

УДК 004.932, 631.171

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОФОТОСЪЕМОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

И. В. Манылов,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Проводятся анализ и оценка эффективности метрических и неметрических фотокамер для проведения аэрофотосъемочных работ земель сельскохозяйственного назначения. Выбор оптимального варианта съемочного оборудования выполняется на основе многокритериальной модели задачи с использованием теории принятия решений.

Ключевые слова — аэрофотосъемка, метрические фотокамеры, неметрические фотокамеры, теория принятия решений, сельское хозяйство.

Введение

Сельское хозяйство — одна из самых перспективных сфер для использования данных аэрофотосъемки в целях повышения интенсификации растениеводческого производства. Сельскохозяйственные культуры отлично проявляются на снимках, они ничем не скрыты, однородны, хорошо дешифрируются как по текстуре, так и по спектральным характеристикам. Аэрофотосъемка стала эффективным инструментом реализации задач, решаемых сельским хозяйством [1]. Сегодня она широко используется в агропромышленном комплексе США, Канады, стран Евросоюза, Индии, Китая, Японии и др.

Ключевым элементом успешности проводимых аэрофотосъемочных работ для целей сельского хозяйства является выбор подходящей модели цифрового фотоаппарата, которая обеспечивала бы приемлемое качество снимков для дальнейшей их дешифрации и анализа полученных данных.

Первый аэрофотоаппарат был создан русским инженером В. Ф. Потте почти век назад. За это время аэрофотосъемочное оборудование прошло длинный путь развития, и сегодня компании-разработчики предлагают широкий выбор фотоаппаратов, предназначенных для проведения съемки с борта воздушного судна. Традиционно цифровые фотокамеры принято разделять на метрические и неметрические.

Метрические аэрофотокамеры

Метрические камеры представляют собой цифровые фотоаппараты, которые предназначены для получения измерительной информации и снимков в целях создания измерительных документов: топографических карт и планов, цифровой картографической информации, цифровых моделей, кадастровых планов, аэрофотоснимков и т. п.

Метрические аэрофотоаппараты делятся на среднеформатные и полноформатные камеры. К полноформатным камерам относят такие, разрешение которых составляет порядка 100 МБ и более. Впервые полноформатные цифровые камеры для аэросъемки были представлены на XIX Международном фотограмметрическом конгрессе в Амстердаме в 2000 г. фирмами Zeiss/Intergraph Imaging (Германия/США) и Leica Geosystems (Швейцария/США) [2]. Четыре года спустя на фотограмметрическом конгрессе, проходившем в Стамбуле, были продемонстрированы новые программные продукты фирм Vexcel Imaging (Австрия/США) и НПП «Геосистема» (Украина) совместно с компанией Wehrli and Associates (США).

При создании цифровых аэрофотокамер этими компаниями использовался один из двух принципов — матричный или сканирующий. Суть матричного принципа заключалась в том, что аэрофотоаппарат работал на матричных све-

точувствительных датчиках, а поскольку одна ПЗС-матрица не обеспечивала достаточного разрешения, то применялось несколько датчиков, из которых формировался единый кадр. Сканирующий принцип подразумевал использование линейного датчика, дающего изображение узкой полосы местности поперек направления полета. Полное изображение в такой камере формировалось непрерывной полосой за счет движения самолета.

Один из указанных принципов лежит и в основе современных цифровых аэрофотоаппаратов, которые принято разделять на две основные группы [3]:

- кадровые (модели Z/I Imaging DMC и Vexcel UltraCam);

- сканирующие (модели Leica Geosystems ADS40 и Wehrli/Geosystem 3DAS).

На наш взгляд, для решения задач аэрофото съемки сельхозугодий сканирующие камеры имеют меньший потенциал, нежели кадровые, поскольку могут обеспечить точность определения координат не более 0,1 м. По заявлениям производителей кадровых камер, для них всегда можно подобрать масштаб съемки, обеспечивающий точность вплоть до 0,05 м.

Для получения снимков сельхозугодий хорошего качества со сканирующей камеры рекомендуется использовать вертолеты или самолеты с невысокой скоростью полета. Если стандартная скорость самолета превышает 250 км/ч, то при типовой выдержке 1/500 смещение самолета за время экспозиции составляет 0,15 м, что довольно критично при разрешении на местности 0,10 м и выше.

Анализ технических характеристик метрических фотокамер допускает сделать вывод о том, что они позволяют получить монохромное или мультиспектральное изображение очень большого размера (например, Z/I Imaging DMC имеет размер изображения 13824 × 7680 пикселей), с высоким радиометрическим разрешением (12–16 бит). Отдельно следует отметить геометрическую точность получаемых изображений [4]. Стоимость их колеблется в пределах от 250 тыс. до 1 млн дол.

Сегодня наибольшей популярностью пользуется камера 3DAS-1 ввиду ее не слишком высокой стоимости (250 тыс. дол.). В комплект поставки также входит стабилизирующая платформа и управляющий компьютер с двумя съемными RAID-массивами, объем каждого из которых составлял 1,8 ТБ. Источником питания для комплекса служит бортовая сеть самолета напряжением 28 В. В зависимости от режима работы потребление тока составляет примерно 15–18 А. Установка аэросъемочного оборудования в само-

лет занимает 30–40 мин, включая тестирование работоспособности всех компонентов, выполняемое до взлета. В полете комплексом управляет один оператор [2].

Рынок цифровых камер динамично развивается и в последнее время пополнился новыми разработками. К ним относятся:

- сканирующая камера JAS150 компании Jena Optronik (Германия);

- полноформатная цифровая камера от DIMAC Systems (Люксембург);

- UltraCam X компании Vexcel Imaging, которая обеспечивает разрешение 14 430 × 9420 пикселей;

- 3-OC-1 фирмы Wehrli/Geosystem, предназначенная для наклонной съемки [5].

Ввиду высокой стоимости перечисленных специализированных аэрофотокамер для выполнения аэрофотосъемочных работ в сельском хозяйстве были приспособлены некоторые модели неметрических фотокамер. Их стоимость в разы меньше, что в условиях финансовых ограничений, которые накладываются на сельскохозяйственную отрасль, играет существенную роль.

Неметрические аэрофотокамеры

С точки зрения теории, неметрические цифровые камеры позволяют получать снимки, которые не являются источником измерительной информации. Такие снимки принято использовать в художественной фотографии, для получения иллюстраций, для публикаций в средствах массовой информации, в том числе в Интернете, для бытового фотографирования [6]. Однако развитие рынка неметрических фотокамер привело к тому, что в последние годы они уже вполне могут конкурировать по разрешающей способности со специализированными метрическими камерами. Так, на настоящий момент в продажу уже поступили фотоаппараты с разрешением до 50 млн пикселей (например, Hasselblad H3D2-50 Kit), однако их стоимость достигает 1 млн руб. и они зачастую также недоступны для небольших сельских хозяйств, как и полноформатные цифровые камеры для аэрофотосъемки.

Более приемлемые в финансовом плане камеры (стоимостью от 1000 до 2000 дол.) сегодня способны создавать снимки разрешением до 22 млн пикселей, что вполне достаточно для осуществления съемки с малой высоты (300–500 м) с борта сверхлегкого летательного аппарата. При этом размер снимка существенно меньше, что позволяет производить съемку со скоростью до 12 кадров/с и обеспечивать многократное перекрытие фотографируемых сельхозугодий. Также скорость съемки позволяет выбирать лучшие кадры

с более высокой четкостью, что упрощает дальнейшую дешифрацию снимков.

Анализ опыта съемки посевных площадей при помощи неметрических фотокамер и оценка качества имеющихся в распоряжении автора снимков позволяют выделить наиболее приемлемые для решаемых в сельском хозяйстве задач фотоаппараты: Nikon D2X, Canon EOS 550D, Canon EOS 5D, Panasonic Lumix DMC-62, Sony Alpha DSLR-A390, Pentax K-5.

Охарактеризуем подробнее некоторые из них.

Nikon D2X — зеркальный однообъективный цифровой фотоаппарат, позволяющий делать снимки разрешением 12,4 млн пикселей в формате JPEG или RAW со скоростью 5 кадров/с в режиме непрерывной съемки. Возможна непрерывная съемка со скоростью 8 кадров/с при использовании функции высокоскоростной съемки кадрированного изображения, которая использует центральную часть кадра с разрешением 6,8 млн пикселей. Фотокамера D2X совместима со специально разработанными Nikon объективами для цифровых фотокамер, которые позволяют увеличивать фокусное расстояние в 1,5–2 раза. В комплекте с D2X поставляется простое и удобное в использовании программное обеспечение PictureProject. В качестве особенностей можно назвать поддержку GPS, позволяющую записывать в съемочные данные местоположение съемки, а также поддержку беспроводной передачи данных.

Canon EOS 5D — фотокамера с матрицей 19 млн пикселей и скоростью съемки 8 кадров/с. К этому фотоаппарату подходят все упомянутые выше объективы, которые, обладая пятикратным зумом, способны снимать с высоты 500 м так, как будто аэрофотосъемка ведется с высоты 100 м.

Таким образом, для осуществления аэрофотосъемки посевных площадей в целях последующего анализа их состояния могут использоваться современные неметрические фотокамеры. Их технические характеристики уступают метрическим, но финансовый аспект зачастую сегодня является решающим, что и заставляет специалистов делать выбор в пользу группы неметрических фотоаппаратов, особенно если съемка ведется с малой высоты. Если аэрофотосъемка ведется с беспилотного летательного аппарата, то появляется новый критерий выбора — вес камеры: неметрические весят не более 1 кг, а самая легкая из метрических 3DAS — около 32 кг.

В условиях многокритериального выбора, когда решение использовать ту или иную модель фотокамеры зависит от нескольких факторов, обоснованную оценку позволяет сделать теория принятия решений.

Обоснование выбора аэрофотоаппарата для съемки сельхозугодий на основе теории принятия решений

Теория принятия решений — это совокупность математических и численных методов, ориентированных на нахождение наилучших вариантов из множества альтернатив [7]. Многокритериальная модель задачи принятия решений представляется в следующем виде:

$$\langle t, S, K, X, f, P, r \rangle,$$

где t — постановка (тип) задачи принятия решения; S — множество допустимых вариантов решений; K — множество критериев оценки решений; X — множество оценочных шкал; f — отображение множества допустимых решений в множество векторных оценок; P — система предпочтений лица, принимающего решение; r — решающее правило [8].

В решаемой нами задаче выбора наиболее приемлемой для осуществления аэрофотосъемки сельхозугодий фотокамеры требуется линейно упорядочить множество допустимых решений, т. е. анализируемых моделей метрических и неметрических камер. Множество S представляет собой совокупность отобранных для анализа фотокамер, которые удовлетворяют определенным ограничениям и рассматриваются как возможные способы достижения поставленной цели — осуществления аэрофотосъемочных работ. Каждая камера оценивается по множеству критериев K_1, K_2, \dots, K_m .

Для каждого из критериев задается или строится шкала, представляющая собой множество оценок. Шкалы X_1, X_2, \dots, X_m , образующие множество X , могут быть числовыми и нечисловыми, т. е. содержать шкалы различных типов, как в нашем случае.

Построение моделей многокритериальных задач принятия решений является сложной процедурой, состоящей из формализованных и неформализованных этапов. Для решения задачи выбора наиболее приемлемой для аэрофотосъемки сельхозугодий фотокамеры нами предлагается следующая последовательность этапов:

- 1) выбор наиболее подходящих для решаемых задач моделей фотокамер;
- 2) формирование системы оценочных критериев;
- 3) определение коэффициентов относительной важности (весов) каждого из критериев выбора;
- 4) построение согласованных количественных шкал для каждого из критериев;
- 5) определение агрегированных значений вариантов выбора источников капитала, который

■ Характеристики метрических и неметрических фотокамер и оценка каждого критерия

Модель	Разрешение, Мпиксель/ балл	Поддержка GPS/балл	Скорость съемки, кадров/с/балл	Вес, кг/балл	Скорость подготовки к работе, ч/балл	Стоимость, тыс. дол./ балл	Интеграль- ная оценка фотокамеры
Метрические фотокамеры							
Z/I Imaging DMC	$\frac{250}{10}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{0,81}{0,68}$	$\frac{66}{0,08}$	$\frac{4}{0,63}$	$\frac{1000}{0,01}$	3,71
Vexcel UltraCam	$\frac{200}{8}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{0,56}{0,46}$	$\frac{75}{0,07}$	$\frac{3,5}{0,71}$	$\frac{700}{0,01}$	3,27
Leica Geosystems ADS40	$\frac{120}{4,8}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{0,88}{0,73}$	$\frac{38}{0,13}$	$\frac{4}{0,63}$	$\frac{1000}{0,01}$	2,68
Wehrli/Geosystem 3DAS	$\frac{106}{4,24}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{0,71}{0,60}$	$\frac{32}{0,16}$	$\frac{2,5}{1,00}$	$\frac{250}{0,02}$	2,59
Неметрические фотокамеры							
Canon EOS 550D	$\frac{18,7}{0,748}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{10}{8,33}$	$\frac{0,5}{10}$	$\frac{0,25}{10}$	$\frac{1,3}{5}$	6,47
Panasonic Lumix DMC-62	$\frac{13,1}{0,524}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{2,5}{2,08}$	$\frac{0,7}{7,14}$	$\frac{0,25}{10}$	$\frac{0,6}{10}$	6,24
Sony Alpha DSLR-A390	$\frac{16,7}{0,668}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{3}{2,50}$	$\frac{0,5}{10}$	$\frac{0,25}{10}$	$\frac{0,9}{7}$	5,80
Pentax K-5	$\frac{16,9}{0,676}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{7}{5,83}$	$\frac{0,7}{7,14}$	$\frac{0,25}{10}$	$\frac{1}{6}$	6,02
Nikon D2X	$\frac{13}{0,52}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{12}{10,00}$	$\frac{1,07}{4,67}$	$\frac{0,25}{10}$	$\frac{1,3}{5}$	6,23
Canon EOS 5D	$\frac{22}{0,88}$	$\frac{\text{Да}}{10}$	$\frac{5}{4,17}$	$\frac{0,9}{5,56}$	$\frac{0,25}{10}$	$\frac{1,8}{3}$	4,90
Важность критерия, %	20	15	20	10	10	25	100

рассчитывается как сумма произведений оценок, полученных по согласованным количественным шкалам, и коэффициентам относительной важности (весам) каждого из критериев;

6) выбор наилучшего варианта.

Действуя в рамках указанного алгоритма, для анализа отобрали две группы камер — метрические и неметрические. Их оценку будем производить по шести ключевым критериям: разрешение, поддержка GPS, скорость съемки, вес, скорость подготовки к работе, стоимость (таблица, числитель).

Для построения согласованных количественных шкал была принята максимальная оценка каждого критерия 10 баллов. Результаты дальнейших расчетов и интегральная оценка по каждой фотокамере приведены в таблице (знаменатель).

По данным таблицы можно сделать вывод, что неметрические камеры уступают метрическим существенно только по разрешению. По всем другим оцениваемым критериям они либо равны им, либо превосходят. Особенно значительное преимущество формируется по критериям стоимости, веса камеры и скорости съемки.

На основе данных, приведенных в таблице, может быть сделан выбор конкретной модели фотоаппарата: наиболее подходящими являются Canon EOS 550D, Panasonic Lumix DMC-62 и Nikon D2X.

Заключение

Выбор фотооборудования того или иного типа существенно зависит от решаемых задач. Сужая цели съемочных работ и потребность в них до рамок отдельно взятого хозяйства, получаем ряд ресурсных ограничений: трудовых, временных и, безусловно, финансовых, — которые позволяют сформировать набор ключевых оценочных критериев. Применение метрических аэрофотоаппаратов требует значительного времени на подготовку системы к эксплуатации, штата сотрудников, их обучение, техническую поддержку самой системы, т. е. существенно увеличиваются временные и трудовые затраты на начальном этапе работы. Кроме того, они массивны и неприменимы на сверхлегких летательных аппаратах. Преимуществами являются качество и быстрота обработки, широкие возможности сопоставления

и анализа информации. При этом высокое качество снимка замедляет скорость съемки и не позволяет использовать метрические камеры на самолетах со средней скоростью полета более 180 км/ч.

Неметрические камеры уступают по качеству и возможностям автоматизированного анализа, но при этом не требуют реализации начального этапа, а обработка и анализ информации могут проводиться в отдельной, подготовленной для решения конкретных задач программе обработки изображений, что даже более адекватно существующим потребностям отдельных хозяйств. Кроме

того, высокая скорость съемки позволяет делать выбор снимка с более высокой четкостью, а малый вес — фотографировать с дельтапланов, мотодельтапланов и беспилотных летательных аппаратов. Решающим фактором является несопоставимость финансовых затрат на приобретение метрической и неметрической аэрофотокамеры.

Таким образом, для поставленных задач мониторинга земель сельскохозяйственного назначения неметрические камеры с хорошим разрешением и дополнительным гироскопическим оборудованием являются более приемлемыми с точки зрения анализируемых критериев.

Литература

1. Михайлов В. Ю., Харин Я. В. К вопросу о построении системы распознавания и подсчета животных на аэрофотоснимках. Ч. 1: Анализ методов распознавания // Информационно-управляющие системы. 2011 г. № 2. С. 22–28.
2. Олейник С. В., Гайда В. Б. Цифровые камеры для аэрофотосъемки // Геопрофи. 2006. № 4. С. 45–51.
3. Кадничанский С. А. Сравнительная оценка производительности цифровых аэросъемочных систем // Геопрофи. 2011. № 6. С. 18–24.
4. Хмелевский С. И. Тенденции в развитии цифровых аэросъемочных систем. Критерии сравнения и оценки // Геопрофи. 2011. № 2. С. 15–19.
5. Тетеря А. Н. Опыт использования цифровой фотокамеры 3DAS-1 // Геопрофи. 2008. № 1. С. 26–30.
6. Материалы портала Digital Architecture. <http://dproject.artrace.ru> (дата обращения: 15.01.2012).
7. Орлов А. И. Теория принятия решений: учеб. пособие. — М.: Март, 2004. — 656 с.
8. Куницына Н. Н., Плешкова Т. Г. Реализации теории принятия решений при выборе источников финансирования капитала организации // Материалы XXXVII науч.-техн. конф. по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2007 год. Т. 3: Экономика. Ставрополь: СевКавГТУ, 2008. С. 173.