

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**А. О. Богданов¹⁾, О. В. Руденков²⁾, А. С. Черенко³⁾,
М. И. Кричевцов⁴⁾**

*¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, artem10042000@gmail.com*

*²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, o-rudenkov@mail.ru*

*³⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, cherenko@bsu.by*

*⁴⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, bsu.mf@bk.ru*

В данной статье авторами произведён сравнительный анализ фотограмметрического оборудования и лидаров для беспилотных летательных аппаратов мультикоптерного типа, сравнительная характеристика методов фотограмметрии и воздушного лазерного сканирования. Представлена методика обработки результатов совместных аэрофотосъёмки и воздушного лазерного сканирования в специальном программном обеспечении «Agisoft metashape professional» для получения геопривязанного ортофотоплана местности.

Ключевые слова: agisoft metashape; фотограмметрия; топогеодезическое и навигационное обеспечение; воздушное лазерное сканирование.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES OF USING AIR-BASED LASER SCANNING FOR THE PURPOSES OF THE ARMED FORCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**A. O. Bogdanov¹⁾, O. V. Rudenkov²⁾, A. S. Cherenko³⁾,
M. I. Krichevtsov⁴⁾**

*¹⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, artem10042000@gmail.com*

*²⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, o-rudenkov@mail.ru*

*³⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, cherenko@bsu.by*

*⁴⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, bsu.mf@bk.ru*

In this article, the authors performed a comparative analysis of photogrammetric equipment and lidars for multicopter unmanned aerial vehicles, a comparative description of

photogrammetry and airborne laser scanning methods. A technique for processing the results of joint aerial photography and airborne laser scanning in special software is presented. A method for processing the results of joint aerial photography and airborne laser scanning in special software «Agisoft metashape professional» to obtain a georeferenced orthomosaic of the area is presented.

Keywords: agisoft metashape; photogrammetry; topogeodetic and navigation support; airborne laser scanning.

Создание фотодокументов местности в навигационно-топографической службе Вооруженных Сил Республики Беларусь является одним из видов работ по топогеодезическому и навигационному обеспечению боевых действий. Применение современных технологий при создании фотодокументов местности позволяет значительно сократить время составления и стоимость конечного продукта.

Существует множество направлений по увеличению качества итогового материала, а именно:

- изучение и оценка новейших фотокамер и лидаров для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);
- сравнение технических возможностей систем съёмки местности с БПЛА;
- изучение, оценка и сравнение технологий воздушного лазерного сканирования (LiDAR) и фотограмметрии при создании фотодокумента местности;
- изучение и оценка программных продуктов при подготовке материалов, по которым составляется фотодокумент местности, и др.

Новейшие решения, представленные на рынке, позволяют получать высококачественные и высокоточные материалы, которые могут быть использованы в целях топогеодезического обеспечения боевых действий ВС РБ. Некоторые из доступных решений представлены в таблице 1, где приведены сравнительные характеристики фотограмметрического и лидарного оборудования для БПЛА [1-4]. В зависимости от занятого места по каждой характеристике присвоены значения от 1 до 4 для составления рейтинга сравнения, где наибольший набранный балл имеет наихудшее место.

Таблица 1

Сравнительная характеристика фотограмметрического оборудования

Характеристика	DJI Zenmuse L1	TOPODRONE Avia	DJI Zenmuse P1	DJI Zenmuse H20
Общие характеристики				
Размеры, мм	152×110×169	-	198×166×129	150×114×151

Окончание табл. 1

Характеристика	DJI Zenmuse L1	TOPODRONE Avia	DJI Zenmuse P1	DJI Zenmuse H20
Вес, г	900	800	787	678
Класс защиты	IP44	IP67	IP4X	IP44
Диапазон рабочих температур, °C	От -20 до +50	От -20 до +65	От -20 до +50	От -20 до +50
LiDAR				
Одноканальный возврат, точек/с	240000	240000	-	-
Многоканальный возврат, точек/с	480000	480000-720000	-	-
Точность, см	3	5	-	-
Горизонтальный угол обзора, °	70,4	70,4	-	-
Вертикальный угол обзора, °	77,2	77,2	-	-
Класс лазера	1	1	-	-
RGB камера				
Количество пикселей, Мп	20	-	45	20
Размер фото	5K	-	8K	6K
Хранение данных, Гб	256	128	128	128
Другое				
Встроенный ГНСС	+	+	-	-
Подвес	3-х осевой стабилизатор	Закреплён	3-х осевой стабилизатор	3-х осевой стабилизатор
Рейтинг сравнения				
Общие характеристики	10★	9★	10★	6★
LiDAR	7★	7★	14★	14★
RGB камера	5★	9★	4★	6★
Другое	2★	3★	3★	3★
ИТОГО	28★	32★	34★	32★
Цена, BYN	39900	40000	26590	20550

Таким образом, анализируя результаты рейтинговой таблицы заметно, что стоимость лидаров значительно выше, чем стоимость примерно равного ему фотограмметрического оборудования, однако примене-

ние технологии LiDAR открывает совершенно новую, перспективную область развития создания фотодокументов местности, увеличивает количество и качество получаемой цифровой информации о местности (ЦИоМ). Информация, полученная в ходе лазерного сканирования способна обойти большую часть маскировки вероятного противника, а также может быть получена в любых погодных условиях, будь то облачность, туман, дымка, либо же ночные съёмки, что вызывает элемент внезапности при рекогносцировке местности. Решение DJI Zenmuse L1 компании DJI открывает возможности объединения миссий и результатов фотограмметрии и лазерного сканирования, благодаря встроенной 1-дюймовой 20Мп камере, что по мнению авторов является предпочтительным решением для выполнения специальных задач по получению высококачественных трёхмерных моделей местности, однако из-за своей высокой стоимости слабо применим в Вооруженных Силах Республики Беларусь.

Использование технологий LiDAR и классической фотограмметрии в объединённом решении позволяет значительно увеличить качество и точность итоговой модели. На основании открытых источников информации [5] составлена сравнительная таблица фотограмметрии и лидарной съёмки (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика технологий классической фотограмметрии и воздушного лазерного сканирования

Лидарная съёмка	Фотограмметрия
Преимущества	
+ Наивысшая точность съёмки; + Возможность снимать труднодоступные участки местности (под пологом леса, игнорируя простые маскировочные средства); + Отсутствие необходимости дневного света при съёмке (ночные съёмки); + Наибольшая детализация малых объектов.	+ Высокая ценовая доступность; + Интуитивно понятные результаты фотосъёмки; + Сравнительно низкая стоимость оборудования и специального программного обеспечения; + Более гибкий подход к методике выполнения съёмки, следовательно, и ниже квалификация кадров.
Недостатки	
- Высокая стоимость оборудования; - Сложность в интерпретации данных и как следствие необходимость высококвалифицированных кадров; - Громоздкость оборудования вызывает необходимость использования более мощных (следовательно, и дорогих) дронов.	- Точность сильно зависит от камеры и самого дрона (с уменьшением стоимости оборудования сильно уменьшается качество получаемой информации); - Востребованность благоприятных погодных условий (отсутствие пыли, дымки, тумана, облачного покрова и т.д.).

Таким образом заметно, что не существует наиболее универсального решения поставленных задач с использованием только одного метода получения ЦИюМ. Наивысшей точности и качества фотодокумента местности, а также наиболее целостный фотодокумент можно получить только в объединении технологий LiDAR и фотограмметрии. Данные технологии и методики получения ЦИюМ не являются взаимоисключающими, напротив, они качественно дополняют друг друга, позволяя проводить разведку позиций противника интегрировано, с разных сторон и точек зрения, обследуя как внешние маскировочные свойства, путём фотограмметрии, так и скрытые, путем лазерного сканирования.

Итогом работ при проведении аэрофотосъёмки является геопривязанный ортофотоплан. По результатам съёмки местности с БПЛА мультикоптерного типа, представленного дроном DJI Matrice 300 [6] с подвесом DJI Zenmuse L1 получено облако точек, снимки в надир и наклонные снимки на ~2га территории вблизи города Минск. Данные результаты уже имеют географическую привязку, подготовлены для дальнейшей обработки в специализированном программном обеспечении (СПО). В качестве СПО для создания ортофотоплана выбран «Agisoft metashape professional» [7], позволяющий обработать как облако точек, полученное в процессе лазерного сканирования, так и провести фотограмметрическую обработку снимков. Полученная модель объединяет в себе достоинства обоих методов для получения наиболее качественного и позиционно точного представления участка Земли на плоскости. Точность геодезической привязки обеспечивается использованием технологии кинематики в реальном времени [8], обеспечивающая точность позиционирования в плане до 5 см и по высоте до 10 см. Точность пространственной привязки итоговой модели благодаря применению технологии LiDAR значительно выше, и составляет порядка 1 см, что позволяет использовать итоговые ортофотопланы в целях геодезии.

Экспорт облака точек осуществляется путём вызова меню «Файл – Экспорт – Экспорт облака точек» (рис. 1).

Для загрузки снимков необходимо вызвать меню «Добавить снимки». Для снимков требуется выполнить выравнивание путём вызова программы «Обработка – Выравнивание снимков». Точность выравнивания указывается в зависимости от мощности ЭВМ, остальные параметры по умолчанию. Далее необходимо построить результирующую модель, где за основу взято облако точек.

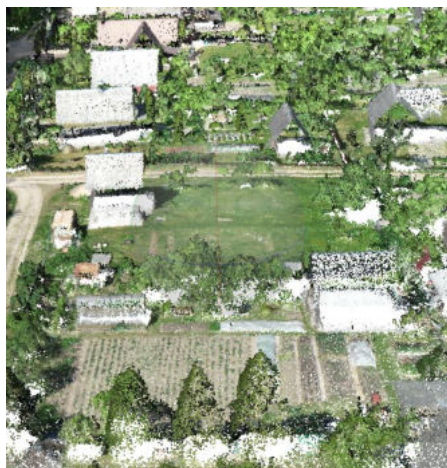


Рис. 1. Облако точек, полученное в результате воздушного лазерного сканирования

Тип поверхности выбирается в зависимости от необходимого конечного результата: ЦММ или ортофотоплан. Количество полигонов аналогично выравниванию снимков выбирается в зависимости от вычислительных мощностей. Этот этап обработки исходных данных наиболее требователен к мощностям – происходит самое продолжительное время. Полученная модель представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Полигональная модель местности

Итоговой частью обработки является подготовка геопривязанного ортофотоплана «Обработка – Построить ортофотоплан». Имеется возможность перепроецировать ортофотоплан в необходимую систему координат. Работа выполняется в исходной системе координат WGS-84. Скорость со-

здания ортофотоплана, его пространственное разрешение зависят от точности выравнивания снимков и количества полигонов модели. При средней точности и низком количестве полигонов получен геопривязанный ортофотоплан с разрешением 2,6 см/пиксель. Итоговый ортофотоплан представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Ортофотоплан местности.

Подводя итог, следует заметить, что предложенное решение является очень дорогостоящим и излишним по качеству для создания ортофотоплана в целях картографирования территорий. Наиболее применим для проведения узкоспециализированных работ по созданию высококачественных трёхмерных моделей местности, а также в инженерно-геодезических целях.

Библиографические ссылки

1. Лидар DJI Zenmuse L1 с лазером Livox Lidar / Интернет-магазин coptermarket [Электронный ресурс]. URL: <https://coptermarket.by/dji-shop/drones/promyshlennyye-kvadrokoptery/lidar-dji-zenmuse-l1> (дата обращения: 24.10.2024).
2. Лидар Topodrone AVIA / Интернет-магазин topodrone [Электронный ресурс]. URL: <https://topodrone.ru/product/lidar/162/1266/> (дата обращения: 24.10.2024).
3. Подвес с камерой и лазерным дальномером DJI Zenmuse H20 / Интернет-магазин DJI [Электронный ресурс]. URL: https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves_s_kameroj_i_lazernym_dalnomerom_dji_zenmuse_h20/ (дата обращения: 24.10.2024).

4. Камера Zenmuse P1 / Интернет-магазин coptermarket [Электронный ресурс]. URL: <https://coptermarket.by/dji-shop/drones/promyshlennye-kvadrokoptery/zenmuse-p1> (дата обращения: 24.10.2024).

5. Лидар против фотограмметрии / Интернет-магазин coptermarket [Электронный ресурс]. URL: <https://coptermarket.by/lidar-vs-photogrammetry> (дата обращения: 24.10.2024).

6. *Богданов А. О., Руденков О. В.* Преимущества применения квадрокоптера для топогеодезической привязки позиции войск / Геоинформационные системы военного назначения: теория и практика применения : материалы IX Респ. науч.-практ. конф., Минск, 12 мая 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. М. Бахарь (гл. ред.) [и др.] ; под общ. ред. А. С. Черенко. Минск : БГУ, 2023. С. 84–90.

7. *Щукина О. Г., Рузиев А. С., Эргашев М. З.* Использование БПЛА Geoscan 201 для съемки линейного объекта трассы Хива-Ургенч //ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 430–440.

8. *Захлебин А. С.* Методика построения ортофотопланов местности с помощью беспилотного квадрокоптера, оснащенного навигационным геодезическим приемником //Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2021. Т. 24. № 3. С. 44–49.