

Научная статья

Original article

УДК 528.8.042.1

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_5_229

**БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ В ГЕОДЕЗИИ.
МЕТОДЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**
**UNMANNED AERIAL VEHICLES IN GEODESY. METHODS OF THEIR
APPLICATION**



Шкретов Александр Александрович, ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Россия, Краснодар, студент 1-го курса землеустроительного факультета, fcssd2014@mail.ru.

Турк Геннадий Гиссович, кандидат технических наук, ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Россия, Краснодар, доцент кафедры геодезии.

Shkretov Aleksandr Aleksandrovich, FGBOU «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Russia, Krasnodar, 1st year student of the Faculty of Land Management, fcssd2014@mail.ru.

Turk Gennady Gissoovich, candidate of technical sciences, FGBOU «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Russia, Krasnodar, Associate Professor of the Department of Geodesy.

Аннотация. В данной статье изучены современные методы использования беспилотных летательных аппаратов в геодезии, история их внедрения и использования, изложены способы классификации беспилотных летательных аппаратов по нескольким критериям. Проведён анализ некоторых параметров

аппаратов, необходимых для оптимизации топографической съёмки. Рассмотрены причины, вызывающие погрешности и неточности фотограмметрической съёмки с использованием беспилотных летательных аппаратов. Спрогнозированы векторы дальнейшего развития.

Abstract. This article studies modern methods of using drones in geodesy, the history of their introduction and use, outlines ways of classifying drones according to several criteria. The analysis of some parameters of the devices necessary for optimization of topographic surveying is carried out. The reasons causing errors and inaccuracies of photogrammetric mapping with the use of drones have been considered. Vectors of further development are predicted.

Ключевые слова: БПЛА, фотограмметрия, топография, геодезия, аэрофотосъёмка, лидары

Keywords: UAVs, photogrammetry, topography, geodesy, aerial photography, lidars

Потребность в систематизации и правильной организации использования земель существует с давних лет. Традиционный сельскохозяйственный род деятельности людей требовал появления межевания [8]. Всё больше проявлялась нужда в планах и картах.

Также появлению и развитию уменьшенных подобных изображений на плоскости всегда способствовали торговля, систематизация управления государством, необходимость сообщения между государствами.

Первые планы и карты составлялись без каких-либо приборов, от чего были довольно приблизительными. Первые планы и карты составлялись с возвышения, которое удовлетворяло потребность видеть описываемую территорию, однако точность человеческого глаза довольно скоро перестала удовлетворять людей [2].

Стали появляться первые геодезические приборы. Кратко говоря, история геодезических приборов берет свое начало со времен строительства системы оросительных каналов в древнем Вавилоне и Египте. В 200г. до н.э.

была впервые определена инструментально окружность Земли. Птолемей изобрел линейку для измерения вертикальных углов, а Гиппарх использовал астролябию с лимбом – это древний прообраз теодолита.

Следующей важной вехой развития стало появление зрительной трубы. Создал её Галилео Галилей в 1609 году. Спустя 53 года, французский путешественник и картограф Мельхиседек Тевено явил миру цилиндрический уровень. А ещё через 12 лет, благодаря итальянскому учёному Мантанари, появились дальномерные нити для зрительной трубы.

Это привело к тому, что в 1730 году Джон Сиссон построил первый теодолит, обладающий всеми чертами современных теодолитов. Далее развитие геодезических приборов только ускорялось [1].

Важным этапом развития, особенно касающимся темы статьи, было появление в 1840 году новой научной дисциплины – фотограмметрии. Фотограмметрия изучает способы и методы определения формы, размеров и местоположения объектов на плоскости или в пространстве по их фотографическим изображениям или иным регистрограммам, полученным с использованием различных съёмочных систем.

В 1840 году Ф. Араго начал проводить необходимые съёмки с воздушного шара. Когда появились самолёты, этот процесс стал более быстрым и рентабельным. Но прогресс не стоит на месте.

Сегодня для этих целей широко используются спутниковые системы и БПЛА. Камеральные работы по обработке цифровых аэрофотоснимков и точек лазерных отражений включают в себя: создание проекта для программного обеспечения; классификация точек лазерных отражений (ТЛО) – проводимая путем комбинирования автоматической классификации и ручной реклассификации; построение растровых геоповерхностей; формирование файлов внешнего ориентирования; построение ортофотопланов; оптимизация цифровой модели рельефа; создание цифровых топографических планов [2].

Главными направлениями использования БПЛА в геодезии являются лазерное сканирование и аэрофотосъёмка. Лазерное сканирование осуществляется с помощью лидаров. Лидар – устройство, определяющее расстояние с помощью испускаемого света. А точнее с помощью времени, потраченного на достижение пучком света необходимой точки, отражение от неё и возврат на лидар.

Аэрофотосъёмка производится с помощью камер высокого разрешения.

Аэрофотосъёмка – процесс фотографирования территории с высоты в пределах от ста метров до нескольких десятков километров с помощью закрепленного на летательном аппарате аэрофотоаппарата (самолете, вертолете, дирижабле или беспилотном летающем средстве).

Использование БПЛА сегодня имеет особое место в геодезии. Это быстроразвивающееся направление [3]. На сегодняшний день ежедневно проводится множество съёмок с помощью БПЛА. Набирает популярность использование ЦММ (цифровые модели местности) и ЦМР (цифровая модель рельефа). ЦМР – трёхмерное изображение поверхности (облако точек) земельного участка, которое даёт всю необходимую информацию о рельефе местности. А ЦММ – трёхмерное изображение поверхности участка, включая растительность, строения и т.д. Т.к. самый удобный и дешёвый метод их составлять – это БПЛА, то они будут лишь больше интегрироваться в деятельность геодезистов.

Давайте изучим классификацию БПЛА. Выделяют четыре основные группы:

1. БПЛА самолётного типа;
2. Мультироторные БПЛА;
3. БПЛА аэростатического типа;
4. Гибридные винтокрылые аппараты;

БПЛА самолётного типа называют ещё и БПЛА с фиксированным (жёстким) крылом. Подъёмная сила в них создаётся, как следует из названия, по аналогии с самолётами, т.е. аэродинамическим способом. Они делятся на фюзеляжные и «летающее крыло». Фюзеляжные имеют больший вес, поэтому могут нести дополнительный вес, и являются более стабильными в небе. Летающее крыло имеет более простую конструкцию, что сказывается как положительно, так и отрицательно.

Понять то, по каким параметрам оценивать БПЛА самолётного типа, поможет формула подъёмной силы в упрощённом виде:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S,$$

где Y – подъёмная сила, C_y – коэффициент подъёмной силы, V – скорость полёта, S – площадь крыла, а ρ – плотность воздуха.

Все величины являются понятными с первого взгляда, кроме одной. Что же такое «коэффициент подъёмной силы»?

Коэффициент подъёмной силы является численным коэффициентом, который зависит от угла атаки и формы профиля крыла.

Чтобы летательный аппарат оторвался от земли, необходимо создать подъёмную силу большую, чем вес этого аппарата. В целом, зная из чего формируется подъёмная сила, можно оценить эффективность БПЛА самолётного типа [4].

Мультироторы часто используются в геодезии. Их различают, в первую очередь, по количеству винтов. Современные технологии сформировали условия такие, что деформация (поломка) одного из винтов не нарушает работу БПЛА.

БПЛА аэростатического типа – устройство, в котором подъёмная сила создаётся с помощью силы Архимеда. В большей мере этот тип БПЛА представлен дирижаблями. Главными плюсами аэростатических БПЛА являются высокие грузоподъёмность и дальность полёта.

Гибридные винтокрылые аппараты представляют из себя гибриды (комбинации) из других типов БПЛА [5]. Самый яркий представитель – конвертоплан. Конвертоплан – летательный аппарат с поворотными винтами, который при взлёте работает на принципах мультироторов, а при полёте самолётного типа.

Ниже прилагается краткая таблица с классификацией БПЛА.

Таблица 1. Краткая классификация БПЛА

	Самолётного типа	Мультироторные	Аэростатического типа	Гибридные винтокрылые аппараты
Представители	Многоцелевые самолёты, разведывательные БПЛА и т.п.	Трикоптеры, октокоптеры, гексокоптеры	Дирижабли	Автожир, конвертоплан
Классификация	Фюзеляжные, «твёрдое крыло»	По количеству винтов	-	По скомбинированным типам БПЛА
Примеры	Геоскан 201	Геоскан 401	ДП-27 «Анюта»	Автожир «Химик»

Классический метод использования БПЛА в геодезии – фотограмметрия [6]. К сожалению, фотограмметрия, как и любой другой вид съёмки, не лишена погрешности. Это связано с атмосферной рефракцией, внутренней рефракцией и так далее. Ранее большой вклад в неточность фотограмметрической съёмки делала фотоплёнка, так как деформации и неточности во время съёмки и проявления были весьма ощутимы в своей сумме. Однако теперь используются цифровые камеры, что позитивно сказывается на качестве съёмки [7]. Однако, и в этом случае возникают

определённые погрешности, как, например, неплоскостность поверхности матрицы.

Для исправления вышеперечисленных проблем выведены формулы и допустимые погрешности. Так, например, для смещения точек на снимке под влиянием атмосферной рефракции найдено решение. Атмосферная рефракция – явление, возникающее из-за того, что оптический луч от точки А до объектива камеры S идёт не по прямой AS, а по выгнутой во внешнюю сторону кривой. Угловая фотограмметрическая рефракция (λ) – угол между прямой AS и касательной к кривой в точке S.

Так на любой прямой NP, параллельной поверхности земли в точке А, оптический луч будет находится не на прямой, а на кривой, т.е. на некотором расстоянии Δr .

r – расстояние от SN (перпендикуляра к поверхности земли) до точки пересечений AS и NP.

Тогда получим:

$$\Delta r = - \frac{f^2 + r^2}{f} \lambda$$

Можно попробовать рассчитать то, как смещается оптический луч в некоторой точке. Например, фокусное расстояние 200 мм, расстояние от перпендикуляра SN до точки пересечения AS и NP 5 м, а $\lambda = x$. Тогда получаем:

$$\Delta r = - \frac{0.2^2 + 5^2}{0.2} x$$

$$\Delta r = -125.2x,$$

где x – значение угловой фотограмметрической рефракции.

Как итог, уже на сегодняшний день беспилотные летательные аппараты прочно закрепились в повседневной жизни работника в сфере геодезии. Однако, учитывая низкую трудоёмкость, высокую эффективность

и, благодаря развитию технологий производства, понижаящуюся стоимость, я считаю, что доля их применения во время геодезических съёмок будет расти.

Список источников

1. Турк, Г. Г. Виды геодезических приборов и их применение в сельском хозяйстве / Г. Г. Турк, А. С. Блиновских, Р. В. Новоселов // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 86-8. – С. 26-28. – DOI 10.18411/trnio-06-2022-355. – EDN GCECVN.
2. Сарксян, Л. Д. Спутниковые методы в геодезических измерениях / Л. Д. Сарксян, Г. Г. Турк // Математическое моделирование и информационные технологии при исследовании явлений и процессов в различных сферах деятельности : Сборник материалов II Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Краснодар, 14 марта 2022 года / Отв. за выпуск Н.В. Третьякова. – Краснодар: "Новация", 2022. – С. 297-301. – EDN ASVWHD.
3. Пилипенко, М. С. Проектно-изыскательские работы при предоставлении земельных участков для строительства / М. С. Пилипенко, Г. Г. Турк // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощяев. Том Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 679-681. – EDN RGUSLD.
4. Имамалыев, Т. И. Преимущества спутниковых геодезических измерений при инженерно-геодезических изысканиях / Т. И. Имамалыев, Г. Г. Турк // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощяев. Том Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный

аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 658-660. – EDN YBYZER.

5. Bepalov, V. Physical features of reducing air pollution for the operating conditions of the drying drum of brick factories / V. Bepalov, G. Turk, O. Gurova // E3S Web of Conferences : Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019, Divnomorskoe Village, 09–14 сентября 2019 года. Vol. 135. – Divnomorskoe Village: EDP Sciences, 2019. – P. 01034. – DOI 10.1051/e3sconf/201913501034. – EDN EDHBHS.

6. Гаврюхов, А. Т. Основы систем автоматизированного проектирования в землеустройстве / А. Т. Гаврюхов, И. Н. Гурский, Г. Г. Турк, А. А. Солодунов. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – 89 с. – EDN SPKXUD.

7. Пшидаток, С. К. Инженерно-геодезические изыскания для целей подготовки проектной документации линейного объекта / С. К. Пшидаток, Г. Г. Турк, Л. Д. Сарксян, М. С. Лукьянова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 178. – С. 194-203. – DOI 10.21515/1990-4665-178-015. – EDN RDBDIN.

8. Турк, Г. Г. Общие принципы и математические основы процесса измерений лазерными сканерами / Г. Г. Турк // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год : Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 06 апреля 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кошаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 292-294. – EDN FQGAN0.

9. Савченко, Ю. М. Особенности управления земельными ресурсами Краснодарского края / Ю. М. Савченко, Г. Г. Турк // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8, № 2. – DOI 10.55186/2413046X_2023_8_2_64. – EDN YHHXMX.

References

1. Turk, G. G. Vidy` geodezicheskix priborov i ix primeneniye v sel'skom khozyajstve / G. G. Turk, A. S. Blinovskix, R. V. Novoselov // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2022. – № 86-8. – S. 26-28. – DOI 10.18411/trnio-06-2022-355. – EDN GCECVN.
2. Sarksyán, L. D. Sputnikovy`e metody` v geodezicheskix izmereniyax / L. D. Sarksyán, G. G. Turk // Matematicheskoe modelirovaniye i informacionny`e tekhnologii pri issledovanii yavlenij i processov v razlichny`x sferax deyatel`nosti : Sbornik materialov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, magistrantov i aspirantov, Krasnodar, 14 marta 2022 goda / Otv. za vy`pusk N.V. Tret`yakova. – Krasnodar: "Novaciya", 2022. – S. 297-301. – EDN ASVWHD.
3. Pilipenko, M. S. Proektno-izy`skatel`skie raboty` pri predostavlenii zemel`ny`x uchastkov dlya stroitel`stva / M. S. Pilipenko, G. G. Turk // Nauchnoye obespecheniye agropromy`shlennogo kompleksa : Sbornik statej po materialam 77-j nauchno-prakticheskoy konferencii studentov po itogam NIR za 2021 god. V 3-x chastyax, Krasnodar, 01 marta 2022 goda / Otv. za vy`pusk A.G. Koshhaev. Tom Chast` 1. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2022. – S. 679-681. – EDN RGUSLD.
4. Imamaly`ev, T. I. Preimushhestva sputnikovy`x geodezicheskix izmerenij pri inzhenerno-geodezicheskix izy`skaniyax / T. I. Imamaly`ev, G. G. Turk // Nauchnoye obespecheniye agropromy`shlennogo kompleksa : Sbornik statej po materialam 77-j nauchno-prakticheskoy konferencii studentov po itogam NIR za 2021 god. V 3-x chastyax, Krasnodar, 01 marta 2022 goda / Otv. za vy`pusk A.G. Koshhaev. Tom Chast` 1. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2022. – S. 658-660. – EDN YBYZER.
5. Bespalov, V. Physical features of reducing air pollution for the operating conditions of the drying drum of brick factories / V. Bespalov, G. Turk, O. Gurova // E3S Web of Conferences : Innovative Technologies in Environmental Science

and Education, ITESE 2019, Divnomorskoe Village, 09–14 sentyabrya 2019 goda. Vol. 135. – Divnomorskoe Village: EDP Sciences, 2019. – P. 01034. – DOI 10.1051/e3sconf/201913501034. – EDN EDHBHS.

6. Gavryuxov, A. T. Osnovy` sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya v zemleustrojstve / A. T. Gavryuxov, I. N. Gurskij, G. G. Turk, A. A. Solodunov. – Krasnodar : Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2018. – 89 s. – EDN SPKXUD.

7. Pshidatok, S. K. Inzhenerno-geodezicheskie izy`skaniya dlya celej podgotovki proektnoj dokumentacii linejnogo ob`ekta / S. K. Pshidatok, G. G. Turk, L. D. Sarksyanyan, M. S. Luk`yanova // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – № 178. – S. 194-203. – DOI 10.21515/1990-4665-178-015. – EDN RDBDIN.

8. Turk, G. G. Obshhie principy` i matematicheskie osnovy` processa izmerenij lazerny`mi skanerami / G. G. Turk // Itogi nauchno-issledovatel`skoj raboty` za 2021 god : Materialy` Yubilejnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 100-letiyu Kubanskogo GAU, Krasnodar, 06 aprelya 2022 goda / Otv. za vy`pusk A.G. Koshhaev. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2022. – S. 292-294. – EDN FQGANO.

9. Savchenko, Yu. M. Osobennosti upravleniya zemel`ny`mi resursami Krasnodarskogo kraja / Yu. M. Savchenko, G. G. Turk // Moskovskij e`konomicheskij zhurnal. – 2023. – T. 8, № 2. – DOI 10.55186/2413046X_2023_8_2_64. – EDN YNHXMX.

Для цитирования: Шкретов А.А., Турк Г.Г. Беспилотные летательные аппараты в геодезии. Методы их применения // Московский экономический журнал. 2023. № 5. URL: <https://qje.su/selskohozyajstvennyye-nauki/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-5-2023-33/>

© Шкретов А.А., Турк Г.Г., 2023. Московский экономический журнал, 2023,