

Применение БПЛА в качестве подвижной вехи

В. Г. Сальников^{1}, А. М. Астапов¹, А. Ш. Тюндешева¹, Д. А. Баранников¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: salnikov@ssga.ru

Аннотация. В настоящее время происходит активное внедрение современных технологий и методик в традиционные методы производства геодезических измерений. Основная цель их внедрения – сокращение временных затрат и повышение качества работ. С каждым годом применение беспилотных летательных аппаратов для решения геодезических задач приобретает большую популярность за счет простоты и доступности технологии. Методика фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяет решать проблему своевременного создания и обновления картографической основы, построения цифровых моделей местности и объектов, а также других задач, в которых возможно использовать фотограмметрический способ. Авторами статьи предлагается использовать БПЛА для решения инженерных задач на промышленной площадке в качестве подвижной вехи. Экспериментально показано, что подвижной вехой можно выполнять геодезические работы с точностью масштаба 1: 500.

Ключевые слова: БПЛА, подвижная веха, топографическая съемка, тригонометрическое нивелирование

The use of UAVs as a mobile milestone

V. G. Salnikov^{1}, A. M. Astapov¹, A. Sh. Tyundesheva¹, D. A. Barannikov¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: salnikov@ssga.ru

Abstract. Currently, there is an active integration of modern technologies and techniques into traditional methods of Production of geodetic measurements. The main purpose of their implementation is to reduce time costs and improve the quality of work. Every year, the use of unmanned aerial vehicles for solving geodetic Problems is gaining popularity due to the simplicity and accessibility of the technology. The technique of photogrammetric Processing of the obtained aerial photography materials using unmanned aerial vehicles (UAVs) allows solving the Problem of timely creation and updating of the cartographic basis, building digital models of terrain and objects, as well as other tasks in which it is possible to use the photogrammetric method. The authors of the article Propose to use UAVs to solve engineering Problems on an industrial site as a mobile milestone.

Keywords: UAV, mobile milestone, topographic survey, trigonometric leveling

Применение БПЛА в качестве подвижной вехи

На производственных площадках геодезисту часто приходится сталкиваться с ситуациями, когда невозможным является его доступ в определенную область или место выполнения работ по следующим причинам: отсутствует допуск по технике безопасности, опасная внешняя среда и другие негативные условия из-за которых невозможно выполнить измерения. Сотрудники организации,

выделяемые в помощь геодезической бригаде для обеспечения доступа в сложные места, не обладают нужной квалификацией. В результате этого возникают ошибки, вызываемые человеческим фактором, из-за чего значительно ухудшается качество выполненных работ или же возникает брак в полученных результатах геодезических измерений. Как правило, источник ошибок заключается в неправильной постановке вехи с отражателем.

Беспилотные летательные аппараты активно интегрируются во множество видов деятельности, и геодезия не стала исключением. БПЛА можно использовать не только для получения ортофотопланов и цифровых моделей, но и применять для решения инженерно-геодезических задач, например, в качестве подвижной вехи [1]. Данный способ позволяет выполнить измерения в недоступных геодезисту местах. С целью изучения возможности применения подвижной вехи, а так же получаемой точности результатов геодезических измерений, нами были выполнены исследования. Суть исследований заключалась в определении точности посадки подвижной вехи (квадрокоптер с наклеенной на корпус отражающей пленкой) над точкой с известной координатой. При этом были рассмотрены два варианта применения подвижной вехи [1, 2].

Первый вариант заключается в закреплении на квадрокоптере отрезка рулетки, на котором на определенных высотах размещаются отражательные марки. Данный вариант невозможно реализовать на модели квадрокоптера DJI Mavic Mini 2, приведенной на рис. 1, так как он не имеет возможности поднять в воздух вес рулетки и пленки. Попытка крепления сторонних конструкций также приводит к дестабилизации положения квадрокоптера в пространстве, вследствие чего теряется стабильное управление полетом.



Рис. 1. DJI Mavic Mini 2

В связи с этим исследования были выполнены на более крупной модели квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro, приведенной на рис. 2. В этом случае управляемость полета сохранялась, однако выполнить измерения на отражающую пленку было невозможно из-за отсутствия его четкой стабилизации.

Во втором варианте отражающая марка была закреплена на корпусе квадрокоптера (рис. 3), а расстояние до поверхности измерялось рулеткой.

При выполнении измерений тахеометром предварительно координируется центр посадочной мишени, а затем посадка квадрокоптера осуществляется при

помощи камеры квадрокоптера (рис. 4). После этого тахеометром выполняются измерения на отражающую марку [3].



Рис. 2. DJI Phantom 4 Pro



Рис. 3. Подвижная вежа



Рис. 4. Вид с камеры при посадке квадрокоптера

Результаты

В ходе проведения исследований было выполнено два цикла измерений. Первый цикл выполнялся в лабораторных условиях квадрокоптером DJI Mavic Mini 2. Полученные результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты первого цикла измерений

Исходная	X, м	У, м	Н, м	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔH , мм
	101,797	187,698	110,730			
1	101,823	187,738	110,729	-26	-40	1
2	101,773	187,725	110,730	24	-27	0
3	101,808	187,716	110,730	-11	-18	0
4	101,823	187,771	110,730	-26	-73	0
5	101,815	187,690	110,729	-18	8	1
6	101,751	187,766	110,730	46	-68	0
7	101,745	187,768	110,731	52	-70	-1
8	101,754	187,671	110,730	43	27	0
9	101,800	187,705	110,729	-3	-7	1
10	101,835	187,720	110,729	-38	-22	1
11	101,853	187,777	110,730	-56	-79	0
12	101,763	187,716	110,729	34	-18	1
13	101,833	187,777	110,730	-36	-79	0
14	101,870	187,774	110,730	-73	-76	0
15	101,742	187,756	110,730	55	-58	0
16	101,822	187,691	110,729	-25	7	1
17	101,815	187,662	110,729	-18	36	1
18	101,812	187,697	110,730	-15	1	0
19	101,802	187,799	110,731	-5	-101	-1
20	101,814	187,764	110,730	-17	-66	0
21	101,867	187,709	110,729	-70	-11	1
22	101,830	187,750	110,729	-33	-52	1
23	101,799	187,634	110,728	-2	64	2
24	101,843	187,671	110,729	-46	27	1
25	101,820	187,714	110,729	-23	-16	1
26	101,748	187,708	110,730	49	-10	0
27	101,776	187,695	110,729	21	3	1
28	101,769	187,694	110,730	28	4	0

Средняя квадратическая ошибка определения координат, вычисленная по формуле Гаусса, составила: по оси X 38,0 мм, по оси Y 45,0 мм и по оси H 1,0 мм. Измерение 19 было исключено из обработки как ошибочное, так как посадка была осуществлена вне допустимого радиуса [4].

После этого исследования были выполнены в полевых условиях с применением квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro. При выполнении исследования был слабый ветер. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Результаты второго цикла измерений

Исходная	X, м	У, м	Н, м	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔH , мм
	1032,060	1994,814	298,081			
1	1032,018	1994,830	298,078	42	-16	3
2	1032,036	1994,769	298,077	24	45	4
3	1032,054	1994,800	298,079	6	14	2
4	1032,081	1994,847	298,078	-21	-33	3
5	1032,051	1994,831	298,079	9	-17	2
6	1031,988	1994,882	298,082	72	-68	-1
7	1031,981	1994,817	298,081	79	-3	0
8	1032,032	1994,812	298,077	28	2	4
9	1032,081	1994,823	298,079	-21	-9	2
10	1032,055	1994,869	298,079	5	-55	2
11	1032,009	1994,836	298,079	51	-22	2
12	1032,004	1994,808	298,077	56	6	4
13	1032,026	1994,834	298,078	34	-20	3
14	1032,090	1994,792	298,083	-30	22	-2
15	1032,051	1994,773	298,078	9	41	3
16	1032,093	1994,800	298,080	-33	14	1
17	1032,017	1994,810	298,077	43	4	4
18	1032,097	1994,830	298,077	-37	-16	4

Средняя квадратическая ошибка, вычисленная по формуле Гаусса, составила: по оси X 39,0 мм, по оси Y 29,0 мм, по оси H 3,0 мм.

Заключение

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

– СКО посадки квадрокоптера в плане составляет 5–6 см и её значение зависит от модели квадрокоптера и навыка пилота;

– СКО измерений высотных отметок в лабораторных условиях составила 1,0 мм, а в полевых 3,0 мм.

Таким образом, БПЛА можно использовать в качестве подвижной вехи с возможностью получения топографических данных с точностью масштаба 1:500. Подвижная веха позволяет определять превышения и высоты поверхностей с СКО порядка 2,0–3,0 мм [5–7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Украинко В. М., Уставич Г. А., Сучков О. П., Созыкин С. И. Автоматизация инженерно-геодезических измерений // методические указания. – Новосибирск : НИИГАиК, 1985. – 75 с.
2. Уставич, Г.А. Геодезия // учебник. – Новосибирск : СГГА, 2012. – Книга 1, 40 с.
3. Уставич, Г.А. Геодезия // учебник. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Книга 2, 94 с.

4. ГКИНП (ГНТА)-02-033-82. Инструкция по топографической съемке масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – Введ. 1983-01-01. – М. : Недра, 1989. – 38 с.
5. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция. СНиП 11-02-96. – Введ. 2013-07-01. – М. : 2012. – 23 с.
6. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – Введ. 2017-07-01. – М. : 2016. – 31 с.
7. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – Введ. 1998-01-01. – М. : Геострой России, 1997. – 27 с.

© В. Г. Сальников, А. М. Астапов, А. Ш. Тюндешева, Д. А. Баранников, 2022