

УДК 528.83

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_67

**СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ УЧАСТКОВ МЕСТНОСТИ,
НЕ ОБЕСПЕЧЕННОЙ ДАННЫМИ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**METHODS FOR DETERMINING THE ELEMENTS OF EXTERNAL
ORIENTATION OF AEROSPACE IMAGES OF AREAS UNSECURED BY
TOPOGEODETTIC OBSERVATIONS**

*Канд. техн. наук И.В. Чернов, канд. воен. наук С.С. Петлик,
канд. техн. наук А.В. Соловьев, Б.Н. Корнеев*

Ph.D. I.V. Chernov, Ph.D. S.S. Petlik, Ph.D. A.V. Solovyov, B.N. Korneev

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Материалы аэрокосмической съемки являются одним из основных источников информации о местности при решении задач создания и обновления топографических карт и планов, создания фотодокументов местности и получения иной геоспациальной информации. Для эффективной обработки данных аэрокосмической съемки необходимо выполнять их геопривязку (геокодирование) с соответствующей точностью, для чего требуется определять элементы внешнего ориентирования снимков или целевой аппаратуры. Рассматриваются используемые способы определения элементов внешнего ориентирования применительно к местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений. Приводится обзор способов определения элементов внешнего ориентирования при аэрокосмической съемке участков местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений, разработанных на кафедре картографии Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, кадровые снимки, элементы внешнего ориентирования, летательные аппараты-марки, радионавигация, комплексирование.

Aerospace survey materials are one of the main sources of information about the area when solving the tasks of creating and updating topographic maps and plans, creating photographic documents of the area and obtaining other geospatial information. For effective processing of aerospace survey data, it is necessary to perform their geolocation (geocoding) with appropriate accuracy, which requires determining the elements of external orientation of images or target equipment. The methods used to determine the elements of external orientation in relation to an area unsecured by topogeodetic observations are considered. An overview is given of the methods for determining the elements of external orientation during aerospace surveying of terrain areas unsecured by topogeodetic observations developed at the Department of Cartography of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky.

Keywords: remote sensing, frame images, elements of external orientation, aircraft brands, radio navigation, integration.

Введение

Развитие науки и техники привело к широкому внедрению в деятельность сложных автоматизированных технических систем и комплексов, которые позволяют получить превосходство (техническое) над конкурирующей стороной [4]. Максимальная реализация потенциала сложных автоматизированных технических систем и комплексов, а следовательно, и эффективность их применения зависит от своевременного и полного обеспечения геопространственной информацией (ГПИ) [2], особенно в современных условиях: сокращения времени, отводимого на принятие управленческих решений, и повышения требований к детальности потребной ГПИ.

ГПИ — информация о географическом пространстве. То есть ГПИ характеризует протяженность, структурность геопространства, сосуществование и взаимодействие его элементов и является результатом преобразования геопространственных данных (ГПД) при решении конкретных задач. ГПИ, зафиксированная на определенном носителе в форме, пригодной для постоянного хранения, передачи и обработки, может использоваться в качестве исходных данных для дальнейшего преобразования [7].

Согласно Толковому словарю С.И. Ожегова и Большому толковому словарю С.А. Кузнецова, условия — это обстановка, в которой происходит, протекает что-либо. Так как человеческая деятельность пока неразрывно связана с географическим пространством, именно оно (геопространство) и определяет условия функционирования систем (УФС) в том числе сложных технических систем и комплексов. В монографии [8] УФС — определены как совокупность факторов (как правило, природного происхождения), оказывающих влияние на параметры и эксплуатационно-технические характеристики сложных технических систем и комплексов, а также на характеристики процессов, организуемых с их применением, и через них обуславливающие виртуальные результаты операции.

Описано множество фактов (примеров) недооценивания влияния окружающей среды (УФС) при планировании и ведении деятельности, следствием которого стали бесполезность имеющихся возможностей (в том числе технического превосходства) и понесенные убытки [1].

Оперативное получение детальной ГПИ и в частности информации о местности путем непосредственного обследования объектов местности и наземных измерений не всегда возможно. В таких случаях наиболее эффективным способом оперативного получения детальной ГПИ является выполнение аэро- или космической съемки (дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с применением целевой аппаратуры, установленной на летательных или космических аппаратах).

Элементы внешнего ориентирования съемочной камеры (аэрокосмических снимков) и связь системы координат снимков и объектов местности

Для получения стандартных продуктов ДЗЗ и продуктов ДЗЗ более высоких уровней обработки необходимо выполнять геопривязку (геокодирование) первичных данных (первичных аэро- или космических снимков), получаемых непосредственно с помощью аппаратуры ДЗЗ, а именно устанавливать связи пиксельных координат данных ДЗЗ с соответствующими им координатами на поверхности Земли.

Параметрами связи пиксельных координат данных ДЗЗ (системы координат (СК) снимка или камеры целевой аппаратуры) с соответствующими им координатами на поверхности Земли являются элементы внешнего ориентирования (ЭВО) снимка или камеры [14]:

- линейные ЭВО (координаты центра проекции S (точки съемки) в геодезической СК);
- угловые ЭВО (ω — поперечный угол наклона, α — продольный угол наклона; κ — угол разворота) (рисунок).

ЭВО определяют положение и ориентацию СК съемочной камеры в СК объекта (далее речь будет идти о геоцентрической СК).

В [14] отмечено, что в фотограмметрической литературе наряду с терминами — элементы внутреннего ориентирования и ЭВО съемочной камеры широко используются термины — элементы внутреннего ориентирования и ЭВО снимка. Использование этих терминов сложилось исторически, хотя с точки зрения строгой теории целесообразно пользоваться терминами — элементы внутреннего ориентирования и ЭВО съемочной камеры [14].

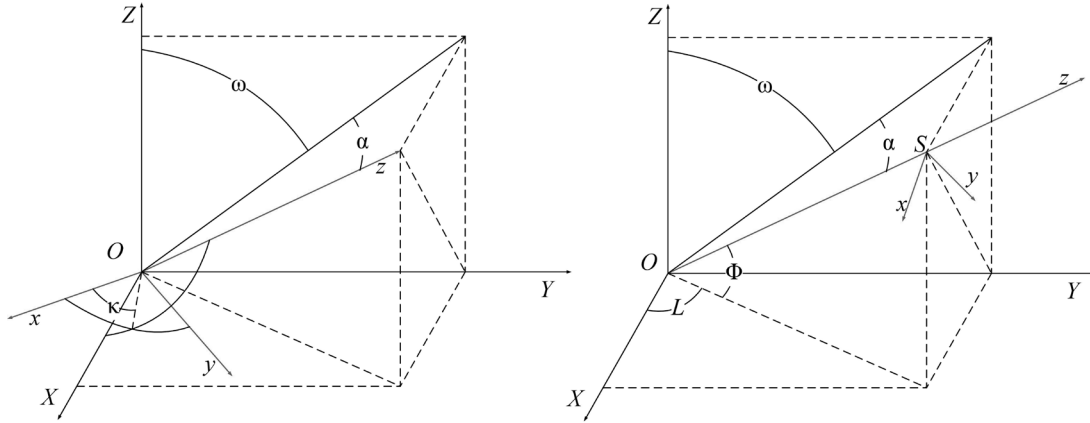


Рис. Связь геодезической прямоугольной СК с СК съёмочной камеры целевой аппаратуры (слева); связь геодезической прямоугольной и геоцентрической сферической СК с СК съёмочной камеры целевой аппаратуры при угле наклона снимка $\alpha_0 = 0^\circ$ (справа); O_{XYZ} — геодезическая СК;

Φ — сферическая широта; L — долгота; S — центр проекции; S_{xyz} — СК съёмочной камеры; ω — поперечный угол наклона (угол в координатной плоскости YZ между осью Z и проекцией оси z на плоскость YZ); α — продольный угол наклона (угол между проекцией оси z на плоскость YZ и осью z); κ — угол разворота снимка (угол в плоскости снимка между следом сечения этой плоскости (xy) плоскостью Xz и осью x снимка)

Для дальнейших рассуждений используется связь СК объекта местности с СК съёмочной камеры [14] (предполагаются последовательные повороты СК камеры на углы ω , α и κ):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{S_k} \\ Y_{S_k} \\ Z_{S_k} \end{pmatrix} + N \begin{pmatrix} X'_k \\ Y'_k \\ Z'_k \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} X'_k \\ Y'_k \\ Z'_k \end{pmatrix} = A_k \begin{pmatrix} x_k - x_{ok} \\ y_k - y_{ok} \\ -f_k \end{pmatrix},$$

$$A_k = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos Xx & \cos Xy & \cos Xz \\ \cos Yx & \cos Yy & \cos Yz \\ \cos Zx & \cos Zy & \cos Zz \end{pmatrix},$$

$$A_k = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \kappa & -\cos \alpha \sin \kappa & \sin \alpha \\ \sin \omega \sin \alpha \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & -\sin \omega \sin \alpha \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & -\sin \omega \cos \alpha \\ -\cos \omega \sin \alpha \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa & \cos \omega \sin \alpha \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa & \cos \omega \cos \alpha \end{bmatrix},$$

$$N = \frac{\sqrt{(B_Y Z'_{k+1} - B_Z Y'_{k+1})^2 + (B_X Z'_{k+1} - B_Z X'_{k+1})^2 + (B_X Y'_{k+1} - B_Y X'_{k+1})^2}}{\sqrt{(Y'_k Z'_{k+1} - Y_{k+1} Z'_k)^2 + (X'_k Z'_{k+1} - X'_{k+1} Z'_k)^2 + (X'_k Y'_{k+1} - X'_{k+1} Y'_k)^2}},$$

$$N = \frac{B_Y Z'_{k+1} - B_Z Y'_{k+1}}{Y'_k Z'_{k+1} - Y_{k+1} Z'_k} = \frac{B_X Z'_{k+1} - B_Z X'_{k+1}}{X'_k Z'_{k+1} - X'_{k+1} Z'_k} = \frac{B_X Y'_{k+1} - B_Y X'_{k+1}}{X'_k Y'_{k+1} - X'_{k+1} Y'_k}, \quad \left. \begin{matrix} B_X = X_{S_{k+1}} - X_{S_k}; \\ B_Y = Y_{S_{k+1}} - Y_{S_k}; \\ B_Z = Z_{S_{k+1}} - Z_{S_k}; \end{matrix} \right\}$$

где k и $k+1$ — стереопара снимков местности (объекта M);

S — центр проекции (точка фотографирования);

x_{ok}, y_{ok} — координаты главной точки снимка k ;

x_k, y_k — координаты точки m изображения на снимке k объекта M местности;

f_k — фокусное расстояние съёмочной камеры;

N — скаляр;

X'_k, Y'_k, Z'_k — координаты вектора, соединяющего центр S проекции (точка фотографирования) с точкой m изображения на снимке объекта M местности, в СК O_{XYZ} объекта M ;

B_x, B_y, B_z — координаты вектора, соединяющего точку фотографирования S_k с точкой фотографирования S_{k+1} ;

o — главная точка снимка (точка пересечения главного луча с точкой фотоснимка);

O_{XYZ} — СК снимка;

S_{XYZ} — СК съемочной камеры;

a_{ij} — направляющие косинусы пространственных углов в момент фотографирования между осями СК O_{XYZ} и СК камеры.

Способы определения элементов внешнего ориентирования, применяемые при аэрокосмической съемке

Для определения ЭВО применяются две группы способов. Первая группа — это вычисление ЭВО с использованием обратной фотограмметрической засечки (определение ЭВО по опорным точкам). Вторую группу способов можно охарактеризовать [3, 9] комплексным использованием для измерения ЭВО приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) (обеспечивающей синхронизацию времени и высокоточное измерение линейных элементов ЭВО); высокоточных звездных датчиков (ЗД), обеспечивающих высокочастотное измерение угловых ЭВО (для космических систем ДЗЗ); высокочастотных прецизионных датчиков угловой скорости (ДУС) и акселерометров.

Использование бортовых систем навигации на основе спутниковой аппаратуры

Бортовые системы навигации на основе приемников сигналов ГНСС используются для определения ЭВО как при космической, так и аэросъемке. Аппаратура приема сигналов ГНСС используется не только для синхронизации измерений и съемок и последующего определения линейных ЭВО в момент съемки, но и [3] для вычисления параметров программного наведения, автономного планирования сеансов съемки. В [3] приведены основные технические характеристики навигационного датчика БПСН-2-01 раз-

работки КБ «Навис»: общее число каналов приема — 24; погрешность определения координат (высоты) в автономном режиме — 10...15 м, в дифференциальном режиме — 1,5...2 м; погрешность определения скорости — 0,3 м/с; темп обновления навигационной информации — 10 Гц.

Орбитальную скорость $V_{КА}$ космического аппарата (КА) и скорость подспутниковой точки V_3 на поверхности Земли можно определить по формулам [6]

$$V_{КА} = V_1 \sqrt{\frac{R_3}{R_3 + H}}; \quad V_3 = V_{КА} \frac{R_3}{R_3 + H},$$

где V_1 — первая космическая скорость (7910 м/с);

R_3 — радиус Земли;

H — высота орбиты КА.

При высоте орбиты КА 500 км, за время обновления навигационной информации 0,1 с КА ДЗЗ преодолет путь около 761,8 м, а скорость подспутниковой точки V_3 на поверхности Земли будет ниже орбитальной скорости КА $V_{КА}$ в $R_3 / (R_3 + H)$ раз [6], то есть за время обновления навигационной информации 0,1 с подспутниковая точка на поверхности Земли преодолет путь около 706,6 м. Для аэросъемки при скоростях до 400 км/ч (около 111 м/с) за время обновления навигационной информации 0,1 с летательный аппарат комплекса ДЗЗ преодолет путь до 11,1 м. Описанные факты требуют высокоточной синхронизации моментов съемки и получения навигационных решений и/или возможность регистрации меток времени для моментов экспонирования (середины отрезка времени срабатывания затвора для кадровой съемки) с аппроксимацией/интерполяцией функции геопривязки с соответствующей точностью. Например, с использованием акселерометров диапазон измеряемых частот которых сейчас составляет от нескольких Гц до 30 кГц [15, 16].

Использование бортовых систем навигации на основе ЗД и ДУС. Для определения угловых ЭВО съемочных камер КА используются современные звездные приборы, которые определяют углы трехосной ориентации приборной системы координат относительно инерциальной системы координат в виде кватерниона ориентации со среднеквадратической погрешностью не более 1–2" поперек оси визирования [5, 6]. Погрешность определения ориентации вокруг оси визи-

рования ЗД в 4–10 раз больше, чем поперек оси [6], поэтому необходимо использовать два ЗД, установленных под углом 90° относительно друг друга, при таком взаимном расположении приборов возможно вычисление равноточной трехосной ориентации [6].

Также важно учитывать, что в условиях космического полета при измерениях угловых координат большое значение имеет сохранность углового взаимного положения оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) и ЗД. Нестабильность углового положения будет проявляться в основном вследствие температурных деформаций [6]. При использовании новых композитных материалов и систем термостатирования можно достичь стабильности конструкции на уровне не более $0,3\text{--}5''$ [5, 6].

При способности определять параметры ориентации с высокой точностью, недостатками ЗД является их работа в ограниченном диапазоне (угловых) скоростей [6] до $8^\circ/\text{с}$ рассмотрены в [5]. Неработоспособности звездных приборов в случаях засветки звездных приборов Солнцем и Землей [5]. ЗД применимы начиная с высот от 80 км [5]. Также существенным ограничением ЗД является частота обновления выходной информации (примерно $2\text{--}20$ Гц) [5, 6]. То есть с использованием только ЗД можно измерить лишь относительно низкочастотную составляющую изменений угловой ориентации съемочной аппаратуры.

Неучет наличия весьма вероятной высокочастотной составляющей изменений угловой ориентации съемочной аппаратуры может существенно ухудшить качество данных ДЗЗ и точность их геопривязки.

Так как угловое положение осей съемочной аппаратуры можно измерить практически в любой момент съемки, используя данные измерений с высокочастотного трехосного ДУСа, либо трех ортогонально установленных одноосных ДУС, с калибровкой по измерениям ЗД [6].

Требования к бортовым средствам определения ЭВО аэрофотоснимков

Аэрофотосъемочные системы (АС), используемые для создания и обновления топографических карт и планов, получения других пространственных данных, являются комплексом интегрированных технических и программных

средств, используемые на борту воздушного судна для выполнения топографической аэрофотосъемки (ГОСТ Р 59328–2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования).

В соответствии с ГОСТ Р 59328–2021 в АС должны входить следующие компоненты: цифровая аэрофотокамера, в том числе со средствами управления ей; гиropлатформа или аэрофотоустановка; аппаратно-программные средства навигации, обеспечивающие ведение воздушного судна по запроектированным аэрофотосъемочным маршрутам; бортовой приемник сигналов ГНСС. Также в состав топографической АС или комплекса бортового оборудования аэросъемки могут входить дополнительные (необязательные) компоненты, в частности инерциальное измерительное устройство (ИИУ); если в комплексе программно-аппаратных средств используется топографическая аэрофотокамера, ИИУ может входить в состав блока определения положения и ориентации, включающего в себя ИИУ и приемник сигналов ГНСС.

Если технические возможности воздушного судна позволяют, то при необходимости одновременно с указанным оборудованием на борту могут также эксплуатироваться другие средства дистанционного зондирования (например, лидар).

В исключительных случаях при съемке среднеформатной топографической аэрофотокамерой, а также когда аэрофотосъемочная система используется на борту беспилотного летательного аппарата, гиropлатформа или иная стабилизирующая платформа могут отсутствовать [9].

Цифровая аэрофотосъемочная камера сканерного типа должна иметь в своем составе блок определения положения и ориентации, основанный на использовании приемника сигналов ГНСС и ИИУ, удовлетворяющий следующим требованиям.

В качестве бортового приемника сигналов ГНСС, используемого для определения координат центров проекции S снимков, должен использоваться многочастотный, многосистемный приемник, удовлетворяющий следующим требованиям: частота измерений для пилотируемых воздушных судов (ВС) до 5 Гц, для беспилотных воздушных судов до 10 Гц; при наличии ИИУ допускается использовать приемник сигналов ГНСС с частотой 2 Гц с возможностью проводить кодовые и фазовые измерения псевдодальностей; обладать возможностью представления сырых данных спут-

никовых наблюдений, а также преобразования исходных данных спутниковых наблюдений из формата производителя приемника в обменный формат RINEX.

В случае использования метода РТК (кинематика реального времени) для бортовых спутниковых определений координат центров фотографирования должна обеспечиваться бесперебойная связь от корректирующей станции с латентностью не более 5 с (ГОСТ Р 59328–2021).

Также должна быть обеспечена возможность регистрации меток времени для моментов экспонирования (середины отрезка времени срабатывания затвора). Например, для беспилотных летательных средств, имеющих на борту помимо геодезического приемника и навигационный приемник, допускается регистрация меток времени навигационным приемником.

Инерциальное измерительное устройство, используемое на борту пилотируемого воздушного судна в комплексе с топографической аэрофотокамерой в составе блока определения положения и ориентации или отдельно для определения координат центров проекции снимков, должно удовлетворять следующим требованиям (ГОСТ Р 59328–2021): среднеквадратические погрешности по крену и тангажу — не должны превышать $0,005^\circ$ ($18''$), по курсу — не более $0,01^\circ$ ($36''$); частота измерений — не менее 100 Гц;

Важным требованием к АС является возможность получения оценки точности линейных и угловых параметров ЭВО каждого снимка при постобработке данных бортовых наблюдений, а также наличие возможности предоставления данных наблюдений ИИУ для постобработки в составе сырых данных бортового комплекса определения положения и ориентации или в виде отдельного файла (ГОСТ Р 59328–2021).

Обзор предлагаемых способов определения элементов внешнего ориентирования камеры при аэрокосмической съемке участков местности необеспеченной данными топогеодезических наблюдений

Для создания ортофотопланов, топографических планов и топографических карт крупных масштабов, а также иных пространственных данных с применением аэрофототопографической съемки установлены требования (ГОСТ

Р 59562–2021, приказ Росреестра от 23 октября 2020 года № П/0393) по геодезическому обеспечению. В соответствии с которыми для геодезического обеспечения аэрофототопографической съемки выполняются полевые геодезические работы: обследование пунктов, проверка сохранности пунктов и условий выполнения спутниковых измерений; спутниковые измерения на точках съемочной геодезической сети, на пунктах ГГС; планово-высотная геодезическая привязка опознаков (опорных и контрольных точек); спутниковые измерения на базовых станциях во время выполнения аэросъемки с целью относительного определения координат центров проекции аэрофотоснимков и/или начала системы координат лида в системе координат объекта съемки или ITRF, если используется метод PPP — позиционирование высокой точности (ГОСТ Р 59562–2021).

Описанный комплекс геодезических полевых работ является обязательным, даже при наличии на борту летательного аппарата, с которого производится съемка, систем навигации, определяющих ЭВО во время съемки (ГОСТ Р 59562–2021).

Однако на местности, не обеспеченной данными топогеодезических наблюдений и недоступной для непосредственного обследования и наземных измерений, невозможно выполнить требуемый для геодезического обеспечения аэрофототопографической съемки комплекс геодезических полевых работ. Для определения ЭВО съемочных камер (снимков) предлагаются следующие способы.

Подход определения ЭВО с применением навигационных датчиков ГНСС, минимум два из которых расположены на линии визирования съемочной камеры, или известны элементы приведения их к линии визирования съемочной камеры [12].

Вычисление линейных ЭВО выполняется по навигационным решениям датчиков ГНСС, приведенных к точке фотографирования S . При условии размещения фазовых центров антенн соосно с линией направления съемки поперечный угол наклона ω и продольный угол наклона α рассчитываются по формулам [10]

$$\sin \omega = \frac{Y}{\sqrt{Z^2 + Y^2}}, \quad \cos \alpha = \frac{X}{|S|}.$$

Угол поворота снимка можно рассчитать, используя навигационные решения с третьего датчика ГНСС [13].

Способ определения ЭВО камеры с применением летательных аппаратов-марок

Для уточнения геопривязки и контроля качества, в частности оценивания точности базовых продуктов ДЗЗ и продуктов ДЗЗ более высоких уровней обработки, как было отмечено выше, необходимо выполнять мероприятия по геодезическому обеспечению съемки, связанные с полевым обследованием зондируемой местности и наземным измерением на ней.

Если зондируемая местность недоступна для непосредственного полевого обследования и наземных измерений, то местность следует считать необеспеченной данными геодезических наблюдений.

Для создания с применением ДЗЗ ортофотопланов, топографических планов и топографических карт крупных масштабов, а также иных пространственных данных о местности, необеспеченной данными геодезических наблюдений, разработан и запатентован способ определения элементов внешнего ориентирования снимка по изображениям летательных аппаратов [11].

Определение (контроль, уточнение) ЭВО с применением разработанного способа достигается тем, что во время фотографирования между фотографируемой местностью (объектом) и летательным аппаратом ДЗЗ (ЛАДЗЗ) помещаются летательные аппараты-марки (ЛАМ) и, используя сигналы радионавигационных систем (РНС), определяют координаты местоположения ЛАМ и ЛАДЗЗ в момент фотографирования, а также данные о моменте времени фотографирования. Изображения ЛАМ на снимке используются как опознаки, а данные положения ЛАМ в момент фотографирования используются как планово-высотная геодезическая привязка опознаков, далее по которым используя метод обратной фотограмметрической засечки определяются ЭВО снимка.

В итоге способ позволяет определять координаты точек местности, создавать планы и карты без использования полевых геодезических работ в районе, на который создаются продукты ДЗЗ.

Численный эксперимент на макетных снимках доказал работоспособность способа и пока-

зал точность определения координат по макетным снимкам на уровне точности определения координат ЛАМ (при точности определения координат ЛАМ 2–7 м и 0,5–1,5 м, точность определения координат объектов местности по макетным снимкам составила около 2–7 м и 2–4 м соответственно).

Способ априорного оценивания углов наклона камеры при аэрокосмической съемке

При априорном оценивании точности аэрокосмической съемки, для исключения грубых ошибок определения ЭВО, исследования влияния положения точки съемки на погрешность определения координат по материалам ДЗЗ был разработан способ априорного оценивания углов наклона камеры при аэрокосмической съемке по координатам положения точки съемки.

При выполнении аэрокосмической съемки для картографирования местности угол наклона снимка α_0 не должен превышать 3° [14]. Приняв значение угла наклона снимка α_0 достаточно близким к нулю (рис.), можно получить зависимости между геоцентрическими сферическими координатами (сферическая широта Φ , долгота L) и углами наклона ω , α СК S_{xyz} камеры в момент фотографирования

$$\begin{cases} \sin \alpha = \cos L \cos \Phi; \\ \cos \omega = \frac{\sin \Phi}{\cos \alpha}. \end{cases} \quad (1)$$

Можно заметить, что при α , близком к $(\pi/2 + \pi)$, система уравнений (1) может не дать решений информации.

Заключение

Разработанные способы определения элементов внешнего ориентирования целевой аппаратуры летательных аппаратов дистанционного зондирования Земли при аэрокосмической съемке позволяют определять координаты объектов местности, не доступной для непосредственного полевого обследования и наземных измерений.

Такой подход позволит повысить качество ортофотопланов, топографических планов и топографических карт крупных масштабов, а так-

же иных пространственных данных с применением аэрокосмической съемки местности, не обеспеченной данными геодезических наблюдений.

Список источников

1. Елюшкин В.Г. Владеть боевым пространством и временем // Армейский сборник. 2020. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/280650/> (дата обращения: 31.03.2023).

2. Елюшкин В.Г. Геоинформационное обеспечение военных действий. От достаточности к превосходству. 2-е изд. дополн. и исправл. М. Самиздат, 2019. 166 с.

3. Заварзин В.И., Ли А.В. Методика определения элементов внешнего ориентирования для оперативной координатной привязки снимков оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/908.html>.

4. Зарудницкий В.Б. Факторы достижения победы в военных конфликтах будущего // Военная мысль. 2021. № 8. С. 34–47.

5. Бессонов Р.В., Белинская Е.В., Брысин Н.Н. и др. Звездные датчики ориентации в астроинерциальных системах летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 6. С. 9–20.

6. Куренков В.И. Модели для приближенной оценки характеристик точности системы управления движением космических аппаратов при оптико-электронной съемке земной поверхности // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сб. тр. XXIV Всерос. семинара по упр. движением и навигации летат. аппаратов, Самара, 17–18 июня 2021 г. Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2022. С. 77–84.

7. Чернов И.В., Осипов Г.К. Обобщенная функциональная модель систем геоинформационного обеспечения // Информация и космос. 2023. № 2. С. 78–83.

8. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.

9. Распопов В.Я., Матвеев В.В. Основы построения бесплатформенных инерциальных

навигационных систем. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280 с.

10. Способ определения угловых элементов внешнего ориентирования снимка: пат. 2704540 Рос. Федерация № 2019102111; заявл. 25.01.19; опубл. 29.10.19, Бюл. № 31. 7 с.

11. Способ определения элементов внешнего ориентирования снимка по изображениям летательных аппаратов: пат. 2789986 Рос. Федерация. № 2022106972; заявл. 16.03.2022; опубл. 14.02.2023, Бюл. № 5. 7 с.

12. Устройство для совместного определения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования съемочной аппаратуры: п. м. 186359 Рос. Федерация. № 2018134990; заявл. 03.10.18; опубл. 16.01.19, Бюл. № 2. 6 с.

13. Устройство для совместного определения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования съемочной аппаратуры : п. м. 188175 Рос. Федерация. № 2019104015; заявл. 13.02.19; опубл. 02.04.19, Бюл. № 10. 6 с.

14. Чибуничев А.Г. Фотограмметрия: учеб. для вузов. М.: Изд-во МИИГАиК, 2022. 328 с.

15. Пономарев Ю. Электроника НТБ. Выбор виброакселерометров: простое решение сложной задачи. 2015. № 2 (142). С. 116–121.

16. Чернов И.В., Осипов Г.К., Соловьев А.В., Титов К.И. Подход к определению элементов внешнего ориентирования кадровых снимков без использования планово-высотной основы на основе данных глобальных спутниковых радионавигационных систем // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 9–10. С. 47–51.

References

1. Yelyushkin V.G. To own combat space and time // Army collection. 2020. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/280650/> (date of access: 31.03.2023).

2. Yelyushkin V.G. Geoinformation support of military operations. From sufficiency to excellence. M.: Samizdat, 2nd edition, expanded and corrected. 2019. 166 p.

3. Zavarzin V.I., Li A.V. Methodology for determining the elements of external orientation for the operational coordinate reference of images of optoelectronic equipment for remote sensing of the Earth // Engineering Journal: Science and

Innovation, 2013. Issue 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/908.html> (date of access: 31.03.2023).

4. Zarudnitskiy V.B. Factors of achieving victory in military conflicts of the future // *Military thought*. 2021. No 8. Pp. 34–47.

5. Bessonov R.V., Belinskaya E.V., Brysin N.N. et al. Star orientation sensors in astroinertial systems of aircraft // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018. Vol. 15. No 6. Pp. 9–20.

6. Kurenkov V.I. Models for approximate estimation of the accuracy characteristics of the spacecraft motion control system for optoelectronic imaging of the Earth's surface // *Motion control and navigation of aircraft: proceedings of the XXIV All-Russian Seminar on Motion Control and Navigation of Aircraft*, Samara, June 17–18, 2021. Samara: Publishing House of Samara University, 2022. Pp. 77–84.

7. Chernov I.V., Osipov G.K. Generalized functional model of geoinformation support systems // *Information and space*. 2023. No 2. Pp. 78–83.

8. Petukhov G.B., Yakunin V.I. Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems. Moscow: AST, 2006. 504 p.

9. Raspopov V.Ya., Matveev V.V. Fundamentals of building free-form inertial navigation systems. Saint Petersburg: Concern Central Research Institute Electropribor, 2009. 280 p.

10. Method for determining the angular elements of the external orientation of an image: patent 2704540 Russian Federation. № 2019102111; appli-

cation 25.01.19; published 29.10.19, Bulletin № 31. 7 p.

11. A method for determining the elements of external orientation of an image from images of aircraft: patent 2 789 986 Russian Federation. № 2022106972; application 03.16.2022; published 02.14.2023, Bulletin № 5. 7 p.

12. Device for the joint determination of linear and angular elements of the external orientation of filming equipment: P. M. 186359 Russian Federation: IPC G01C 11/10; G01S 19/13 / Chernov I.V.; applicant and patent holder Chernov I.V. – № 2018134990; filed on 03.10.18; published on 16.01.19, Bulletin № 2.

13. A device for the joint determination of linear and angular elements of the external orientation of filming equipment: P. M. 188175 Russian Federation № 2019104015; filed on 02.02.19; published on 02.04.19, Bulletin № 10. 6 p.

14. Chibunichev A.G. Photogrammetry: textbook for universities. Moscow: MII GAIK Publishing House. 2022. 328 p.

15. Ponomarev Yu. NTB electronics. Choosing vibration accelerometers: a simple solution to a complex problem. 2015. No 2 (142). Pp. 116–121.

16. Chernov I.V., Osipov G.K., Solov'ev A.V., Titov K.I. Approach to the determination of external orientation elements of cadre images without using plan-altitude basis on the basis of global satellite radio-navigation systems data // *Defense Engineering Issues. Series 16. Technical means of counteraction to terrorism*. 2021. № 9–10. Pp. 47–51.