

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СХОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ СЪЕМКИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ АППАРАТОВ ГЕОСКАН 40 И GNSS ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «НАТАЛКА» МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*В.В. Курбатова, Н.Е. Ломакина, И.Ю. Гарифулина, М.А. Кузьменков, Е.А. Ельникова, А.Ф. Никулин,
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)»,
г. Магадан, Россия*

Аннотация: Статья посвящена исследованию существующего опыта выполнения маркшейдерских работ с помощью беспилотного воздушного судна (БВС) Геоскан 40 на месторождении «Наталка» Магаданской области. Выполнена параметрическая сходимость результатов съемки БВС Геоскан 40 и GNSS с оценкой точности. Определено, что на точность определения объемов по фотограмметрическим данным влияет множество факторов: погрешность инструмента, точность определения координат ступени съемочного обоснования, геометрическая корректность объекта. Была выполнена аппроксимация измерений и сравнительный анализ данных полученных геодезическим и фотограмметрическим методами. Результаты исследований могут быть полезными в практической деятельности маркшейдерской службы на предприятии.

Ключевые слова: месторождение «Наталка», маркшейдерские работы, беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, дрон, съемка, средняя квадратическая ошибка, GPS, фотограмметрия.

PARAMETRIC CONVERGENCE OF THE SURVEY RESULTS OF GEOSCAN 40 AND GNSS UNMANNED AERIAL VEHICLES DURING SURVEYING OPERATIONS AT THE NATALKA FIELD IN THE MAGADAN REGION

*V.V. Kurbatova, N.E. Lomakina, I.Yu. Garifulina, M.A. Kuzmenkov, E.A. Yelnikova, A.F. Nikulin,
«North-Eastern State University (Polytechnic Institute)», Magadan, Russia*

Abstract: The article is devoted to the study of the existing experience of performing surveying operations using an unmanned aerial vehicle (Phantom 4 Pro UAV with RTK mode) at the Dukat mine. In particular, it was determined that the accuracy of determining volumes from photogrammetric data is influenced by many factors - the error of the instrument, the accuracy of determining the coordinates of the condensation of the survey justification, the geometric correctness of the object, based on this, the approximation of measurements and comparative analysis of data obtained by geodetic and photogrammetric methods were performed. The results of the research can be useful in the practical activities of the surveying service at the enterprise.

Keywords: the Natalka deposit, surveying work, unmanned aerial vehicle, quadcopter, drone, shooting, mean square error, GPS, photogrammetry.

Съемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в частности с беспилотного воздушного судна (БВС) в горнодобывающей отрасли становится все более востребованной. Данная тенденция объясняется возросшим спросом на потребность оперативности, полноты и точности измерений и расчетов, достаточных для рационального использования и охраны недр, безопасного ведения горных работ, требующих более разумного и перспективного решения выполнения маркшейдерского обеспечения на открытых горных работах [1-5]. Исходя из этого определена цель исследований, состоящая в оценке параметрической сходимости съемки с беспилотного воздушного судна БВС Геоскан 40 и GNSS приемником Topcon GR-5.

Цель исследований: определение параметрической сходимости съемки беспилотного воздушного судна БВС Геоскан 40 и GNSS при выполнении маркшейдерских работ на месторождении «Наталка» Магаданской области [5-9].

Объект исследований: месторождение «Наталка» Магаданской области.

Методы исследований. В процессе исследований выполнено параметрическое сравнение результатов съемок GNSS приемником Topcon GR-5 и БВС Геоскан 401 – 4 съемки местности: 2 съемки GNSS приемником Topcon GR-5 и 2 съемки БВС Геоскан 401.

Результаты исследований. Объектом для сравнения был выбран съезд склада, представленный на рис. 1.

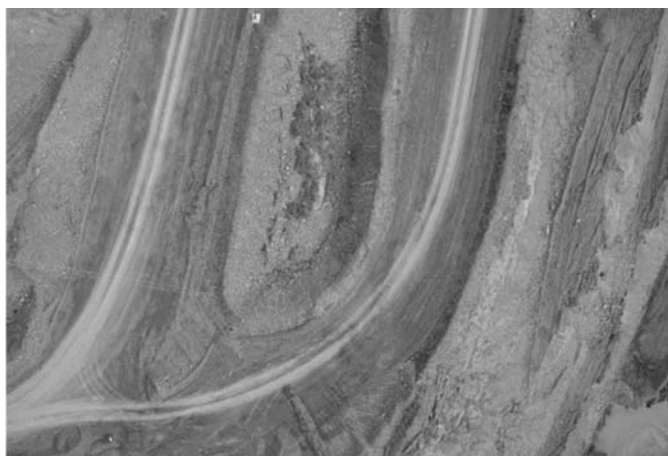


Рис. 1. Фото склада («Наталка») / Fig. 1. Photo of the warehouse («Natalka»).

В результате обработки фотоснимков и построения цифровой модели местности (ЦММ) данной местности получена модель, представленная на рис. 2.

Также, с использованием GNSS приемником TOPCON GR-5, получены координаты пикетов на протяжении всего съезда. Пикеты обозначены точками на рис. 2. Имея координаты и высоты точек, полученных с помощью GNSS приемника, мы нашли на ЦММ точки с одинаковыми координатами X и Y, а затем сравнили их высотные отметки. Несколько точек были взяты на плоскости, чтобы рассмотреть, возможно ли присутствие ошибки взятия высоты из-за ошибки получения координат в плане [10-13]. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Из оценки результатов, следует, что съемка БВС в среднем показывает высоты выше в среднем на 20 сантиметров, и о том, что ошибка одинакова как при измерении высот на склоне, так и при измерении высот на плоскости.

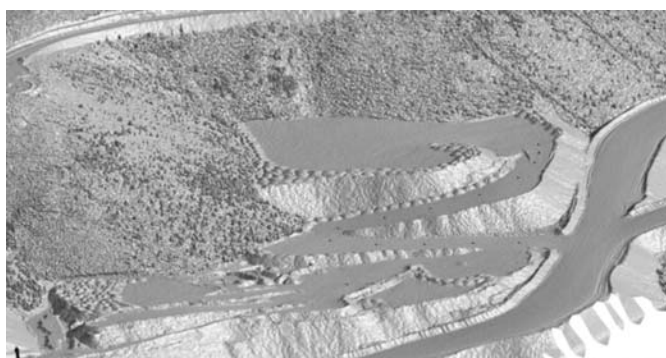


Рис. 2. ЦММ съезда / Fig. 2. CMM of the congress.

Для сравнения плановых меток точек были сняты несколько бровок как БВС, так и GNSS приемником. Результаты сравнения плановых меток представлены в табл. 2.

Таблица 1 / Table 1

Разница в плановых координатах / The difference in the planned coordinates.

Различие по оси x, м(Δx) / X-axis difference, m(Δx)	Различие по оси y, м(Δy) / Y-axis difference, m(Δy)	Наименьшее расстояние l, м / The smallest distance l, m
-0,035	-0,005	0,035
-0,046	-0,007	0,047
-0,337	-0,159	0,373
0,513	0,031	0,514
0,393	0,024	0,394
0,284	0,126	0,311
0,746	0,291	0,801
0,08	0,035	0,087

Таблица 2 / Table 2

Сравнение высотных отметок / Comparison of elevations.

№ п/п	Съемка GNSS приемником / GNSS receiver shooting			Съемка БВС Геоскан 401 / Shooting of the UAV Geoscan 401			Разница превышений, м / Excess difference, m
	y, м	x, м	h, м	y, м	x, м	h, м	
1	238804,837	-68268,936	880,829	238804,837	-68268,936	881,056	-0,227
2	238775,217	-68289,524	882,738	238775,217	-68289,524	883,023	-0,285
3	238743,238	-68310,095	884,812	238743,238	-68310,095	885,060	-0,248
4	238711,265	-68330,462	887,548	238711,265	-68330,462	887,668	-0,120
5	238686,609	-68359,139	890,419	238686,609	-68359,139	890,490	-0,071
6	238706,211	-68378,830	892,411	238706,211	-68378,830	892,541	-0,130
7	238744,421	-68370,558	895,636	238744,421	-68370,558	895,853	-0,217
8	238779,896	-68358,511	899,709	238779,896	-68370,558	899,923	-0,214
9	238822,679	-68353,794	903,935	238822,679	-68353,794	904,207	-0,272
10	238865,369	-68364,425	906,710	238865,369	-68364,425	906,953	-0,243
11	238894,046	-68386,480	908,692	238894,046	-68386,480	908,975	-0,283
12	238907,961	-68401,721	910,893	238907,961	-68401,721	911,152	-0,259
13	238917,855	-68419,035	911,996	238917,855	-68419,035	912,146	-0,150
14	-70566,151	236099,828	708,962	-70566,277	236100,112	709,202	-0,240
15	-70551,099	236105,402	708,702	-70551,390	236106,148	708,900	-0,198
Среднее / Average							-0,210

На основании анализа полученных результатов определено, что максимальное различие по оси абсцисс (x) составляет 75 сантиметров, а по оси ординат (y) – 29 сантиметров. При этих условиях наблюдается отсутствие горизонтальной закономерности, влияющая на процесс получения плановых координат БВС Геоскан 401 [13-17].

Ошибка определения координат влияет и на ошибку определения высотной отметки на склонах. В частности, учитывая наклон дороги склада, используемую для сравнения съемок, и максимальную ошибку определения координат в плане, установлено, что влияние ошибки определения координат в плане может добавлять или отнимать до 5 сантиметров значения высотной отметки.

Заключение

Высотные отметки каркаса в среднем выше высотных отметок съемки GNSS приемников на 20 сантиметров.

Учитывая постоянность ошибки, можно исследовать ее, и на основании исследования ввести поправки, которые увеличат точность измерения.

Плановые отметки каркаса достигают разницы с отметками, полученными GNSS приемником максимально на 75 сантиметров, без какой-либо систематики.

Ошибка определения координат в плане может влиять на определение высотных отметок.

Полученные из исследований ошибки определения координат и высот указывают на то, что данный метод может быть применен при съемках масштаба 1:5000 и мельче.

Требуются дальнейшие исследования со значительным увеличением количества точек, а также съемок разных объектов и ситуаций, для того, чтобы сделать вывод о возможности применения данного метода для съемок более крупного масштаба [17-20].

Выводы

1. Проведено исследование существующего опыта выполнения маркшейдерских работ с помощью беспилотного воздушного судна Геоскан 40 на месторождении «Наталка» Магаданской области.

2. Выполнены параметрическая сходимость результатов съемки БВС Геоскан 40 и GNSS с оценкой точности, а также аппроксимация измерений и сравнительный анализ данных, полученных геодезическим и фотограмметрическим методами.

3. Результаты исследований могут быть полезными в практической деятельности маркшейдерской службы на предприятии. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдаков С.Ф. Управление квадрокоптером при полетах с малыми и средними перегрузками [Текст]: монография / С.Ф. Бурдаков, А.О. Марков. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2016. – 250 с.
2. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты [Текст] / Н.Я. Василин. – М.: Попурри, 2012. – 272 с.
3. Гурина Т.А. Качественные методы дифференциальных уравнений в теории управления летательными аппаратами [Текст] / Т.А. Гурина. – М.: Московский авиационный институт (МАИ), 2014. – 614 с.
4. Курбатова В.В. Верификация аэрофотосъемки и GNSS-съемки рудных складов [Текст] / В.В. Курбатова // Маркшейдерский вестник. – 2021. – №3 (142) – с. 33-37.
5. Курбатова В.В. Витальность аэрофотосъемки и GNSS-съемки рудных складов [Текст] / В.В. Курбатова // Маркшейдерия и недропользование. – 2021. – №4 (114) – с. 45-48.
6. Курбатова В.В. Маркшейдерский учет объемов рудных складов с применением методов ДЗЗ [Текст] / В.В. Курбатова // Маркшейдерия и недропользование. 2020. – №5 (109) – с. 43-46.
7. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ [Текст] / Ю.В. Макаров. – М.: МАИ, 2015. – 256 с.
8. Митрофанова Н.С. Дроны: история возникновения, сферы применения, и перспективы развития [Текст] / Н.С. Митрофанова // IT: вчера, сегодня, завтра: материалы IV научно-исследовательской конференции студентов и аспирантов Института водного транспорта – СПб: 2016. – с. 173-184.
9. Московкин Л.Н. Коммутационная аппаратура летательных аппаратов. Технология изготовления и оборудование [Текст] / Л.Н. Московкин, И.В. Борисов, И.И. Захаров. – Москва: СПб. [и др.]: Питер, 2011. – 256 с.
10. Мячкина Н.А. Область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в современном мире [Текст] / Н.А. Мячкина // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: сборник трудов конференции 01-20 мая. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2017. – с. 36 - 47.
11. Петров, К.П. Аэродинамика элементов летательных аппаратов [Текст] / К.П. Петров. – М.: ЁЁ Медиа, 2013. – 255 с.
12. Сильвестров, М.М. Автоматизация управления летательными аппаратами с учетом человеческого фактора [Текст] / М.М. Сильвестров, Л.М. Козиоров, В.А. Пономаренко. – М.: Машиностроение, 2013. – 184 с.
13. Сихарулидзе Ю.Г. Баллистика летательных аппаратов [Текст] / Ю.Г. Сихарулидзе. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 2010. – 352 с.
14. Ткачева О.А. Мониторинг земель: специфика и технологии ведения [Текст] / О. А. Ткачева // Мониторинг. Наука и технологии. – 2016. – № 1 (26). – с. 59 - 64.
15. Федосеева Н.А. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов [Текст] / Н.А. Федосеева, М.В. Загвоздкин // Научный журнал. – 2017. – № 9 (22). – с. 26 - 29.
16. Хабарова И.А. Обзор современных достижений в фотограмметрии и аэрофотосъемке [Текст] / И.А. Хабарова, Д.А. Хабаров, И.Д. Яворская, И.Н. Иванов // Международный журнал прикладных наук и технологий INTEGRAL - 2019 - № 4 - 2 - с. 2.
17. Эшли Х. Инженерные исследования летательных аппаратов [Текст] / Х. Эшли. – М.: Машиностроение, 2016. – 424 с.
18. O'Connor M., Ruwisch F., Kersten T., [et al.] Low-latency GNSS Multipath Simulator for Real-Time Applications in Autonomous Driving // Conference: 25th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT). – Spain, Valencia: IEEE/ACM DS-RT, 2021 – с. DOI:10.1109/DS-RT52167.2021.9576146.

19. Ruffer J., Schulz M., Wubben G. Prazise Positionsbestimmung und Ausrichtung auf hoher See // Offshore & Meerestechnik, Nr. 4, April. - 2020 - №4, April. - с. 1-5.
20. Russell J. Kampf Überlebensfähigkeit (Luftfahrzeuge)/J. Russell - M: VSD, 2013. - 138 с.

REFERENCES

1. Burdakov S.F. Quadcopter control during flights with low and medium overloads [Text]: monograph / S.F. Burdakov, A.O. Markov. - St. Petersburg: SPbGPU, 2016. - 250 p.
2. Vasilin N.Ya. Unmanned aerial vehicles [Text]/ N.Ya. Vasilin. - M.: Potpourri, 2012. - 272 p.
3. Gurina T.A. Qualitative methods of differential equations in the theory of aircraft control [Text] / T.A. Gurina - M.: Moscow Aviation Institute (MAI), 2014. - 614 p.
4. Kurbatova V.V. Verification of aerial photography and GNSS surveys of ore warehouses [Text] / V.V. Kurbatova // Surveying Bulletin. - 2021. - №3 (142) . - pp. 33-37.
5. Kurbatova V.V. The vitality of aerial photography and GNSS surveys of ore warehouses[Text] / V.V. Kurbatova // Surveying and subsoil use. - 2021. - №4 (114) - pp. 45-48.
6. Kurbatova V.V. Surveying accounting of ore storage volumes using remote sensing methods[Text] / V. V. Kurbatova // Surveying and subsoil use. 2020. - №5 (109). - pp. 43-46.
7. Makarov Yu.V. MAI aircraft [Text] / Yu.V. Makarov. - M.: MAI, 2015. - 256 p.
8. Mitrofanova N.S. Drones: history of origin, scope of application, and prospects of development [Text] / N.S. Mitrofanova // IT: yesterday, today, tomorrow: materials of the IV research conference of students and postgraduates of the Institute of Water Transport. - St. Petersburg: 2016. - pp. 173-184.
9. Moskovkin L.N. Switching equipment of aircraft. Manufacturing technology and equipment [Text] / L.N. Moskovkin, I.V. Borisov, I.I. Zakharov. - Moscow: SPb. [et al.]: Peter, 2011. - 256 p.
10. Myachkina N.A. The field of application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the modern world [Text] / N.A. Myachkina // International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of V. G. Shukhov BSTU: proceedings of the conference May 01-20. - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2017. - pp. 36-47.
11. Petrov, K.P. Aerodynamics of elements of aircraft [Text] / K.P. Petrov. - M.: HER Media, 2013. - 255 p.
12. Silvestrov, M.M. Automation of aircraft control taking into account the human factor [Text] / M.M. Silvestrov, L.M. Koziorov, V.A. Ponomarenko. - M.: Mashinostroenie, 2013. - 184 p.
13. Sikharulidze Yu.G. Ballistics of aircraft [Text] / Yu.G. Sikharulidze. - M.: Main editorial office of physics and mathematics literature of the publishing house «Nauka», 2010. - 352 p.
14. Tkacheva O.A. Monitoring of lands: specifics and technologies of management [Text] / O.A. Tkacheva // Monitoring. Science and technology. - 2016. - № 1 (26). - pp. 59-64.
15. Fedoseeva N.A. Promising areas of application of unmanned aerial vehicles [Text] / N.A. Fedoseeva, M.V. Zagvozdkin // Scientific Journal. - 2017. - № 9 (22). - pp. 26 - 29.
16. Khabarova I.A. Review of modern achievements in photogrammetry and aerial photography [Text] / I.A. Khabarova, D.A. Khabarov, I.D. Yavorskaya, I.N. Ivanov // International Journal of Applied Sciences and Technologies INTEGRAL - 2019. - № 4 - 2. - с. 2.
17. Ashley H. Engineering studies of aircraft [Text] / H. Ashley - M.: Mechanical Engineering, 2016. - 424 p.
18. O'Connor M., Ruwisch F., Kersten T., [et al.] Low-latency GNSS Multipath Simulator for Real-Time Applications in Autonomous Driving // Conference: 25th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT). - Spain, Valencia: IEEE/ACM DS-RT, 2021. - C. DOI:10.1109/DS-RT52167.2021.9576146.
19. Ruffer J., Schulz M., Wubben G. Prazise Positionsbestimmung und Ausrichtung auf hoher See // Offshore & Meerestechnik, Nr. 4, April. - 2020 - №4, April. - C. 1-5.
20. Russell J. Kampf Überlebensfähigkeit (Luftfahrzeuge)/J. Russell - M: VSD, 2013. - 138 с.

БЛАГОДАРНОСТИ /ACKNOWLEDGMENTS: Особая благодарность Шпагину Марку Викторовичу помощнику маркшейдера рудника «Дукат», за оказанную консультативную помощь / Special thanks to Mark Viktorovich Shpagin, assistant surveyor of the Dukat mine, for the advisory assistance provided.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Курбатова Вероника Владимировна:
доцент,
кандидат технических наук,
Северо-Восточный государственный университет
Политехнический институт,
г. Магадан, Россия,
e-mail: vvnik@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kurbatova Veronika Vladimirovna:
Associate Professor,
Candidate of Technical Sciences,
Northeastern State University Polytechnic Institute,
Magadan, Russia,
e-mail: vvnik@mail.ru



Ломакина Наталья Евгеньевна:
ст. преподаватель кафедры Горного дела,
Северо-Восточный государственный университет
Политехнический институт,
г. Магадан, Россия,
e-mail: lom_a_n_@mail.ru

Lomakina Natalia Evgenievna:
senior lecturer of the Mining Department,
Northeastern State University Polytechnic Institute,
Magadan, Russia,
e-mail: lom_a_n_@mail.ru



Гарифулина Ирина Юрьевна:
ст. преподаватель кафедры Геологии и Горного
дела,
Северо-Восточный государственный университет
Политехнический институт,
г. Магадан Россия,
e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Garifulina Irina Yuryevna:
senior lecturer of the Department of Geology and Mining,
Northeastern State University Polytechnic Institute,
Magadan, Russia,
e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru



Кузьменков Максим Андреевич:
ассистент преподавателя кафедры Геологии и
Горного дела,
Северо-Восточный государственный университет
Политехнический институт,
г. Магадан, Россия,
e-mail: snowfallandtea@mail.ru

Kuzmenkov Maxim Andreevich:
teaching assistant of the Department of Geology and
Mining,
North-Eastern State University Polytechnic Institute,
Magadan, Russia,
e-mail: snowfallandtea@mail.ru



Ельникова Елена Александровна:
ст. преподаватель кафедры энергетики,
транспорта и строительства,
Северо-Восточный государственный университет
Политехнический институт,
г. Магадан, Россия,
e-mail: lenaelmail@mail.ru

Yelnikova Elena Aleksandrovna:
Senior lecturer of the Department of Energy,
Transport and Construction,
Northeastern State University Polytechnic Institute,
Magadan, Russia,
e-mail: lenaelmail@mail.ru

Никулин Александр Фёдорович:
студент,
специализация «Маркшейдерское дело»,
Северо-Восточный государственный университет
Политехнический институт,
г. Магадан, Россия,
e-mail: nikulin11111@inbox.ru, +79148617135

Nikulin Alexander Fedorovich:
student,
specialization «Surveying»,
North-Eastern State University Polytechnic Institute,
Magadan, Russia,
e-mail: nikulin11111@inbox.ru, +79148617135

ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION: Курбатова В.В., Никулин А.Ф. — идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; Ельникова Е.А., Гарифулина И.Ю. — оценка результатов и коррекция написанной работы; Ломакина Н.Е. — оценка результатов исследования, Кузьменков М.А. — выборка и сбор материала для исследований / *Kurbatova V.V., Nikulin A.F.* — the idea of research, the formulation of the conflict of the current paradigm and new facts, writing a scientific paper; *Yelnikova E.A., Garifulina I.Yu.* — evaluation of results and correction of the written work; *Lomakina N.E.* — evaluation of research results, *Kuzmenkov M.A.* — selection and collection of material for research.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.