

УДК 622.012.3 528.715

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ МАРКШЕЙДЕРИИ И ГЕОДЕЗИИ

Оника С.Г. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Куликовская О.Е. (Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина), Атаманенко Ю.Ю. (Донецкий юридический институт, г. Кривой Рог, Украина)

В статье приведена разработанная классификация беспилотных летательных аппаратов на основе анализа их современных моделей. Представлены результаты использования дронов в практике проектирования карьеров, при мониторинге открытых горных работ, для решения инженерных горнотехнических и геодезических задач.

Ключевые слова: *аэрофотосъемка, беспилотные летательные аппараты, квадрокоптер, цифровые данные, программное обеспечение, инженерные задачи, карьеры, мониторинг.*

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) сегодня являются важным и быстро развивающимся сегментом мирового рынка. И этот сегмент находит применение в совершенно разных сферах жизнедеятельности человека, особенно он актуальный и рентабельный в решении большинства вопросов в области геодезии, картографии и маркшейдерии.

Тактико-технические характеристики БПЛА позволяют осуществлять оперативный мониторинг практически любых объектов инфраструктуры, находящихся на расстоянии до нескольких километров. Это позволяет своевременно реагировать на экстренные ситуации, предотвратить противоправную деятельность и т.д.

Следовательно, беспилотные летательные аппараты созданы для воздушной съемки, наблюдения за различными наземными объектами и решения других задач в реальном времени.

Основная часть

БПЛА, совершая полет заданного маршрута в автоматическом или в полуавтоматическом режиме, получают точные и достоверные материалы об особенностях рельефа местности, на которой будут проводиться горные работы, строительные работы, будет осуществляться наземное лазерное сканирование, выполняться мониторинг состояния автомобильных и железных дорог, аэропортов. Полученные материалы цифровой аэрофотосъемки являются основой для создания цифровых и электронных карт, составления топографических планов местности.

Различают 4 уровня аэрокосмической съемки: глобальный, региональный, локальный и точечный. Для решения инженерно-геодезических задач маркшейдерии и геодезии актуально рассматривать локальный и точечный уровни (таблица 1 [1]).

С целью облегчения выбора вида БПЛА выполнен критический анализ литературных источников, чтобы классифицировать беспилотные аппараты и определить перспективы их дальнейшего использования при решении картографических и инженерных задач горного дела и геодезии.

БПЛА представляют собой летательные аппараты без экипажа на борту. Одной из разновидностей беспилотных аппаратов является квадрокоптер. Появление первых квадрокоптеров (мультикоптеров) связано с развитием вертолетостроения. Первый та-

кой летательный аппарат, который имел более двух винтов, был создан и исследован в 1992 году Георгием Ботарезом [2]. Развитие квадрокоптеров получило новый импульс в XXI веке, но пилотировались они уже без участия человека, то есть они представляли собой беспилотные летательные аппараты.

Таблица 1. – Уровни аэрокосмической съемки

Уровень	Объект, что исследуется	Способ съемки
глобальный	континент, страна	спутниковый
региональный	область, район	спутниковый и авиационный (средние самолеты)
локальный	небольшие территории (поле, город) в масштабе не крупнее 1:10000	авиационные (средние самолеты, вертолеты)
точечный	населенный пункт, участок	легкие самолеты, БПЛА

БПЛА могут конструктивно иметь три (трикоптер), четыре (квадрокоптер), шесть (гексокоптер), восемь (октокоптер) или, реже, двенадцать бесколлекторных электродвигателей с винтами, причем, винтов может быть по одному на двигатель или коаксиально два.

Рассмотрим БПЛА мультироторного типа, предварительно условно разделив их на две основные группы (таблица 2):

I – легкие, основными преимуществами которых являются компактность и хорошая сохранность при падении;

II – тяжелые, которые можно разделить на устойчивые (хорошая управляемость и ветровая устойчивость, но время полета составляет – до 40 мин) и с увеличенным временем полета.

Таблица 2. – Группы мультироторных беспилотных летательных аппаратов

Тип	Группы БПЛА		Вес пустого аппарата, кг	Размер по диагонали между моторами, см	Размер винта, дюйм	Время полета, мин
I	легкие		1,5-3,0	< 80	11-17	25-50
II	тяжелые	устойчивые	3,0-6,0	80-120	14-20	25-50
		с увеличенным временем полета	3,5-4,0	100-120	> 25	> 60

Существует значительное количество различных классификаций беспилотных летательных аппаратов по следующим признакам: назначение, тип системы управления, принцип полета, классификация по летным параметрам, тип крыла, направление взлета/посадки, тип двигателя, топливная система. В таблице 3 приведена обобщенная классификация по основным из них.

Автор статьи [3] утверждает, что за счет высокой детальности снимков и оперативности работ данные, полученные с применением БПЛА, позволяют уже сегодня предложить для горных и геологических предприятий технологию оперативного решения целого ряда задач, а именно:

- 1 – осуществление мониторинга опасных участков открытых горных работ;
- 2 – определение объемов и планирование расположения отвалов пустых пород;

- 3 – построение трехмерных моделей карьеров для создания основы при проектировании горных работ на последующий период;
- 4 – выполнение контроля соответствия объектов проектным решениям;
- 5 – реализация тепловизионной съемки самовозгорания отвалов;
- 6 – контроль соблюдения техники безопасности на горном предприятии, хвостохранилищах, промышленных площадках и вахтовых поселках при отработке месторождения.

Таблица 3. – Классификация беспилотных летательных аппаратов

БПЛА по способу управления			
беспилотные неуправляемые	беспилотные автоматические	дистанционно-пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА)	
Классы БПЛА			
«микро» (до 10 кг, время полета около часа)	«мини» (до 50 кг, время полета несколько часов)	«средние» (до 1 т, время полета 10-12 часов)	«тяжелые» (>1 т, время полета до 24 часов)
По назначению			
разведывательные	боевые		многоцелевые
По способу старта			
с взлетной полосы	с катапульты		с руки
По способу приземления			
с помощью парашюта	самолетный способ		с помощью вертикальной оси
По практическому потолку полета			
маловысотные ($H < 1$ км)	средневысотные ($1 \text{ км} < H < 4 \text{ км}$)	высотные ($4 \text{ км} < H < 12 \text{ км}$)	стратосферные ($H > 12 \text{ км}$)
По времени получения собранной информации			
после посадки	в масштабе реального времени		периодически в ходе сеансов связи

Это особенно актуально для крупных предприятий с высокой скоростью движения фронта работ. В частности, существует потребность контроля оползней в отвалах пустых пород. Визуально не всегда возможно определить наличие движения больших масс породы, а иногда и физически невозможно из-за значительного объема отвалов и большой удаленности от наземных точек наблюдения. Комплекс БПЛА позволяет решать данную задачу, производя наблюдения за интересующими участками с требуемой периодичностью.

В публикации [4] предоставлен отчет PwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире. Подчеркивается, что одним из секторов, обладающих громадным нераскрытым потенциалом применения квадрокоптеров, является горнодобывающая промышленность. Возможности коммерческого применения квадрокоптеров в горном деле, на первый взгляд, не так очевидны, тем не менее, беспилотные летательные аппараты могут заменить ручной труд при выполнении опасных и монотонных операций. Помимо всего прочего, они более универсальны и рентабельны, чем вертолеты. Также они быстрее, ими легче управлять.

Сейчас квадрокоптеры проходят испытания и внедряются в основном в процессы добычи полезных ископаемых открытым способом, где они приходят на смену тру-

доемким способам инспектирования, составления обзорных карт участков работ и геологической съемки. Также они используются для обеспечения безопасности на участках добычи.

Существует четыре области применения аппаратов при добыче открытым способом: планирование, добыча, охрана окружающей среды и отчетность. При оценке доступной емкости рынка решений с использованием беспилотных устройств в этой отрасли специалисты PwC принимали в расчет конкретные категории затрат.

Открытые горные работы, как правило, ведутся на участках площадью несколько квадратных километров и на разных уровнях, что обуславливает необходимость перемещения наземных транспортных средств и экипажей на большие расстояния. Квадрокоптеры можно использовать для оперативного составления обзорной карты участка работы, оптимизации маршрутов движения и предоставления контрольной информации. Беспилотные летательные аппараты позволяют операторам шахт, рудников и карьеров сообщать о своих планах, составлять отчеты, получать сводки о ходе работ и управлять операциями в рабочей зоне карьера и размещения отвалов. Они могут без труда оценить потенциальный ущерб от шторма и осуществлять необходимый мониторинг, предоставлять геотехнические и гидрологические данные, оказывать содействие при проектировании откаточных путей, отвалов и карьеров, отображать крутые, недоступные уклоны и контролировать стабильность поверхности.

Область применения дронов при производстве геологоразведочных работ варьируется от предоставления данных, позволяющих выполнить расчет ресурсов полезных ископаемых, составить обзорную карту района добычи, до управления работами. БПЛА могут быть оснащены дополнительной аппаратурой для доставки запасных частей или забора образцов почвы для анализа месторождения. Они также могут доставлять инструменты и смазочные материалы, необходимые для производства технического обслуживания или ремонтных работ. Кроме того, они могут более оперативно, чем человек или другая техника, среагировать на возникновение чрезвычайных ситуаций, доставить медикаменты и спасательное оборудование, осуществить мониторинг состояния пострадавших до прибытия помощи, в автоматическом режиме реагировать на различные события. Так, например, для удовлетворения особых потребностей горнодобывающей промышленности компания Insitu выпустила БПЛА GeoRanger, оснащенный магнитометром для хранения и интерпретации данных о земной поверхности. Полученные с датчика данные можно хранить на борту аппарата или передавать на станцию наземного управления.

С целью изучения окружающей среды БПЛА могут обнаружить эрозию, отследить изменения в состоянии растительного покрова, выполнить поиск изъянов в инфраструктуре горнодобывающих предприятий, которые опасны для природной сферы, причем они смогут сделать это намного проще и определенно быстрее, чем человек. В некоторых странах БПЛА используются для осуществления экологического контроля (надзора). Например, в рамках борьбы с загрязнением атмосферы власти Китая стали использовать квадрокоптеры, которые отслеживают нелегальные выбросы на карьерах в ночное время.

Для своевременной подготовки горнотехнической документации и мониторинга процесса добычи на открытых горных работах БПЛА могут быть использованы на этапе раннего обнаружения отклонений в работе и возникающих угроз. Создав цифровую модель, отражающую текущий статус работ, и, выявляя изменения в состоянии горного массива, горнотехнические специалисты могут повысить безопасность и сократить затраты на процессы контроля. Раннее обнаружение отклонений от нормы и корректная оценка карьера обеспечивают быстрое реагирование и более эффективное планирова-

ние работ. Кроме того, это будет способствовать автоматизации всего процесса извлечения полезных ископаемых из недр, что приведет к снижению затрат на добычу.

Известно, что для определения точного местоположения аппарата, как правило, используется технология GPS, но под землей использовать ее невозможно. Тем не менее, исследователи PwC заявляют, что смогли обойти это ограничение, создавая цифровые карты подземного пространства с использованием технологии 3D-сканирования. Карты могут быть загружены в БПЛА, позволяя им плавно передвигаться в проходах под землей. Под землей на квадрокоптере можно использовать лазерные сканеры для замера смещений в шахте.

В настоящее время существует значительное количество специализированных компаний, использующих БПЛА для решения инженерных задач.

Например, «АС-КАМ» [5] предоставляет комплексное решение: получение данных в результате аэрофотосъемочных работ, их фотограмметрическую обработку и многофункциональный анализ.

Особенность выполнения работ заключается в установке бортового ГНСС приемника, который обеспечивает высокую точность определения координат центров фотографирования и сокращает рабочее время, исключая полевые работы по подготовке точек плано-высотного обоснования и их камеральное дешифрирование. БПЛА «АС-КАМ» подходит для: детальной аэрофотосъемки, мониторинга карьеров, создания фотореалистичной и подробной трехмерной реконструкции карьера.

Этапы работы представлены в виде технологической схемы на рисунке.

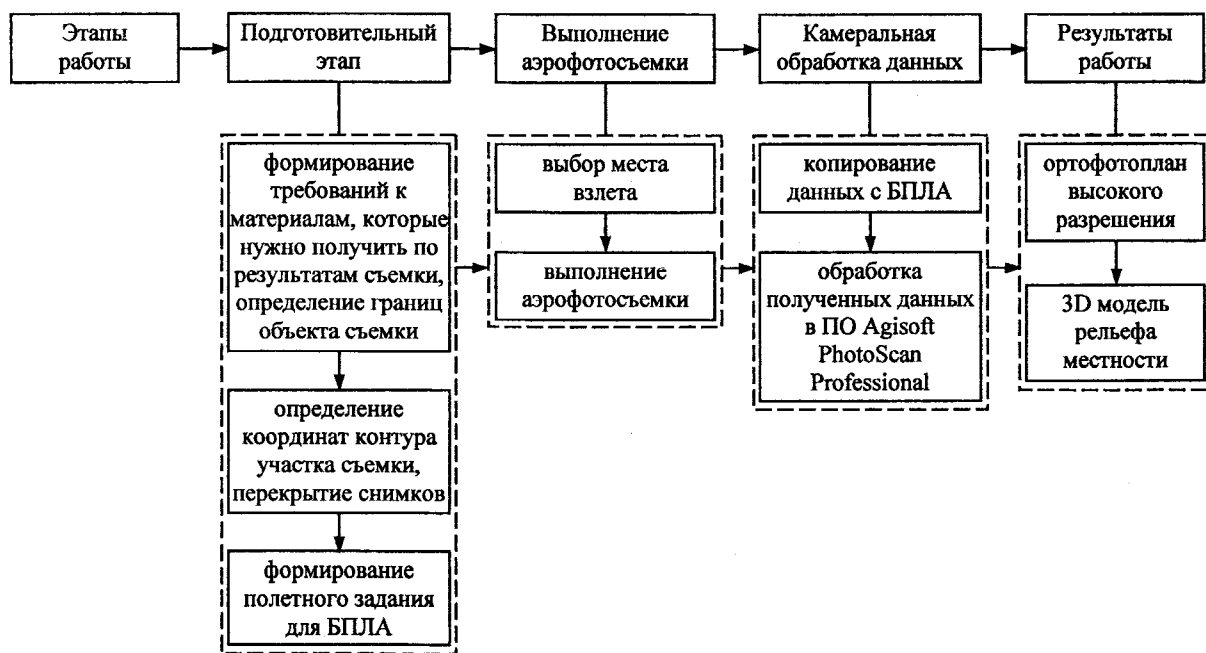


Рисунок. – Технологическая схема использования БПЛА на карьере

В работе [6] описаны результаты использования периодической аэрофотосъемки службой главного инженера для контроля по соблюдению техники безопасности и технологии производства работ.

За счет детализированности снимков и высокой скорости съемочных работ открываются возможности для осуществления мониторинга технологических процессов при

проведении открытых горных работ, таких как: буровые, взрывные работы, формирование породных отвалов, поиск опасных участков, наблюдение в труднодоступных местах [7].

С использованием беспилотного комплекса можно решить целый ряд исследовательских задач, таких как изучение динамики проветривания карьеров после взрывных работ, дистанционное картирование систем трещин на уступах карьера с целью анализа устойчивости его бортов. Помимо съемки в визуальном диапазоне возможно применение мультиспектральных сенсоров для решения таких задач, как поиск полезных ископаемых, анализ состава пород уже открытых месторождений.

В наше время использование недорогих БПЛА, оснащенных камерами, лазерными сканерами и GNSS/RTK-приемниками, дает возможность составлять карты высокой точности с минимальными затратами времени и минимальным вмешательством со стороны человека. Аппараты делают возможной картографию в реальном времени. Статья [8] содержит описание процесса выполнения съемки с БПЛА и характеристику факторов, влияющих на точность. Автором проанализированы точности съемки с использованием БПЛА при различных погодных условиях, приведены средние квадратические ошибки (СКО) для облака точек, цифровой модели рельефа и ортофотоплана. Выполнен сравнительный анализ наземной топографической съемки и топографической съемки с БПЛА, определены преимущества использования дронов в строительстве, мониторинге сооружений, поисково-спасательных операциях и мониторинге преступности.

В исследовании [9] рассмотрены технические возможности применения БПЛА для фиксирования дорожно-транспортных происшествий. Проанализированы три функции летательного аппарата: настройка мощности винтов, удержание направления полета, автоматический возврат в направлении пульта управления. Приведены результаты практического использования модели в различных погодных условиях.

Шульц Р.В., Войтенко С.П., Крельштейн П.Д., Малина И.А. в публикации [10] рассматривают вопросы выполнения предварительного расчета точности определения координат точек по материалам аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов. Также приведена математическая модель определения координат по паре аэрофотоснимков, с учетом использования данных GNSS для определения координат центров фотографирования и корректировки инерциальной навигационной системы (INS). Угловые элементы внешнего ориентирования авторы находят с помощью INS, с использованием алгоритма преобразования корреляционных матриц, использованных для выполнения предварительного расчета точности. Методом варьирования создано выражение для расчета влияния систематических погрешностей. По полученным выражениям выполнено исследование априорной точности определения координат для различных условий аэрофотосъемки. В качестве эксперимента была рассчитана точность аэрофотосъемки для БПЛА с типичными характеристиками, которые используются для создания топографических карт и планов.

Заключение

Применение БПЛА позволяет оперативно и с высокой точностью производить картографирование и мониторинг территории предприятий, а также решать широкий спектр горнотехнических и геодезических задач, включающий в себя подсчет объемов горных выработок, выполнение землеустроительных работ, построение разрезов, поиск зон трещиноватости и привязку скважин, создание крупномасштабных, кадастровых и топографических планов.

Фактором, замедляющим развитие БПЛА-технологий, является консервативный подход специалистов предприятий, связанный со слабой нормативной базой, обновле-

ние которой требует нового сотрудничества горнодобывающих и геодезических предприятий, контролирующих органов и производителей БПЛА.

Список использованных источников

1. Глотов, В.М. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / В.М. Глотов, А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. II (28). – С. 65-70.
2. Кудравец, Д.А. Применение малой авиации в землеустройстве и мониторинге земель / Д.А. Кудравец, О.А. Ткачева // Международный студенческий электронный научный вестник. – Москва. – 2016. – Вып. 4 (часть 4). – С. 532-534.
3. Бабаев, С.Н. Технология мониторинга открытых горных работ с применением беспилотного летательного аппарата / С.Н. Бабаев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – № 10. – С. 16-20.
4. Отчет PwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире [Электронный ресурс] / «Нам сверху видно все». – Режим доступа: <https://www.pws.kz>. – Дата доступа: 08.04.2018.
5. Производство и эксплуатация беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] / Аэрофотосъемка и видеомониторинг. – Режим доступа: <https://ascam.aero>. – Дата доступа: 08.04.2018.
6. Применение БПЛА для решения горнотехнических задач [Электронный ресурс] / Съемка с воздуха. – Режим доступа: <https://xn--80aaficospvye2a0a3d.xn--plai/blog/primenenie-bpla-dlya-resheniya-gornotekhnicheskikh-zadach>. – Дата доступа: 08.04.2018.
7. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=681>. – Дата доступа: 25.03.2018.
8. Безбородова, Х.О. Використання безпілотних літальних апаратів для збору геопросторових даних / Х.О. Безбородова // Інженерна геодезія. – 2015. – Вип. 62. – С. 116-123.
9. Куліковська, О.Є. Технічні можливості застосування безпілотної мобільної моделі для фіксування дорожньо-транспортних пригод / О.Є. Куліковська, Ю.Ю. Атаманенко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2015. – Випуск I (29). – С. 84-87.
10. К вопросу расчета точности определения координат точек при аэрофотосъемке с беспилотных летательных аппаратов / Р.В. Шульц [и др.] // Інженерна геодезія. – 2015. – Вип. 62. – С. 124-136.

Onika S.G., Kulikovska O.Ye., Atamanenko Yu.Yu.

The use of unmanned aerial vehicles to solve engineering problems of mine surveying and geodesy

The article presents the developed classification of unmanned aerial vehicles based on the analysis of their modern models. The results of the use of drones in the practice of design of quarries, by monitoring of open mining operations, for solution of engineering mining and geodetic problems are presented.

Keywords: aerial photography, unmanned aerial vehicles, quadrocopter, digital data, software, engineering problems, quarries, monitoring.

Поступила в редакцию 09.04.2018 г.