

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.7

DOI 10.52928/2070-1683-2022-31-8-124-127

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОТОПЛАНОВ

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА,
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ,
П.Ф. ПАРАДНЯ
(Полоцкий государственный университет)

При использовании аналоговых аэрофотоаппаратов фотопланы монтировались из трансформированных снимков. Если превышения точек местности позволяли получить допустимые искажения за рельеф, то трансформировали в одну зону. Иначе трансформирование выполняли по зонам, допуская смещения в каждой зоне не более 0,4 мм. В соседних зонах смещения на границе зон имели противоположные направления и расхождение между контурами могло достигать 0,8 мм. За окончательное положение контура принималось его среднее значение, что компенсировало ошибки положения в соседних зонах.

При создании цифровых фотопланов и ортофотопланов для учета искажений за рельеф используют цифровые модели рельефа (ЦМР). Технология цифрового трансформирования не предусматривает использование зон трансформирования и, следовательно, не будут компенсироваться ошибки, как при трансформировании по зонам. Качество ортофотоплана будет зависеть от точности ЦМР. Цифровая модель рельефа или поверхности имеет высокую плотность и позволяет учесть искажения за рельеф значительно точнее, чем при трансформировании по зонам.

В работе выполнен анализ требований действующих нормативных документов при создании цифровых фотопланов и ортофотопланов, приведены соответствующие выводы и рекомендации.

Ключевые слова: ортофотоплан, Agisoft Photoscan, цифровая модель рельефа, точность ЦМР, зона трансформирования.

Введение. Фотопланы на бумажной основе создавались из трансформированных изображений всех перекрывающихся снимков. В ходе трансформирования реальные снимки преобразовывали в горизонтальные снимки заданного масштаба. Смещения, обусловленные рельефом местности δ_h , не устранялись, можно было изменить только их величину.

В соответствии с требованиями инструкций¹²³⁴ средняя ошибка при создании (обновлении) топографических карт и планов при отображении капитальных строений не должна превышать 0,4 мм на карте (плане).

Основная часть. Предельные превышения h_{\max} , при которых получим допустимые искажения (смещения) за рельеф $\delta_{h_{\max}}$, можно получить по формуле [1]:

$$h_{\max} = \frac{fM}{r} \delta_{h_{\max}}, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние фотокамеры;

M – знаменатель масштаба создаваемого плана;

r – максимальное расстояние от точки надира до любой точки трансформируемого снимка, которая попадет на фотоплан.

Соответственное расстояние на фотоплане r' можно рассчитать по формуле [1]:

$$r' = \frac{H}{fM} r. \quad (2)$$

¹ Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 : ГКНП 02-004-2010. – Введ. 01.06.10. – Минск : Проектный ин-т Белгипрозем, 2010. – 24 с.

² Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов : ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. – Введ. 01.08.02. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

³ Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов : ГКИНП (ОНТД) 12-001-03. – Минск : УП «БелНИЦзем», 2003. – 78 с.

⁴ Инструкция по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов : ГКИНП-36. – М. : Недра, 1974. – 80 с.

Как видим на основании формулы (1), предельное превышение h_{\max} можно увеличить при использовании аэрофотоаппаратов (АФА) с большим фокусным расстоянием f . Поэтому существовали пленочные АФА с разными фокусными расстояниями (вплоть до 500 мм) [2], чего нет при использовании цифровых камер, устанавливаемых на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА).

Фокусное расстояние цифровой камеры FC-220, установленной на БПЛА и используемой при съемке учебно-лабораторного корпуса № 3 Полоцкого государственного университета (ПГУ), составило 4,73 мм при размере кадра $6,32 \times 4,74$ мм [3]. Из-за малого фокусного расстояния искажения за рельеф будут велики.

Если превышения точек больше допустимых, то трансформирование выполняли по зонам, допуская смещения в каждой зоне δh_{\max} не более 0,4 мм. Число зон трансформирования не должно было превышать трех [4]. Территория, занимаемая зоной трансформирования, значительна. Предположим, имели две зоны трансформирования (рисунок 1).

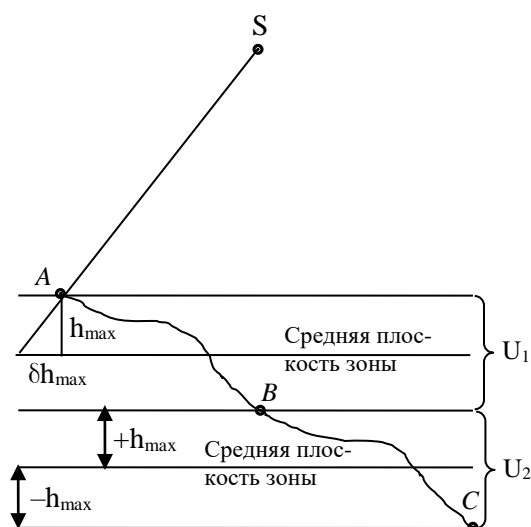


Рисунок 1. – Трансформирование снимков по зонам (U_1 и U_2 – зоны трансформирования)

Как видим, на рисунке 1 превышения над средней плоскостью зоны имеют разные знаки, следовательно, и искажения за рельеф, как свидетельствует формула (1), будут иметь разные знаки.

При монтаже фотопланов (ортофотопланов) допускается расхождение хорошо распознаваемых контуров 0,7 мм, согласно инструкции⁵, значит, ошибка будет равна 0,35 мм. Так как расхождение контуров на стыке зон или пикселей будет иметь разные знаки (см. рисунок 1), то для точки A в первой зоне искажение будет иметь знак плюс, а для точки B – знак минус. В следующей зоне искажение для точки B будет иметь знак плюс, то есть расхождение между контурами будет 0,7 мм, а ошибка не превысит 0,35 мм.

Таким образом, если контур в одной зоне смещен в одну сторону на 0,35 мм, то в другой зоне этот же контур смещен на 0,35 мм в другую сторону. Например, дорога будет точно посередине. То есть оставили запас для погрешности, которую можно допустить в следующей процедуре, называемой в цифровых технологиях «векторизация».

Что касается цифровых фотопланов, полученных с БПЛА и не только, то при их создании для учета искажений за рельеф используют цифровые модели рельефа (ЦМР). Здесь нет никаких зон трансформирования, нет смещений влево или вправо относительно изображаемого контура. В цифровых технологиях не будут компенсироваться ошибки, как это имело место при трансформировании по зонам. Качество ортофотоплана будет зависеть от качества ЦМР.

Тем не менее, в работе [5], посвященной цифровым методам, отмечается, что ошибка на граничной линии допускается 0,7 мм. Получается, что снимки «режут» по граничной линии так же, как и при аналоговых методах, а величина допуска 0,7 мм, возможно, взята потому, что в инструкциях⁶ приведен такой допуск.

При создании модели высот фотограмметрическими методами, как отмечают авторы работы [5], слабым местом для ЦМР является необходимость знания хороших начальных приближений и большое число приближений. Для уменьшения числа приближений используют пирамиду исходных изображений или свертку исходных изображений, например, размером 3×3 пиксела [5].

⁵ См. сноску 4.

⁶ См. сноски 2–4.

Для учета искажений за рельеф строят регулярную сеть высот GRID. В работе [6] говорится, что при создании регулярной сети высот очень важно учитывать плотность (шаг) сетки, что определяет ее пространственное разрешение. Чем меньше выбранный шаг, тем точнее ЦМР – выше пространственное разрешение модели, но тем больше количество узлов сетки, следовательно, больше времени требуется на расчет ЦМР и больше места для хранения.

В ходе обработки снимков корпуса № 3 ПГУ в программе Agisoft Photoscan сеть высот GRID строилась не для каждого пиксела, а с шагом 0,5–1 м на местности, что на снимке масштаба 1:11000 составит 0,09 мм. То есть имели довольно густую сеть GRID.

В некоторых программных продуктах имеется возможность предварительно оценить точность ортофотоплана по расхождениям соответствующих контуров на линиях «пореза». Например, в программе Photomod есть опция «выполнить оценку точности монтирования ортофотоплана» [7]. Выполнив эту процедуру, можно создать таблицу ошибок на линиях «порезов», по значениям которых пользователь может определить, подходят ли полученные расхождения для ортофотоплана требуемого масштаба.

В ходе обработки снимков в программе Agisoft Photoscan не отображаются численные значения расхождений контуров на граничной линии «пореза». Получается, что оценить точность ортофотоплана можно только в конце работы⁷.

Как в аналоговых, так и в цифровых технологиях используют центральные фрагменты снимков. При съемке с БПЛА продольные и поперечные перекрытия снимков значительно больше, чем в аналоговых технологиях, так что центральные части снимков имеют малые размеры.

Заключение. Цифровая модель рельефа или поверхности имеет высокую плотность и позволяет учесть искажения за рельеф значительно точнее, чем при трансформировании по зонам. Здесь нет понятия в одну или другую сторону сместился контур. Поэтому мы считаем, что требования инструкций⁸, относящиеся еще к требованиям аналоговых технологий⁹, не приемлемы для оценки точности современных ортофотопланов, так как не будут выдержаны требования к отображению, например, капитальных строений.

Мы считаем, что величины допустимых искажений за рельеф на граничной линии в современных технологиях создания ортофотопланов надо пересматривать. В случае цифровых технологий ошибки за рельеф на граничной линии не должны превышать 0,35 мм, что соответствует требованиям инструкции¹⁰.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеева, А.А. Прикладная фотограмметрия : учеб.-метод. комплекс / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов. – Новополоцк : ПГУ, 2006. – 320 с.
2. Аэрофотосъемочные работы: справочник аэрофотосъемщика / А.А. Попов [и др.]. – М. : Транспорт, 1984. – 200 с.
3. Анализ разрешающей способности снимков, полученных с беспилотного летательного аппарата / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов, П.Ф. Парадня // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Стр-во. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 184–192.
4. Лобанов, А.Н. Аэрофототопография / А.Н. Лобанов. – 2-е изд., доп. – М. : Недра, 1978. – 575 с.
5. Михайлов, А.П. Фотограмметрия : учеб. для вузов / А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев ; под общ. ред. А.Г. Чибуничева. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.
6. Хромых, В.В. Цифровые модели рельефа : учеб. пособие / В.В. Хромых, О.В. Хромых. – Томск : ТМЛ Пресс, 2007. – 178 с.
7. Краснопецев, Б.В. Методические указания по фотограмметрической обработке снимков на цифровой фотограмметрической системе Photomod 4.4 Demo и Photomod 4.4 Lite / Б.В. Краснопецев. – М. : МИИГАиК, 2012. – 44 с.

REFERENCES

1. Mikheeva, A.A. & Yaltykhov, V.V. (2006). *Prikladnaya fotogrammetriya*. Novopolotsk: PSU. (In Russ.).
2. Popov, A.A., Poletaev, Yu.I., Evdokimov, Yu.V., Baitin, V.I., Nitsoglo, S.A., Tankus, A.Yu., Gorin, G.S. & Baranova, S.G. (1984). *Aerofotos"emochnye raboty: spravochnik aerofotos"emshchika*. Moscow: Transport. (In Russ.).
3. Mikheeva, A.A., Yaltykhov, V.V. & Paradnya, P.F. (2018). Analiz razreshayushchei sposobnosti snimkov, poluchennykh s bespilotnogo letatel'nogo apparata [The analysis of the resolution ability of images received from an unmanned aerial vehicle]. *Vestn. Polots. gos. un-ta. Ser. F, Str-vo. Prikladnye nauki [Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences]*, (8), 184–192. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Lobanov, A.N. (1978). *Aerofototopografiya*. Moscow: Nedra. (In Russ.).
5. Mikhailov, A.P. & Chibunichev, A.G. (2016). *Fotogrammetriya*. Moscow: MIIGAiK. (In Russ.).
6. Khromykh, V.V. & Khromykh, V.V. (2007). *Tsifrovye modeli rel'efa*. Tomsk: TML Press. (In Russ.).
7. Krasnopevtsev, B.V. (2012). *Metodicheskie ukazaniya po fotogrammetricheskoj obrabotke snimkov na tsifrovoi fotogrammetricheskoj sisteme Photomod 4.4 Demo i Photomod 4.4 Lite*. Moscow: MIIGAiK. (In Russ.).

Поступила 28.04.2022

⁷ Agisoft Photoscan. Руководство пользователя. URL: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_ru.pdf.

⁸ См. сноски 1–3.

⁹ См. сноску 4.

¹⁰ См. сноску 1.

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF PHOTOPLAN**A. MIKHEEVA, V. YALTYKHOV, P. PARADNYA**

When using analog aerial cameras, photomaps were assembled from transformed images. If the elevation of the points of the terrain made it possible to obtain acceptable distortions for the relief, then they were transformed into one zone. Otherwise, the transformation was performed by zones, allowing displacements in each zone of no more than 0.4 mm. In neighboring zones, the displacements at the zone boundary had opposite directions, and the discrepancy between the contours could reach 0.8 mm. Its average value was taken as the final position of the contour, which compensated for position errors in neighboring zones.

When creating digital photomaps and orthophotomaps, digital elevation models (DEM) are used to account for terrain distortions. Digital transform technology does not use transform zones and therefore will not compensate for errors as it would with zone transforms. The quality of the orthomosaic will depend on the accuracy of the DEM. A digital model of a relief or surface has a high density and makes it possible to take into account distortions for the relief much more accurately than when transforming by zones.

The paper analyzes the requirements of the current regulatory documents when creating digital photomaps and orthophotomaps, provides relevant conclusions and recommendations.

Keywords: *orthophotoplan, Agisoft Photoscan, digital elevation model, DTM accuracy, transform zone.*