

## **Методика определения элементов внешнего ориентирования для оперативной координатной привязки снимков оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли**

© В.И. Заварзин, А.В. Ли

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Предложена методика для оперативного определения элементов внешнего ориентирования оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли, устанавливаемой на космических аппаратах, по измерениям навигационных приборов. Методика позволяет осуществлять восстановление изображения, координатную привязку и трансформирование снимков.*

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, координатная привязка, внешнее ориентирование.

**Введение.** В настоящее время дистанционное зондирование Земли является незаменимым инструментом при решении множества хозяйственных и тематических задач. Снимки высокой четкости, получаемые с помощью оптико-электронной аппаратуры (ОЭА), устанавливаемой на космических аппаратах, широко используются для детального спектрального исследования Земли, обнаружения чрезвычайных ситуаций, разведки полезных ископаемых, мониторинга природных ресурсов, тематического и специального картографирования. Решение подобных задач требует точного (сравнимого с пространственным разрешением снимка) знания координат объектов на получаемых снимках. Для извлечения из цифровых снимков максимального количества полезной информации необходимо устранять присутствующие в них перспективные и масштабные искажения, сдвиги изображения, смазы, размытия и т. д. Эти искажения типичны для реальной съемки, так как даже небольшое изменение ориентации платформы ОЭА приводит к существенным пространственным искажениям на снимке вследствие большого «плеча» при съемке с большой высоты.

Для геометрической коррекции изображений широко применяется двухэтапная коррекция с использованием полиномиальной модели искажений и наземных контрольных точек [1]. Данный метод, называемый полиномиальной коррекцией, имеет следующие недостатки:

- данные дважды подвергаются повторной дискретизации;
- не всегда удается подобрать полином необходимой степени точности;
- требуется большое количество наземных контрольных точек для обеспечения малого значения результирующей невязки.

Более сложный, но и более эффективный подход заключается в использовании физических моделей и учете всех поправок с помощью одноэтапной коррекции и повторной дискретизации. Однако для этого необходимо иметь подробную информацию об элементах ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования — зависимость координат точки на снимке от углового положения входной связки лучей — вычисляются во время фотограмметрической калибровки аппаратуры и заносятся в ее паспорт.

Элементы внешнего ориентирования — угловые и линейные координаты ОЭА в момент съемки, направление и разворот визирной оси ОЭА — определяют положение связки визирующих лучей в инерциальной системе координат.

Построение точной системы определения элементов внешнего ориентирования снимков возможно только при комплексном использовании:

- аппаратуры спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS, обеспечивающей синхронизацию времени и высокоточное измерение линейного положения ОЭА;
- высокоточных звездных датчиков (ЗД), обеспечивающих высокочастотное измерение угловой ориентации ОЭА;
- высокочастотных прецизионных датчиков угловой скорости (ДУС).

Эти инструменты включены в состав ОЭА, а данные измерений входят в пакеты видеоинформации (ВИ), передаваемые на наземные пункты приема. Для повышения точности в целях минимизации промежуточных звеньев конструкции их необходимо устанавливать непосредственно на корпус ОЭА с жесткой привязкой к приборной системе координат.

Для описания пространственного положения ОЭА используются следующие системы координат (СК).

Инерциальная СК (ИСК) служит для описания движения ОЭА относительно Земли. Ее начало совпадает с центром Земли, при этом ось  $Z_{и}$  направлена в сторону Северного полюса, ось  $X_{и}$  — на точку весеннего равноденствия, а ось  $Y_{и}$  дополняет систему до правой ортогональной СК [3] (рис. 1).

В приборной системе координат (ПСК) ОЭА оси ориентированы следующим образом (рис. 2): ось  $X_{а}$  направлена в надир, ось  $Y_{а}$  —

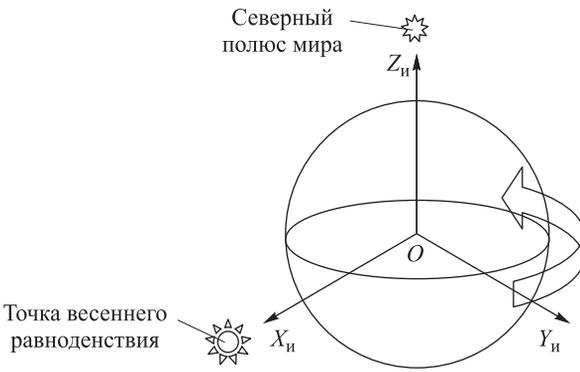


Рис. 1. Инерциальная СК

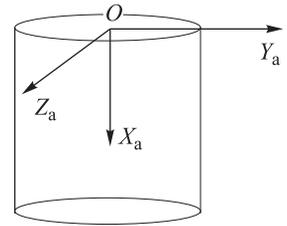


Рис. 2. ПСК ОЭА

против направления полета, а ось  $Z_a$  дополняет систему до правой ортогональной СК. Но следует помнить, что эта система вращается вместе с ОЭА, т. е. эти направления условны.

В СК звездных датчиков (ЗД) ось  $Z_{з.д}$  параллельна оптической оси объектива ЗД, оси  $X_{з.д}$  и  $Y_{з.д}$  лежат в плоскости крепления ЗД и образуют правую ортогональную СК (рис. 3).

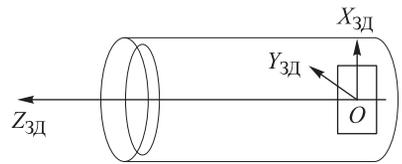


Рис. 3. СК ЗД

В горизонтальной СК (ГСК) начало координат совпадает с началом ПСК ОЭА, а ее оси направлены следующим образом: ось  $Y_Г$  по направлению полета, ось  $X_Г$  параллельно радиусу-вектору, проведенному из центра Земли по направлению местной вертикали в зенит, а ось  $Z_Г$  дополняет систему до правой ортогональной СК.

**Определение координат ОЭА в инерциальной СК.** Положение аппарата в ИСК описывается пятью параметрами (рис. 4): эксцентриситетом и наклонением орбиты, долготой восходящего узла, аргументом перигея и истинной аномалией [4].

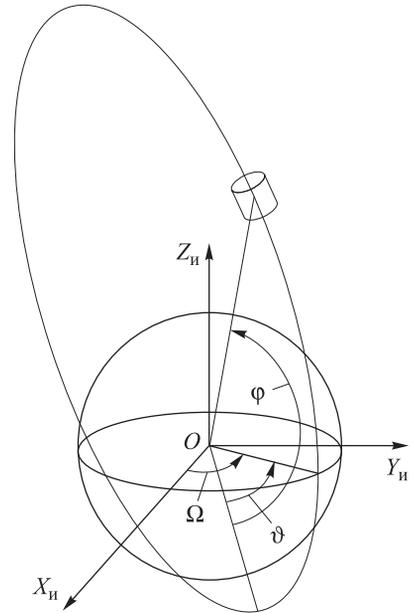


Рис. 4. Орбитальные элементы

Большая полуось орбиты определяет расстояние между точками апогея и перигея орбиты. Наклонение  $i$  орбиты — двугранный угол между плоскостью орбиты и плоскостью экватора, отсчитываемый от

плоскости экватора против хода часовой стрелки для наблюдателя, находящегося в точке восходящего узла. Восходящим узлом орбиты называют точку, в которой тело переходит из южного полушария в северное. Долгота восходящего узла  $\Omega$  определяет угловое расстояние между направлением на точку весеннего равноденствия и восходящим узлом орбиты. Аргументом перигея  $\vartheta$  называется угол в плоскости орбиты между направлением на перигей орбиты и радиусом-вектором восходящего узла. Истинная аномалия  $\varphi$  определяется угловым расстоянием между радиусом-вектором перигея орбиты и радиусом-вектором ОЭА. Совокупное определение орбитальных элементов в заданный момент времени полностью определяет положение ОЭА.

Матрица направляющих косинусов для перехода от горизонтальной к инерциальной СК имеет следующий вид:

$$M_{\text{ГСК} \rightarrow \text{ИСК}} = \begin{bmatrix} \cos \Omega \cos(\varphi - \vartheta) - \sin \Omega \sin(\varphi - \vartheta) \cos i & -\sin \Omega \sin i & -\cos \Omega \sin(\varphi - \vartheta) - \sin \Omega \cos(\varphi - \vartheta) \cos i \\ \sin \Omega \cos(\varphi - \vartheta) + \cos \Omega \sin(\varphi - \vartheta) \cos i & \cos \Omega \sin i & -\sin \Omega \sin(\varphi - \vartheta) + \cos \Omega \cos(\varphi - \vartheta) \cos i \\ \sin(\varphi - \vartheta) \sin i & -\cos i & \cos(\varphi - \vartheta) \sin i \end{bmatrix}.$$

Единичный вектор  $e$ , направленный из центра Земли в сторону ОЭА, имеет координаты  $(e_x, e_y, e_z)$ , определяемые орбитальными элементами.

$$\begin{aligned} e_x &= \cos \Omega \cos(\varphi - \vartheta) - \sin \Omega \sin(\varphi - \vartheta) \cos i; \\ e_y &= \sin \Omega \cos(\varphi - \vartheta) + \cos \Omega \sin(\varphi - \vartheta) \cos i; \\ e_z &= \sin(\varphi - \vartheta) \sin i. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом координаты ОЭА будут определяться вектором

$$\mathbf{R}_a = (R_{\oplus} + H)\mathbf{e}, \quad (2)$$

где  $R_{\oplus}(\Omega, \varphi, \vartheta, i)$  — радиус Земли в подспутниковой точке;  $H(\Omega, \varphi, \vartheta, i)$  — высота орбиты в данной точке.

Для синхронизации измерений и съемок, построения ориентации, вычисления программного наведения, автономного планирования сеансов съемки и определения навигации обязательным является использование автономной спутниковой системы навигации ГЛОНАСС/GPS. Ниже в качестве примера аппаратуры спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS приведены основные технические характеристики навигационного датчика БПСН-2-01 разработки КБ «Навис» [7]:

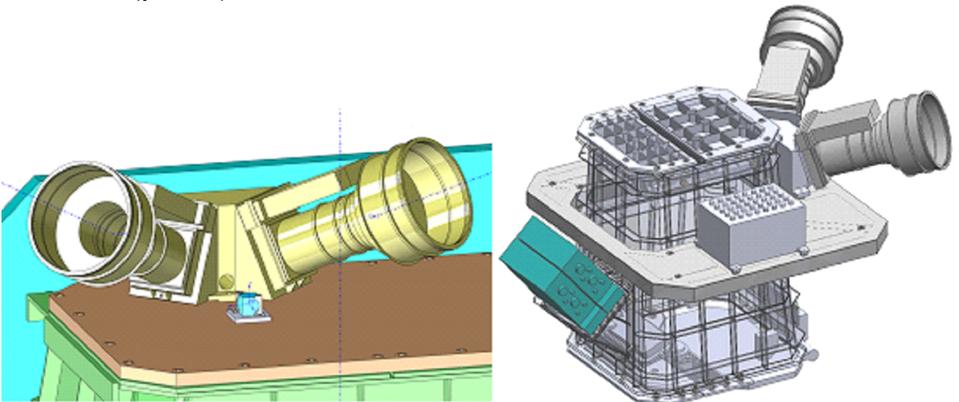
Общее число каналов приема .....	24
Погрешность определения координат/высоты, м:	
в автономном режиме .....	10/15
в дифференциальном режиме .....	1,5/2
Погрешность определения скорости, м/с.....	0,3
Темп обновления навигационной информации, Гц	10
Потребляемая мощность, Вт .....	Не более 15
Напряжение питания модуля приемника, В.....	27
Габаритные размеры модуля приемника, мм .....	190×263×55

**Определение направления и разворота визирной оси ОЭА.**

Ориентация визирной оси в пространстве определяется с использованием высокоточных ЗД, образующих собственную систему ориентации. ЗД представляют собой функционально законченные устройства.

Современные звездные приборы определяют угловые координаты не отдельной звезды, а углы трехосной ориентации приборной системы координат относительно инерциальной системы координат в виде кватерниона ориентации со среднеквадратической погрешностью не более 1''...2'' поперек оси визирования. Погрешность определения ориентации вокруг оси визирования ЗД ( $\sigma_z$ ) в 4–10 раз больше, чем поперек оси ( $\sigma_{x,y}$ ), поэтому необходимо использовать два ЗД, установленных под углом 90° относительно друг друга, при таком взаимном расположении приборов возможно вычисление равноточной трехосной ориентации [5].

Основной режим съемки аппаратуры — в надир, тип орбиты — круговая солнечно-синхронная. С учетом этого ЗД располагают с обратной стороны от входного окна объектива ОЭА (условно сверху) симметрично под углом 90° относительно друг друга, в сторону, противоположную направлению на Солнце, под углом над плоскостью местного горизонта, достаточным для обеспечения отстройки от диска Земли (рис. 5).



**Рис. 5.** Схемы расположения ЗД на корпусе ОЭА

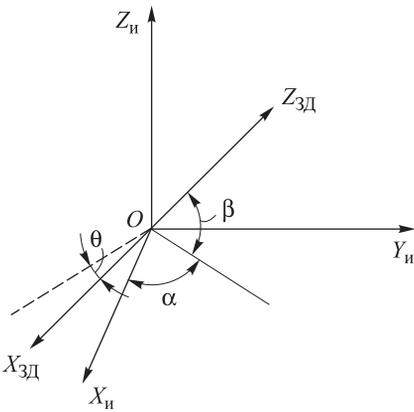


Рис. 6. ИСК и СК ЗД

В условиях космического полета при измерениях угловых координат большое значение имеет сохранность углового взаимного положения ОЭА и ЗД. Нестабильность углового положения будет проявляться в основном вследствие температурных деформаций. При использовании новых композитных материалов и систем термостатирования можно достичь стабильности конструкции на уровне не более 3".

ЗД осуществляет распознавание групп звезд и выдает матрицу направляющих косинусов углов трехосной ориентации системы координат ЗД относительно ИСК:

$$M_{ЗД \rightarrow ИСК} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \cos \theta - & \sin \alpha \sin \theta + & \cos \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta \sin \theta & +\cos \alpha \sin \beta \cos \theta & \\ -\cos \alpha \cos \theta - & \sin \alpha \sin \beta \cos \theta - & \cos \beta \sin \alpha \\ -\sin \alpha \sin \beta \sin \theta & -\cos \alpha \sin \theta & \\ \cos \beta \sin \theta & -\cos \beta \cos \theta & \sin \beta \end{bmatrix},$$

где  $\alpha, \beta$  — угловые координаты визирной оси ЗД (ось  $Z_{ЗД}$ ), угловые координаты светила, наблюдаемого ЗД (рис. 6);  $\theta$  — разворот вокруг оси  $Z_{ЗД}$ .

Единичный вектор  $q$ , направленный вдоль оси  $Z_{ЗД}$ , будет иметь в ИСК координаты

$$q_{ИСК} = (\cos \alpha \cos \beta, \sin \alpha \cos \beta, \sin \beta). \quad (3)$$

Для удобства расчетов введем обратную систему координат ОЭА. Ее оси противоположны по направлению осям ПСК ОЭА. Матрица перехода к ПСК имеет вид

$$M_{обр \rightarrow ПСК} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

На аппаратуру будет установлено в общем случае  $n$  ЗД. Каждый  $i$ -й ЗД установлен с координатами  $(A_i, h_i)$  в обратной СК (рис. 7).

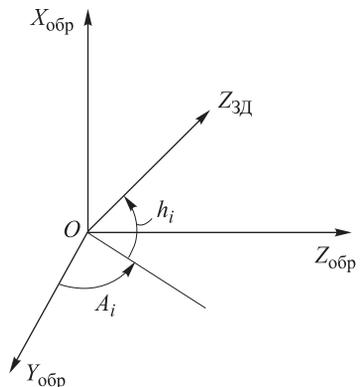


Рис. 7. Связь обратной СК и СК ЗД

Рассмотрим единичный вектор  $q_i$ , направленный вдоль оси  $Z_{3Дi}$ , его координаты в СК ЗД  $q_{3Дi} = (0, 0, 1)$ . В обратной СК координаты этого вектора

$$q_{обрi} = (\sin h_i, \cos A_i \cos h_i, \sin A_i \cos h_i).$$

Ориентация ОЭА определяется тремя углами вращения: тангажа, крена и рысканья. Разворот по тангажу на угол  $\Phi$  соответствует развороту системы координат вокруг оси  $Z_r$ , разворот по крену на угол  $\Psi$  соответствует развороту системы координат вокруг оси  $Y_r$ , разворот по рысканью на угол  $\Xi$  соответствует развороту вокруг оси  $X_r$ .

Матрица перехода от обратной к горизонтальной СК имеет вид

$$M_{обр \rightarrow ГСК} = \begin{bmatrix} \cos \Phi \cos \Psi & -\cos \Psi \sin \Phi & \sin \Psi \\ \cos \Xi \sin \Phi + & \cos \Phi \cos \Xi - & \\ + \cos \Phi \sin \Psi \sin \Xi & -\sin \Phi \sin \Psi \sin \Xi & -\cos \Psi \sin \Xi \\ \sin \Phi \sin \Xi - & \cos \Phi \sin \Xi + & \\ -\cos \Phi \cos \Xi \sin \Psi & + \cos \Xi \sin \Phi \sin \Psi & \cos \Psi \cos \Xi \end{bmatrix}.$$

Координаты вектора  $q_i$  в ГСК вычисляют по формуле

$$q_{ГСКi} = q_{обрi} M_{обр \rightarrow ГСК}. \quad (4)$$

При переходе к ИСК получим единичный вектор с координатами

$$q_{ИСКi} = q_{ГСКi} M_{ГСК \rightarrow ИСК}. \quad (5)$$

Координаты вектора  $q_{ИСКi}$  в соответствии с формулой (5) являются функцией  $f_1(\Phi, \Psi, \Xi, A_i, h_i, \Omega, \varphi, \vartheta, i)$ .

Каждый ЗД, согласно формуле (3), будет иметь следующие угловые координаты в ИСК:

$$q_{ИСКi} = (\cos \alpha_i \cos \beta_i, \sin \alpha_i \cos \beta_i, \sin \beta_i),$$

причем координаты вектора  $q_{ИСКi}$  являются функцией  $f_2(\alpha_i, \beta_i)$ .

Приравняв координаты вектора  $q_{ИСКi}$  по соответствующим осям, получим систему уравнений, из которой можно найти углы разворота  $\Phi$ ,  $\Psi$  и  $\Xi$  по тангажу, крену и рысканью соответственно. По измерениям двух ЗД можно составить четыре независимых уравнения с тремя неизвестными. Углы  $\Phi$ ,  $\Psi$  и  $\Xi$  определяют направление и разворот визирной оси ОЭА в ИСК.

Согласно работе [6], погрешности определения координат вектора  $q_{ИСКi}$  можно записать в виде

$$\delta q_{ИСКi} = \left[ \left( \frac{\partial f_1}{\partial \Phi} \delta \Phi \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial \Psi} \delta \Psi \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial \Xi} \delta \Xi \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial A_i} \delta A_i \right)^2 + \right.$$

$$+ \left( \frac{\partial f_1}{\partial h_i} \delta h_i \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial \Omega} \delta \Omega \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial \Phi} \delta \Phi \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial \vartheta} \delta \vartheta \right)^2 + \left( \frac{\partial f_1}{\partial i} \delta i \right)^2 \Big]^{1/2},$$

$$\delta q_{\text{иск}i} = \sqrt{\left( \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_i} \delta \alpha_i \right)^2 + \left( \frac{\partial f_2}{\partial \beta_i} \delta \beta_i \right)^2},$$

где  $\frac{\partial f_1}{\partial \Phi}, \frac{\partial f_1}{\partial \Psi}, \frac{\partial f_1}{\partial \Xi}, \dots, \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_i}, \frac{\partial f_2}{\partial \beta_i}$  — частные производные функций  $f_1$  и  $f_2$  по соответствующим переменным;  $\delta \Phi, \delta \Psi, \delta \Xi, \dots, \delta \alpha_i, \delta \beta_i$  — погрешности измеряемых величин.

Приравняв выражения для  $\delta q_{\text{иск}i}$  по трем осям, находим погрешности определения углов  $\Phi, \Psi$  и  $\Xi$ .

Ниже приведены основные характеристики ЗД производства ИКИ БОКЗ-М60/1000 [8]:

Погрешность определения ориентации (при рабочих угловых скоростях) $\sigma_{xy}/\sigma_z$ , угл. с .....	1,3/7,5
Рабочие угловые скорости, град/с .....	Не более 1,0
Частота обновления, Гц .....	4
Поле зрения, град .....	16×16
Масса, кг .....	4,8
Потребляемая мощность, Вт .....	18
Габариты, мм .....	432×240×217

**Определение колебаний визирной оси в процессе эксплуатации.** ЗД способен определять параметры ориентации с высокой точностью, но при благоприятных условиях освещенности и в ограниченном диапазоне скоростей. Существенным ограничением ЗД является частота обновления выходной информации (примерно 2...20 Гц). Поэтому, имея лишь ЗД, можно измерить относительно низкочастотную составляющую изменений угловой ориентации аппаратуры. Присутствие высокочастотной составляющей изменений угловой ориентации ОЭА весьма вероятно и может существенно ухудшить качество изображения и точность геопривязки.

Используя данные измерений с высокочастотного трехосного датчика угловой скорости (ДУС), либо трех ортогонально установленных одноосных ДУС, с калибровкой по измерениям ЗД можно измерить угловое положение осей ОЭА практически в любой момент съемки.

Для минимизации конструктивных и тепловых погрешностей необходимо устанавливать ДУС на опорной поверхности ОЭА внутри ее теплозащитной оболочки. Такое решение позволяет обеспечить высокую стабильность положения осей по отношению к ПСК ОЭА в

процессе эксплуатации. Оси чувствительности ДУС должны совпадать с осями ПСК ОЭА. В таком положении ДУС будет измерять в каждый момент времени скорость приращения углов направления и разворота визирной оси ОЭА —  $\omega_\Phi$ ,  $\omega_\Psi$ ,  $\omega_\Xi$ .

Значения углов в каждый момент времени  $t$  определяются по формулам

$$\begin{aligned}\Phi(t) &= \Phi(t_0) + \omega_\Phi(t_0)\Delta t; \\ \Psi(t) &= \Psi(t_0) + \omega_\Psi(t_0)\Delta t; \\ \Xi(t) &= \Xi(t_0) + \omega_\Xi(t_0)\Delta t,\end{aligned}\tag{6}$$

где  $\Delta t$  — промежуток времени между двумя измерениями ДУС;  $t_0 = t - \Delta t$  — время предыдущего измерения угла.

Все измерения необходимо синхронизировать по бортовой шкале времени и калибровать по измерениям ЗД.

Ниже приведены основные характеристики прибора БЧЭ-1000 производства российской компании «Оптолинк», построенного на базе трех одноосных волоконно-оптических гироскопов ОИУС-1000 [9]:

Диапазон измеряемой угловой скорости, град/с .....	$\pm 90$
Дрейф нулевого сигнала при постоянной температуре, град/ч .....	Менее 0,01
Дрейф нулевого сигнала, град/ч ( $1\sigma$ ) .....	Менее 0,03
Спектральная плотность мощности шума, град/ч <sup>1/2</sup> .....	0,0007
Полоса пропускания, Гц .....	100
Напряжение питания, В .....	5 или 24
Масса, кг .....	5
Габариты, мм .....	215×217×175

**Обработка изображений.** Любые колебания и развороты визирной оси в процессе съемки приводят к движению изображения в плоскости приемника изображения, который обычно представляет собой матричное фотоприемное устройство (ФПУ). В том случае, если за время интегрирования сигнала изображение смещается в плоскости приемника изображения, происходит смазывание и размытие мелких деталей изображения, смещение изображения моделируется с помощью одномерной функции рассеяния ( $\Phi P_{\text{смещ}}$ ), имеющей вид прямоугольного импульса [1],

$$\Phi P_{\text{смещ}}(y) = \text{rect}(y/s_y);$$

$$\Phi P_{\text{смещ}}(x) = \text{rect}(x/s_x),$$

где  $s_x$ ,  $s_y$  — пространственное размытие изображения в фокальной плоскости, определяемое как сдвиг изображения по ФПУ в долях пиксела за время интегрирования.

По данным измерений ДУС, для пиксела с координатами  $(x, y)$  пространственное размытие вычисляется по формулам

$$s_y = [f \operatorname{tg}(\omega_{\Phi} \Delta t) + y \operatorname{tg}(\omega_{\Xi} \Delta t)] / w_y;$$

$$s_x = [f \operatorname{tg}(\omega_{\Psi} \Delta t) + x \operatorname{tg}(\omega_{\Xi} \Delta t)] / w_x,$$

где  $f$  — фокусное расстояние объектива ОЭА;  $\Delta t$  — время интегрирования;  $(w_x \times w_y)$  — размер пиксела ФПУ.

Выполнив преобразование Фурье от  $\Phi P_{\text{смещ}}$  изображения, получим

$$\text{ПФ}_{\text{смещ}}(v_y) = \operatorname{sinc}(\pi s_y v_y);$$

$$\text{ПФ}_{\text{смещ}}(v_x) = \operatorname{sinc}(\pi s_x v_x),$$

где  $v$  — частота сигнала.

Задача восстановления изображения состоит в том, чтобы устранить эффекты размытия изображения, вызванные смещением сцены съемки по ФПУ и найти наилучшую оценку сигнала  $n_{\text{восст}}$  для каждого пиксела. Самый простой способ заключается в применении к фурье-образу снимка обратного фильтра  $W_{\text{обр}}$ :

$$N_{\text{восст}}(v_x, v_y) = \frac{1}{\text{ПФ}_{\text{смещ}}} N = W_{\text{обр}} N,$$

или в применении обратного преобразования Фурье и теоремы о свертке

$$n_{\text{восст}}(x, y) = \tilde{F}^{-1}[W_{\text{обр}} N] = \tilde{F}^{-1}[W_{\text{обр}}] n. \quad (10)$$

Здесь  $n$  — значение сигнала с каждого пиксела изображения;  $N$  — фурье-образ снимка;  $N_{\text{восст}}$  — фурье-образ восстановленного изображения;  $\tilde{F}^{-1}$  — оператор обратного преобразования Фурье.

Кроме обратного фильтра также можно использовать фильтр Винера, который содержит низкочастотную компоненту, зависящую от отношения сигнал/шум самого сигнала, что позволяет подавить шум на изображении. Использование обратного фильтра должно привести к существенному повышению четкости изображения.

После восстановления изображения производится геометрическая обработка снимка по вычисленным ранее элементам внешнего ориентирования. Элементы внешнего ориентирования определяют координаты визирной оси. Аналитически, используя формулы (1) и (2), можно найти координаты центральной точки снимка, откуда по известным элементам внутреннего ориентирования определяются координаты всех остальных точек снимка. Далее при необходимости

проводится геометрическое трансформирование — перевычисление координат, измеренных на наклонном снимке на строго горизонтальный снимок. После этого, зная формулы перехода, можно осуществить координатную привязку снимка к любой необходимой СК. Выбирая разные СК или определяя положение координатных осей, можно получить различные зависимости между координатами точек снимка и местности, сфера применения которых ограничена решением соответствующих локальных задач.

**Выводы.** Предложена методика оперативного определения элементов внешнего ориентирования оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли, которая позволяет осуществлять коррекцию и координатную привязку снимков, трансформировать измеренные на наклонном снимке координаты на строго горизонтальный снимок, что существенно упрощает решение фотограмметрических задач. Геометрическая коррекция, координатная привязка, восстановление изображения являются одними из самых сложных процедур при анализе снимков дистанционного зондирования Земли, от эффективности которых в конечном итоге зависят достоверность и оперативность распознавания объектов или ситуаций, попадающих в поле обзора оптико-электронной аппаратуры.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шовенгердт Р.А. *Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений*. Москва, Техносфера, 2010, 560 с.
- [2] Назаров А.С. *Фотограмметрия: пособие для студентов вузов*. 2-е изд., перераб. и доп. Минск, ТетраСистемс, 2010, 400 с.
- [3] РД 50-25645.325–89. *Методические указания. Спутники Земли искусственные. Основные системы координат для баллистического обеспечения полетов и методика расчета звездного времени*. Москва, Изд-во стандартов, 1990, 19 с.
- [4] Солодов А.В., ред. *Инженерный справочник по космической технике*. Москва, Воениздат, 1977, 430 с.
- [5] Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Дятлов С.А., Куркина А.Н., Сазонов В.В. Алгоритмы совместной обработки данных измерений звездных координаторов и микроэлектромеханических датчиков угловой скорости. *Сб. тр. Второй Всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов»*, 2011, с. 36.
- [6] Курепин В.В., Баранов И.В., Самолетов В.А., ред. *Обработка экспериментальных данных*. Санкт-Петербург, СПбГУНиПТ, 2003, 57 с.
- [7] [http://www.navis.ru/catalog\\_13\\_18.html](http://www.navis.ru/catalog_13_18.html)
- [8] [http://ofo.ikiweb.ru/bokz\\_table.php](http://ofo.ikiweb.ru/bokz_table.php)
- [9] <http://www.optolink.ru/ru/katalog/katalog/bloki-chuvstvitelnyh-elementov>

Статья поступила в редакцию 03.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

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>

**Заварзин Валерий Иванович** родился в 1956 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1980 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований», декан факультета «Оптико-электронное приборостроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных публикаций в области оптического приборостроения.

**Ли Александр Викторович** родился в 1987 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2010 г. Аспирант кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 10 научных публикаций. e-mail: [alvik87@gmail.com](mailto:alvik87@gmail.com)