УДК 622

Пономарева Екатерина Сергеевна
(Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске)
Ponomareva Ekaterina Sergeyevna
(T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk Branch)

Емец Елена Викторовна, к.пед.н., доцент кафедры ТКМГР
(Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске)
Emets Elena Viktorovna, Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor, Department of TKMGR
(T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk Branch)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАДРОКОПТЕРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ

EFFICIENCY OF QUADCOPTER USE IN SURVEYING OPERATIONS AT AN OPEN-PIT COAL MINE

Аннотация. *Традиционные подходы маркшейдерской съемки на карьерах постепенно уступают место более оперативным методам, основанным на использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Phantom 4 Pro V 2.0 позиционируется в качестве надежного средства для аэрофотосъемки, позволяющего в короткие сроки формировать высокодетализированные 3D-модели рельефа. В статье представлены особенности эксплуатации данного дрона, а также его функциональные возможности для выполнения прикладных маркшейдерских задач.*

Ключевые слова: *БПЛА, квадрокоптер, маркшейдерская служба, открытые горные работы, цифровая модель.*

Annotation. *Traditional approaches to mine surveying in quarries are gradually giving way to more efficient methods based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs). The Phantom 4 Pro V 2.0 is positioned as a reliable aerial survey tool, enabling the rapid creation of highly detailed 3D terrain models. This article presents the operating features of this drone, as well as its capabilities for applied mine surveying tasks.*

Key words: *UAV, quadcopter, mine surveying, open-pit mining, digital model.*

Введение. В условиях непрерывного цикла горных работ критически важна оперативная фиксация каждого изменения положения горных работ. Именно скорость, с которой маркшейдерская служба обновляет данные, напрямую определяет эффективность всего предприятия. Однако традиционные методы зачастую не успевают за темпом нынешней добычи. Чтобы эффективно выполнять поставленные задачи, специалистам требуется дорогое современное оборудование и специальное программное обеспечение. В последние годы стремительно развивается новое направление в маркшейдерском деле – использование бесплотных летательных аппаратов (квадрокоптерного типа). Оснащенные высокоточными сенсорами, которые позволяют маркшейдерам получать полную цифровую модель разреза за считанные часы, делая процесс измерений максимально быстрым, безопасным и достоверным. Это выводит процесс измерений на новый уровень, обеспечивая их максимальную скорость, безопасность и точность [1].

Несмотря на развитие цифровых технологий, классические контактные методы остаются базой маркшейдерского дела. К ним относятся: тахеометрическая съемка, спутниковые измерения (GNSS), нивелирование. Однако этим традиционным подходам присущ ряд существенных недостатков, такие как:

1. Недостаточная детализация поверхности при инструментальных маркшейдерских измерениях приводит к игнорированию микрорельефа карьера и отвалов. Съемка охватывает лишь ключевые характерные точки, реальная топология местности сглаживается. Это влечет за собой систематическую ошибку в определении объемов добычи и перемещения горной массы, достигающую 3-7 % от общего показателя. В денежном выражении данная погрешность приводит к существенному недоучету товарной продукции и финансовым убыткам предприятия.

2. Низкая скорость сбора и обработки геоданных. Цикл измерений, включающий полевой этап и последующую камеральную обработку, занимает несколько дней, что создает критическую задержку в информационном обеспечении управления предприятием. Несвоевременность получения верифицированных данных об объемах выемки препятствует адаптивному планированию горных работ и оптимизации транспортного потока, исключая возможность проведения оперативного посменного контроля и корректировки производственных заданий.

3. Фактор безопасности персонала. Маркшейдерам необходимо физически перемещаться по призме возможного обрушения, подходить к краю неустойчивых уступов, работать в зонах движения тяжелой техники (самосвалы БелАЗ, экскаваторы). Статистика показывает, что значительная часть несчастных случаев в карьере происходит именно при выполнении маркшейдерских работ в опасных зонах.

4. Зависимость от доступности местности. Невозможность измерить точки на крутых, отвесных стенах карьера, в зонах оползней, на свежеотсыпанных отвалах без уплотнения или в затопленных участках.

Переход на технологии аэрофотосъемки с использованием квадрокоптеров решает вышеописанные проблемы и привносит новые возможности. БПЛА находят широкое применение для высокоточной аэрофотосъемки, создания 3D-моделей, мониторинга карьеров и отвалов, подсчета объемов, контроля горных работ, геофизических исследований, а также для создания ортофотопланов и цифровых моделей рельефа (ЦМР), что позволяет автоматизировать процесс сбора данных, повысить безопасность и точность измерений, снижая затраты и время работ, и это ключевые направления их применения. Специализированные программные обеспечения на ПК позволяют создать не только 3D модель, но и построить облако точек, на основе которых строится поверхность TIN. Исходным материалом для построения 3D-модели и облака точек могут служить как фотографии, так и видеозапись, из которой специализированная программа отберёт нужные кадры.

Сейчас используются БПЛА квадрокоптерного типа, как DJI Phantom 4, DJI Matrice, DJI Mavic или аналогичные квадрокоптеры со стабилизацией камеры.

Любой дрон или квадрокоптер считается беспилотным воздушным судном, а владелец – внешним пилотом. Эти правила прописаны в двух постановлениях: Постановление Правительства РФ № 658 (Правила регистрации дронов) [2]; Постановление Правительства № 74 от 03 февраля 2020 года «О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации» [3]. С 1 марта 2024 года в России действуют обновленные правила использования воздушного пространства для дронов массой до 30 кг [4, 8].

Эффективность внедрения БПЛА в производственный процесс разреза напрямую зависит от грамотного подбора компонентной базы, адаптированной к специфическим условиям карьерной среды: запыленности, вибрациям, сложному рельефу и наличию электромагнитных помех.

Для проведения аэросъёмки на угольном предприятии применяется надирная съёмка, поскольку данный метод обеспечивает эффективное и оперативное получение изображений обширных территорий с оптимальной плотностью фотофиксации. План полёта составляется вручную, на котором указывается зона полёта с помощью точек (не более 99) и приложение GS Pro автоматически создает наиболее оптимальный маршрут для полета.

При отработке полетного задания по выбранным точкам отображается площадь местности, которая получается после обработки фотографий.

В процессе выполнения поставленной задачи, квадрокоптер осуществляет полет по заранее определенной траектории и на заданной высоте, установленной пилотом. Процесс видеосъемки также будет строго соответствовать заданным параметрам.

Для начала определяется область съёмки и задаются узловые точки миссии.

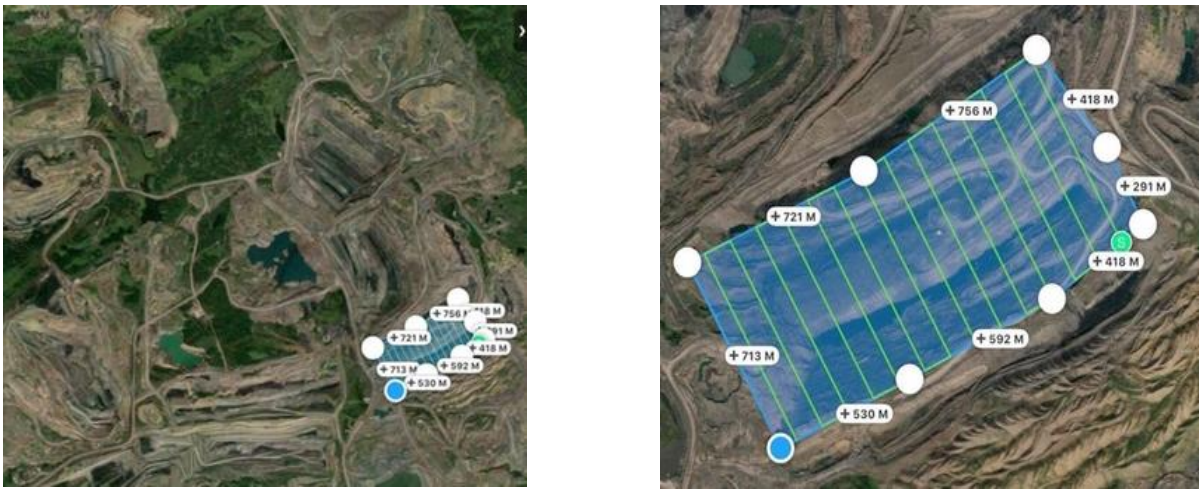


Рисунок 1. Построение миссии для съёмки горных выработок угольного разреза

Полетное задание должно быть подготовлено заранее с учётом скорости полета (которая должна быть не слишком высокой) и высоты полёта (не слишком большой), чтобы избежать размытости изображений. В названии миссии указывается номер участка и номер экскаватора, который попадает на съёмку. Перед выездом на горные работы с целью проведения съёмки с помощью квадрокоптера учитываются погодные условия [9]. Не рекомендуется запускать устройство при сильном ветре со скоростью более 10 м/с, в условиях тумана, дождя или снегопада. Кроме того, съёмка должна осуществляться на безопасном удалении от препятствий, высоковольтных линий, деревьев, а также от работающего горного оборудования и других источников потенциальной опасности [5].

Преобразование снимков, полученных при аэрофотосъемке в 3D-карту Context Capture Master. Обработка весьма простая и происходит в несколько этапов: 1. Создание рабочего проекта; 2. Загрузка фотографий; 3. Загрузка координат опорных точек; 4. Привязка опорных точек к фотографиям.

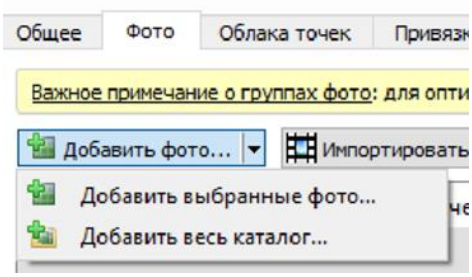




Рисунок 2. Привязка фотографий к координатам

Одной из главных задач любого горнодобывающего предприятия является качественное инженерно-техническое обеспечение горных работ. Особенно это актуально для крупных компаний, основная черта которых – большой объём как камеральных, так и полевых работ. В связи с этим, вопрос об эффективности работы маркшейдерской службы становится очень важным. Наиболее оптимальным решением является внедрение в её работу современного оборудования и передовых технологий. Съёмка экскаваторного забоя на большом предприятии выполняется практически ежедневно. Цели подобных съёмок разнообразные: отслеживание ситуации для подсчёта объёмов, актуализация данных на цифровых планах горных работах, маркшейдерская съёмка подготовленной площадки под бурение.

Подобные виды работ будут рассмотрены на примере экскаваторного забоя горного участка.



Рисунок 3. Внешний вид рассматриваемого экскаваторного забоя

Съёмка карьеров, разрезов выполняется в масштабе 1:1000 или 1:2000 [6]. Пикеты (съёмочные точки) при съёмке набираются на всех характерных точках контуров горных выработок и поверхностей. Максимальное расстояния между съёмочными точками на бровках уступов при съёмке в масштабе 1:1000 принимаются не более 20 м, если бровки уступов сложные, контур забоя нечёткий и 30 м, если бровки вытянутые, контур экскаваторного забоя чёткий.

Для того, чтобы оценить эффективность съемочных работ квадрокоптером, мы произвели съемку экскаваторного забоя тахеометором в режиме SmartStation. Определение положения точки стояния производилось в режиме RTK быстрая статика. Всего при съёмке забоя электронным тахеометром Leica получилось 63 пикета. Результат съёмки забоя с нанесёнными нижними и верхними бровками представлен на рисунке 4.

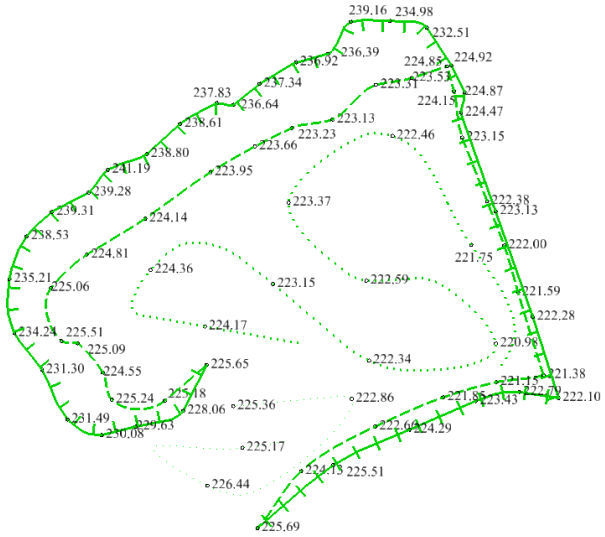


Рисунок 4. Результат съемки с обозначенными нижними и верхними бровками

Погрешность определения положения точки будет зависеть и от погрешности определения координат станции, и от съёмки рабочего репера непосредственно электронным тахеометром.

При съёмке экскаваторного забоя электронным тахеометром можно выделить ряд преимуществ: 1. Простая в плане исполнения съёмка; 2. Съёмка не зависит от погодных условий (мелкий дождь, ветер, холод); 3. Оперативная обработка полученных данных; 4. Высокая точность координат полученных пикетов. 5. Из недостатков можно отметить: 6. Съёмка одного экскаваторного забоя занимает более 30 минут; 7. Нет повторения детального очертания забоя.

Съемка квадрокоптером и обработка фотографий дает возможность получения цифровой модели рельефа [10]. Программа, в которой возможна дальнейшая работа с подобной ЦМР – OpenRoads, – обозначает данную модель как «сетку реальности». Виды отображения подобной модели разнообразны: в виде облака точек, горизонталей, сети треугольников.

Работа с моделью предполагает различные операции: модель возможно передвинуть, изменить её конфигурацию, сделать по ней разрез и др.

Основной цифровой план разреза, по которому работает техническая служба предприятия, представляет собой набор линейных векторов, условных знаков и обозначений, расположенных в локальной СК (2,5D модель). Если тахеометрическая съёмка сразу отвечает необходимому формату для пополнения электронной горно-графической документации, то по ЦМР необходимо произвести отрисовку забоя (обозначить верхние, нижние бровки, площадку). Полученный контур в последствии пополнит электронный план в программе MicroStation. На рисунке 5 представлен построенный контур забоя по цифровой модели.

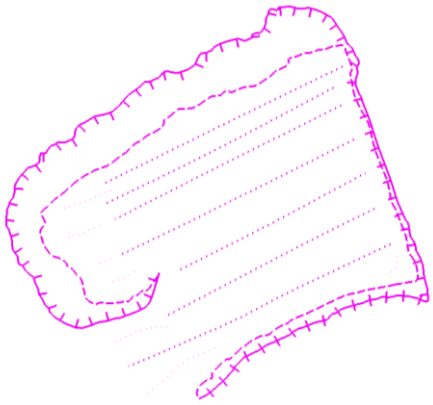


Рисунок 5. Контур забоя, полученный из ЦМР при съёмке квадрокоптером

Выделим положительные стороны съёмки экскаваторного забоя квадрокоптером: 1. Возможно получение за короткий срок большого объёма данных; 2. Несложные полевые работы; 3. Повторение детального очертания забоя.

Отрицательными сторонами подобных съёмок являются: 1. Долгая обработка большого количества фотографий; 2. Зависимость от погодных условий.

Съёмочные точки, получаемые электронным тахеометром (погрешность каждой точки составляет 9,6 мм в плане, 14,7 мм по высоте) точнее произвольно взятой точки на плане получившейся ЦМР (77 мм в плане, 38 мм по высоте). Несмотря на отличные данные, получаемые при «классической» съёмке тахеометром, отстраиваемый контур по данным точкам получается усреднённый, не учитывающий реальную модель рельефа (рис. 6). Контур, отстроенный по ЦМР получается более детальным.

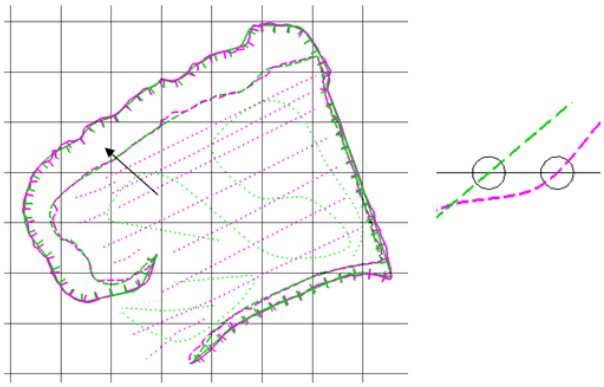
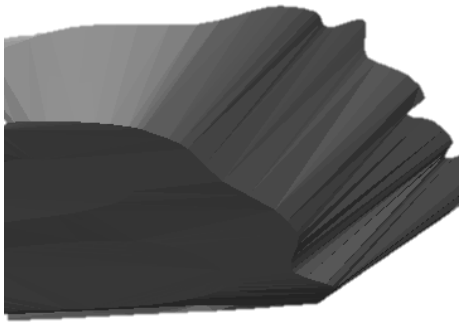


Рисунок 6. Наложение контуров забоя при различном способе съёмки

На рисунке 7, при построении TIN (вид – «плавное замнение»), также видно расхождение очертания одного и того же забоя, при использовании разных методов съёмки.

Съёмка электронным тахеометром



Съёмка квадрокоптером Fantom



Рисунок 7. Вид экскаваторного забоя сбоку

Таким образом определяем отклонения между контуром, построенным по съёмке квадрокоптером и съёмки, построенной по результатам электронного тахеометра.

Для стабильного функционирования алгоритмов реконструкции местности необходимо учитывать ключевые причины, ограничивающие производительность летательного аппарата. Для этого были определены регулируемые и нерегулируемые параметры [7].

Регулируемые факторы: 1. высота полета, м (60, 80, 100, 120, 140); 2. скорость полета, м/с (5, 7, 9, 11, 13, 15); 3. количество опознаков, шт. (0, 1, 2, 3); 4. продольное и поперечное перекрытия снимков (55/75, 65/75, 75/85, 85/95).

Нерегулируемые (внешние) факторы: 1. режим погоды (солнечно, облачно); 2. время суток (освещенность) (утро, день, вечер); 3. скорость ветра, м/с (2,5, 7,5, 12,5, 17,5); 4. свойства поверхности (зачищенная поверхность, низкая растительность, кустарники, редколесье).

Данные, получаемые при съемке с использованием квадрокоптера, отличаются большей полнотой, поскольку цифровая модель рельефа (ЦМР) точно отображает особенности местности.

TIN для подсчёта объёма забранной горной массы, построенный по цифровой модели рельефа, отстраивается по облаку точек. Значит полученные данные по маркшейдерскому замеру будут точными, что отразится на сравнивании этих данных со статистикой. В то время как при съёмке электронным тахеометром TIN формируется по отстроенному контуру и набранным при съёмке пикетов.

Заключение. Подводя итоги, можно уверенно отметить, что использование инновационных технологий, таких как квадрокоптер Phantom 4 V 2.0 в работе маркшейдерской службы значительно ускоряет процесс съемки горных выработок, улучшает качество получаемой информации и снижает воздействие вредных производственных факторов на организм благодаря сокращению объёма полевых работ. Дополнительным достоин-

ством является возможность визуализации данных через создание 3D-моделей. Дрон является эффективным инструментом для оперативного мониторинга, дополняющим, а в ряде некоторых случаев и заменяющим традиционные съемки. Единственным недостатком применения квадрокоптера остается его зависимость от погодных условий.

Дальнейшее развитие методик и адаптация портативной базы позволяет еще шире внедрять подобные беспилотные системы в производственные циклы горнодобывающих предприятий.

Список литературы

1. ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМ-НОМУ НАДЗОРУ ПРИКАЗ от 19 мая 2023 года N 186 Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: https://docs.cntd.ru/document/1301713025 (дата обращения: 31.03.2026).

2. Постановление Правительства РФ от 25.05.2019 N 658 «Об утверждении Правил государственного учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,15 килограмма до 30 килограммов, сверхлегких пилотируемых гражданских воздушных судов с массой конструкции 115 килограммов и менее, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) | ГАРАНТ // Гарант URL: https://base.garant.ru/72255560/ (дата обращения: 23.02.2026).

3. Постановление Правительства РФ от 03.02.2020 N 74 «О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) | ГА-РАНТ // Гарант URL: https://base.garant.ru/73501661/ (дата обращения: 23.02.2026).

4. С 1 марта 2024 г. вносятся изменения в порядок установления запрета или ограничения использования воздушного пространства, а также в порядок использования воздушного пространства беспилотным воздушным судном \ КонсультантПлюс // КонсультантПлюс URL: https://www.consultant.ru/law/hotdocs/80861.html (дата обращения: 15.03.2026).

5. Формирование полетного задания для БПЛА – презентация // showslide URL: https://showslide.ru/formirovanie-poletnogo-zadaniya-dlya-bpla-778611 (дата обращения: 26.03.2026).

6. III. Маркшейдерские работы при открытом способе разработки месторождений Постановле-ние Госгортехнадзора РФ от 06.06.2003 N 73 Об утверждении Инструкции по производству маркшейдерских работ (вместе с РД 07-603-03...) // Судебные и нормативные акты РФ URL: https://sudact.ru/law/postanovlenie-gosgortekhnadzora-rf-ot-06062003-n-73/rd-07-603-03/iii/ (дата обращения: 26.03.2026).

7. Гусев В.Н., Блищенко А.А., Санникова А.П. Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшей-

дерской съемки горных объектов с применением геодезического квадрокоптера // Записки Горного института. 2022. Т. 254. С. 173-179. DOI: 10.31897/PMI.2022.35.

8. Инструкция: как зарегистрировать квадрокоптер и где его можно запускать Подробнее на РБК: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5f61f0ab9a794765270a597d?from=copy // РБК Тренды (дата обращения: 13.03.2026).

9. КВАДРОКОПТЕР КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ В ЦЕНТРЕ ОБРАЗОВАНИЯ " ЗЕЛЕНКО Г.Н., ЗЕЛЕНКО Н.В. Армавирский государственный педагогический университет ТОЧКА РОСТА" 2020 Подробнее на РБК: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5f61f0ab9a794765270a597d?from=copy // (дата обращения: 13.03.2026).

10. Распадская угольная компания // URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raspadskaya-ugolnaya-kompaniya-evraza-v-shahtu-s-planshetom-na-razrez-s-kvadrokopterom/viewer (дата обращения: 15.03.2026).