

# СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ И ПИЛОТИРУЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Н.М. Бабашкин** (Центр геодезии, картографии и ИПД)

В 1972 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работал в МИИГАиК. С 1982 г. работает в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» (до 2013 г. — ЦНИИГАиК), в настоящее время — заместитель начальника отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии.

**С.А. Кадничанский** (Центр геодезии, картографии и ИПД)

В 1973 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работал в Госцентре «Природа», с 1979 г. — в ЦНИИГАиК, с 1993 г. — в РосНИЦ «Земля», Центре «ЛАРИС», с 2002 г. — в ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ, с 2005 г. — в компании «Геокосмос», затем — в НП АГП «Меридиан+» и ФГУП «ГосНИИ авиационных систем». С 2015 г. работает в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», в настоящее время — начальник отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии. Кандидат технических наук.

**С.С. Нехин** (Центр геодезии, картографии и ИПД)

В 1974 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работает в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» (до 2013 г. — ЦНИИГАиК), в настоящее время — начальник управления фотограмметрических исследований. Доктор технических наук.

В настоящее время беспилотные воздушные суда (БВС) уверенно и быстро находят применение в гражданских отраслях, в том числе при решении задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), вообще, и аэрофотосъемки (АФС), в частности. По данным Еврокомиссии, 6% от общего объема используемых материалов ДЗЗ получают с помощью БВС. Все чаще БВС используют при аэрофотосъемке местности, например, для создания ортофотопланов, но, как правило, ограничиваются сравнительно небольшими по площади или протяженности объектами. Для таких объектов преимущества аэрофотосъемки с помощью беспилотных авиационных систем по сравнению с

пилотируемыми воздушными судами очевидны и обусловлены следующими ее достоинствами:

- эксплуатация и содержание БВС значительно легче и требует меньших затрат, что особенно проявляется на больших по площади территориях, требующих частой оперативной АФС;

- для выполнения АФС не нужен аэродром или специально подготовленная площадка;

- стоимость комплекта оборудования для выполнения АФС, включая стоимость воздушного судна, существенно ниже.

Кроме того, парк пилотируемых воздушных судов (Ту-134СХ,

Ан-30, Ан-26, Ан-2, Л-410 и др.) со временем устаревает, что вызывает необходимость использовать для аэрофотосъемки альтернативные средства в виде беспилотных авиационных систем.

Однако эффективность аэрофотосъемки с помощью БВС для значительных по размеру объектов вовсе не очевидна, ввиду сравнительно низкой производительности, и зависит, помимо размера объекта, от технических характеристик БВС и аэросъемочной аппаратуры. Совершенно очевидно, что при анализе эффективности не следует ограничиваться только процессом аэрофотосъемки, а необходимо рас-

смаивать в комплексе все работы по созданию конечной продукции, например, ортофотоплана, включая подготовку планово-высотной основы и камеральную фотограмметрическую обработку.

Проведем сравнительный анализ себестоимости создания ортофотоплана на основе материалов АФС для территорий, имеющих разные значения площади, при условии, что каждая территория имеет форму квадрата, а требуемый размер пикселя на местности составляет 15 см, что соответствует масштабу 1:2000. Рассмотрим 6 вариантов аэрофотосъемочных комплексов:

1. Самолет АН-30, оснащенный полноформатной топографической аэрофотокамерой с размером результирующего кадра 240 Мпикселей (АН30 + 240 Мп).

2. Легкомоторный негерметичный самолет, оснащенный полноформатной топографической аэрофотокамерой с размером результирующего кадра 240 Мпикселей (Легкий самолет + 240 Мп).

3. БВС с электрическим двигателем, оснащенное фотокамерой с размером результирующего кадра 24 Мпикселя, продолжительность полета которого составляет 1 час (БВС электро 1 + 24 Мп).

4. БВС с электрическим двигателем, оснащенное фотокамерой с размером результирующего кадра 24 Мпикселя, продолжительность полета которого составляет 5 часов (БВС электро 5 + 24 Мп).

5. БВС с бензиновым двигателем, оснащенное среднеформатной аэрофотокамерой с размером результирующего кадра 80 Мпикселей, продолжительность полета которого составляет 10 часов (БВС бензин + 80 Мп).

6. БВС с гибридным двигателем, оснащенное среднеформатной аэрофотокамерой с размером результирующего кадра 80 Мпикселей, продолжительность полета которого составляет 6 часов (БВС гибрид + 80 Мп).

Во всех вариантах предполагается использование на борту двухчастотных приемников ГНСС,

обеспечивающих определение координат центров проекции снимков с требуемой точностью. Однако разреженная полевая планово-высотная подготовка аэрофотоснимков в составе работ учитывается для всех вариантов с одинаковой плотностью, выраженной числом базисов фотографирования и маршрутов между рядами опознаков. В табл. 1 приведены основные технические характеристики аэрофотосъемочных комплексов.

При сравнительном анализе учитывались следующие общие условия и данные:

— эффективный угол поля зрения (часть поперечного угла поля зрения, ограничивающая используемую для ортофотоплана часть снимка);

— стоимость одного рабочего дня исполнителя, включая накладные расходы;

— затраты на командировки (суточные, квартирные, проезд к месту выполнения работ и обратно);

— транспортные расходы во время выполнения работ;

— число съемочных дней в году;

Технические характеристики аэрофотосъемочных комплексов

Таблица 1

Тип воздушного судна и фотокамеры	АН30 + 240 Мп	Легкий самолет + 240 Мп	БВС электро 1 + 24 Мп	БВС электро 5 + 24 Мп	БВС бензин + 80 Мп	БВС гибрид + 80 Мп
Скорость полета, км/ч	360	200	70	70	140	140
Максимальная продолжительность полета, ч	5,5	3,0	1,0	5,0	10,0	6,0
Стоимость АФС-оборудования, включая ТО, тыс. руб.	72 000	72 000	2700	3700	13 300	12 700
Максимальная высота АФС, м	6500	3000	4000	4000	7000	7000
Фокусное расстояние фотокамеры, мм	112	112	35	35	55	55
Физический размер пикселя, мм	0,0056	0,0056	0,0059	0,0059	0,0052	0,0052
Поперечный угол поля зрения, °	45,5	45,5	53,7	53,7	52,0	52,0
Максимальное число снимков за вылет	3000	3000	10 000	10 000	6000	6000

Значения параметров съемки для различных аэрофотосъемочных комплексов

Таблица 2

Тип воздушного судна и фотокамеры	АН30 + 240 Мп	Легкий самолет + 240 Мп	БВС электро 1 + 24 Мп	БВС электро 5 + 24 Мп	БВС бензин + 80 Мп	БВС гибрид + 80 Мп
Продольное перекрытие, %	60	60	75	75	60	60
Минимальное допустимое поперечное перекрытие, %	30	30	50	50	30	30
Время на разворот, мин	4,5	4	3	3	3	3
Стоимость часа летного времени, тыс. руб.	140	28	0	0	0	0
Удаление от места постоянного базирования, км	500	500	0	0	0	0
Среднее удаление от места временного базирования, км	150	150	10	10	10	10
Пауза между вылетами, ч	2,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6

- продолжительность съемочного дня;
- число базисов за пределами участка съемки;
- допустимое минимальное поперечное перекрытие;
- срок амортизации оборудования;
- отношение числа нелетных дней к числу съемочных дней;
- продолжительность паузы между вылетами;
- число исполнителей, включая специалиста на наземной базовой станции ГНСС.

В табл. 2 приведены значения параметров съемки для каждого из рассматриваемых вариантов аэрофотосъемочных комплексов.

С учетом перечисленных условий и параметров была рассчитана себестоимость всего объема работ по созданию ортофотопланов масштаба 1:2000 для различных по площади объектов квадратной формы и себестоимость 1 км<sup>2</sup> таких ортофотопланов.

На рис. 1 показаны графики зависимости себестоимости 1 км<sup>2</sup> ортофотоплана от площади объекта, а на рис. 2 — графики зависимости себестоимости всего объема работ от площади объекта, при ее значениях от 5 км<sup>2</sup> до 75 км<sup>2</sup>. На гра-

фиках видно, что при использовании комплексов АФС на основе БВС себестоимость ортофотоплана существенно ниже, чем для любого пилотируемого воздушного судна, а себестоимость

всего объема работ почти не меняется с его увеличением. Это объясняется тем, что для аэрофотосъемки с помощью всех вариантов комплексов АФС и площадей объекта в данном интер-

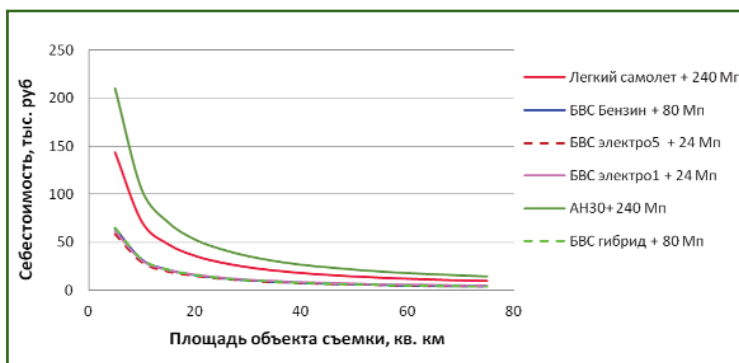


Рис. 1

Графики зависимости себестоимости 1 км<sup>2</sup> ортофотоплана масштаба 1:2000 от площади объекта при ее значениях от 5 км<sup>2</sup> до 75 км<sup>2</sup>

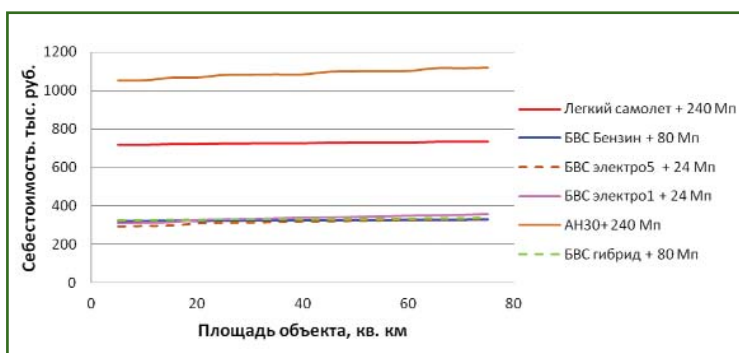
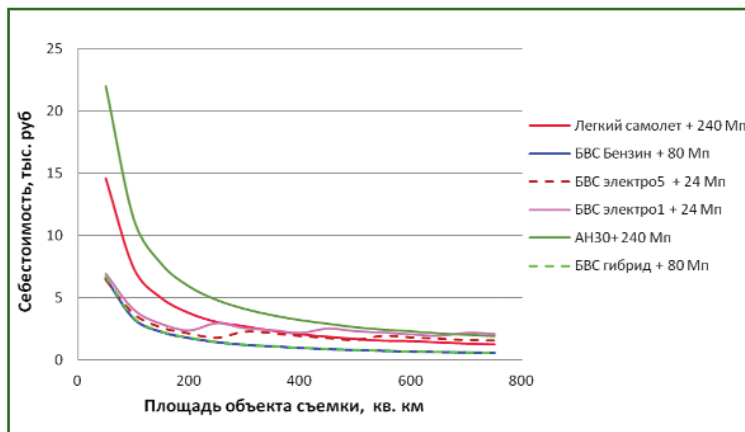
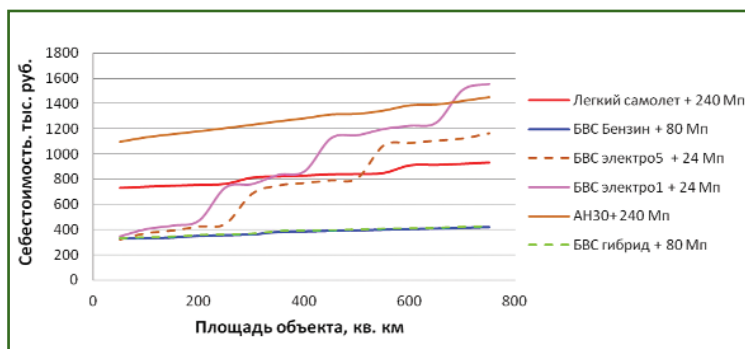


Рис. 2

Графики зависимости себестоимости всего объема работ по созданию ортофотоплана масштаба 1:2000 от площади объекта при ее значениях от 5 км<sup>2</sup> до 75 км<sup>2</sup>



**Рис. 3**  
Графики зависимости себестоимости 1 км² ортофотоплана масштаба 1:2000 от площади объекта при ее значениях от 50 км² до 750 км²



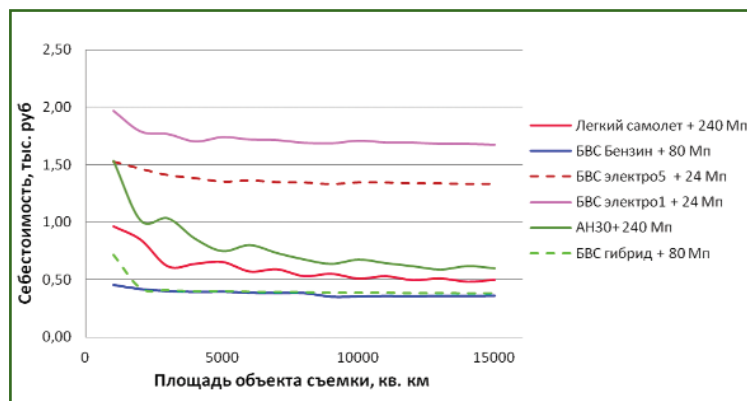
**Рис. 4**  
Графики зависимости себестоимости всего объема работ по созданию ортофотоплана масштаба 1:2000 от площади объекта при ее значениях от 50 км² до 750 км²

вале требуется один съемочный день. Амортизация оборудования, затраты на перелет к месту временного базирования, от места временного базирования до объекта съемки и обратно для любого из пилотируемых самолетов слишком велики по сравнению с затратами на саму аэрофотосъемку таких небольших по площади объектов. Кроме того, следует отметить, что в данном случае ни один из комплексов АФС на основе БВС не имеет преимуществ.

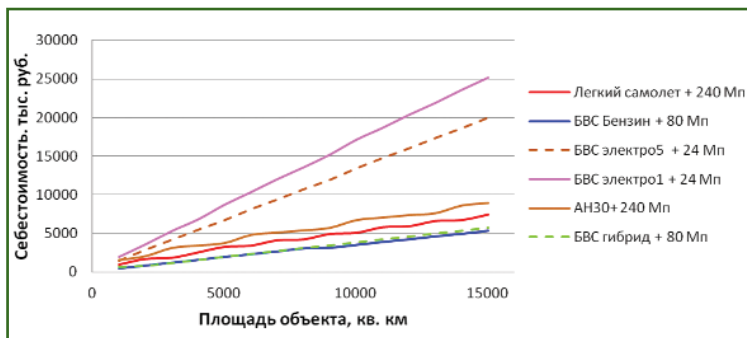
На рис. 3 и 4 приведены графики, которые наглядно показывают, что съемку объектов площадью от 50 км² до 750 км² наиболее экономически эффективно выполнять комплексами на основе БВС со среднефор-

матной аэрофотокамерой 80 Мпикселей. Для объекта площадью около 100 км² их преимущество по сравнению с комплексами на основе БВС с фото-

камерой 24 Мпикселя ощутимо, а с увеличением площади значительно возрастает. Это объясняется более высокой производительностью среднеформатной аэрофотокамеры и, как следствие, сокращением числа съемочных дней и расходов на командировки, а также меньшим числом аэрофотоснимков и вытекающим из этого сокращением затрат на их фотограмметрическую обработку. Комплекс БВС с фотокамерой 24 Мпикселя с продолжительностью полета 1 час эффективнее комплекса легкомоторного самолета с полноформатной топографической аэрофотокамерой для объектов площадью менее 350 км², а для самолета АН-30 — менее 700 км². Себестоимость съемки объектов любой площади, выполненной с помощью комплекса БВС с фотокамерой 24 Мпикселя с продолжительностью полета 5 часов, меньше, чем с помощью комплекса на основе АН-30, а для объектов площадью менее 500 км² его применение эффективнее легкомоторного самолета с полноформатной топографической аэрофотокамерой. С дальнейшим увеличением площади объекта от 1000 км² до 15 000 км² эффективность комплексов с фотокамерой 24 Мпикселя по сравнению с другими вариантами комплек-



**Рис. 5**  
Графики зависимости себестоимости 1 км² ортофотоплана масштаба 1:2000 от площади объекта при ее значениях от 1000 км² до 15 000 км²



**Рис. 6**

Графики зависимости себестоимости всего объема работ по созданию ортофотоплана масштаба 1:2000 от площади объекта при ее значениях от 1000 км<sup>2</sup> до 15 000 км<sup>2</sup>

сов заметно снижается, что видно из рис. 5 и 6, а преимущество БВС со среднеформатной аэрофотокамерой 80 Мпикселей сохраняется. Однако, если для площади до 2000 км<sup>2</sup> эффективность БВС с аэрофотокамерой 80 Мпикселей по сравнению с пилотируемыми самолетами весьма значительна, то с увеличением площади это различие уменьшается.

При оценке эффективности, кроме себестоимости, следует анализировать и затраты времени на выполнение аэрофотосъемки больших по площади объектов. На рис. 7 наглядно

показано, сколько дней необходимо на съемку объектов разной площади при использовании различных комплексов АФС. Если пилотируемым самолетом требуется 5 и 9 дней для съемки территории площадью 15 000 км<sup>2</sup>, то БВС с фотокамерами 24 Мпикселя — 54 и 63 дня. Такая разница в количестве съемочных дней объясняется низкой производительностью фотокамер 24 Мпикселя и приводит к увеличению затрат на оплату труда и командировки, а также на обработку большого количества аэрофотоснимков, как это видно из табл. 3.

Следует отметить, что аэрофотоснимки, полученные с помощью полноформатных топографических аэрофотокамер, будут обладать максимальным качеством по сравнению с прочими, что обусловлено следующими факторами:

- наличие гироплатформы, в результате чего минимизируются угловые колебания камеры и связанный с этим «смаз» изображения, а также обеспечивается более высокое фотограмметрическое качество снимков, например, стабильность перекрытий снимков;
  - наличие компенсации продольного сдвига изображения;
  - регистрация каждого спектрального канала отдельной матрицей;
  - отсутствие дисторсии изображения;
  - наличие заводской фотограмметрической калибровки камеры со значениями элементов внутреннего ориентирования.
- Легкие аэрофотокамеры среднего формата 80 Мпикселей могут иметь компенсацию продольного сдвига изображе-

**Структура затрат на выполнение всего объема работ по созданию ортофотоплана масштаба 1:2000 объекта площадью 15 000 км<sup>2</sup>**

**Таблица 3**

Тип воздушного судна и фотокамеры	АН30 + 240 Мп	Легкий самолет + 240 Мп	БВС электро 1 + 24 Мп	БВС электро 5 + 24 Мп	БВС бензин + 80 Мп	БВС гибрид + 80 Мп
Количество снимков	11 396	11 396	219 765	219 765	38 425	38 425
Количество вылетов	10	27	441	108	14	30
Количество съемочных дней	5	9	63	54	14	15
Амортизация оборудования, тыс. руб.	1285	2314	2126	999	665	793
Аренда самолета на перелет и подлеты, тыс. руб.	1555	1274	0	0	0	0
Аренда самолета для АФС, тыс. руб.	4524	1483	0	0	0	0
Зарплата и командировочные расходы, тыс. руб.	860	1502	10169	8725	2305	2465
Привязка опознаков, тыс. руб.	150	150	2394	2394	486	486
Фотограмметрическая обработка, тыс. руб.	410	410,3	7911	5713	1383	1383

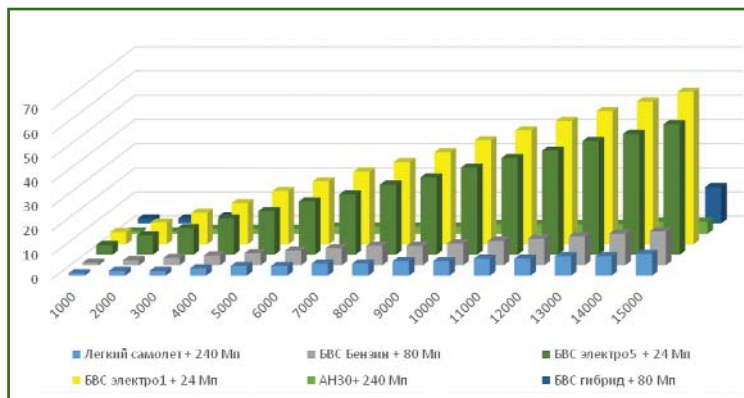


Рис. 7

Зависимость количества аэрофотосъемочных дней от площади объекта

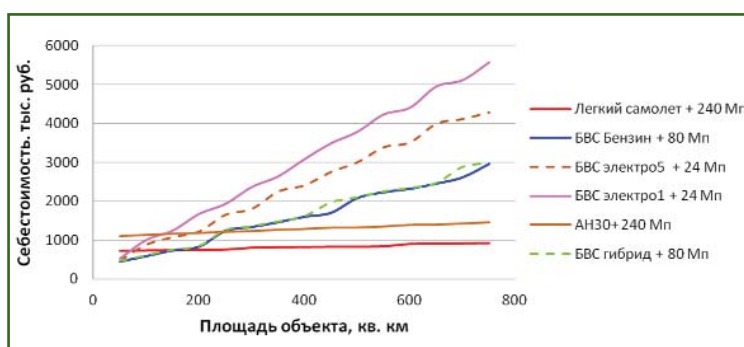


Рис. 8

Графики зависимости себестоимости всего объема работ от площади объекта при ограничении высоты полета БВС, равной 350 м

ния. Гироплатформы и иные стабилизирующие платформы при выполнении аэрофотосъемки с БВС в России пока используются редко. Фотокамеры 24 Мпикселя обычно являются бытовыми, при изготовлении которых не учитываются высокие требования к стабильности значений элементов внутреннего ориентирования, и они не имеют заводской фотограмметрической калибровки. Эти особенности приводят к различиям в относительной (отнесенной к высоте фотографирования) погрешности определения пространственных координат точек объектов по снимкам не в пользу бытовых фотокамер малого формата.

Кроме того, при выборе типа носителя необходимо учитывать, что практика применения БВС в основном ограничивается

полетами на высоте 300–400 м на небольших участках или в малообжитых районах после закрытия района полетов для других воздушных судов диспетчером Единой системы управления воздушным движением (ЕС УВД). Законодательное решение вопросов равноправного использования воздушного пространства приостановлено на неопределенный срок из-за разногласий в выборе принципов и средств обнаружения летательных аппаратов в воздушном пространстве. После введения необходимых поправок в Воздушный кодекс РФ потребуется еще 3–5 лет на организационно-технические мероприятия в решении данного вопроса. В настоящее время возможность закрытия воздушного пространства на требуемой высоте над объектом большой

площади весьма сомнительна. Если это будет предусмотрено только для указанных высот (300–400 м), то приведенные в статье результаты не будут характеризовать такую ситуацию. В подобных случаях использовать комплексы АФС на основе БВС для съемки объектов площадью более 200 км<sup>2</sup> вообще не целесообразно, как это видно на рис. 8.

В представленном сравнительном анализе эффективности не учитывались затраты при оформлении разрешений на выполнение аэрофотосъемки как для пилотируемых, так и беспилотных систем, а также на закрытие воздушного пространства диспетчером ЕС УВД для обеспечения полетов БВС.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

В наибольшей степени на эффективность АФС с использованием БВС влияет размер цифрового изображения в пикселях используемой фотокамеры, определяющий в целом производительность комплекса. Комплексы на основе беспилотных авиационных систем могут эффективно заменить аэрофотосъемку с пилотируемых воздушных судов даже для значительных по площади объектов, соизмеримых с площадью субъекта РФ, при условии использования на борту БВС среднеформатной аэрофотокамеры, установленной на гироплатформе. Для этого требуется обеспечить высокую надежность (безаварийность) БВС.

Использование БВС с малоформатными (около 24 Мпикселя) фотокамерами экономически эффективно при сравнительно ограниченной площади объекта съемки (до 350–700 км<sup>2</sup>).

При выборе аэрофотосъемочного комплекса следует учитывать все факторы, включая качество снимков, принципиальную возможность проведения АФС и сроки ее выполнения.