

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**Матеріали**  
**міжнародної науково-практичної конференції**  
**«СУЧАСНА ЗЕМЛЕВПОРЯДНА НАУКА:**  
**СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ»**

**11-12 березня 2020 року**

Біла Церква  
2020

**Редакційна колегія:**

**Даниленко А.С.**, ректор Білоцерківського національного аграрного університету, академік НААН, д-р екон. наук, професор, голова оргкомітету.

**Новак В.П.**, д-р біол. наук, перший проректор БНАУ, професор, заступник голови оргкомітету.

**Шароглазова Г.А.**, завідувач кафедри геодезії та геоінформаційних систем, Полоцький державний університет, канд. тех. наук, доцент.

**Марія Біхунова**, доцент факультету садівництва і ландшафтної інженерії, Словацький університет сільського господарства, доктор філософії.

**Мартіна Вересова**, доцент факультету садівництва і ландшафтної інженерії, Словацький університет сільського господарства, доктор філософії.

**Стариченко М.А.**, голова Київської обласної ради.

**Ястреб О.А.**, начальник міськрайонного управління у Білоцерківському районі та м. Біла Церква Головного управління Держгеокадастру у Київській області.

**Савчук В.П.**, секретар Білоцерківської міської ради.

**Варченко О.М.**, проректор з наукової та інноваційної діяльності БНАУ, др екон. наук, професор.

**Димань Т.М.**, проректор з освітньої, виховної та міжнародної діяльності БНАУ, д-р с.-г. наук, професор.

**Карпенко А.М.**, проректор з навчально- виробничої діяльності та комплексного розвитку БНАУ, канд. екон. наук, доцент.

**Хахула В.С.**, декан агробіотехнологічного факультету БНАУ, канд. с.-г. наук, доцент.

**Прядка Т.М.**, завідувач кафедри управління земельними ресурсами та земельного кадастру БНАУ, канд. екон. наук, доцент.

**Недашківська Т.М.**, завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою БНАУ, канд. екон. наук.

**Камінецька О.В.**, заступник декана агробіотехнологічного факультету з навчальної роботи, канд. екон. наук.

**Комарова Н.В.**, асистент кафедри управління земельними ресурсами та земельного кадастру БНАУ.

**Крупа Н.М.**, заступник декана агробіотехнологічного факультету з виховної роботи, канд. біол. наук, доцент.

**Олешко О.Г.**, начальник редакційно-видавничого відділу, канд. с.-г. наук, доцент.

«Сучасна землевпорядна наука: сьогодення та перспективи розвитку»: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 11-12 березня 2020 року. Білоцерківський НАУ. 108 с.

**В. В. Ялтыхов, П.Ф. Парадня**

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Рассматривается использование беспилотных летательных аппаратов для съемки инженерных объектов с помощью цифровых камер. Выполнено создание 3D модели учебно-лабораторного корпуса Полоцкого государственного университета и сделан анализ полученных результатов на различных этапах обработки. Особое внимание уделено вопросам уточнения калибровки параметров цифровой камеры, т.к. в большинстве случаев цифровые камеры, устанавливаемые на беспилотные летательные аппараты, изначально не калибруются. Представлены результаты обработки материалов аэросъемки с квадрокоптера Mavic Pro в программных продуктах Agisoft Photoscan и Context Capture.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, цифровая камера, калибровка, дисторсия, 3D модель.

В последнее время беспилотная микроавиация совершила мощный рывок благодаря совершенствованию элементной базы с одновременным уменьшением стоимости. Аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет решать множество актуальных задач, в том числе и в геодезии. Применение БПЛА позволяет значительно упростить проведение инженерных изысканий, сокращает временные затраты и повышает общую эффективность работ.

БПЛА управляются несколькими способами: ручной, автоматический и полуавтоматический. БПЛА для аэрофотосъемки в целях моделирования должен иметь на своем борту полноценный автопилот, способный выдерживать параметры съемки даже при малой массе аппарата в широком диапазоне метеоусловий.

Для беспилотных летательных аппаратов авторы работ [1; 2] рекомендуют выполнять съемку с продольным перекрытием  $p=80\%$  и поперечным  $q=40\%$ , так как полет БПЛА неустойчив и на него оказывают сильное влияние порывы ветра, турбулентность и другие факторы. Проектирование съемки с указанными выше перекрытиями позволит исключить разрывы в фототриангуляционном блоке. Так же необходимо учесть, что для построения полноценной трехмерной модели объект должен быть заснят со всех сторон. Типовым решением, позволяющим получить качественные снимки, является использование в качестве носителя квадрокоптер.

Несмотря на всю простоту любительской съемки с БПЛА, при проведении аэрофотосъемочных работ необходимо решать ряд задач:

- выбор аэрофотосъемочной аппаратуры;
- расчет параметров и проектирование аэрофотосъемки;
- выбор и координирование опознаков;
- оперативная оценка качества материалов аэрофотосъемки.

В соответствии с целью аэрофотосъемки необходимо подобрать камеру с оптимальными параметрами. Наиболее важными характеристиками камер для аэрофотосъемки являются: наличие функции ручной фокусировки, физический

размер матрицы, светосила объектива, разрешающая способность снимков, угол захвата и вес камеры. Предпочтительней устанавливать на камеры объективы с фиксированным фокусным расстоянием. При съемке следует выставлять фокусировку на бесконечность и отключать функцию «автофокуса».

Основным недостатком аэросъемки с БПЛА является то, что бытовые камеры изначально не откалиброваны – неизвестны их точные фокусные расстояния, главная точка, дисторсия. Нелинейные искажения оптики (дисторсия), допустимые при бытовой съемке, могут составлять десятки пикселей и снижают точность результатов обработки. Такие камеры могут быть откалиброваны в лабораторных условиях с помощью тест-объекта, что позволяет повысить точность получаемых результатов. Также появились программные продукты, которые позволяют выполнить «самокалибровку» камеры в процессе обработки.

Для обработки результатов аэросъемки также необходимо специальное программное обеспечение способное создавать сеть фототриангуляции и трёхмерную модель объекта. Для этих целей подходят Agisoft PhotoScan, Bentley Context Capture, Trimble UASMaster, ENVI OneButton, PHOTOMOD UAS, Pix4Dmapper и др. При обработке аэросъемки мы использовали демоверсии программных продуктов Agisoft Photoscan и Context Capture.

Точность конечного результата в основном будет зависеть от точности построения сети фототриангуляции. Для построения сети фототриангуляции необходимы координаты центров фотографирования или опознаков. В проекте при уравнивании блока фототриангуляции использовали 26 планово-высотных опознаков, координаты и отметки которых были определены инструментально при помощи электронного тахеометра.

Выполнив построение фототриангуляции в программе Context Capture при 5 опорных точках получили модель, у которой был значительно искажен вертикальный масштаб (отклонения по контрольным точкам, расположенных на крыше 5-этажного здания достигли 1,5 метров). Такой результат получился, вероятно, из-за системы самокалибровки объектива. После того, как были добавлены 2 опорные точки на крыше здания, результаты, полученные Context Capture, оказались примерно в 2 раза лучше, чем у Agisoft PhotoScan (табл. 1 и 2).

**Таблица 1 – Оценка точности по опорным точкам**

Программный продукт	Кол-во точек	СКП в плане, (м)	СКП по высоте, (м)	Общая СКП, (м)
Photoscan	5	0,181	0,028	0,184
Context Capture	7	0,004	0,002	0,004

**Таблица 2 – Оценка точности по контрольным точкам**

Программный продукт	Кол-во точек	СКП в плане, (м)	СКП по высоте, (м)	Общая СКП, (м)
Photoscan	21	0,125	0,028	0,184
Context Capture	19	0,075	0,032	0,081

Также необходимо отметить, что рассматриваемые программные продукты используют принципиально разные алгоритмы построения фототриангуляции, т.к. расхождение по опорным точкам у Context Capture практически близко к нулю, а у Agisoft Photoscan на уровне расхождений по контрольным точкам.

Дисторсия большинства объективов аэрофотоаппаратов достаточно хорошо описывается моделью Брауна. Объективы с ультрашироким углом обзора и объективы типа «рыбий глаз» обычно плохо описываются такой моделью дисторсии и могут создавать неточности при восстановлении моделей. Полиномы, характеризующие систематические искажения снимков, могут иметь различный вид. Например, в ПО AgisoftPhotoscan используется уравнения (1) [5]:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 3x^2) + 2P_2 xy \\ \Delta y &= y(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_2(r^2 + 3y^2) + 2P_1 xy \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При сравнении результатов калибровок камеры, выполненных в PhotoScan и в Context Capture (табл. 3), видно, что значения коэффициентов радиальной дисторсии довольно схожи. Изначально указанное фокусное расстояние равное 4.73 мм (по метаданным квадрокоптера) Photoscan оптимизировал до 4.75 мм, а Context Capture – до 4.68 мм.

Таблица 3.

Результаты калибровки объектива в Photoscan и ContextCapture

Программный продукт	F, мм	Cx	Cy	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
Photoscan	4,75	18,1992	- 22,258	0,0355	- 0,1038	0,1106
Context Capture	4,68	22,0223	- 25,172	0,0350	- 0,1153	0,1361

Для создания 3D модели или ортофотоплана необходимо построить плотное облако точек. Это самый длительный процесс обработки и занимает несколько часов для блока из 62 снимков. Отличительной особенностью ортофотоплана, полученного по плотному облаку точек, является «правильная» геометрия зданий и других сооружений.

По плотному облаку точек далее возможно построение 3D модели с фототекстурой или без нее. Модель формируется триангуляцией по точкам и упрощением полученной поверхности таким образом, чтобы сохранялась максимальная детализация при минимально необходимом количестве граней. Полученная модель является пустотелой. То есть такая модель в отличие от твердотельных моделей не имеет информации о своём объёме. Благодаря использованию квадрокоптера, способного летать на малых высотах, также выполняется построение модели в местах недоступных для съёмки с самолёта, например, под деревьями. Создание трехмерной модели по результатам аэросъёмки с БПЛА в работе выполнялось на обычном офисном компьютере с помощью

ПО Context Capture и PhotoScan. В результате была получена 3D-модель УЛК №3 Полоцкого государственного университета.

Как видно из рис. 1 на модели здания наблюдаются некоторые искажения — «артефакты» по фасадам и другим архитектурным элементам. Для их устранения необходимо дополнительно планировать радиальные маршруты.



Рис.1. Модель здания УЛК №3 Полоцкого государственного университета.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Точность определения элементов внутреннего ориентирования и коэффициентов дисторсии объектива зависит от параметров аэросъемки и расположения опорных точек.
2. Современные программные продукты позволяют получить приемлемый по точности результат при отсутствии калибровки объектива камеры.
3. Для устранения геометрических искажений по фасадам и другим архитектурным элементам необходимо дополнительно планировать радиальные маршруты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: Применение в целях аэросъемки для картографирования (часть 2). Москва: «Ракурс», 2011. 12 с.
2. Рубцов Н.Э. Обработка данных в программе UASMaster . *Геоматика*. 2014. № 1. С. 34-44.

**Анотація.** Розглядається використання безпілотних літальних апаратів для зйомки інженерних об'єктів за допомогою цифрових камер. Виконано створення 3D моделі навчально-лабораторного корпусу Полоцького державного університету і зроблений аналіз отриманих результатів на різних етапах обробки. Особливу увагу приділено питанням уточнення калібрування параметрів цифрової камери, тому що в більшості випадків цифрові камери, що встановлюються на безпілотні літальні апарати, з самого початку не калібрують. Представлені результати обробки матеріалів аерозйомки з квадрокоптера Mavic Pro в програмних продуктах Agisoft Photoscan і Context Capture.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, цифрова камера, калібрування, дисторсія, 3D модель.