочных камер до 23x23 см, снижение уровня дисторсии их объектива до нескольких микрометров (практически достигнув теоретического предела), использование компенсации продольного сдвига изображения (КСИ), спутниковых методов определения координат центров проекции снимков.

Процессы перестройки в СССР отрицательно отразились как на государственном картографировании в целом, так и на аэрофотосъемке в частности. По данным Федеральной службы геодезии и картографии России (Роскартографии) в конце 1980-х гг. объемы аэрофотосъемки ежегодно сокращались примерно на 15–20% и в 1990-е гг. составляли менее 500 тыс. кв. км. В значительной мере этому способствовало увеличение доли использования космических снимков, пригодных, в основном, для обновления топографических карт средних и мелких масштабов (1:25 000–1:200 000) и для получения актуальной картографической основы навигационных карт.

Новое качество аэрофотосъемки получила с переходом в 2000-е гг. от пленочных аэрофотокамер к цифровым. Профессиональный аэрофотосъемочный потенциал России на сегодняшний день состоит примерно из десятка специализированных самолетов (Ан-30, Л-410, King Air), двух десятков

цифровых камер (DMC, ADS, UltraCam, A-3), трех десятков воздушных лидаров (Leica, Ortech, Riegl) и некоторого количества тепловизионных и радиолокационных съемочных систем.

На современном рынке представлено около десятка фирм-производителей цифровых топографических аэрокамер. Несмотря на достаточно широкий их ассортимент, большинство камер по углу поля зрения светочувствительного сенсора относятся по существующей классификации к разряду узкоугольных. Увеличение угла поля зрения (а, следовательно, производительности) таких камер достигается путем составления результирующего снимка (квазиснимка) из нескольких фрагментов (от 2 до 25). В группе компаний Hexagon разработаны наиболее производительные на сегодняшний день крупноформатные кадровые топографические АФА. Компания Z/I Imaging (Ален, Германия) выпускает камеру DMC IIe 250 с углом поля зрения 45,5°, кадр которой формируется единой матрицей в 250 Мп (во второй половине 2015 года на рынке предложена камера DMC III с матрицей 400 Мп). Компанией Leica Geosystems (Хербруг, Швейцария) выпускается аэросъемочная система сканерного типа с углом поля зрения 77,3°, включающая 13 линеек по 20 тыс. пикселей. В целом развитие цифровых камер в сторону увеличения числа светочувствительных элементов и уменьшения физического размера пикселя идет чрезвычайно быстрыми темпами, и в самое ближайшее время, вероятно, следует ожидать перехода сегодняшних крупноформатных камер в разряд среднеформатных.

Возможности цифровой аэрофотосъемки и современного навигационного бортового оборудования позволяют получать широкий ассортимент продукции: панхроматические (черно-белые), цветные (в натуральных цветах) и спектрзональные (в условных цветах) варианты аэроснимков, обеспеченные

угловыми и линейными элементами внешнего ориентирования. Кроме плановых аэроснимков в настоящее время все шире используются перспективные снимки [2, 7] как для создания фотореалистичных трехмерных моделей, так и для иных целей. Одновременно с фотоизображениями в процессе аэросъемки с помощью воздушного лазерного сканирования определяются координаты точек лазерных отражений (ТЛО) для получения данных о рельефе и построения модели местности в целях решения инженерных, экологических и других задач, а также материалы тепловизионной и радиолокационной съемки, обеспечивающие выявление свойств и характеристик объектов, которые невозможно выявить по изображениям видимого диапазона. В перспективе интеграция съемочных систем различного типа и навигационной информации открывает возможности оперативного получения геопривязанной пространственной информации и картографирования в масштабе реального времени или близком к нему.

В отличие от стремительного развития аэросъемочного оборудования состояние самолетного парка для производства аэросъемки не вызывает оптимизма. Из поставленных в 1970-е гг. в аэросъемочные отряды РСФСР (Мячково, Ржевка, Толмачево) порядка сорока самолетов Ан-30ФК к 2015 году в рабочем состоянии осталось только пять. После ликвидации аэросъемочных отрядов самолеты эксплуатируются частными авиакомпаниями, срок эксплуатации оставшихся Ан-30ФК заканчивается в 2016–2017 гг. В связи с этим остро ощущается проблема выбора полноценного «пре-емника» самолета-носителя. Дело в том, что прогресс, достигнутый в повышении метрической точности и информативности аэроснимков, и, как следствие, производительности аэросъемки, обуславливает эффективное использование современной

аэросъемочной аппаратуры, в том числе за счет увеличения практического потолка самолетов-носителей с 7 до 9–12 тыс. м и продолжительности их полета до 8–9 часов с крейсерской скоростью в диапазоне 350–600 км/ч. Исходя из задач крупномасштабного картографирования, поддержания в актуальном состоянии топографических карт базовых масштабов и планов городов, а также решения задач государственного кадастра недвижимости, на ближайшие 20–30 лет в России необходимо иметь не менее 10–15 аэросъемочных самолетов с такой производительностью. Еще столько же самолетов может потребоваться для решения задач смежных отраслей (Минприрода, МЧС, лесное и сельское хозяйство и др.), использующих материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Из отечественных разработок наиболее полно этим параметрам соответствует самолет ОКБ Сухого С-80 (рис. 2). По своей конструкции это верхнеплан, все силовые агрегаты и элементы управления полетом расположены в верхней части фюзеляжа. Для целей аэросъемки он должен быть оснащен тремя съемочными фотолюками с защитой, переходниками для крепления ГНСС-антенн, а его силовая установка должна обеспечивать электрическую энергоемкость аэросъемочного оборудования не менее 3–4 кВт. Стоимость одного такого серийного самолета может составлять 250–300 млн руб., поэтому необходима государственная программа восстановления самолетного аэросъемочного парка.

Современное состояние классической топографической аэрофотосъемки нельзя рассматривать в отрыве от следующих тенденций.

С одной стороны, улучшается разрешение космических изображений (с запуском WorldWiew-3 оно достигло 30 см), что существенно расширяет область их



Рис. 2. Многоцелевой самолет С-80

использования наряду с аэрофотоснимками или вместо них.

С другой стороны, повышается роль беспилотных аэросъемочных систем, диктующих необходимость принимать во внимание определенную «нишу» их эффективного использования при топографическом картографировании и решении других задач.

Разрешение порядка 1 м и точность определения высот до нескольких метров, достижимые для отечественных космических съемочных систем типа «Ресурс-П», не позволяют полноценно использовать их материалы для крупномасштабного картографирования (масштабы 1:10 000 и крупнее). Материалы зарубежных космических съемочных систем пригодны при создании карт и планов масштаба 1:5000 и мельче. Сложившаяся сегодня ситуация не позволяет не учитывать экономические показатели использования материалов аэро- и космической съемки, а эти показатели таковы. Стоимость зарубежной архивной цветной космической

съемки с элементом разрешения на местности 50 см (необходимого для обновления ЦТК масштаба 1:10 000) составляет порядка 900 руб. за кв. км. Заказ аналогичной актуальной космической съемки для одиночных и стереоизображений составляет порядка 1400 и 2800 руб. за кв. км соответственно. Срок исполнения космической съемки может составлять от нескольких недель до 1–2 сезонов в зависимости от погодных условий, объема заказа и его приоритетности. Стоимость цветной стереоскопической аэрофотосъемки с тем же элементом разрешения и с регистрацией элементов внешнего ориентирования каждого аэроснимка составляет порядка 600–800 руб. за кв. км в зависимости от удаленности объекта съемки от аэродрома базирования. Срок исполнения заказа на аэросъемку несравнимо короче и зависит, помимо погодных условий, от оперативности развертывания аэросъемочных работ. Это особенно актуально для северных территорий Российской Федерации. Нельзя не учитывать и то обстоятельство,

что средства на оплату зарубежной космической съемки в конечном счете «уходят» из России, а на оплату аэрофотосъемки – остаются в ней. Таким образом, очевидно, что аэросъемка для крупномасштабного картографирования имеет преимущества перед космической съемкой.

В последнее десятилетие в возрастающих объемах выполняется аэросъемка с беспилотных воздушных судов (БВС), рис. 3 [7, 8, 9]. Начав с установки бытовых неметрических камер Nikon, Soni, Kodak, сегодня разработчики БВС планируют использование топографических камер среднего формата (60–80 Мп), вес которых составляет 3–5 кг.

Выполняется разработка проектов оснащения БВС, наряду с оптическими съемочными системами, лидарами, тепловизорами, а также гироплатформами и другими системами.

Разрабатывается и совершенствуется специальное программное обеспечение для БВС не только для планирования



Рис. 3. Образец беспилотного летательного аппарата АФМ-СЕРБЕРС

и обеспечения аэросъемки, но и фотограмметрической обработки снимков.

Активно разрабатываются новые типы БВС [9] (табл. 1):

- на электрической тяге;
- на гибридной тяге — электрический двигатель и двигатель внутреннего сгорания;
- на гибридном принципе полета — конвертоплан.

Модель БАС	Птеро-60	Дозор-50	ZALA 421-16	GeoScan 101	GeoScan 201	ЭРА-100 конвертоплан
Производитель	АФМ-Серверс	ЗАО Транзас	ZALA AERO	GeoScan	GeoScan	AEROXO
Масса, кг	20	50	16	2,3	5,5	20
Полезная нагрузка, кг	5	8	Нет данных	0,5	1,5	6
Диапазон высот, м	80–3000	500–4000	50–3600	100–3000	100–4500	до 4000
Рабочая высота, м	—	—	—	120–200	120–800	—
Крейсерская скорость, км/ч.	80–125	110–130	130–200	60	80	130–180
Тип двигателя	Бензиновый	Бензиновый	Бензиновый	Электро	Электро	Электро/бензиновый
Время полета, ч.	8 (2кг)	6	4–8	1	2,5	6
Способ взлета/посадки	Катапульты/парашют	Катапульты/пробег 100м	Катапульты/парашют	Катапульты/парашют	Катапульты/парашют	По вертолетному
Ограничения по погоде	-30...+40° С 4 м/с	Нет данных	Нет данных	-20...+40° С 10 м/с	-20...+40° С 12 м/с	Нет данных
Дальность связи, км	75	Нет данных	50	25	75	450
Фотокамера	PhaseOne	Canon 21 Мп	Canon 21 Мп	Sony RX1	Sony NEX-5	PhaseOne
Стоимость, тыс. руб.	3700	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	2500-3500

Табл. 1. Характеристики беспилотных аэросъемочных систем

Приведенные расчеты [3] показывают, что стоимость аэросъемки с БВС любого типа участка площадью до 200 кв. км существенно дешевле стоимости аналогичной аэросъемки с любого управляемого самолета. А на объектах площадью более 1,5–2 тыс. кв. км более эффективна аэрофотосъемка с БВС с использованием малогабаритной среднеформатной топографической аэрофотокамеры по сравнению с традиционной аэрофотосъемкой, так как применение такого класса аэрофотоаппаратуры на борту БВС является основным фактором, определяющим эффективность. Использование дорогостоящих автоматических съемочных систем на БВС предъясвляет к самим БВС все более высокие требования:

- повышение надежности и безопасности программного обеспечения навигационного комплекса и пилотажной системы;
- унификация систем управления для сменяемых съемочных систем;
- ремонтпригодность в полевых условиях;
- повышение тактико-технических характеристик (продолжительность, высота и дальность действия).

Следует констатировать, что в настоящее время БВС не обладают равными правовыми возможностями в использовании воздушного пространства, а после принятия Федерального закона от 30.12.2015 г. № 462-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов» их применение становится еще более проблематичным. Особенно это касается применения одномоторных БВС над застроенными территориями. Поэтому с позиции доступности воздушного пространства, а также с позиции экономичности, при площади объекта более 100 кв. км такую аэросъемку целесообразно выполнять легкими двухмоторными пилотируемыми самолетами,

оснащенными полноформатной топографической цифровой камерой, либо двухмоторными БВС со среднеформатной топографической камерой.

Предпринимавшиеся попытки начать разработку пилотируемого аэросъемочного самолета на базе серийно выпускавшихся воздушных судов не получили продолжения, скорее всего, по причинам экономического характера. Вернуться к решению этой задачи возможно только при условии многократного увеличения объемов аэросъемочных работ, поэтому на ближайшую перспективу складывается благоприятная ситуация для развития методов ДЗЗ с применением БВС.

Приемка полученных с БВС аэросъемочных материалов, используемых для создания топографической продукции, в любом случае должна выполняться в полном соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

В заключение необходимо остановиться еще на одном важном аспекте, напрямую связанном с современной аэрофотосъемкой. Замена аналоговых аэроснимков цифровыми, высокоточное определение элементов внешнего ориентирования снимков на основе спутниковых и инерциальных бортовых систем требуют кардинальной переработки нормативно-технических документов, касающихся аэрофототопографических методов создания и обновления топографических карт и планов, получения другой пространственной информации [4, 5, 6]. Для этого потребуются исследования и практическая проверка новых технологий и аппаратно-программных средств, уточнение требований к параметрам аэрофотосъемки, точности определения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования с помощью бортовых систем, процессам полевой подготовки и фотограмметрического сгущения снимков и др.

ВЫВОДЫ

1. В области топографической аэросъемки наблюдается интенсивное развитие цифровых аэросъемочных систем. Вместе с тем в России имеется проблема с заменой базового самолета-аэросъемщика новым производительным носителем.

2. Усиливается конкуренция аэросъемки со стороны космической съемки, материалы которой становятся возможным использовать и для решения задач крупномасштабного картографирования.

3. Расширяется применение для аэросъемки БВС, использование которых в целом ряде случаев является более оперативным и экономичным по сравнению с традиционными носителями.

4. Совершенствование средств и расширение методов ДЗЗ позволяет оптимизировать способы получения исходной информации. Выбор способа (беспилотная и пилотируемая аэросъемка или космическая съемка) должен определяться экономической целесообразностью при строгом соблюдении требований к съемочным материалам, используемым для создания топографической продукции.

5. Перспектива развития аэрофотосъемки представляется в интеграции съемочных систем различного типа и навигационных данных с целью оперативного получения геопривязанной пространственной информации и картографирования в формате реального времени или близком к нему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афремов В. Г., Ильин В. Б., Нехин С. С., Бабашкин Н. М. Развитие аэрофотосъемки в целях топографического картографирования. *Геодезия и картография* № 10, 1998. — с. 42–45.

2. Нехин С. С., Олейник С. В. Фотограмметрическая технология создания

трехмерных сцен застроенных территорий для целей проектирования и ГИС. *Инженерные изыскания.* № 2, 2011. — с. 42–46.

3. Бабашкин Н. М., Кадничанский С. А., Фальков Э. Я. Сравнительный анализ эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем. Доклад, представленный на V международной научно-практической конференции «Геодезия, маркшейдерия, аэросъемка на рубеже веков». М., 2014.

4. Бабашкин Н. М., Нехин С. С., Кадничанский С. А. Совершенствование требований к топографической аэросъемке. *Геодезия и картография. Спецвыпуск*, 2012. — с. 115 – 119.

5. Бабашкин Н. М., Кадничанский С. А., Кучинский Ю. И., Нехин С. С. Современная технология аэрофототопографической съемки и потребность ее отражения в новых стандартах. *Технологические схемы создания и обновления карт и планов. Геодезия и картография. Спецвыпуск*, 2012. — с. 97–100.

6. Бабашкин Н. М., Кадничанский С. А., Кучинский Ю. И., Нехин С. С. Выбор параметров АФС для современных технологий аэрофототопографической съемки. *Геодезия и картография. Спецвыпуск*, 2012. — с. 161–164.

7. Нехин С. С., Яблонский Л. И. XXII Конгресс Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования. *Геодезия и картография.* № 12, 2012. — с. 2–6.

8. Бабашкин Н. М., Нехин С. С. Топографическая аэросъемка. Современное состояние и перспективы развития. *Геодезия и картография.* 2015, № 7. — С. 36–41.

9. Бабашкин Н. М., Нехин С. С. Состояние и перспективы развития топографической аэросъемки. *Геодезия и картография. Спецвыпуск*, 2015. — с. 107–110.