

Реализация возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-36-41>

ГРИШИН И.А.

Канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой «Геология,
маркшейдерское дело и обогащение
полезных ископаемых»
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
455000, г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: igorgri@mail.ru

КОЗЛОВА А.Е.

Ассистент кафедры «Вычислительная
техника и программирование»
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
455000, г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: kozlova-ann99@yandex.ru

ДЁРИНА Н.В.

Канд. филолог. наук,
доцент кафедры
«Иностранные языки по техническим направлениям»
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
455000, г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: nataljapidckaluck@yandex.ru

ВЕЛИКАНОВ В.С.

Доктор техн. наук,
профессор кафедры
«Подъемно-транспортные машины и роботы»
ФГАОУ ВО «УрФУ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
620002, г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: rizhik_00@mail.ru

ХАМИДУЛИНА Д.Д.

Канд. техн. наук, доцент кафедры
«Урбанистика и инженерные системы»
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
455000, г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: loza_mgn@mail.ru

ЛОГУНОВА Т.В.

Магистр ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
455000, г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: kozlova-ann99@yandex.ru

Наиболее характерная черта развития большинства стран в современном мире – достижения в области техники и информационных технологий. Высокие темпы развития науки, новейших технологий, а главное, масштабы и способы внедрения и применения их в производстве, общественной деятельности, образовании, медицине и т.д. превратили научно-техническую революцию в естественный, необходимый процесс. Информационные технологии (ИТ) являются наиболее важной составляющей процесса использования информационных ресурсов общества. В настоящее время ИТ прошли несколько этапов эволюции, смена которых определяется техническим процессом, появлением новых технологических средств поиска и переработки информации [1]. Современные информационные технологии, позволяющие создавать, хранить, передавать, обрабатывать большой объем информации, стали важным фактором конкурентоспособности и средством повышения эффективности всех сфер жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, геология, полезные ископаемые, добыча, геологоразведка, аэромагнитная съемка, картография, 3D-моделирование.

Для цитирования: Реализация возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле / И.А. Гришин, А.Е. Козлова, Н.В. Дёрина и др. // Уголь. 2022. № 5. С. 36-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-36-41.

ВВЕДЕНИЕ

Все более популярными становятся беспилотные летательные аппараты (БЛА). Беспилотный летательный аппарат, именуемый дроном – летательный аппарат без экипажа на борту, обладающий разной степенью автономности – от управляемых дистанционно до полностью автоматических и имеющих различия по конструкции и назначению [2]. Если БЛА управляется дистанционно, в большинстве случаев это происходит с помощью персонального компьютера или смартфона, на который также передаются все данные, полученные дроном [3].

Данные с дрона на управляемое им устройство передаются тремя способами: специальное программное обеспечение (ПО), карта захвата и устройство захвата. В первом слу-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZRU-2020-0011).

чае производитель дрона предоставляет специальные ПО, которые устанавливаются на устройство управления дроном, способное в режиме реального времени сохранять данные. Второй и третий способы используются, если дрон управляется с помощью специального пульта. В подобных ситуациях к пульту управления присоединяется карта захвата или устройство захвата с помощью HDMI кабеля, и данные передаются на ПК.

Ниже представлены сферы деятельности человека, в которых используют БЛА:

- сельское хозяйство. Чаще всего БЛА используют для малообъемного опрыскивания выращиваемых культур. С этой целью применяются дроны, оборудованные специальными емкостями со средством, используемым для обработки заданной территории в автоматическом режиме. Также БЛА используют для анализа состояния грунта и почвы путем съемки, на основе которой составляются карты, позволяющие оценить состояние не только почвы для дальнейшей посадки, но и состояние культуры;
- медицина. Благодаря скорости и размеру дронов, их используют для доставки лекарств, вакцин, анализов крови и других предметов медицинского назначения в малодоступные районы. Например, во время пандемии COVID-19 в Китае использовали беспилотники для доставки образцов тестов в лаборатории. БЛА используют для бесконтактного измерения температуры у людей в карантинных зонах и для дезинфекции районов;
- спасательные операции. Дроны являются незаменимым инструментом для работы поисково-спасательных команд по всему миру, так как БЛА позволяют ускорить процесс поиска и спасения людей, делают его более эффективным. Беспилотные летательные аппараты способны за короткое время изучить большую площадь, обнаружить пропавших людей и сделать необходимые съемки для дальнейшего изучения территории. Чтобы улучшить эффективность работы, новые модели дронов оборудованы системой сброса грузов для доставки продуктов первой необходимости или устройств связи потерпевшим;
- строительство. Строительная сфера активно применяет БЛА, так как данные устройства при мониторинге не нарушают технологические процессы на площадке, управляются дистанционно и меняют точки обзора. Беспилотники предоставляют информационный ресурс и помогают проводить анализ строительных работ: контроль качества, создание точных аэрофотоснимков, геодезическая съемка, взятие проб воздуха и шума. На сегодняшний день существует множество сфер в строительстве, где применяются БЛА, и с каждым годом таких сфер становится все больше. Например, возможность создавать 3D-модели карт местности по снимкам с дрона и производить быстрый расчет расстояния, площадей и объемов выполняемых работ, которые позже сопоставляются с данными сметы;
- охрана объектов. Дроны с установленными камерами и специальными приборами можно использовать

в качестве дополнения к системе наблюдения крупных объектов. Главное преимущество заключается в том, что БЛА может быть быстро доставлен в любую точку объекта, а также работать автономно, следуя заложенному алгоритму [4].

В данной статье более подробно будет рассмотрено использование БЛА в геологической сфере. Стоит начать с того, что геология – это комплекс наук, исследующих состав, строение, происхождение и историю развития земной коры, процессы, происходящие в ней, закономерности образования и размещения полезных ископаемых [4]. Благодаря развитию информатизации в последнее время используют довольно много технологий, например, дистанционный контроль бурения скважин, различного вида датчиков, отслеживающих различные показатели и предупреждающие о возможных подземных разрушениях. Другим примером является компания «Норильский никель», которая использует систему умной диспетчерской, позволяющей в режиме реального времени контролировать ход выполнения добычных работ и планировать горные работы. Но в последнее время все чаще начали использовать беспилотные летательные аппараты для автоматизации необходимых процессов.

АЭРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА КАК ПРОГРЕССИВНЫЙ МЕТОД ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ

Геологическая разведка – это комплекс мероприятий, производимых с целью поиска, обнаружения и подготовки к промышленному освоению месторождений полезных ископаемых. Данные работы включают в себя изучение закономерностей размещения ископаемых, условий образования, особенностей строения, вещественного состава месторождений полезных ископаемых с целью их прогнозирования, поисков, установления условий залегания, предварительной и детальной разведки и т.д. [5]. Но не стоит забывать, что некоторые территории довольно тяжело исследовать из-за погодных условий, например, исследования в условиях Арктики, которая является труднодоступным, но перспективным месторождением. И именно по этой причине используют БЛА для наиболее прогрессивного, информативного, экономического и безопасного процесса работ.

Основным методом, применяемым при разведке рудных месторождений, является геологическая съемка. В процессе съемки геологи изучают практически все обнажения на исследуемой территории. При этом повышенное внимание уделяется участкам, на которых более вероятно залегание полезных ископаемых. В случае недостаточной информации о каком-то участке создаются искусственные обнажения.

В условиях труднодоступности многих потенциально привлекательных для разведки территорий наиболее эффективным является метод аэрогеологической съемки, ведь такой метод позволяет получить наиболее полное представление о геологических особенностях изучаемых участков в комплексе с наземной съемкой. Так, например, на *рис. 1* представлена карта аномального магнитного поля, полученная в ходе пешеходной съемки (слева), с помощью БЛА (в центре) и в ходе аэросъемки (справа).

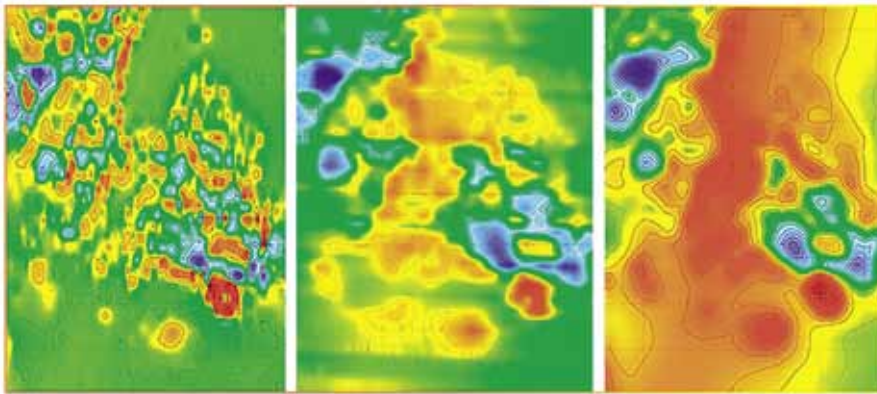


Рис. 1. Карта аномального магнитного поля

Использование БЛА при выполнении аэромагнитной съемки ведет к снижению стоимости данного процесса, особенно на начальных этапах, сокращению времени, а также позволяет получить более качественные и полные данные. Так, на съемку одного объекта с помощью дрона в среднем затрачивается около 15 минут, обработка данных после такой съемки занимает около 1,5 часа, так как специалисту лишь необходимо загрузить полученные снимки в специализированное программное обеспечение, которое автоматизирует постройку трехмерной модели по заданным координатам. Применение дронов для геологоразведочных работ значительно удешевляет процесс поиска по сравнению с буровыми способами. Дрон может проводить съемку с различных высотных отметок. Предельно малые высоты не являются для него ограничениями, поэтому есть возможность проведения исследований с огибанием рельефа.

Стоит отметить важные преимущества применения БЛА для проведения магнитометрической съемки:

- возможность ежедневно выполнять 15-20 вылетов и обследовать около 200 км территории благодаря лишь замене аккумулятора;
- высокая точность измерений вне зависимости от особенностей рельефа;

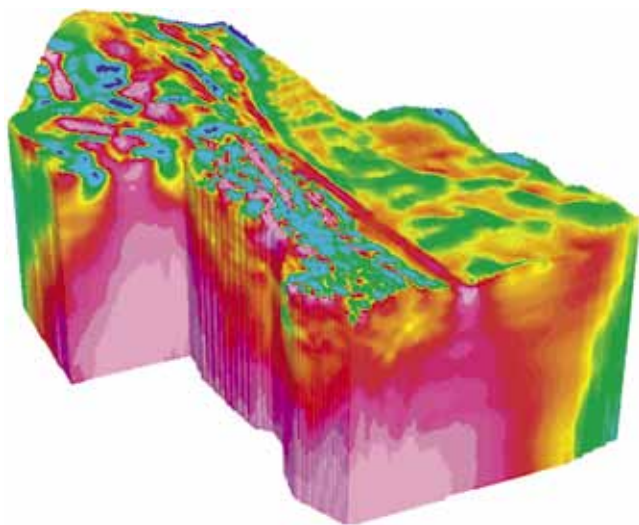


Рис. 2. Объемная модель исследуемой территории с помощью БЛА

- возможность построения трехмерных полей, что значительно увеличивает эффективность работы;
- съемки выполняются плавно и на некотором удалении от земной поверхности, что в разы уменьшает степень влияния сильномагнитных объектов;
- применение БЛА позволяет магнитометру перемещаться на одинаковом расстоянии от поверхности вне зависимости от рельефа.

Возможность представления результатов аэромагнитной съемки с применением БЛА в виде 3D-модели

позволяет в наглядной форме увидеть геологическое строение изученной территории, разработать геологические структуры по необходимым показаниям. Пример такой 3D-модели территории представлен на рис. 2.

РАБОТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ РЕСУРСОВ

Горнодобывающие компании также начали применять БЛА и другие методы высокого топографического картографирования для оценки размеров местонахождения и его ценности. В подобном случае дроны используются с целью построения объемной трехмерной модели запасов с точностью до сантиметра. В результате построения данных моделей специалисты определяют количество руды или минерального сырья и способы их добычи. Также мониторинг запасов позволяет анализировать объемы руды с течением времени, что очень полезно с точки зрения переработки материалов.

Аналогичный способ используется и для количественного изучения размеров карьера: строится трехмерная модель объекта по данным, полученным с БЛА, а далее подсчитывается объем пустого пространства. Спустя определенный промежуток времени совершается новый полет БЛА по объектам, определяется объем руды в карьере и производится мониторинг производительности горных работ. На рис. 3 представлен пример использования программного пакета Pix4D для создания ортомозаичной и цифровой модели поверхности на основе данных, полученных с помощью использования БЛА.

Дроны в горнодобывающей промышленности используются для картографии открытых карьеров, но при обследовании подземных выработок БЛА используются редко. Однако за последние несколько лет этот подход меняется, и развиваются технологии, которые позволили использовать дроны на примере квадрокоптера Elios 2 для построения 3D-моделей горных выработок под землей в полной темноте и при отсутствии спутниковых координат.

Использование БЛА в таких условиях было вызвано тем, что после взрыва остатки сыпучего материала довольно больших размеров могут остаться на поверхности забоя, в результате чего материал рухнет, повреждая оборудование и представляя угрозу жизни специалистов, находящихся внутри в данном районе. Традиционный способ исследования таких территорий ограничивается использо-



Рис. 3. Результат обработки данных в ПО

ванием камеры, которую спускают по скважине или путем установки камер на столбах в отдаленных от взрывных работ районах, что не несет за собой необходимой пользы.

Первооткрывателем использования БЛА в подобных ситуациях стала канадская горнодобывающая компания, один из мировых лидеров по добыче золота – Barrick Gold. Для своего исследования она использовала дроны с навигацией и дистанционным управлением на большом расстоянии, мощной системой освещения и защитой каркаса при возможных столкновениях. Дрон смог устойчиво лететь вдоль всего забоя и показывать его состояние специалистам в режиме реального времени. Это также позволило близко рассмотреть геологические структуры в пределах забоя путем сбора высококачественных изображений с камер дрона.

Дрон собрал важные визуальные данные о положении больших валунов и показал фактическое состояние сыпучего материала в местах, где проводились работы.

За время полета дрона было собрано достаточно данных, чтобы создать 3D-фотограмметрическую модель верхней части одного из забоев золотого рудника, представленную на рис. 4. Данная 3D-модель позволила изучить состояние участка выработки [6].

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Лазерное сканирование карьеров и других объектов горнодобывающей отрасли позволяет получить плотное облако объектов в виде точек модели шахт, рудников, обо-



Рис. 4. 3D-модель верхней части забоя

гатительных фабрик и прочих объектов инфраструктуры горнодобывающего предприятия. Полученные данные используются для оценки состояния подземной и наземной инфраструктуры, определения объемов выработки и создания 3D-моделей.

С появлением мобильных сканеров и возможности использования БЛА как носителя процесс лазерного сканирования стал гораздо проще и эффективнее, так как появилась возможность полета дрона под землей в отсутствие сигнала спутника.

Применение БЛА с лазерным сканером сильно упрощает задачи для специалистов маркшейдерских служб. Данные службы представляют собой отрасль горной науки и техники, занимающиеся в основном пространственно-геометрическими измерениями. Без маркшейдерских служб производство горных работ в современных условиях недопустимо, так как в их задачи входит:

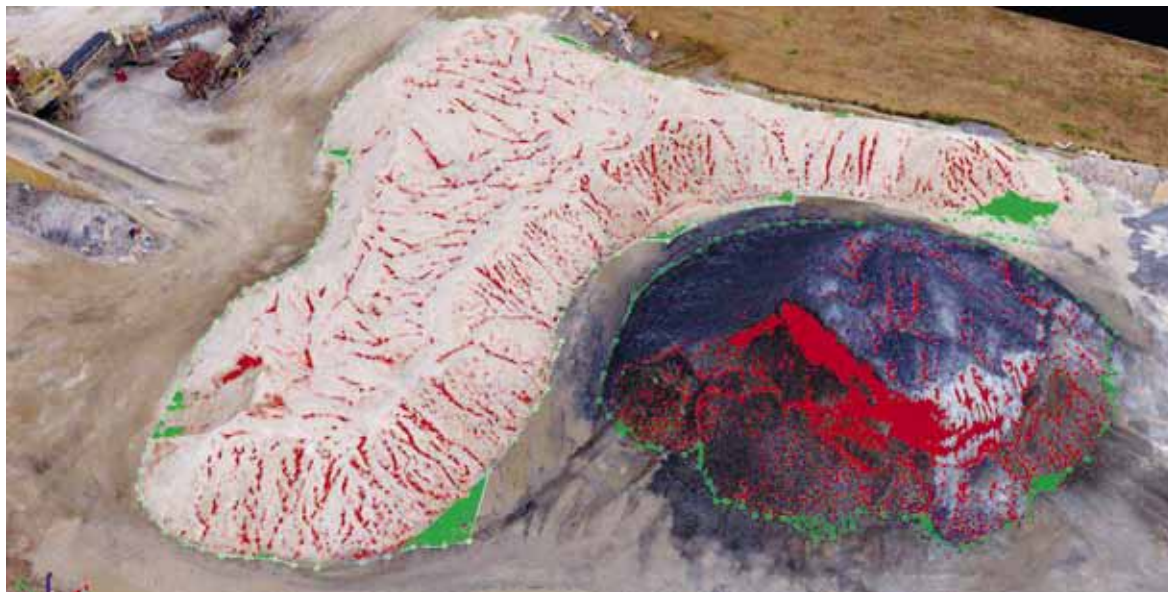


Рис. 5. Объект, снятый с помощью БЛА с лазерными датчиками

– производство съемки земной поверхности, горных выработок и составление на основе данных графических и других документов, необходимых для правильной и безопасной разработки месторождения;

– участие в разработке мероприятий, но безопасное ведение горных работ вблизи старых горных выработок и опасных зон и наблюдение за их осуществлением;

– производство наблюдения за сдвижением горных пород и принятие участия в наблюдениях за проявлением горного давления; разработка мер охраны сооружений, природных объектов и горных выработок от вредного влияния горных разработок и мониторинг их проведения;

– совместное с геологической службой изучение геологических особенностей месторождения, его формы, структуры и свойств, подготовка необходимых данных для совершенствования технологии добычи угля, выявление некондиционных запасов и наблюдение за правильной разработкой месторождения.

Благодаря дистанционному методу съемки можно выполнить работы без остановки производства. Система камер, прикрепленных к дрону, собирает данные для дальнейшей обработки и создания 3D-карт подземной системы туннелей.

Помимо сканирования местности сканер может брать управление дроном – для этого не требуется сигнал GPS. Лазерный сканер собирает информацию и корректирует полет БЛА, избегая столкновения с препятствиями. Собранные 3D-данные легко интегрируются в существующее программное обеспечение и в считанные минуты производят привязку информации об объектах к действующей системе координат.

Съемка с использованием лазерно-сканирующих систем значительно снизила возможные ошибки классической методики съемок и ошибки измерения, а также графические ошибки при составлении модели объекта, что стало возможным благодаря следующим факторам. Плотность покрытия при сканировании представляет собой

несколько десятков тысяч точек на квадратный метр, то есть информация о размере объекта и его местонахождении отражена наиболее точно. Сканер определяет сразу три координаты каждой точки, поэтому возможно построение объемной модели без дополнительных операций. В результате 3D-модель поверхности объекта получается с достоверными контурами и цветовым разграничением различных геометрических элементов (откос, трубы, разлом), что увеличивает информативность модели [7]. Пример объекта, снятого с помощью БЛА с лазерного сканера, представлен на рис. 5.

Но стоит отметить, что полученные сканы при всех достоинствах обладают недостатком, с которым справляется план горных работ: нет необходимой информации о расположении разведочных скважин, транспортных путей, линий электропередачи, местоположении специальной техники. В этом случае возможно выполнить построение всех этих объектов в режиме «виртуального маркшейдера», то есть обрисовать все необходимое самостоятельно, без лазерного оборудования. Но если на предприятии уже имеется план горных работ, то чаще всего 3D-модель снятого объекта и наглядный план соединяются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология беспилотных летательных аппаратов в настоящее время отработана и готова к интеграции на горнодобывающих предприятиях. Применение БЛА позволяет оперативно и с высокой точностью производить картирование и мониторинг территории предприятия, а также решать широкий спектр горнотехнических задач, включающий в себя подсчет объемов горных выработок, выполнение землеустроительных работ, построение разрезов, поиск зон трещиноватости и привязку скважин. Фактором, замедляющим развитие технологии, является консервативный подход специалистов предприятий, связанный со слабой нормативной базой, обновление которой требует тесного сотрудничества горнодобывающих предприятий, контролирующих органов и производителей БЛА.

Список литературы

1. ИНТУИТ. Национальный открытый университет. Лекция 1: Развитие информационных технологий. [Электронный ресурс]. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24057> (дата обращения: 15.04.2022).
2. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты. Минск: Попурри, 2017. С. 98-105.
3. Ширяев Н.А., Водолажская Ю.В. Развитие беспилотных летательных аппаратов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2016. Т. 2. № 1. С. 67-69.
4. Первушов Е.М., Ермохина Л.И., Фомин В.А. Учебно-методический комплекс учебной дисциплины «структурная геология» (направления подготовки «геология» и «прикладная геология») / Научно-методические проблемы инновационного педагогического образования. Сборник научных трудов. В 2-х частях, Саратов, 13 апреля 2018 года. Саратов: Саратовская региональная общественная организация «Центр «Просвещение», 2018. С. 65-71.
5. Гайнутдинова А.Р., Шайхин А.А. Использование беспилотных летательных аппаратов на открытых горных работах // Молодой ученый. 2021. № 11. С. 20-22.
6. Противоударный промышленный квадрокоптер Elios 2 создает трехмерные модели подземных горных выработок. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pergam.ru/articles/mining-drone.htm> (дата обращения: 15.04.2022).
7. Правдина Е.А. Применение лазерно-сканирующих технологий при маркшейдерском обеспечении горных работ на карьерах // Сборник научных статей «Записки Горного института». 2007. С. 104.

NEW TECHNOLOGIES

Original Paper

UDC 623.746-519:55 © I.A. Grishin, A.E. Kozlova, N.V. Dyorina, V.S. Velikanov, D.D. Khamidulina, T.V. Logunova, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 5, pp. 36-41
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-36-41>

Title IMPLEMENTING THE POTENTIAL OF UNMANNED AERIAL VEHICLE IN MINING

Authors

Grishin I.A.¹, Kozlova A.E.¹, Dyorina N.V.¹, Velikanov V.S.², Khamidulina D.D.¹, Logunova T.V.¹

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

Authors Information

Grishin I.A., PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, e-mail: igorgr@mail.ru

Kozlova A.E., Assistant department of "Computer Science Engineering and Programming" Department, e-mail: kozlova-ann99@yandex.ru

Dyorina N.V., PhD (Philology), Associate Professor of Foreign Languages in Engineering Department, e-mail: nataljapidckaluck@yandex.ru

Velikanov V.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor of Lifting and Transport Machines and Robots Department, e-mail: rizhik_00@mail.ru

Khamidulina D.D., PhD (Engineering), Associate Professor of Urban planning and engineering systems Department, e-mail: loza_mgn@mail.ru

Logunova T.V., Master, e-mail: kozlova-ann99@yandex.ru

Abstract

The most characteristic development feature of the majority of countries in the modern world is advances in engineering and information technology. The high rate of science development, the latest technologies, and, what is more important, the scale and ways of their introduction and application in production, social activities, education, medicine, etc., have turned the scientific and technological revolution into a natural, necessary process. Information Technology (IT) is the most important component of using the society information resources. To date, IT has gone through several stages of evolution, the change of which is determined by technical process, the emergence of new technological means of information retrieval and processing [1]. Modern information technology, which allows the creation, storage, transmission, processing large information amounts, has become an important factor of competition and a means of improving the efficiency of all human activity spheres.

Keywords

Drones, Geology, Minerals, Mining, Exploration, Aeromagnetic Surveying, Mapping, 3D Modelling.

References

1. INTUIT. National Open University. Lecture 1: The development of information technology. [Electronic resource]. Available at: <https://intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24057> (accessed: 15.04.2022). (In Russ.).
2. Vasilin N.Ya. Unmanned aerial vehicles. Minsk, Potpourri Publ., 2017, pp. 98-105 (In Russ.).
3. Shiryaev N.A. & Vodolazhskaya Yu.V. Development of unmanned aerial vehicles. *Pozharnaya bezopasnost' : problemy i perspektivy*, 2016, Vol. 2, (1), pp. 67-69 (In Russ.).
4. Pervushov E.M., Ermokhina L.I. & Fomin V.A. Educational and methodological complex for the Structural Geology academic curriculum (Geology and Applied Geology degree programmes). Scientific and Methodological Problems of Innovative Pedagogical Education. Collection of research papers. In 2 parts, Saratov, April 13, 2018. Saratov: 'Prosveshcheniye Centre' Saratov Regional Non-Governmental Organisation, 2018, pp. 65-71 (In Russ.).
5. Gainutdinova A.R. & Shaikhin A.A. Use of unmanned aerial vehicles in surface mining. *Molodoj uchenyj*, 2021, (11), pp. 20-22 (In Russ.).
6. The Elios 2 shockproof industrial quadcopter creates 3D models of underground mine workings. [Electronic resource]. Available at: <https://www.pergam.ru/articles/mining-drone.htm> (accessed: 15.04.2022). (In Russ.).
7. Pravdina E.A. Application of laser scanning technology in mine surveying in surface mines. *Collection of research papers in 'Zapiski Gornogo instituta'*, 2007, P. 104.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FZRU-2020-0011).

For citation

Grishin I.A., Kozlova A.E., Dyorina N.V., Velikanov V.S., Khamidulina D.D. & Logunova T.V. Implementing the potential of unmanned aerial vehicle in mining. *Ugol'*; 2022, (5), pp. 36-41. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-5-36-41](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-36-41).

Paper info

Received February 17, 2022

Reviewed March 10, 2022

Accepted April 21, 2022