

УДК 622.276.6
Обзор / Review
© ПНИПУ / PNRPU, 2020

Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли

А.Д. Аникаева, Д.А. Мартюшев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

Assessment of the Unmanned Aerial Vehicle Potential Application in the Oil and Gas Industry

Anastasia D. Anikaeva, Dmitry A. Martyshev

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 20.03.2020. Принята / Accepted: 25.08.2020. Опубликовано / Published: 26.10.2020

Ключевые слова:

аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат, беспилотный комплекс, снимки, ортофотоплан, карта высот, модель местности, пилотируемая аэрофотосъемка, нефтегазовая отрасль, программные продукты, топографический план, мониторинг объектов, разливы нефти, трубопроводы, незаконная деятельность.

Актуальность работы обусловлена необходимостью использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для решения инженерно-геодезических задач в нефтегазовой промышленности. Аэрофотосъемка беспилотными летательными аппаратами в настоящее время является передовой технологией в области геодезии, вытесняя такие методы, как тахеометрия, спутниковое позиционирование в режимах RTK, пилотируемая аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование (ВЛС). Потенциал использования БПЛА в нефтегазовой отрасли на сегодняшний момент поистине огромен. Многие вопросы безопасности и надежности, на которые компании нефтегазовой отрасли традиционно тратят существенные средства, могут эффективно решаться с использованием БПЛА. Осуществлены: обработка данных, полученных с беспилотного комплекса в трех современных программных продуктах (Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594 (Россия), ERDAS IMAGINE, v 2015 (США) и Pix4Dmapper Pro (Швейцария)) различной степени автоматизации; оценка точности в ПО ArcMap посредством наложения топографического плана на ортофотоплан масштабного ряда 1:500 на рассматриваемую территорию; подсчет экономических и трудовых затрат. В рамках выполнения исследования доказано, что использование БПЛА возможно не только для геодезических работ, но также и для решения других, не менее важных задач нефтегазовой отрасли, что приводит к снижению экономических и экологических рисков, автоматизации процессов, связанных с мониторингом нефтеобъектов, предотвращению попыток незаконных врезок в трубопровод, разливов нефти. Также на основании полученных ортофотопланов подтверждена экономическая, точностная и трудовременная целесообразность использования беспилотных комплексов. Установлено, что применение беспилотных летательных аппаратов в различных сферах нефтегазовой деятельности для решения инженерно-геодезических задач является неотъемлемой частью любой компании, занимающейся добычей и транспортировкой углеводородов.

Keywords:

aerial photography, unmanned aerial vehicle, unmanned complex, orthophotomap, elevation map, terrain model, manned aerial photography, oil and gas industry, software, topographic plan, object monitoring, oil spills, pipelines, illegal activity.

The relevance of the work is due to the need to use unmanned aerial vehicles (UAVs) to solve engineering and geodetic problems in the oil and gas industry. Aerial photography by unmanned aerial vehicles is currently an advanced technology in the field of geodesy, supplanting methods such as tachemetry, satellite positioning in RTK modes, manned aerial photography, and airborne laser scanning (ALS). The potential for using UAVs in the oil and gas industry today is truly enormous. Many safety and reliability issues, on which oil and gas companies have traditionally spent significant funds, can be effectively addressed using UAVs. Implemented: processing of data obtained from the unmanned complex in three modern software products (Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594 (Russia), ERDAS IMAGINE, v 2015 (USA) and Pix4Dmapper Pro (Switzerland)) of various automation degrees; assessment of accuracy in ArcMap software by superimposing a topographic plan on an orthomosaic of a scale series of 1: 500 on the territory under consideration; calculation of economic and labor costs. As part of the study, it was proved that the use of UAVs was possible not only for geodetic work, but also for solving other equally important tasks of the oil and gas industry, which leads to a decrease in economic and environmental risks, automation of processes related to monitoring of oil facilities, prevention of illegal attempts pipeline tie-ins, oil spills. Also, on the basis of the obtained orthophotomaps, the economic, accuracy and labor-time feasibility of using unmanned systems was confirmed. It has been established that the use of unmanned aerial vehicles in various fields of oil and gas activities for solving engineering and geodetic problems is an integral part of any company engaged in the production and transportation of hydrocarbons.

Аникаева Анастасия Дмитриевна – аспирант кафедры «Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы» (тел.: +007 342 219 80 88, e-mail: anast.anickaeva@yandex.ru).

Мартюшев Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовые технологии» (тел.: +007 342 219 82 50, e-mail: martyshevdi@inbox.ru). Контактное лицо для переписки.

Anastasia D. Anikaeva – PhD Student at the Department of Mine Surveying, Geodesy and Geoinformation Systems (tel.: +007 342 219 80 88, e-mail: anast.anickaeva@yandex.ru).

Dmitry A. Martyshev (Author ID in Scopus: 56308102400) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Technologies (tel.: +007 342 219 82 50, e-mail: martyshevdi@inbox.ru). The contact person for correspondence.

Введение

Аэрофотосъемка беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в настоящее время является передовой технологией в области геодезии, вытесняя применение таких методов, как тахеометрия, спутниковое позиционирование в режимах RTK, пилотируемая аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование (ВЛС), ввиду их неконкурентоспособности по двум основополагающим критериям: стоимость и срок выполнения работы [1–7].

Потенциал использования БПЛА в нефтегазовой отрасли на сегодняшний момент поистине огромен. Многие вопросы безопасности и надежности, на которые компании нефтегазовой отрасли традиционно тратят существенные средства, могут эффективно решаться с использованием БПЛА. Стоит отметить, что ценность беспилотных комплексов заключается также в инновационных программах распознавания и обработки данных с БПЛА [8–14].

Использование новых современных решений на базе беспилотных технологий дает значительные преимущества нефтегазовым предприятиям, например в инженерно-геодезической части, начиная от мониторинга линейных объектов (нефте-, водо-, газопроводов, линий электропередач), заканчивая созданием маркшейдерских планов [15–27].

С помощью комплекса БПЛА в режиме реального времени можно получать высококачественные аэрофотоснимки, видеосъемку и другое. Широкий спектр функций БПЛА позволяет вести съемку не только в видимом, но и в инфракрасном диапазоне, проводить съемку мультиспектральной камерой, что повышает возможности в условиях ограниченной видимости. Продолжительное время работы аккумуляторов в сочетании с высокой дальностью видеосвязи дают возможность вести работу на обширной территории [28–32].

В настоящее время на территории Пермского края применение БПЛА находится на этапе развития, предпочтение отдается традиционным способам (тахеометрия для создания маркшейдерских планов,

использование человеческого ресурса для мониторинга линейных объектов). Для наглядного представления широкого спектра возможностей применения беспилотных летательных аппаратов на территории Пермского края и обозначения новых границ применения рассмотрим использование летательного аппарата SenseFly eBee на одном из объектов нефтегазовой компании (площадь исследуемой территории составила 13,6 Га). Произведена обработка снимков, полученных с БПЛА, и сравнение результатов обработки в различных современных программных продуктах, а также показана экономическая эффективность использования БПЛА по сравнению со стандартными геодезическими методами, которые применяются на сегодняшний момент. На рис. 1 представлен маршрут полета БПЛА на рассматриваемом в статье объекте нефтегазовой компании.

Построение ортофотопланов

В результате полета летательного аппарата SenseFly eBee получено 49 снимков в формате .jpg. Обработка данных снимков производилась в трех программных продуктах, которые на настоящий момент времени являются передовыми в своей области: Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594 (Россия), ERDAS IMAGINE, v 2015 (США) и Pix4Dmapper Pro (Швейцария). На рис. 2 представлен промежуточный этап обработки данных –

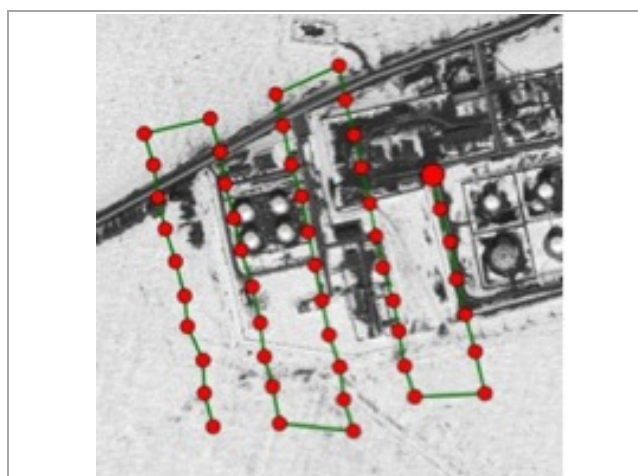


Рис. 1. Схема маршрута полета беспилотного летательного аппарата SenseFly eBee над рассматриваемым объектом

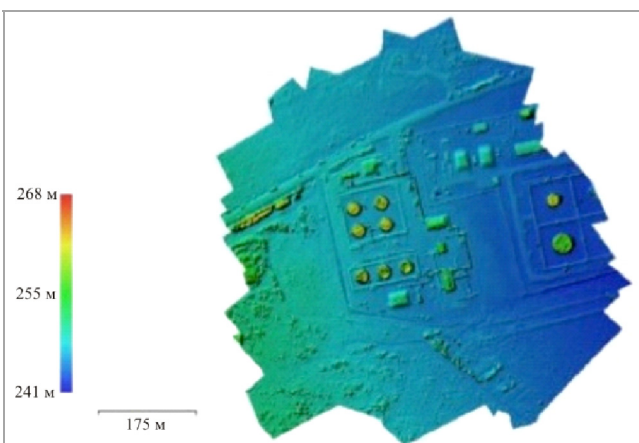


Рис. 2. Карта высот рассматриваемого объекта, построенная в Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594

построение карты высот. На рис. 3 отображены конечные результаты обработки данных БПЛА в виде ортофотопланов. В нефтегазовой промышленности ортофотоплан дает возможность максимально детально представить ситуацию на земной поверхности, поэтому их качество должно быть на высоком уровне (не должно наблюдаться пустых зон и линий сшивки).

По результатам анализа можно сделать вывод, что ортофотоплан программного продукта ERDAS IMAGINE (рис. 3, б) не может использоваться в дальнейшем исследовании, поскольку на нем имеется немалое количество «слепых» зон, объекты сильно искажены и отчетливо заметны линии сшивки изображений. Также стоит отметить, что создание ортофотоплана в данном программном продукте весьма трудоемкий процесс, поскольку он базируется главным образом на сшивке космоснимков и аэрофотоснимков (полученных с пилотируемых летательных аппаратов), где углы наклона малы или приближены к нулю. В рассматриваемом примере обработке подлежали снимки, полученные с БПЛА, где углы наклона заметно отличались от нуля.

Оценка точности построенных ортофотопланов

С целью определения оценки точности построенных ортофотопланов и, следовательно, выявление наиболее эффективного программного обеспечения выполнена геодезическая оценка точности с помощью использования ArcMap, v 10.5.

Таблица 1

Предельные погрешности местоположения объектов

Объект	В масштабе карты или плана, мм
Опорные пункты геодезической сети, ориентиры	0,2
Объекты с четкими контурами	0,5
Объекты с нечеткими контурами и объекты в горных, высокогорных и пустынных районах	0,75

Опираясь на стандарт СТО «ЛУКОЙЛ» 1.8. – 2008 «Карты и планы цифровые топографические, Требования к составу, структуре, содержанию, форматам представления, правилам обновления в ОАО «ЛУКОЙЛ» и организациях группы «ЛУКОЙЛ»», требования к позиционной точности, устанавливающие предельные погрешности местоположения объектов цифровых топографических карт и планов (ЦТКиП) относительно их истинных значений, приведены в табл. 1 [33–38].

Исходя из данных табл. 1, предельные погрешности положения объектов с четкими контурами составляют 0,5 мм в масштабе карты или плана. Для масштаба 1:500 с учетом данных погрешностей предельная ошибка в плане составит 0,25 м, а по высоте – 0,16 м (1/3 сечения рельефа) [39–42].

Построение маркшейдерских планов выполнялось в программном продукте ArcMap, v 10.5, наложением топографического плана на ортофотоплан с учетом всех требований для масштабного ряда 1:500 (рис. 4) [43–45].

Произведя оценку точности, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее точным программным обеспечением для обработки данных, полученных с БПЛА, является Pix4Dmapper Pro, поскольку ошибка в плане для масштаба 1:500 составила 3 см, а по высоте – 9 см. Оценка точности, стоимости ПО, а также трудовые затраты представлены в табл. 2.

Экономические затраты, связанные с построением ортофотоплана рассматриваемого объекта с использованием БПЛА, в разы меньше, чем таковые при традиционной съемке, поскольку при традиционном методе построения ортофотоплана примерная стоимость одного гектара плотно застроенной территории



Рис. 3. Вид готового ортофотоплана, полученного в программном продукте:
а – Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594; *б* – ERDAS IMAGINE, v 2015; *в* – Pix4Dmapper Pro

варьируется в пределах от 75 000–100 000 руб.; с использованием БПЛА – порядка 10 000–13 000 руб. Таким образом, затраты на съемку территории с использованием БПЛА и дальнейшую сшивку ортофотоплана составили 130 479,09 руб.

Использование БПЛА возможно не только для геодезических работ, но также и для решения других, не менее важных задач нефтегазовой отрасли, таких как контроль кустовых площадок и строительства линейных объектов (нефтегазопроводов), а также для решения экологических ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации скважин и трубопроводов. Как правило, БПЛА позволяют в режиме реального времени получать качественные изображения, позволяющие обнаруживать нефтяные разливы, выявлять акты несанкционированной деятельности.

Геодезический контроль отсыпки кустовых площадок и контроль строительства линейных объектов

Строительство и обустройство площадок на нефтедобывающих предприятиях – это работы, связанные с подготовкой определенной территории для последующего размещения на ней технологического оборудования, производственных и бытовых построек, групп скважин (кустов) и др. Обвалованию подлежит вся площадь кустового основания по периметру. Такие меры существенны в целях создания необходимых условий для экологической безопасности ведения работ на нефтяных месторождениях.

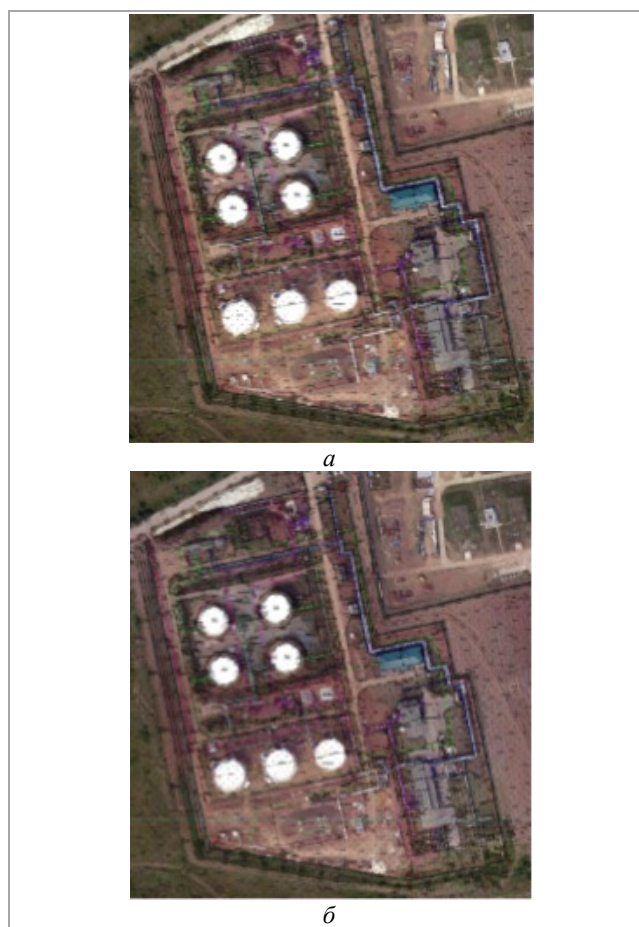


Рис. 4. Маркшейдерский план, полученный в программном продукте: *а* – Pix4Dmapper Pro; *б* – Agisoft Photoscan Professional

С помощью данных, полученных с БПЛА, можно за короткий промежуток времени и с минимальным количеством трудовых затрат построить модель территории кустовой площадки, произвести подсчет объемов и

Сравнительная характеристика программных продуктов

Показатель	Pix4Dmapper Pro (Швейцария)	Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594 (Россия)
Стоимость ПО, руб.	495 900	199 500
Степень автоматизации	Полностью автоматизирована	Полуавтоматизирована
Время обработки 49 снимков, ч	3	6
Количество людей, задействованных в обработке	Один	Один
Оценка точности (план/высота), м/м	0,03/0,09	0,05/0,10

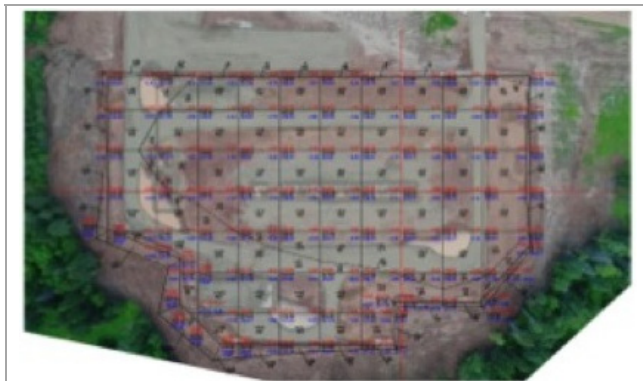


Рис. 5. Контроль отсыпки кустовой площадки



Рис. 6. Расхождение проектного положения нефтепровода от фактического

экономить денежные средства. Пример контроля кустовой площадки с помощью использования БПЛА представлен на рис. 5.

Контроль строительства линейных объектов в нефтегазовой отрасли с использованием БПЛА в современном обществе является обязательным шагом для любой компании, желающей минимизировать риски, сократить расходы и повысить эффективность результатов. Для эффективного

поддержания работоспособности линейных объектов в течение всего периода их эксплуатации необходим постоянный мониторинг и техническое обслуживание, однако обеспечить это не так просто. На рис. 6 представлена часть нефтепровода, на котором отчетливо видно расхождение проектного положения от фактического.

Как правило, БПЛА позволяют в режиме реального времени получать качественные изображения, позволяющие обнаруживать нефтяные разливы, выявлять акты несанкционированной деятельности. На рис. 7 представлены результаты обработки данных, полученных с БПЛА, по которым возможно подсчитать объем разлитой нефти и оценить экономические и экологические затраты.

Таким образом, использование БПЛА повысит качество и безопасность работ, с их помощью можно обследовать такие элементы технологических узлов, которые либо опасны, либо недоступны для человека без остановки всего процесса, например: факельные системы, возможность предотвратить попытки незаконных врезок в трубопровод, а также в разы сократить экономические и экологические риски.

Заключение

Таким образом, установлено, что применение беспилотных летательных аппаратов в различных сферах нефтегазовой деятельности для решения инженерно-геодезических задач является неотъемлемой частью любой компании, занимающейся добычей и транспортировкой углеводородов.

Современные технологии, основанные на использовании БПЛА, в 5–10 раз сокращают

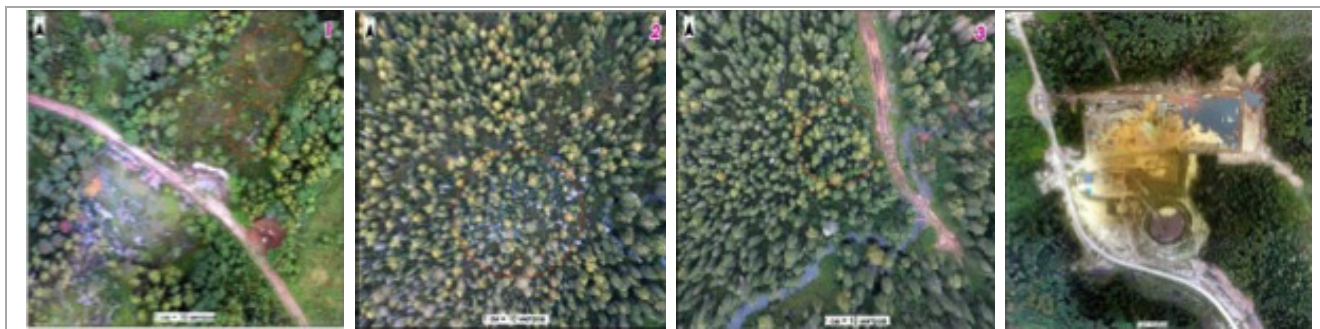


Рис. 7. Пример обработки данных с БПЛА о разливе нефти

экономические риски, автоматизируют процессы, связанные с мониторингом нефтеобъектов, позволяют предотвратить попытки незаконных врезок в трубопровод, разливов нефти.

На основе построения ортофотопланов в трех программных продуктах: Agisoft Photoscan Professional, v 1.2.5.2594 (Россия), ERDAS IMAGINE, v 2015 (США), и Pix4Dmapper Pro (Швейцария) доказана экономическая и трудовременная целесообразность использования беспилотных комплексов.

Библиографический список

1. Dubbini M., Curzio L.I., Campedelli A. Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia) // *Journal of Archaeological Science: Reports*. – 2016. – Vol. 8. – P. 121–134. DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.05.054
2. Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds / Arko Lucieer, Darren Turner, Diana H. King, Sharon A. Robinson // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2014. – Vol. 27. – P. 53–62. DOI: 10.1016/j.jag.2013.05.011
3. Тайманова Г.К., Пак Р.Е. Беспилотные летательные аппараты для мониторинга нефтепроводов // *International Scientific and Practical Conference World science*. – 2018. – Vol. 1, № 1 (29). – P. 42–43.
4. Чуенкова А.А., Логачева А.В. Беспилотные летательные аппараты в геоинформационной сфере // *Конструкторское бюро*. – 2018. – № 3. – С. 34–42.
5. Ямщиков В.А. Беспилотные летательные аппараты // *Интернаука*. – 2019. – № 45–1 (127). – С. 75–77.
6. Смирнова М.С. Особенности разработки и обеспечения качества программных комплексов управления группировками беспилотных летательных аппаратов // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2019. – № 7 (97). – С. 119–123.
7. Расчет маршрутов для группы беспилотных аппаратов / К.С. Подшивалова, С.Ф. Подшивалов, Н.В. Комолова, Ю.А. Павлова, С.В. Дунаев // *Дневник науки*. – 2019. – № 10 (34). – С. 13–15.
8. Gabrlik P. The Use of Direct Georeferencing in Aerial Photogrammetry with Micro UAV // *IFAC-PapersOnLine*. – 2015. – Vol. 48, issue 4. – P. 380–385. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.07.064
9. Satoshi Ishiguro, Hiroya Yamano, Hiroyuki Oguma Evaluation of DSMs generated from multi-temporal aerial photographs using emerging structure from motion–multi-view stereo technology // *Geomorphology*. – 2016. – Vol. 268. – P. 64–71. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.05.029
10. Aber J.S., Marzolff I., Ries J.B. Chapter 1: Introduction to Small-Format Aerial Photography // *Small-Format Aerial Photography*. – 2010. – P. 1–13. DOI: 10.1016/B978-0-12-812942-5.00001-X
11. The Lusi drone: A multidisciplinary tool to access extreme environments / G. Di Stefano, G. Romeo, A. Mazzini, A. Iarocci, S. Pelphrey // *Marine and Petroleum Geology*. – 2018. – Vol. 90. – P. 26–37. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2017.07.006
12. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review // *ISPRS Journal of Photogrammetry*

and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 92. – P. 79–97. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013

13. Siebert S., Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 41. – P. 1–14. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.01.004

14. Margaret Arblaster 11: New entrants into airspace – unmanned aircraft (drones) and increased space transportation // Air traffic management. – 2018. – P. 235–255. DOI: 10.1016/B978-0-12-811118-5.00011-4

15. СТО «ЛУКОЙЛ» 1.8.-2008. Карты и планы цифровые топографические, Требования к составу, структуре, содержанию, форматам представления, правилам обновления в ОАО «Лукойл» и организациях группы «Лукойл». – Пермь, 2008. – 45 с.

16. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan Professional Edition, версия 1.2. 2004. – М., 2004. – 90 с.

17. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. – 160 с.

18. Токтошов Г.Б. О создании геоинформационных система на основе гиперсетей для организации инженерной инфраструктуры современных городов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 1. – С. 48–55.

19. Ковязин В.Ф., Романчиков А.Ю. Метод кадастровой оценки лесных земель с представлением результатов в виде геоинформации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 2. – С. 104–112.

20. Об экологических характеристиках огнетушащих веществ, используемых при тушении нефти и нефтепродуктов / И.Ф. Дадашов, В.М. Лобойченко, В.М. Стрелец, М.А. Гурбанова, Ф.М. Гаджизаде, А.И. Морозов // SOCAR Proceedings. – 2020. – № 2. – С. 79–84. DOI: 10.5510/OGP20200100425

21. Алигулиев Р.М., Фаталиев Т.Х., Мехтиев Ш.А. Промышленный интернет вещей: эволюция автоматизации в нефтегазовом комплексе // SOCAR Proceedings. – 2019. – № 2. – С. 66–71. DOI: 10.5510/OGP20190200391

22. Оптимизация энергетической стратегии нефтегазового предприятия / А.М. Шаммазов, И.А. Шаммазов, О.В. Смородова, С.В. Китаев, И.Р. Байков // SOCAR Proceedings. – 2018. – № 4. – С. 65–69. DOI: 10.5510/OGP20180400373

23. Кремчеев Э.А., Данилов А.С., Смирнов Ю.Д. Состояние метрологического обеспечения систем мониторинга на базе беспилотных воздушных судов // Записки горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 96–105. DOI: 10.31897/PMI.2019.1.96

24. Catur Aries Rokhmana The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia // Procedia Environmental Sciences. – 2015. – Vol. 24. – P. 245–253. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.03.032

25. Construction and Accuracy Test of 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan / Xiu quan Li, Zhu and Chen, Li ting Zhang, Dan Jia // Procedia Environmental Sciences. – 2016. – Vol. 36. – P. 184–190. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.09.031

26. Pajares G., Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2015. – Vol. 81, issue 4. – P. 281–329. DOI: 10.14358/PERS.81.4.281

27. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and prospects / Anshuman Bhardwaj, Lydia Sam, F. Akanksha, Javier Martín-Torres, Rajesh Kumar // Remote Sensing of Environment. – 2016. – Vol. 175. – P. 196–204. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.029

28. Пространственные модели, разрабатываемые с применением лазерного сканирования на газоконденсатных месторождениях Северной строительно-климатической зоны / С.Н. Меньшиков, А.А. Джалябов, Г.Г. Васильев, И.А. Леонович, О.М. Ермилов // Записки горного института. – 2019. – Т. 238. – С. 430–437. DOI: 10.31897/pmi.2019.4.430

29. Визуализация программного обеспечения на базе средств виртуальной реальности геопространственных данных. Обзор и перспективы разработки / В.Л. Авербух, Н.В. Авербух, П.А. Васев, И.Л. Гвоздарев, Г.И. Левчук, Л.О. Мелкозеров // Известия Томского политехнического университета.

Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 1. – С. 195–210. DOI: 10.18799/24131830/2020/1/2461

30. Зоев И.В., Марков Н.Г., Рыжова С.Е. Интеллектуальная система компьютерного зрения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга технологических объектов предприятий нефтегазовой отрасли // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 11. – С. 34–49. DOI: 10.18799/24131830/2019/11/2346

31. Латышов А.И., Яббарова Е.Н. Об интерпретации данных статического зондирования грунтов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 10. – С. 82–90. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2300

32. Организация системы геоинформационного мониторинга состояния земельных ресурсов прибрежной зоны Новосибирского водохранилища / А.П. Карпик, Е.И. Аврунев, Н.И. Добротворская, А.В. Дубровский, О.И. Малыгина, В.К. Попов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 8. – С. 133–145. DOI: 10.18799/24131830/2019/8/2219

33. Епифанова Е.А., Строкова Л.А. Анализ деформаций прожекторной мачты при помощи наземного лазерного сканирования и метода конечных элементов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 5. – С. 7–17. DOI: 10.18799/24131830/2019/5/267

34. Bharat Rao, Ashwin Goutham Gopi, Romana Maione The societal impact of commercial drones // Technology in society. – 2016. – Vol. 45. – P. 83–90. DOI: 10.1016/j.techsoc.2016.02.009

35. Duarte Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring / Cecilia Martin, Stephen Parkes, Qiannan Zhang, Xiangliang Zhang, M. Carlos // Marine pollution bulletin. – 2018. – Vol. 131. – P. 662–673. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.04.045

36. Konar B., Iken K. The use of unmanned aerial vehicle imagery in intertidal monitoring // Deep-sea research part II: topical studies in oceanography. – 2018. – Vol. 147. – P. 79–86. DOI: 10.1016/j.dsr2.2017.04.010

37. Safety and security management with unmanned aerial vehicle (UAV) in oil and gas

industry / Jaeyoung Cho, Gino Lim, Taofeek Biobaku, Seonjin Kim, Hamid Parsaei // Procedia manufacturing. – 2015. – Vol. 3. – P. 1342–1349. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.290

38. Волкова И.И., Белов Н.С., Шаплыгина Т.В. Геопространственный анализ природно-антропогенной трансформации эоловых прибрежно-морских природных комплексов с использованием наземного лазерного сканирования // Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 1 (134). – С. 41–45.

39. Прокоп А.Д. Обоснование точности определяемых величин при производстве маркшейдерских съемок с применением программно-аппаратных комплексов // Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 1 (134). – С. 46–49.

40. Павлов В.И. Аэрофотосъемка водного пространства // Маркшейдерский вестник. – 2019. – № 6 (133). – С. 40–44.

41. Волков В.И., Волков Н.В., Волков О.В. Новый подход к применению маркшейдерско-геодезических наблюдений для контроля техногенных последствий разработки нефтегазовых месторождений // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 3 (124). – С. 45–50.

42. Чан Т.Ш., Кузин А.А. Анализ влияния кривизны Земли на результаты спутниковых и традиционных измерений в топоцентрической системе координат // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 6 (127). – С. 38–43.

43. Вердиев С.Б. Анализ погрешности геодезических средств измерения дистанций, вызванных атмосферными осадками // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 6 (127). – С. 44–48.

44. Клочков В.В., Никитова А.К. Метод прогнозирования спроса на беспилотные летательные аппараты и работы по воздушному патрулированию // Проблемы прогнозирования. – 2007. – № 6 (105). – С. 144–152.

45. Никишев В.К., Сергеев Е.С. Беспилотные летательные аппараты – моделирование динамики и перспективы развития // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 6–3. – С. 85–87.

References

1. Dubbini M., Curzio L.I., Campedelli A. Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2016, vol. 8, pp. 121-134. DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.05.054
2. Lucieer Arko, Turner Darren, King Diana H., Robinson Sharon A. Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, vol. 27, pp. 53-62. DOI: 10.1016/j.jag.2013.05.011
3. Taimanova G.K., Pak R.E. Bepilotnye letatel'nye apparaty dlia monitoringa nefteprovodov [Unmanned aerial vehicles for monitoring oil pipelines]. *International Scientific and Practical Conference World science*, 2018, vol. 1, no. 1 (29), pp. 42-43.
4. Chuenkova A.A., Logacheva A.V. Bepilotnye letatel'nye apparaty v geoinformatsionnoi sfere [Unmanned aerial vehicles in the field of geoinformation]. *Konstruktorskoe biuro*, 2018, no. 3, pp. 34-42.
5. Iamshchikov V.A. Bepilotnye letatel'nye apparaty [Unmanned aerial vehicles]. *Internauka*, 2019, no. 45-1 (127). pp. 75-77.
6. Smirnova M.S. Osobennosti razrabotki i obespecheniia kachestva programmnykh kompleksov upravleniia gruppirovkami bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Features of development and quality assurance of software systems for managing unmanned aerial vehicle groupings]. *Nauka i biznes: puti razvitiia*, 2019, no. 7 (97), pp. 119-123.
7. Podshivalova K.S., Podshivalov S.F., Komolova N.V., Pavlova Iu.A., Dunaev S.V. Raschet marshrutov dlia gruppy bespilotnykh apparatov [Calculation of routes for the group of unmanned vehicles]. *Dnevnik nauki*, 2019, no. 10 (34), pp. 13-15.
8. Gabrlik P. The Use of Direct Georeferencing in Aerial Photogrammetry with Micro UAV. *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 48, iss. 4, pp. 380-385. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.07.064
9. Satoshi Ishiguro, Hiroya Yamano, Hiroyuki Oguma Evaluation of DSMs generated from multi-temporal aerial photographs using emerging structure from motion–multi-view stereo technology. *Geomorphology*, 2016, vol. 268, pp. 64-71. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.05.029
10. Aber J.S., Marzolff I., Ries J.B. Chapter 1: Introduction to Small-Format Aerial Photography. *Small-Format Aerial Photography*, 2010, pp. 1-13. DOI: 10.1016/B978-0-12-812942-5.00001-X
11. Stefano G. Di, Romeo G., Mazzini A., Iarocci A., Pelphrey S. The Lusi drone: A multidisciplinary tool to access extreme environments. *Marine and Petroleum Geology*, 2018, vol. 90, pp. 26-37. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2017.07.006
12. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, vol. 92, pp. 79-97. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013
13. Siebert S., Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 2014, vol. 41, pp. 1-14. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.01.004
14. Margaret Arblaster 11: New entrants into airspace – unmanned aircraft (drones) and increased space transportation. *Air traffic management*, 2018, pp. 235-255. DOI: 10.1016/B978-0-12-811118-5.00011-4
15. STO “LUKOI” 1.8.-2008. Karty i plany tsifrovye topograficheskie, Trebovaniia k sostavu, strukture, soderzhaniiu, formatam predstavleniia, pravilam obnovleniia v OAO “Lukoil” i organizatsiikh gruppy “Lukoil” [STO “LUKOY” 1.8.-2008. Digital topographic maps and plans, Requirements for composition, structure, content, presentation formats, updating rules in OJSC Lukoil and organizations of the Lukoil group]. Perm, 2008, 45 p.

16. Rukovodstvo pol'zovatel'ia Agisoft PhotoScan Professional Edition, versiiia 1.2. 2004 [Agisoft PhotoScan Professional Edition User Manual, version 1.2. 2004]. Moscow, 2004, 90 p.
17. Krasnopevtsev B.V. Fotogrammetriia [Photogrammetry]. Moscow: UPP "Reprografiia" MIIGAiK, 2008, 160 p.
18. Toktoshov G.Y. O sozdanii geoinformatsionnykh sistema na osnove gipersetei dlia organizatsii inzhenernoi infrastruktury sovremennykh gorodov [On creation of geographic information systems based on hypernetworks for the organization of the engineering infrastructure of modern cities]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2016, vol. 327, no. 1, pp. 48-55.
19. Koviazin V.F., Romanchikov A.Iu. Metod kadaastrovoi otsenki lesnykh zemel' s predstavleniem rezul'tatov v vide geoinformatsii [Method of forestland cadastral evaluation with results presentation as geologic informational]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2017, vol. 328, no. 2, pp. 104-112.
20. Dadashov I.F., Loboichenko V.M., Strelets V.M., Gurbanova M.A., Gadzhizade F.M., Morozov A.I. Ob ekologicheskikh kharakteristikakh ognetushashchikh veshchestv, ispol'zuemykh pri tushenii nefti i nefteproduktov [About the Environmental Characteristics of Fire Extinguishing Substances Used in Extinguishing Oil and Petroleum Products]. *SOCAR Proceedings*, 2020, no. 2, pp. 79-84. DOI: 10.5510/OGP20200100425
21. Aliguliev R.M., Fataliev T.Kh., Mekhtiev Sh.A. Promyshlenni internet veshchei: evoliutsiia avtomatizatsii v neftegazovom komplekse [The industrial internet of things: the evolution of automation in the oil and gas]. *SOCAR Proceedings*, 2019, no. 2, pp. 66-71. DOI: 10.5510/OGP20190200391
22. Shammazov A.M., Shammazov I.A., Smorodova O.V., Kitaev S.V., Baikov I.R. Optimizatsiia energeticheskoi strategii neftegazovogo predpriatiia [Optimization of the oil and gas companies energy strategy]. *SOCAR Proceedings*, 2018, no. 4, pp. 65-69. DOI: 10.5510/OGP20180400373
23. Kremcheev E.A., Danilov A.S., Smirnov Iu.D. Sostoianie metrologicheskogo obespecheniia sistem monitoringa na baze bespilotnykh vozdushnykh sudov [Metrological support of monitoring systems based on unmanned aerial vehicles]. *Zapiski gornogo instituta*, 2019, vol. 235, pp. 96-105. DOI: 10.31897/PMI.2019.1.96
24. Catur Aries Rokhmana The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 2015, vol. 24, pp. 245-253. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.03.032
25. Xiu quan Li, Zhu and Chen, Li ting Zhang, Dan Jia. Construction and Accuracy Test of 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan. *Procedia Environmental Sciences*, 2016, vol. 36, pp. 184-190. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.09.031
26. Pajares G., Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2015, vol. 81, iss. 4. pp. 281-329. DOI: 10.14358/PERS.81.4.281
27. Bhardwaj Anshuman, Sam Lydia, Akanksha F., Martín-Torres Javier, Kumar Rajesh. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and prospects. *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 175, pp. 196-204. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.029
28. Men'shikov S.N., Dzhaliabov A.A., Vasil'ev G.G., Leonovich I.A., Ermilov O.M. Prostranstvennye modeli, razrabatyvaemye s primeneniem lazernogo skanirovaniia na gazokondensatnykh mestorozhdeniiakh Severnoi stroitel'no-klimaticheskoi zony [Spatial Models Developed Using Laser Scanning at Gas Condensate Fields in the Northern Construction-Climatic Zone]. *Zapiski gornogo instituta*, 2019, vol. 238, pp. 430-437. DOI: 10.31897/pmi.2019.4.430
29. Averbukh V.L., Averbukh N.V., Vasev P.A., Gvozdarev I.L., Levchuk G.I., Melkozerov L.O. Vizualizatsiia programmogo obespecheniia na baze sredstv virtual'noi real'nosti geoprostrastvennykh dannykh.

Obzor i perspektivy razrabotki [Software visualization of geospatial data based on virtual reality systems. Survey and future developments]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2020, vol. 331, no. 1, pp. 195-210. DOI: 10.18799/24131830/2020/1/2461

30. Zoev I.V., Markov N.G., Ryzhova S.E. Intel'ktual'naia sistema komp'iuternogo zreniia bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlia monitoringa tekhnologicheskikh ob'ektov predpriatii neftegazovoi otrasli [Intelligent computer vision system for unmanned aerial vehicles for monitoring technological objects of oil and gas industry]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2019, vol. 330, no. 11, pp. 34-49. DOI: 10.18799/24131830/2019/11/2346

31. Latypov A.I., Iabbarova E.N. Ob interpretatsii dannykh staticheskogo zondirovaniia gruntov [On interpretation of the data of soil cone penetration tests]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2019, vol. 330, no. 10, pp. 82-90. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2300

32. Karpik A.P., Avrunev E.I., Dobrotvorskaia N.I., Dubrovskii A.V., Malygina O.I., Popov V.K. Organizatsiia sistemy geoinformatsionnogo monitoringa sostoianiiia zemel'nykh resursov pribrezhnoi zony Novosibirskogo vodokhranilishcha [Organization of the system of geoinformation monitoring the land resources in Novosibirsk basin shore zone]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2019, vol. 330, no. 8, pp. 133-145. DOI: 10.18799/24131830/2019/8/2219

33. Epifanova E.A., Strokova L.A. Analiz deformatsii prozhektornoi machty pri pomoshchi nazemnogo lazernogo skanirovaniia i metoda konechnykh elementov [Numerical analysis of deformations of the lighting mast by ground laser scanning and finite elements method]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2019, vol. 330, no. 5, pp. 7-17. DOI: 10.18799/24131830/2019/5/267

34. Bharat Rao, Ashwin Goutham Gopi, Romana Maione The societal impact of commercial drones. *Technology in society*, 2016, vol. 45, pp. 83-90. DOI: 10.1016/j.techsoc.2016.02.009

35. Martin Cecilia, Parkes Stephen, Zhang Qiannan, Zhang Xiangliang, Carlos M. Duarte Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Marine pollution bulletin*, 2018, vol. 131, pp. 662-673. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.04.045

36. Konar B., Iken K. The use of unmanned aerial vehicle imagery in intertidal monitoring. *Deep-sea research part II: topical studies in oceanography*, 2018, vol. 147, pp. 79-86. DOI: 10.1016/j.dsr2.2017.04.010

37. Cho Jaeyoung, Lim Gino, Biobaku Taofeek, Kim Seonjin, Parsaei Hamid. Safety and security management with unmanned aerial vehicle (UAV) in oil and gas industry. *Procedia manufacturing*, 2015, vol. 3, pp. 1342-1349. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.290

38. Volkova I.I., Belov N.S., Shaplygina T.V. Geoprostranstvennyi analiz prirodnoantropogennoi transformatsii eolovykh pribrezhno-morskikh prirodnykh kompleksov s ispol'zovaniem nazemnogo lazernogo skanirovaniia [Geospatial analysis of natural-anthropogenic transformation of aeolian coastal-marine natural complexes using terrestrial laser scanning]. *Marksheiderskii vestnik*, 2020, no. 1 (134), pp. 41-45.

39. Prokop A.D. Obosnovanie tochnosti opredeliaemykh velichin pri proizvodstve marksheiderskikh s'emok s primeneniem programmno-apparatnykh kompleksov [Justification of the accuracy of the determined values in the production of surveying surveys using software and hardware systems]. *Marksheiderskii vestnik*, 2020, no. 1 (134), pp. 46-49.

40. Pavlov V.I. Aerofotos'emka vodnogo prostranstva [Aerial photography of the water area]. *Marksheiderskii vestnik*, 2019, no. 6 (133), pp. 40-44.

41. Volkov V.I., Volkov N.V., Volkov O.V. Novyi podkhod k primeneniiu marksheidersko-geodezicheskikh nabliudenii dlia kontroliia tekhnogennykh posledstviia razrabotki neftegazovykh mestorozhdenii [New concept of

usage of mine surveying and geodetic observations for monitoring the technogenic consequences of the development of oil and gas fields]. *Marksheiderskii vestnik*, 2018, no. 3 (124), pp. 45-50.

42. Chan T.Sh., Kuzin A.A. Analiz vliianiia krivizny Zemli na rezul'taty sputnikovykh i traditsionnykh izmerenii v topotsentricheskoi sisteme koordinat [Analysis of the influence of the Earth's curvature on the results of satellite and traditional measurements in a topocentric coordinate system]. *Marksheiderskii vestnik*, 2018, no. 6 (127), pp. 38-43.

43. Verdiev S.B. Analiz pogreshnosti geodezicheskikh sredstv izmereniia distantsii, vyzvannykh atmosferynymi osadkami [Analysis of error of geodetic instruments for measuring of

distances caused by atmospheric factors]. *Marksheiderskii vestnik*, 2018, no. 6 (127), pp. 44-48.

44. Klochkov V.V., Nikitova A.K. Metody prognozirovaniia sprosa na bespilotnye letatel'nye apparaty i raboty po vozdušnomu patrulirovaniu [Methods for predicting demand for unmanned aerial vehicles and aerial patrol operations]. *Problemy prognozirovaniia*, 2007, no. 6 (105), pp. 144-152.

45. Nikishev V.K., Sergeev E.S. Bespilotnye letatel'nye apparaty – modelirovanie dinamiki i perspektivy razvitiia [Unmanned aerial vehicles – dynamics modeling and development prospects]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoi nauki*, 2014, no. 6-3, pp. 85-87.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Аникаева А.Д., Мартюшев Д.А. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли // Недропользование. – 2020. – Т.20, №4. – С.344–355. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.4.4

Please cite this article in English as:

Anikaeva A.D., Martyushev D.A. Assessment of the Unmanned Aerial Vehicle Potential Application in the Oil and Gas Industry. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.4, pp.344-355. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.4.4