

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕМЕТРИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ КАМЕР ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дмитрий Николаевич Раков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (951)907-21-09, e-mail: dir142@211.ru

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Станислав Олегович Шевчук

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 67, и. о. зав. отделом геодезического обеспечения геолого-геофизических работ, тел. (383)22-45-86, e-mail: staspp@211.ru

Рассмотрены аспекты использования цифровых неметрических фотокамер для определения высоты выносной вертолетной платформы над земной поверхностью. В частности, рассмотрена возможность применения фотокамер со шторно-щелевым затвором с учетом геометрических искажений, вносимых им.

Ключевые слова: неметрические камеры, шторно-щелевой затвор, аэросъемка, фотограмметрия, альтиметрия, истинная высота, геодезическое обеспечение.

USE NON-METRIC DIGITAL CAMERAS DURING AIRBORNE GEOPHYSICAL RESEARCHES

Dmitry N. Rakov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a post-graduate student of department of physical geodesy and remote sensing, tel. (951)907-21-09, e-mail: dir142@211.ru

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof. of department of physical geodesy and remote sensing, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials, 630108, Russia, Novosibirsk, 67 Krasniy Prospekt, acting as head of department of geodetic maintenance of geological and geophysical works, tel. (383)22-45-86, e-mail: staspp@211.ru

In article the aspects of the use of non-metric digital camera for remote helicopter platform's height-above-ground determination are considered. The possibility of using cameras with a focal-plane shutter proposed with review of geometric distortions introduced by them.

Key words: non-metric camera, focal-plane shutter, aerial survey, photogrammetry, height-above-ground, altimetry, geodetic support.

Электромагнитная разведка методом становления электрического поля в комплексе с магнито- и спектрометрией с использованием вертолетных разведочных платформ является тенденцией развития опережающих поисково-оценочных технологий. Эти системы характеризуются высокой разрешающей способностью, глубиной исследований, и позволяют оперативно оценивать перспективность труднодоступных территорий [1]. В публикациях [1,2,3,4] рассмотрен аэроэлектромагнитный комплекс «Импульс-Аэро», в частности, вопросы, связанные с навигационным и геодезическим обеспечением аэрогеофизической съемки [5,6].

Появление цифровых съёмочных систем и методов автоматической обработки фотограмметрических измерений создало возможность их применения для эффективного решения некоторых задач навигационно-геодезического обеспечения аэрогеофизики, трудно реализуемых посредством ГНСС и других методов.

В частности, отдельной нетривиальной задачей при проведении аэроэлектромагнитной съемки является определение истинной высоты (высоты над земной поверхностью) выносной приемно-генераторной конструкции (платформы) электромагнитного комплекса. Согласно [5], определение истинной высоты платформы, при ее перемещении на уровне 50 м, должно производиться с предельной погрешностью, не превышающей 1,2 м ($СКП\ 2\sigma \leq 0,6\ м$), что обеспечивает относительную точность измерения сигнала 5%.

Для решения данной задачи были предложены фотограмметрический способ и устройство, описанные в публикациях [7,8,9]. На указанные способ и устройство получен патент РФ [10].

Способ основан на синхронной съёмке земной поверхности парой предварительно откалиброванных неметрических камер, закреплённых на выносной платформе. При этом расстояние между ними остаётся неизменным на протяжении всего полёта, а угловые элементы внешнего ориентирования системы определяются посредством ИНС (с коррекцией по измерениям ГНСС).

Блок-схема, иллюстрирующая работу устройства, основанного на данном способе и размещение камер на платформе типа «Импульс-Аэро» показаны на рис. 1 и 2.

Преимуществами указанного способа является невысокая стоимость, независимость от углового положения платформы и наличие избыточной информации (например, на основе снимков может составляться накладной монтаж исследуемой территории для анализа при обработке геофизических измерений).

Факторы, осложняющие реализацию фотограмметрического способа определения истинных высот платформы, были определены и проанализированы в [11] на уровне теоретического моделирования. Среди них: погрешности фотограмметрического метода (включающие дисторсию объективов камер), погрешности блока ИНС; погрешности измерения базиса В на земле; погрешности угловой калибровки системы (наличие углов между начальным положением камер и ИНС); деформации платформы; асинхронность экспонирования камерами; погрешности синхронизации системы по времени с другими элементами аэроэлектроразведочного комплекса.

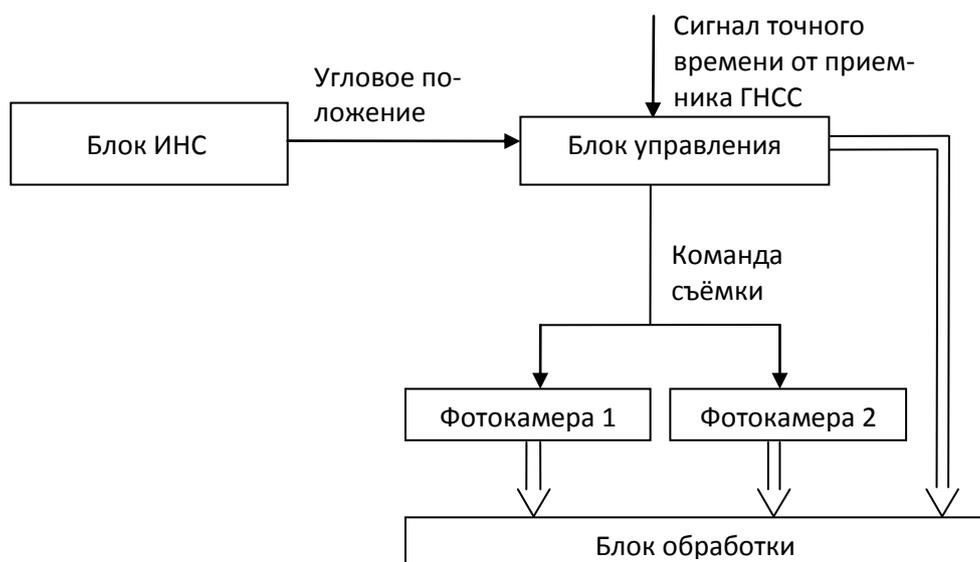


Рис. 1. Состав и схема функционирования устройства, определяющего превышение выносной аэрогеофизической платформы над земной поверхностью

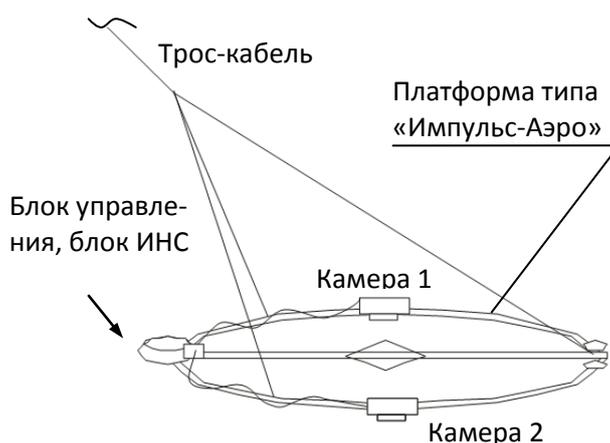


Рис. 2. Размещение блоков фотографического устройства на платформе

Исследования способа и устройства подтвердились при практических испытаниях способа в 2013 году при выполнении аэрогеофизических работ в Курагинском районе Красноярского края, однако появились и новые, ранее не учтенные факторы, понижающие точность и надежность измерения высоты с помощью неметрических камер, связанных в первую очередь с их конструктивными особенностями.

В настоящее время в неметрических камерах применяются электронные, центральные и шторно-щелевые затворы. Электронные затворы, как правило, используются в камерах компактного класса, не позволяющие получать снимки с высоким фотографическим качеством. Центральный затвор для неметрических камер является «экзотическими» и реализуется в очень небольшом количестве моделей компактного класса, например Sony RX1. Большинство профессиональных и полупрофессиональных камер с матрицей большого размера

оснащаются шторно-щелевыми затворами. К таким и относится камера Sony NEX-3, которая и использовалась в аэроэлектромагнитном комплексе «Импульс-Аэро».

Для аэрофотосъемки с малых и беспилотных летательных аппаратов оптимальным вариантом является использование цифровых неметрических камер с центральным затвором. Такие затворы обеспечивают одновременное экспонирование всего поля снимка, что, в свою очередь, позволяет обеспечить достаточное качество фотоматериала для фотограмметрических построений. На длинных выдержках затворы такого типа при движении носителя вносят смаз изображения, которые можно учесть при обработке. Интенсивность смаза зависит от выдержки, скорости движения носителя и высоты фотографирования.

Однако наибольшее распространение из-за оптимального критерия «цена-качество» получили неметрические зеркальные и гибридные беззеркальные камеры, одной из конструктивных особенностей которых является шторно-щелевой затвор. Стабильность его работы играет большую роль в формировании изображения. Вследствие того, что изображение при работе такого затвора формируется не одновременно, как с применением центральных затворов, а последовательно за счет движения щели, в момент фотографирования при движении носителя происходит нарушение ортоскопии изображения [12,13]. Виды нарушений ортоскопии изображения вносимых в изображение квадрата при различных направлениях движения камеры можно увидеть на рис. 3.

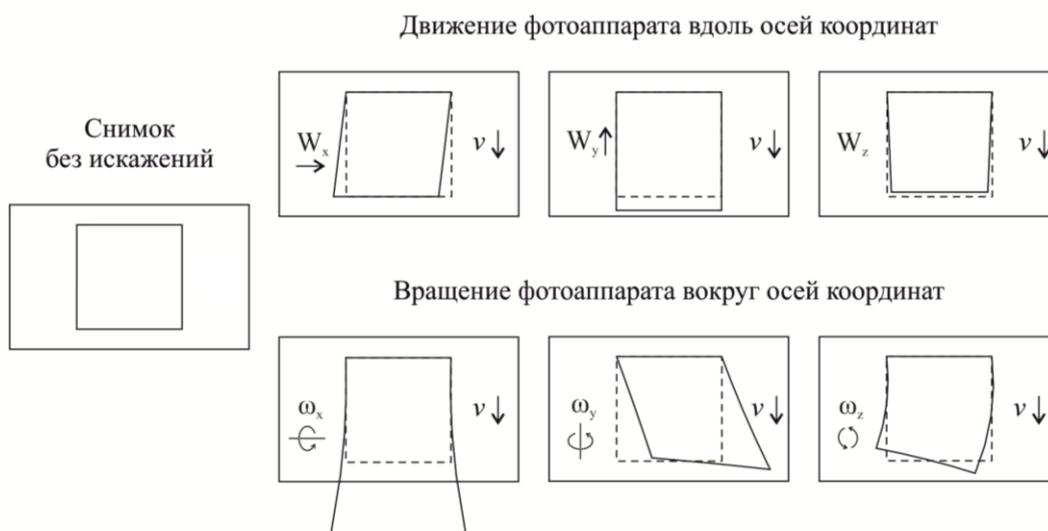


Рис. 3. Нарушения ортоскопии изображения фотоаппаратов со шторно-щелевым затворами при собственном движении камеры

Математически эти зависимости можно выразить в следующем виде:

$$W_x: \quad \Delta x = f \cdot \frac{W_x}{H} \cdot \frac{y}{v_{ш}}, \quad (1)$$

$$W_y: \quad \Delta y = f \cdot \frac{W_y}{H} \cdot \frac{y}{v_{ш}}, \quad (2)$$

$$W_z: \quad \begin{aligned} \Delta x &\approx -x \cdot \frac{W_z \cdot y}{H \cdot v_{ш}}, \\ \Delta y &\approx -y \cdot \frac{W_z \cdot y}{H \cdot v_{ш}}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\omega_x: \quad \Delta y = f \cdot \omega_x \cdot \frac{y}{v_{ш}}, \quad (4)$$

$$\omega_y: \quad \Delta x = f \cdot \omega_y \cdot \frac{y}{v_{ш}}, \quad (5)$$

$$\omega_z: \quad \begin{aligned} \Delta x &\approx -y \cdot \omega_z \cdot \frac{y}{v_{ш}}, \\ \Delta y &\approx x \cdot \omega_z \cdot \frac{y}{v_{ш}}. \end{aligned} \quad (6)$$

где f – фокусное расстояние, пикс;

W_x, W_y, W_z – линейная скорость движения камеры в системе координат снимка, м/с;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловая скорость вращения камеры, в системе координат снимка, рад/с;

H – высота фотографирования, м;

$v_{ш}$ – скорость движения шторки затвора, пикс/с;

x, y – координаты точек в системе координат снимка, пикс.

Выражения 3-6 представлены в несколько упрощенном виде.

Особенностью альтиметрической системы платформы «Импульс-Аэро» является синхронная съемка двумя камерами. Очевидно, что на точность определения высоты платформы будут оказывать влияние не абсолютные величины смещений точек на снимке в следствии нарушения ортоскопии, а разность их функционалов:

$$h = \frac{B_Z}{2} - Z_A = \frac{B_Z}{2} - (-f) \cdot \frac{B_X + \frac{x_2^0}{f} \cdot B_Z}{p^0} = \frac{B_Z}{2} + f \cdot \frac{B_X + \frac{x_2^0}{f} \cdot B_Z}{p^0}, \quad (7)$$

где B_X, B_Z – проекции базиса на оси X, Z;

Z_A – координата Z точки в заданной системе координат;

x_2^0 – координата x в системе координат горизонтированного снимка;

p^0 – горизонтированный продольный параллакс.

Ключевым параметром в данной формуле является горизонтированный продольный параллакс, который вычисляется как разность горизонтированных координат точек на первом и втором снимках по оси x .

Таким образом, если камеры сориентированы одинаково, то есть матрицы направляющих косинусов, определенных через элементы взаимного ориентирования снимков, будут приблизительно равны ($A_1' \approx A_2'$), то линейные и угловые движения в системе координат снимков будут равны друг другу, а ошибки первой и второй камеры, вызванные нарушением ортоскопии, будут взаимно вычитаться. И наоборот, если камеры развернуты вокруг оси Z на 180° относительно друг друга, то линейные и угловые скорости первой и второй камеры по осям x и y будут противоположны по знакам.

Рассчитаем допустимые значения линейных и угловых скоростей для различных вариантов размещения камер Sony NEX-3 на платформе «Импульс-Аэро» исходя из требований к точности альтиметрических измерений.

Предельной ошибкой определения высоты платформы вызванной влиянием шторно-щелевого затвора $m_{h_{ШЩЗ}}$ примем 0,1 от допустимой СКО определения высоты платформы m_h :

$$m_{h_{ШЩЗ}} = \frac{m_h}{10} = 5. \quad (8)$$

Для расчетов примем следующие условия: высота фотографирования 50 м; $B_x = 15$ м; $B_z = 0$ м; $f = 3000$ пикс (Sony NEX-3); продольный и поперечный углы наклона платформы 15° . Тогда:

$$m_h^2 = \left(-f \cdot \frac{B_x}{p^{\circ 2}} \right)^2 \cdot m_{p^\circ}^2 \Rightarrow \quad (9)$$

$$m_{p^\circ_{ШЩЗ}} = \frac{m_{h_{ШЩЗ}}}{f \frac{B_x}{p^{\circ 2}}}$$

Для указанных условий СКО определения горизонтированного продольного параллакса не должна превышать 0,9 пикс.

Предельные значения рассчитанных параметров движения платформы для различных вариантов размещения фотоаппаратов приведены в табл. 1.

Предельные значения параметров движения в зависимости от положения камер относительно друг друга

| Случаи съёмки | W_x , м/с | W_y , м/с | W_z , м/с | ω_x , гр./с | ω_y , гр./с | ω_z , гр./с |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $\kappa_1=0$ $\kappa_2=0$ | 47 | 129 | 52 | 148 | 53 | 740 |
| $\kappa_1=0$ $\kappa_2=180$ | 8 | 96 | 291 | 110 | 8 | 980 |
| $\kappa_1=90$ $\kappa_2=90$ | 10 | 69 | 45 | 79 | 11 | 490 |
| $\kappa_1=80$ $\kappa_2=270$ | 7 | 65 | 66 | 74 | 8 | 520 |

Ось y соответствует преимущественному направлению движения платформы во время съёмки. Из всех рассмотренных вариантов предпочтение следует отдать первому варианту как наиболее устойчивому к поперечному сносу и продольному кручению (относительно траектории полета). Остальные предельные значения параметров значительно превышают параметры, которые могут возникать в процессе эксплуатации.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о применимости неметрических камер со шторно-щелевым типом затвора для выполнения альтиметрических измерений на платформе «Импульс-Аэро».

В целом, методика, включающая определение высоты фотограмметрическим способом (наряду с измерениями остальных навигационно-геодезических параметров посредством ГНСС и радиовысотомера), обеспечивает определение навигационно-геодезических параметров аэрогеофизической съёмки с необходимой точностью и в значительной мере повышает качество и эффективность аэрогеофизических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тригубович Г.М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования [Текст] // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.
2. Особенности построения высокоточной аэрогеофизической системы серии «импульс-аэро» / С. В. Барсуков, А. А. Белая, Ю. Ю. Дмитриев, А. С. Сверкунов, Е. Н. Махнач, Г. М. Тригубович // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 224–229.
3. Тригубович Г. М., Персова М. Г., Саленко С. Д. Аэрогеофизические вертолетные платформы серии «Импульс» для поисково-оценочных исследований [Текст] // Приборы и системы разведочной геофизики – 2006. – № 2(16) – С. 18–21.
4. Kamenetsky F. M. Transient Geo-Electromagnetics [Text] / F.M. Kamenetsky, E.H. Stettler, G.M. Trigubovich – Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. - Munich, 2010. - 296 p., 2010. - 296 с.
5. Навигационно-геодезическое обеспечение аэрогеофизических исследований / Г.М. Тригубович, С.О. Шевчук, А.А. Белая [и др.] // Геология и Минерально-сырьевые ресурсы Сибири – 2013. – № 2. – С. 61–69.
6. Шевчук С. О. Навигационное и геодезическое обеспечение аэроэлектромагнитных исследований с подвесной вертолётной платформой [Текст] // Геология и Минерально-сырьевые ресурсы Сибири – 2012. – № 2. – С. 72–75.

7. Кузин В. И., Шевчук В. Н., Никитин С. О. Фотограмметрический способ и устройство для определения истинной высоты выносной вертолётной платформы аэрогеофизического комплекса «Импульс-Аэро» // Изв. вузов Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2013. – № 4. – С. 86–92.

8. Шевчук С. О., Никитин В. Н. Способы определения истинной высоты аэрогеофизической вертолётной электроразведочной платформы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 74–82.

9. Шевчук С. О., Никитин В. Н. Фотограмметрический способ получения истинной высоты выносной вертолётной платформы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII междунар. науч. конгр. 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск: сб. молодых ученых СГГА. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 96–101.

10. Пат. 2508525 Российская Федерация МПК⁵¹ G01C 11/04 G01V 3/16 Фотограмметрический способ определения превышений подвижного объекта над земной поверхностью и устройство для аэрогеофизической разведки, реализующее его [Текст] С. О. Шевчук, В. Н. Никитин, С. В. Барсуков; заявители и патентообладатели: Федеральное Государственное Унитарное Предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», Общество с ограниченной ответственностью Геофизическое предприятие «Сибгеотех» . – 2012139733; заявл. 17.09.2012; опубл. 27.02.2014 – Бюл. № 6. – 11 с.

11. Шевчук С. О. Факторы, влияющие на точность определения истинной высоты выносной вертолётной платформы аэрогеофизического комплекса «Импульс-Аэро» [Текст] // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 34–46.

12. Кучко А. С. Аэрофотография (Основы и метрология). – М.: Недра, 1974. – 272 с.

13. Лаврова Н. П., Стеценко А. Ф. Аэрофотосъёмка. Аэрофотосъёмочное оборудование: учебник для вузов. – М.: Недра, 1981. – 296 с.

© Д. Н. Раков, В. Н. Никитин, С. О. Шевчук, 2015