

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ СНИМКОВ КАМЕРЫ PHASE ONE В ЦФС PHOTOMOD

А.Э. Зубарев (Фирма «Ракурс»)

В 2008 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер геодезист». После окончания университета работает в АО Фирма «Ракурс», в настоящее время — заместитель начальника отдела технической поддержки.

О.А. Корчагина (НПК «Ракурс Проекты»)

В 1989 г. окончила аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». В 2001-2011 гг. работала в Поволжском филиале ФГУП «Госземкадастръёмка — ВИСХАГИ». С 2015 г. — доцент кафедры фотограмметрии МИИГАиК (с 2016 г. — по совместительству). С 2016 г. работает в АО «НПК «Ракурс Проекты», в настоящее время — главный инженер. Кандидат технических наук.

А.В. Смирнов (Фирма «Ракурс»)

В 2010 г. окончил факультет прикладной космонавтики и фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». С 2008 г. работал в ООО «Северная географическая компания», с 2010 г. — в ООО «Геострой» и ЗАО «Центр перспективных технологий». С 2012 г. работает в АО «Фирма «Ракурс», в настоящее время — менеджер отдела технической поддержки. С 2016 г. — преподаватель кафедры фотограмметрии МИИГАиК.

Ю.Г. Райзман (Phase One Industrial, Дания)

В 1980 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист», а в 1985 г. — аспирантуру ЦНИИГАиК по специальности «фотограмметрия». После окончания аспирантуры работал в Ташкентском аэрогеодезическом предприятии ГУГК при СМ СССР, с 1992 г. — в Геодезической службе Израиля, с 2008 г. — в компании VisionMap Ltd. (Израиль). С 2017 г. по настоящее время — научный консультант компании Phase One Industrial и директор компании GeoCloud Ltd.

Среднеформатные камеры Phase One серии iXU-RS1000, которые используются для картографирования малых и средних территорий, коридорной съемки, перспективной воздушной съемки, совместно с лазерными воздушными сканирующими системами при создании крупномасштабных планов городов и трехмерном моделировании городских территорий, мониторинге и инспекции объектов инфраструктуры, уже завоевали всемирное признание [1].

Небольшой размер (10 x 10 x 20 см, включая объективы) и

достаточно легкий вес (менее 2 кг) являются значительными преимуществами камеры, позволяющими легко устанавливать ее на любом малом и легком воздушном судне, автожирах, беспилотных воздушных летательных аппаратах самолетного типа среднего размера или на мультикоптерах. Эти физические характеристики существенно увеличивают диапазон авиационных транспортных средств, используемых для картографирования, и значительно сокращают эксплуатационные расходы при выполнении про-

ектов по крупномасштабному картографированию.

Основной целью данной статьи является анализ точности фототриангуляции по снимкам, полученным с помощью камеры iXU-RS1000, при их обработке в цифровой фотограмметрической системе (ЦФС) PHOTOMOD 6.4.

Оценка фотограмметрической точности проводилась в соответствии с традиционной процедурой тестирования аэрофотосъемочных камер, которая включает следующие этапы:

- создание испытательного полигона;
- планирование и выполнение аэросъемки;
- автоматическое сопоставление изображений и фототриангуляция;
- оценка точности фототриангуляции с различной конфигурацией опорных и контрольных точек;
- анализ результатов.

В качестве испытательного полигона была выбрана территория размером 2,0 км с запада на восток и 1,2 км с юга на север (рис. 1). Это преимущественно городской район с двухэтажными зданиями. Описание испытательного полигона и методика измерения опорных и контрольных точек приведены в [2] и [3]. Средняя квадратическая ошибка (СКО) определения координат опорных точек в плане (по осям X и Y) составила 0,8 см, а по высоте (по оси Z) — 1,3 см.

Аэросъемка проводилась с самолета Cessna 172 (рис. 2). Камера была установлена в задней части самолета.

Полет был запланирован и выполнен со следующими параметрами аэросъемки:

- высота полета (над земной поверхностью) — 760 м;
- размер пикселя на местности (GSD) — 4 см;
- расстояние между маршрутами съемки — 230 м;
- расстояние между центрами проекции при 60% прямого перекрытия — 135 м;
- продольное/поперечное перекрытие — 80/49%;
- размер снимка (изображения) на земной поверхности — 450 x 340 м;
- угол ортофото (эффективный угол аэросъемки) — 17°;
- уклон (развал) зданий — 15%;
- путевая скорость самолета — 185 км/ч;
- число маршрутов по направлениям: север-юг — 9; запад-восток — 2.



Рис. 1

Испытательный полигон с маршрутами аэросъемки и проекцией одного снимка (зеленый контур) на земную поверхность

▼ Фототриангуляция в ЦФ РНОМОД

При обработке блока было использовано 192 изображения, на которых автоматически измерено 9900 связующих точек. Опорные и контрольные точки в количестве 63 точек были измерены вручную и перенесены на все изображения, на которых их можно было опознать. Опорные центры фотографирования были импортированы из формата EXIF с априорной точностью 10 м в плане и по высоте. Уравнивание выполнялось с учетом центров фотографирования и опорных точек (в различных конфигурациях и количестве). Самокалибровка камеры была проведена при уравнивании по всем опорным точкам. Кроме того, калибровка камеры выполнялась и в лабораторных условиях. Окончательная точность обработки блока оценивалась по остаточным расхождениям на контрольных точках.

▼ Результаты оценки точности фототриангуляции

Оценка точности фототриангуляции проводилась при разном количестве опорных и контрольных точек с целью определения влияния количества опорных точек на точность фототриангуляции. При этом,



Рис. 2

Самолет Cessna 172

оценка точности проводилась для двух случаев: с самокалибровкой камеры и при ее калибровке в лабораторных условиях.

На рис. 3–5 приведены схемы распределения отклонений координат на контрольных точках между исходными значениями и полученными в результате фототриангуляции с различным количеством опорных точек: 5, 9 и 15.

Результаты оценки точности фототриангуляции в плане и по высоте, как при самокалибровке камеры, так и при ее лабораторной калибровке, приведены в табл. 1–3. Для различного количества опорных точек вычислялись максимальное и среднее отклонение между исходными значениями координат и полученными в результате фототриангуляции, а также СКО на опорных и контрольных точках. При использовании 5 опорных точек с самокалибровкой

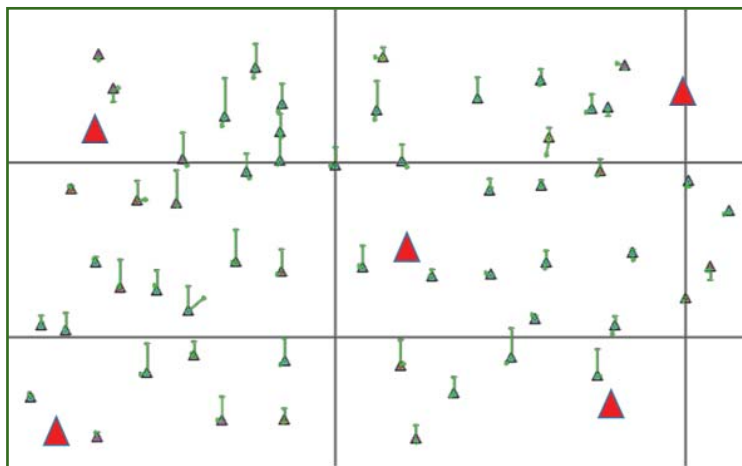


Рис. 3

Схема распределения отклонений координат на 56 контрольных точках при 5 опорных точках

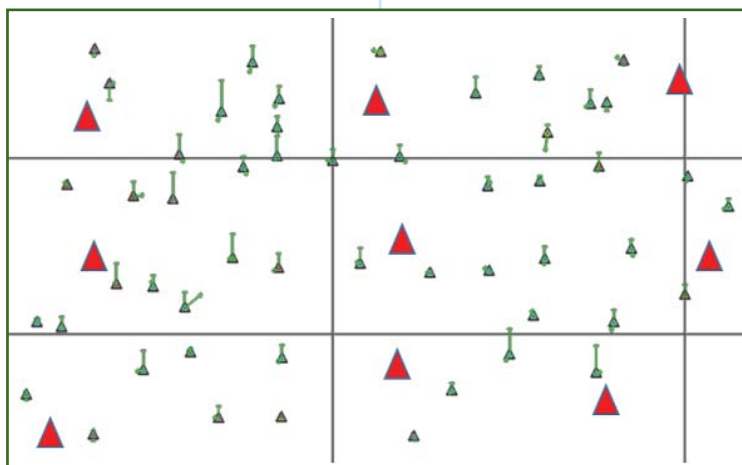


Рис. 4

Схема распределения отклонений координат на 52 контрольных точках при 9 опорных точках

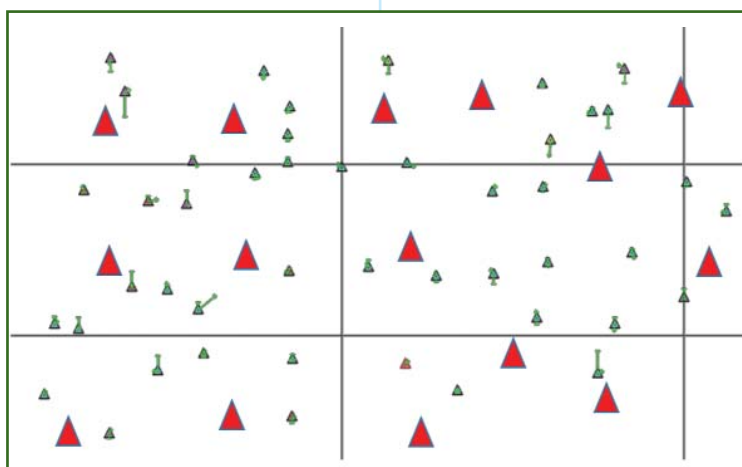


Рис. 5

Схема распределения отклонений координат на 46 контрольных точках при 15 опорных точках

камеры СКО в плане на контрольных точках составила порядка 3,0 см, а по высоте — 9,0 см, а с лабораторной калибровкой камеры, соответственно, 3,2 см и 11,3 см. При использовании 9 опорных точек с самокалибровкой камеры СКО в плане на контрольных точках составила 2,9 см, а по высоте — 6,6 см, а с лабораторной калибровкой камеры, соответственно, 3,0 см и 8,4 см. При использовании 15 опорных точек с самокалибровкой камеры СКО в плане на контрольных точках составила 2,8 см, а по высоте — 4,3 см, а с лабораторной калибровкой камеры, соответственно, 3,0 см и 6,0 см.

Как показывают результаты оценки (табл. 1–3) с увеличением количества опорных точек точность фототриангуляции по высоте (Z) повышается, а точность в плане (XY) практически не меняется.

Для анализа влияния способа калибровки камеры на точность фототриангуляции калибровки камеры были построены графики, приведенные на рис. 6. На них видно, что точность в плане при фототриангуляции не зависит от того, выполняется самокалибровка камеры или нет.

Кроме того, можно констатировать, что лабораторная калибровка камеры позволяет получать точность, требуемую при выполнении картографических работ.

В заключение можно отметить, что выполненные исследования точности фототриангуляции снимков в ЦФС PHOTOMOD, полученных камерой Phase One, позволяют сделать следующие выводы.

1. При использовании 5 опорных точек СКО в плане на контрольных точках составляет порядка 3,0 см (0,75 пикселя изображения), а по высоте — 9,0 см (2,25 пикселя), в то время как при использовании

Точность фототриангуляции с 5 опорными и 56 контрольными точками

Таблица 1

Наименование оценки	Опорные точки			Контрольные точки			
	X, см	Y, см	Z, см	X, см	Y, см	XY, см	Z, см
<i>С самокалибровкой камеры</i>							
Максимальное отклонение	0,4	0,6	0,5	7,3	8,1	9,7	18,8
Среднее отклонение	0,2	0,4	0,3	1,5	1,8	2,5	7,8
СКО	0,2	0,4	0,4	1,9	2,3	3,0	9,0
<i>С лабораторной калибровкой камеры</i>							
Максимальное отклонение	0,7	0,8	0,6	7,5	8,5	9,1	23,4
Среднее отклонение	0,3	0,2	0,2	1,7	1,8	2,7	9,9
СКО	0,4	0,4	0,3	2,1	2,3	3,2	11,3

Точность фототриангуляции с 9 опорными и 52 контрольными точками

Таблица 2

Наименование оценки	Опорные точки			Контрольные точки			
	X, см	Y, см	Z, см	X, см	Y, см	XY, см	Z, см
<i>С самокалибровкой камеры</i>							
Максимальное отклонение	0,8	1,1	1,3	7,4	7,8	9,7	15,0
Среднее отклонение	0,4	0,6	0,5	1,3	1,6	2,3	5,5
СКО	0,5	0,7	0,5	1,8	2,2	2,9	6,6
<i>С лабораторной калибровкой камеры</i>							
Максимальное отклонение	1,4	1,2	0,7	8,2	7,9	9,7	17,9
Среднее отклонение	0,6	0,5	0,4	1,4	1,7	2,4	7,5
СКО	0,8	0,7	0,4	2,0	2,2	3,0	8,4

Точность фототриангуляции с 15 опорными и 46 контрольными точками

Таблица 3

Наименование оценки	Опорные точки			Контрольные точки			
	X, см	Y, см	Z, см	X, см	Y, см	XY, см	Z, см
<i>С самокалибровкой камеры</i>							
Максимальное отклонение	1,3	1,5	2,4	8,1	7,3	10,5	12,0
Среднее отклонение	0,5	0,6	0,5	1,2	1,5	2,2	3,4
СКО	0,6	0,8	0,8	1,8	2,1	2,8	4,3
<i>С лабораторной калибровкой камеры</i>							
Максимальное отклонение	1,4	1,5	1,8	8,9	7,6	10,6	14,5
Среднее отклонение	0,6	0,7	0,6	1,4	1,6	2,4	5,0
СКО	0,7	0,8	0,8	2,0	2,2	3,0	6,0

15 опорных точек, точность СКО в плане составляет 2,8 см (0,7 пикселя) и по высоте 4,3 см (0,9 пикселя). Использование 15 опорных точек против 5 позволяет повысить точность по высоте почти в 2 раза.

2. Значимое отличие точности по высоте в зависимости от количества опорных точек

могло быть изначально снижено при условии использования более точных центров фотографирования.

3. Необходимо измерять опорные точки на всех возможных снимках блока, на которых изобразилась точка. Измерение координат опорной точки на максимально возможном коли-

честве изображений позволяет повысить точность самокалибровки камеры.

4. Приведенные результаты обработки могут отличаться в зависимости от конфигурации блока снимков, схемы расположения опорных и контрольных точек, характера рельефа местности.

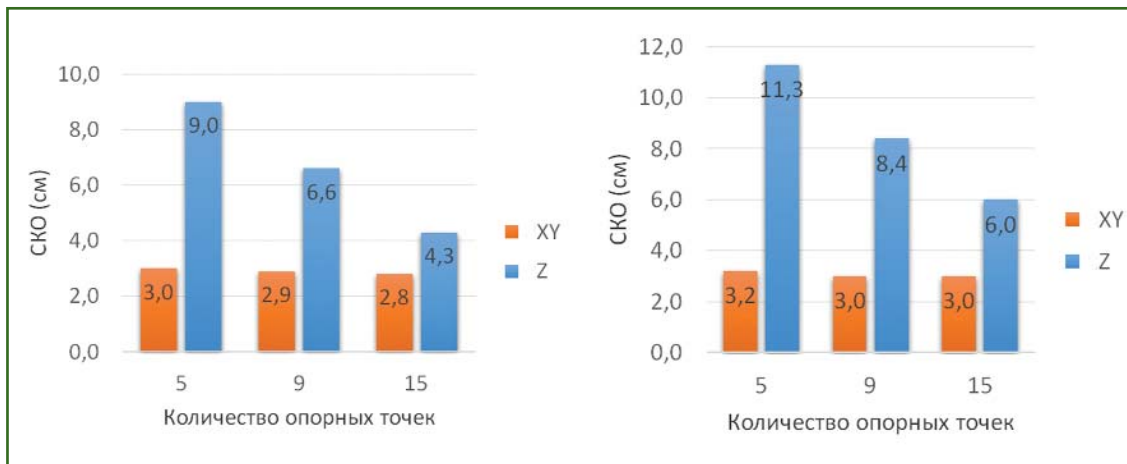


Рис. 6

Графики значений СКО на контрольных точках в плане и по высоте в зависимости от числа опорных точек для блока: с самокалиброванной камерой (слева) и с камерой, калиброванной в лаборатории (справа)

▼ **Список литературы**

1. Райзман Ю.Г. Принципы съемки и анализ производительности аэросъемочной системы PAS190MP // Геопрофи. — 2018. — № 5. — С. 38–43.
2. Raizman, Y. Phase One iXU-RS1000 Accuracy Assessment Report

// PhaseOne reports. — 2018, <https://industrial.phaseone.com/downloads-articles-reports.aspx>.

3. Raizman, Y. Medium-format Cameras for High-accuracy Mapping: Field Test of the Phase One iXU-RS1000 Camera // GIM International. — 17/01/2018. —

<https://www.gim-international.com/content/article/medium-format-cameras-for-high-accuracy-mapping>.

4. Ракурс. Программные продукты. ЦФС PHOTOMOD. — <http://racurs.ru/program-products/tsfs-photomod>.

Программные решения и услуги в области геоинформатики, фотограмметрии и дистанционного зондирования Земли

PHOTOMOD™

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЗЗ

ЦФС PHOTOMOD
PHOTOMOD UAS
PHOTOMOD GeoMosaic
PHOTOMOD Radar

ОБЛАЧНЫЕ И КОНВЕЙЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

PHOTOMOD Conveyor
PHOTOMOD @ GeoCloud
PHOTOMOD @ cloudeo

БЕСПЛАТНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

PHOTOMOD Lite
PHOTOMOD GeoCalculator
PHOTOMOD Radar Viewer
Direct Georeferencing
Datum Parameters

РАКУРС
АО «Ракурс», Россия, Москва
8 (495) 720 51 27, info@racurs.ru, <http://racurs.ru>