

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №6, Том 14 / 2022, No 6, Vol 14 <https://esj.today/issue-6-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/40NZVN622.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Прохоров, А. В. Мониторинг магистральных нефте-газопроводов при помощи беспилотных летательных аппаратов / А. В. Прохоров, И. В. Носков // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/40NZVN622.pdf>

**For citation:**

Prokhorov A.V., Noskov I.V. Monitoring of main oil and gas pipelines using UAVs. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(6): 40NZVN622. Available at: <https://esj.today/PDF/40NZVN622.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Прохоров Алексей Васильевич**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
E-mail: Aleck.prohorov2013@yandex.ru

**Носков Игорь Владиславович**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: noskov.56@mail.ru

## Мониторинг магистральных нефте-газопроводов при помощи беспилотных летательных аппаратов

**Аннотация.** На сегодняшний день проведение мониторинга по выявлению состояния безопасности магистральных трубопроводов, проводится на основе передовых достижений науки во всем мире. Эти методы диагностики основываются на разных законах физики: УЗИ, оптическом, термическом, радиоволновой и прочие. Так же наблюдение за нефте-газосборными трубопроводами проводят при помощи НЛС, используют съёмки с космических спутников и воздушных средств. Один из основных интересов любой нефтегазовой компании — поддерживать свои трубопроводы и производство в хорошем состоянии. Добыча и транспортировка нефти и газа, в 70 % случаев происходит в труднодоступных районах, за частую с очень суровыми климатическими условиями. При таких условия, риск техногенной аварии очень высок. По этой причине, отношение к охране окружающей среды со стороны специализированных управления, крайне высок. Своевременное получение информации о техническом состоянии трубопроводов — играет ключевую роль. А получать её в столь короткие сроки, помогает выполнения работ с помощью беспилотных летательных аппаратов. Большой выпор бортового оборудования и способность нести большую полезную нагрузку, делают их применения крайне востребованным на предприятиях занимающемся нефте-газопереработкой. Выполнение мониторинга (обследования) магистральных нефте-газопроводов, экологический контроль прилегающей территории и многое другое, это перечень возможного применения беспилотной авиационной техники. В этой статье рассмотрим некоторые способы применения БЛА, выполнения термометрической съёмки при мониторинге трубопроводов и оборудования. Это один из передовых способов в современном мире, имеющие огромные перспективы для дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** БПЛА; дрон; беспилотник; контроль за состоянием трубопроводов; напорный нефтепровод; перекачка по трубопроводам; технология и организация строительства; нефтедобыча; нефтепереработка

## Введение

Нефтепроводная сеть имеет стратегическое значение в обеспечении финансовой безопасности России. Обширная сеть магистральных трубопроводов наглядно показывает экономическое состояние страны. Так как РФ обладает одной из самых протяженных территорий в мире, соответственно и длинна трубопроводной сети составляет более 80 тысяч км. Объем перекачиваемой нефти по этой сети, составляет чуть более 90 % добычи нефти в стране. Транспортировка таких объемов нефти, должна проходить совершенно безопасно. Утрата надежности трубопроводов — это огромный удар по экономике страны, возникновение техногенных аварий. В результате разлива нефти, возможно остановка перекачки нефти на одном из трубопроводов. Разгерметизация трубы может привести к крупной промышленно катастрофе, загрязнение почвы и водных ресурсов.

Поддержание бесперебойной работы нефтепровода, одно из самых непростых задач, с которыми приходится сталкиваться сотрудникам нефтяных компаний России. Так как трубопроводы, по своей протяженности составляют многие сотни километров. Они проходят через болота и леса, соответственно передвижение в таких условиях затруднено. В некоторых местах передвижение персонала совершенно невозможно. Самый распространенный вариант наблюдения за трубопроводами, был и в некоторых случаях остается. Проезд на вездеходной технике по вдоль трассовой дороги (технологический проезд) с целью осмотра и выявления критических нарушений магистрального нефтепровода. А также при необходимости задействуют вертолет. Кроме этого, были и другие подходы к решению этих задач [1; 2]. Что касается затрат, то эти способы очень затратные и низко эффективны. Для осуществления мониторинга с применением вертолета, необходимо иметь и содержать взлётно-посадочные площадки. Что само по себе несет очень высокие финансовые затраты, для нефтедобывающие компании.

Так же содержания парка вездеходной техники ложиться финансовым бременем на предприятие. Все возможные датчики и измерительные приборы, не нашли широкого применения. По причине содержания в штате специально обученных людей для их содержания и настройки. Развитие не остановить, поскольку в настоящее время наблюдение осуществляется с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) Зубкова Е. «Пролетая над нефтепроводом»<sup>1,2</sup> [3]. После успешного выхода на мировой рынок услуг ГИС. Применение БПЛА для наблюдения за крупными нефтепроводами способствовало повышению эффективности затрат и уменьшению опасности для окружающей среды.

В состав бортового оборудования БПЛА входят различные приборы, которые в зависимости от текущей задачи могут видео съёмку или выполнять фотоснимки высокого качества. Вся информация может храниться на карте памяти внутри самого прибора, либо по желанию оператора синхронно записывать и передавать данные на пульт управления. При помощи современных программных комплексов, маршрут проектируется за ранее.

После загрузки полетного задания, дрон может выполнять полет самостоятельно или в случай необходимости оператор может внести коррективы в полет в ручном режиме.

Большинство моделей производителей БПЛА могут выполнять полеты в различных погодных условиях. Что дает ряд преимуществ перед другими методами обследования нефтепроводов.

---

<sup>1</sup> Зубкова Е. «Пролетая над нефтепроводом».

<sup>2</sup> ZALA Aero Group Беспилотные системы [Электронный ресурс] URL: <https://zala.aero>.

Большой обхват ранее недоступной территории, это один из основных и главных достоинств этой техники. А сочетание низкой цены и простота управление, не оставляет конкурентам ни малейшего шанса в этой области работ.

### Результаты исследований

Задачи, с которыми может справиться БПЛА:

1. Патрулирование по оси магистрального нефтепровода позволяет обнаружить, места разлива нефтепродуктов. Передача точных координат места загрязнения почвы. Выявление мест с повреждениями обваловки и засыпки трубопроводов. Съемка в дальнем инфракрасном диапазоне.
2. Обнаружение разгерметизации нефтепровода, иных технических неисправностей. Обнаружение участков трубопроводов, которые находятся не в проектном положении.
3. Определение зон деформации земной поверхности, оседания, провалы и эрозию почвы. Нахождение мест незапланированного выхода трубопровода на поверхность.
4. Организовать работу аварийно-восстановительной бригады, в режиме реального времени. Осмотр и анализ технического состояния трубопровода.
5. Координировать строительно-ремонтные работы на аварийных участках трубопровода.
6. Сбор и анализ полученных сведений о текущем состоянии охранных зон, наземных объектов трубопровода и минимально допустимых зон и расстояний.
7. Оперативное выявление несанкционированных работ и переездов в охранной зоне трубопровода. Выявление мест незаконной деятельности и т. д.

В настоящее время существует множество инженерно-конструкторских решений создания БПЛА. Однако наиболее перспективные решения нашли отражения в двух модификациях: вертолетного (дрон) и вертолетного типа (квадрокоптер) (рис. 1), самолетного (рис. 2).



Рисунок 1. БПЛА вертолетного типа (<https://gorizond.ru/aerophoto>)



Рисунок 2. БПЛА самолетного типа (<https://gorizond.ru/aerophoto>)

Таблица 1

### Основные характеристики БПЛА

Наименование	Общий вид	Характеристики
Летательный аппарат (ЛА) самолетного типа		Подъемная сила создается аэродинамическим способом за счёт напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Аппараты такого типа, как правило, отличаются большей длительностью полета, максимальной высотой полёта и высокой скоростью.
ЛА вертолетного типа (дрон)		Аппараты вертолетного типа с вращающимся крылом. Подъемная сила этого типа создается аэродинамически, но не за счёт крыльев, а за счёт вращающихся лопастей несущего винта (винтов). Крылья либо отсутствуют вовсе, либо играют вспомогательную роль.
ЛА вертолетного типа (квадрокоптер)		

<https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/const-module/classification/classification.html>

Основные характеристики БПЛА представлены «Группой компании Геоскан»<sup>3</sup>, «Беспилотные системы»<sup>4</sup>, «АС-КАМ»<sup>5</sup> в таблице 1 [7–9]. БПЛА имеет широкий перечень

<sup>3</sup> Группа компаний Геоскан [Электронный ресурс] URL: <https://geoscan.aero>.

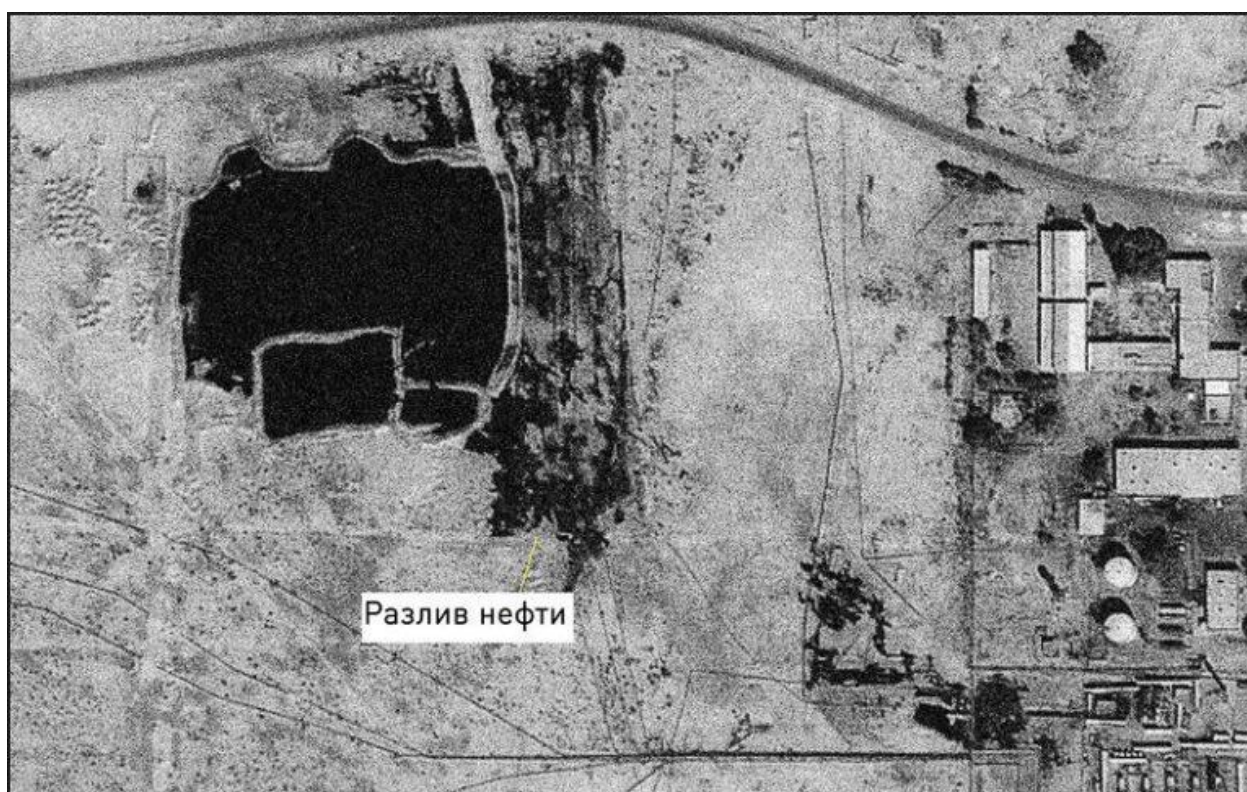
<sup>4</sup> Беспилотные системы [Электронный ресурс] URL: <https://unmanned.ru>.

<sup>5</sup> Информационный сайт компании АС-КАМ [Электронный ресурс] URL: <https://ascam.aero/monitoring-obetov-nefte-gazovoy-otrasli/>.

выполняемых работ, каждая ситуация уникальна и требует нестандартных решений. Программы для обработки снимков, позволяют создать цифровую модель местности с передачей высот земной поверхности, и допустимой точностью. Так же позволяет расстояния и рассчитывать площадь поверхности и объем.

Инфракрасная съемка является одним из ключевых способов исследования нефте-газопроводов. Тепловизионная (инфракрасная) съёмка, выполненная при помощи БЛА, помогает обеспечить безопасность трубопроводов, выявить утечку и незаконные врезки в нефтепроводы, увидеть лиц находящиеся на охраняемой территории, объекты, которые оказались в охранной зоне нефтепроводов. Все это возможно наблюдать в любое время суток.

Инфракрасная съемка способна видеть степень нагрева объекта, в случае с обычной оптической камеры, которая собирает отраженный свет от объекта. ИК камера работает и днем, и ночью, в этом её неоспоримый плюс. На экране тепловизора оператор наблюдает насколько объект нагрет на фоне других объектов. ИК съемка — это основная система диагностики, которая способна осуществлять точный контроль технического состояния оборудования, все это происходит без остановки технических процессов. Проведения диагностики оборудования в момент его работы, дает большой шанс распознать будущую неисправность. Проведения ИК съемки при помощи БЛА, позволяет продлить срок технической эксплуатации оборудования, промышленных здании, подстанции. Все эти меры способствуют снижению риска возникновения техногенных катастроф, а затраты на проведения ИК съёмки с БЛА намного меньше, чем ликвидация инцидента. Итогом ИК съемки является термограмма, на снимки объекта представлена температурная шкала, по отличительному цвету есть возможность узнать температуру конкретного места мониторинга. Цена работы зависит от размера объекта, его расположения, географических характеристик и другого рода факторов.



**Рисунок 4.** Инфракрасная съемка (<https://ascam.aero/monitoring-obetov-nefte-gazovoy-otrasli/>)

Способ ИК съёмки выполненный при помощи БЛА, обладает высокой производительностью, широкий способ решение задач. Один из примеров такой работы является диагностика объектов электроэнергетики, мониторинг трубопроводов, различные

экологические наблюдения. А способность решать чрезвычайные задачи, делает этот способ наблюдения одним из передовых достижений в науке и техники на рубеже двадцать первого века. В качестве бортового оборудования на БПЛА, используются камеры для спектральной съемки, тепловизоры такие как Zenmuse H20N и H20T от компании «ДЖ-МСК»<sup>6</sup> (рис. 5), LIDAR и гиперспектральные камеры, что позволяет проводить мониторинг мест разлива нефтепродуктов (рис. 4).

Одним из факторов вызывающим разрушение трубопроводов, коррозию металла, можно назвать избыточно влажный грунт. Обнаружение следов гидроксида железа ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) при специальной спектральной обработке снимка, может говорить о наличии коррозии на объекте. При длине волны 0,4–0,5 мкм в коротковолновом участке видимого диапазона без особого труда определяется преизбыточная увлажненность. На смену видео стандарту PAL с его разрешением в 720\*576 px, пришли фотоснимки HD качества с разрешением в 5184\*3456 px. Изходя из этого факта, фотоснимки имеют огромное преимущество перед аналоговой видеосъемкой.



**Рисунок 5.** Тепловизионная съемка

(<https://www.djimsk.ru/guides/2022/06/22/interesnoe-o-dronah-s-teplovizorom/>)

При нагреве углеводородов солнечными лучами, проявляется их характерная особенность, повышенная излучательная способность в ИК диапазоне.

Утечка на нефте- и газопроводе всегда сопровождается перепадом температуры рядом с его прохождением по территории, она изменяется в пределе от 2 до 2,5 К. Снимки теплового диапазона волн, имеющие длину волн 10–12 мкм, достаточно хорошо обнаруживают эти объекты. В добавок чувствительность этих снимков составляет примерно 0,2 К.

В случае аварии вблизи водных объектов, где нефть попала на водную поверхность, разница температур между нефтью и водой составляет 1,5 К. Так как нефть холоднее воды,

<sup>6</sup> Информационный сайт компании «ДЖ-МСК» [Электронный ресурс] URL: <https://www.djimsk.ru/guides/2022/06/22/interesnoe-o-dronah-s-teplovizorom/>.

ночью этот контраст отрицательный, а днем пленка нефти поглощает более интенсивней солнечное излучение, что приводит к ее нагреву — соответственно контраст положительный.

По отдельности, каждый из способов может обнаружить только разные свойства исследуемых объектов, в комплексе же обработка этой информации дает возможность получить полную картину, полностью изучить объект и окружающую его инфраструктуру.

Все выше перечисленные способы съёмки, возможно только благодаря применению БЛА (беспилотный летательный аппарат). Только с его помощью можно добиться получения результата в кратчайшие сроки и с минимальными финансовыми вложениями. Способы ДЗЗ трубопровода при помощи БЛА, нашли свое отражение в аэрокосмическом способе диагностики трубопровода, это можно назвать частным случаем в этой области.

### Выводы

Становится очевидным, что для сохранения и надежной работы трубопроводов и нефтегазодобывающей промышленности в России и всего мира, обойтись без применения БПЛА, в качестве средств для дистанционного мониторинга невозможно. Эти аппараты стали широко применяться по всему миру, рынок ГИС услуг будет нуждаться в их применении еще очень длительное время, замены им в нынешнее время нет.

Беспилотные летательные аппараты большой дальности позволяют осуществлять воздушное наблюдение за нефтепроводами. БПЛА среднего радиуса действия эффективны для оперативной рекогносцировки трубопроводных маршрутов. БПЛА малого радиуса действия пригодны для осмотра объектов в непосредственной близости и требующие подробного расследования.

Так же беспилотные летательные аппараты применяются для обследования факельных труб, нефтехранилищ, линий электропередач и трубопроводов. Основное преимущество беспилотников — это возможность добраться к труднодоступным местам и опасным зонам. Беспилотные летательные аппараты повышают безопасное проведения работ.

С их помощью производится сбор больших объемов данных, по результатам которых составляется модель, она отражает все сбои и неполадки на объекте мониторинга. Беспилотник может исследовать различные элементы технологических узлов, некоторые из них опасны для человека, либо для их проверки нужно остановить производство, к примеру — факела для сжигания попутного газа на нефтяных и газовых месторождениях. Отслеживать трещины и коррозию, наносить на карту динамику их развития, выявлять утечки газа, места разлива нефти. Патрулирование и обследование линейной части и мониторинг магистральных нефте-газопроводов. Обладая поистине большими географическими расстояниями и суровым климатом, обследование и мониторинг нефтепроводов и газопроводов, без использования беспилотников в некоторых случаях просто невозможно.

Более 1000 тыс. км составляет протяженность нефтепроводов и газопроводов по территории России. Как правило применения авиации для мониторинга этих объектов, не реже раза в неделю. Привлечение беспилотных летательных аппаратов для такого мониторинга более экономически выгодно и эффективно, однако в законе есть ограничения — закон запрещает управлять аппаратом вне его прямой видимости. Некоторые из экспертов, заверяют, что скоро в закон внесут поправки и все вопросы будут согласованы. Беспилотные летательные аппараты начнут более массово применяться на месторождениях нефти и газа, использоваться для мониторинга магистральных трубопроводов. Эффект от их применения будет очень заметен, произойдет сниженные потери от утечки нефти, в следствии разгерметизации нефтепровода, время на обнаружения и устранения аварии будет снижаться.

ИК съемка с применением БЛА подняла и расширила уровень использования беспилотных летательных систем. За небольшой отрезок времени БЛА прочно вошли в обиход. Их использования на данном этапе, не возможно переоценить, а сферы, где они могут быть использованы, до сих пор расширяются. Большой запас для дальнейшей модификации БЛА дает возможность расширить сферу деятельности и спрогнозировать какие еще область затронет использования БЛА пока не представляет возможным.

С появлением нового технического оборудования и инновационных решений часто встает вопрос о том, какой продукт или услугу выбрать. Выбор будет зависеть от масштабов деятельности. Наблюдение за магистральными нефтепроводами — это колоссальный объем работы. Так что в ваших интересах содержать свой собственный флот беспилотников без помощи сторонних компаний.

Во избежание создания нового департамента было бы целесообразно включать информацию об организации работы в описания должностных обязанностей сотрудников по вопросам безопасности и технического управления, мониторинг беспилотных летательных аппаратов и согласование полетов с местными службами отвечающие за безопасность воздушного движения.

В статье приведены различные примеры использования беспилотных летательных аппаратов и задачи которые они могут решать.

В первую очередь это:

- Постоянный мониторинг сети магистральных нефтепроводов и газопроводов, проходящих в труднодоступных районах и сложным рельефом местности.
- Выявление утечек трубопровода, незаконных врезок.
- Профилактика аварийных ситуации и экологических катастроф.
- Обнаружение дефектов на трубопроводе.
- Различные техногенные аварии, провал грунта, подтопление территории.

Исходя из всего выше перечисленного, широкий диапазон задач при обслуживании магистральных нефтепроводов и газопроводов, применение беспилотных летательных аппаратов станет оптимальным и доступным средством для выполнения мониторинга ввиду ряда преимуществ:

- возможности работать на местности, не подходящей для инспектирования традиционным наземным способом;
- высокой скорости покрытия территории при облёте с передачей данных оператору на землю в режиме реального времени;
- меньшей стоимости оборудования (и его обслуживания) по сравнению с вертолётным мониторингом местности.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Пивнев П.П. Исследование взаимодействия акустических волн в нефти для построения систем диагностики нефтепроводов / П.П. Пивнев // Инженерный вестник Дона. — 2008. — № 2. — С. 185–186.
2. Коркишко А.Н., Рахматуллин Ш.И., Карамышев В.Г. Локация утечек нефти, нефтепродуктов и нестабильных углеводородных жидкостей на магистральных трубопроводах / Коркишко А.Н., Рахматуллин Ш.И., Карамышев В.Г. // Журнал «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов». — 2011. — № 2. — С. 142–147.
3. Зорина С. Чистая территория / Зорина С. // Журнал «Сибирская нефть». — 2016. — № 1/128. — С. 30–35.
4. Погорелов В.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве / Погорелов В.А. // Инженерный вестник Дона. — 2016. — № 1. — С. 1–7.
5. Sanders D. Using Drones for Pipeline Operations / Sanders D. // The Northeast ONG Marketplace. — 2015. — pp. 8–9. (Сандерс Д. Использование беспилотных летательных аппаратов для эксплуатации трубопроводов / Сандерс, Д. // Северо-Восточный рынок ОНГ. — 2015. — С. 8–9.)
6. Gomez C., Green D., Small-Scale Airborne Platforms for Oil and Gas Pipeline Monitoring and Mapping. / Gomez C., Green D. // University of Aberdeen Report. — 2015. — 54 p. (Гомес С., Грин Д., Маломасштабные воздушные платформы для мониторинга и картографирования нефте- и газопроводов. / Гомес С., Грин Д. // Отчет Абердинского университета. — 2015. — С. 54.)
7. Аковецкий В.Г. Аэрокосмический мониторинг месторождений нефти и газа. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. — 454 с.
8. Современная геодинамика и нефтегазоносность. В.А. Сидоров, С.В. Атанасян, Ю.О. Кузьмин и др. Отв. ред. Н.А. Крылов, В.А. Сидоров. Ин-т геологии и разраб. горючих ископаемых — М: Наука, 1989. — 199 с.
9. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О., Хитров А.М. Концепция геодинамической безопасности освоения углеводородного потенциала недр России. — М.: ИГиРГИ, 2000. — 56 с.

**Prokhorov Alexey Vasilievich**

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia  
E-mail: Aleck.prohorov2013@yandex.ru

**Noskov Igor Vladislavovich**

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia  
E-mail: noskov.56@mail.ru

## **Monitoring of main oil and gas pipelines using UAVs**

**Abstract.** At present, monitoring to identify the state of safety of trunk pipelines is carried out on the basis of advanced scientific achievements around the world. These diagnostic methods are based on different laws of physics: ultrasound, optical, thermal, radio wave and others. Also, monitoring of oil and gas collection pipelines is carried out with the help of a radar, using surveys from space satellites and air vehicles. One of the main interests of any oil and gas company is to maintain its pipelines and production in good condition. Extraction and transportation of oil and gas, in 70 % of cases, occurs in hard-to-reach areas, often with very harsh climatic conditions. Under such conditions, the risk of a man-made accident is very high. For this reason, the attitude to environmental protection on the part of specialized management is extremely high. Timely receipt of information about the technical condition of pipelines plays a key role. And getting it in such a short time helps to perform work with the help of unmanned aerial vehicles. The large discharge of on-board equipment and the ability to carry a large payload make their applications extremely popular at enterprises engaged in oil and gas processing. Monitoring (inspection) of main oil and gas pipelines, environmental control of the adjacent territory and much more, this is a list of possible applications of unmanned aerial vehicles. In this article, we will consider some ways of using UAVs, performing thermometric surveys when monitoring pipelines and equipment. This is one of the most advanced methods in the modern world, with huge prospects for further development.

**Keywords:** UAV; drone; drone; pipeline condition monitoring; pressure oil pipeline; pipeline pumping; technology and organization of construction; oil production; oil refining