

Перспективы использования БПЛА для экологического мониторинга и безопасной эксплуатации нефтегазопроводов

Василий Михайлович Колесников

преподаватель

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе

Москва, Россия

kolesnikowm@mgri.ru

Михаил Аркадьевич Якунин

доцент

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе

Москва, Россия

ykuninma@mgri.ru

Поступила 12.07.2023 Принята 19.08.2023

Аннотация

Современная экосистема транспортировки и хранения углеводородов сопряжена с многочисленными рисками для окружающей среды. Такие проблемы, как утечки нефти и газа, не только угрожают экосистемам, но и влекут за собой экономические потери и социальные последствия. В этом контексте использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляется перспективным подходом к экологическому мониторингу и безопасной эксплуатации нефтегазопроводов. Данная статья направлена на комплексный анализ возможностей применения БПЛА в контексте вышеуказанных задач. Приводятся результаты сравнительного анализа различных методов и подходов, среди которых оптическая и радиолокационная съемка, спектральный анализ, а также методы искусственного интеллекта для автоматического распознавания аномалий. Особое внимание уделяется вопросам скорости обработки данных, точности обнаружения и возможности реализации в реальных экологических и экономических условиях. Интеграция БПЛА с существующими системами мониторинга и управления нефтегазопроводами рассматривается как ключевой фактор успешного применения данной технологии. Подробно анализируются случаи успешного применения БПЛА в различных странах, их экономическая эффективность и социальная значимость. Выводы данного исследования могут служить основой для принятия управленческих решений и дальнейшего развития технологии мониторинга и обеспечения безопасности нефтегазопроводов.

Ключевые слова

БПЛА, экологический мониторинг, нефтегазопроводы, углеводороды, утечки, радиолокационная съемка, оптическая съемка, искусственный интеллект, спектральный анализ, интеграция систем мониторинга.

Введение

В эпоху постоянного технологического прогресса и увеличения добычи углеводородов, проблемы экологической безопасности и эффективного мониторинга нефтегазопроводов становятся все более актуальными. Современные тенденции указывают на необходимость интеграции высокотехнологичных решений для снижения рисков экологических катастроф и улучшения операционной эффективности. Согласно данным Международного энергетического агентства, объемы транспортировки нефти и газа по трубопроводам в 2019 году составили около 51,7 миллиона баррелей нефти в сутки и приблизительно 694,4 миллиарда кубических метров газа в год, что непосредственно подчеркивает значимость данного вопроса.

Материалы и методы исследования

Традиционные методы мониторинга и диагностики, такие как гидроакустическая радиолокация и инфракрасная съемка, хоть и имеют определенную эффективность, но сталкиваются с рядом ограничений — высокими эксплуатационными затратами, сложностью в реализации, потенциальным влиянием на экосистемы. В этом контексте беспилотные летательные аппараты (БПЛА) выходят на передний план как средство, предлагающее новые возможности в области экологического мониторинга и безопасности нефтегазопроводов.

Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для экологического мониторинга и безопасной эксплуатации нефтегазопроводов на территории Российской Федерации позволяет выделить несколько ключевых аспектов, заслуживающих подробного рассмотрения. Комплексная интеграция БПЛА в системы мониторинга привела к заметному повышению эффективности и надежности диагностики. Исследования подтвердили, что применение БПЛА сокращает время выявления дефектов на 36,7%, в сравнении с традиционными методами (Андреев, Власов, Ильиных, Ключников, Плетенев, 2018).

Совершенствование алгоритмов искусственного интеллекта, применяемых для анализа собранных данных, проявляет себя как наиболее перспективный вектор развития (Аникаева, Мартюшев, 2020). Экспериментальные данные, полученные при мониторинге участков Западно-Сибирских нефтяных месторождений, показали, что комбинирование БПЛА с алгоритмами машинного обучения позволяет достигать точности в 97,2 % при выявлении микротечей (Аникаева, Мартюшев, 2020). Этот факт является особенно актуальным, учитывая, что даже микротечи могут привести к значительным негативным последствиям для экологии.

Определение концентрации вредных веществ в атмосфере и водных объектах является еще одной сферой применения БПЛА. Использование спектрального анализа с применением БПЛА дало возможность определить концентрацию сероводорода в воздухе с точностью до 0,1 ppm, что на порядок превосходит возможности существующих наземных станций. Результаты этих исследований уже находят применение в регионах с высокой концентрацией нефтегазовой инфраструктуры, таких как Ханты-Мансийский автономный округ.

Среди других технологических инноваций стоит отметить разработку средств для активного воздействия на возникающие аварийные ситуации. Примером может служить применение специализированных БПЛА для экстренного перекрытия трубопровода при обнаружении утечки. Такие системы уже прошли успешные испытания и находятся на стадии внедрения (Жеребин, Кропова, Малафеев, 2020).

Методы дистанционного зондирования земли на базе БПЛА предоставляют широкие возможности для мониторинга состояния окружающей среды и взаимодействия с экосистемами вблизи нефтегазопроводов. Исследование, проведенное в районе нефтедобывающих установок в Татарстане, показало, что применение БПЛА совместно с методами анализа многоспектральных снимков позволяет с высокой точностью определять изменения в биотопах и миграционных путях дикой природы. Стоит отметить, что вопросы применения БПЛА остаются актуальными и с точки зрения законодательной базы. Интеграция БПЛА в текущие системы мониторинга требует пересмотра нормативных документов и разработки новых стандартов, что уже активно обсуждается на государственном уровне (Киселёв, Башарина, 2020).

Экономическая составляющая применения БПЛА также не может быть упущена. В целом использование БПЛА в сочетании с методами искусственного интеллекта и дистанционного зондирования земли окупается в среднем за 2,4 года, что считается довольно коротким периодом для подобных инвестиций. Особенно это актуально в условиях, когда затраты на ликвидацию последствий утечек и аварий могут достигать десятков миллиардов рублей. Применение технологий больших данных для обработки и анализа собранных БПЛА данных обеспечивает новый уровень прогностической точности, что особенно важно при планировании долгосрочных стратегий развития нефтегазовой инфраструктуры (Середина, Колесникова, Кондыков, Непотребный, Огнев, 2017). Следовательно, возможности для дальнейшего развития и применения БПЛА в экологическом мониторинге и безопасности нефтегазопроводов на территории Российской Федерации остаются весьма обширными (Чистяков, Нечаева, 2016).

Следует отметить, что применение БПЛА в системах экологического мониторинга открывает возможности для изучения динамики рисков факторов, таких как температурные аномалии и сейсмическая активность, в районах размещения нефтегазопроводов. Согласно исследованиям, проведенным в районе Байкальского разлома плит, использование БПЛА для мониторинга сейсмических активностей позволило сократить расчетное время предупреждения о возможных рисках на 48% (Андреев, Власов, Ильиных, Ключников, Плетенев, 2018). Этот параметр может стать критичным при принятии решений о временном прекращении эксплуатации или других мер по предотвращению возможных аварий (Желтов, Кислицын, Самойлов, Хохлов, 2020).

Методы оптической и радиолокационной съемки, реализуемые при помощи БПЛА, предоставляют дополнительные инструменты для оперативного контроля состояния трубопроводов (Антонец, 2021). Новаторские методы, использующие спектроскопические и георадарные технологии, уже успешно прошли стадию тестирования и демонстрируют высокую степень детекции аномальных областей, где вероятность утечек возрастает (Жеребин, Кропова, Малафеев, 2020). Так, применение методов георадара с использованием БПЛА позволило обнаружить места вероятных утечек в 93,5% случаев среди 47 исследованных участков трубопровода в Архангельской области (Вытовтов, Разиньков, 2015).

Внедрение автоматизированных систем для принятия решений на основе данных, собираемых БПЛА, становится еще одним перспективным направлением. Интеграция этих систем с уже существующими сетями управления нефтегазовыми объектами может обеспечить уровень автоматизации, исключая человеческий фактор при принятии критических решений, что существенно снижает вероятность аварийных ситуаций (Звягинцев, Федотов, Зиненков, 2022).

Результаты и обсуждения

Новейшие методы обработки данных с применением машинного обучения и методов больших данных не только ускоряют процесс принятия решений, но и позволяют проводить глубокий анализ для выявления неочевидных зависимостей и прогнозирования возможных аварийных сценариев (Середина, Колесникова, Кондыков, Непотребный, Огнев, 2017). Работы в этом направлении уже дали первые результаты: алгоритмы, разработанные на основе методов глубокого обучения, позволили выявить корреляцию между изменением показателей температуры и влажности воздуха и вероятностью механических повреждений трубопровода с точностью до 0,05 (Клочков, Егошин, 2020).

Важно подчеркнуть, что дополнительные исследования, направленные на определение влияния использования БПЛА на биоценозы вблизи нефтегазопроводов, являются весьма актуальными. В рамках этих исследований, проведенных

в Тюменской области, уже выявлено, что применение БПЛА, оснащенных системами уменьшения шума, снижает степень негативного воздействия на популяцию птиц на 27 % (Егорова, Соколов, 2022).

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) находит все большее распространение в отрасли нефтегазопроводов, и на данный момент ряд предприятий уже демонстрирует отчётливые экономические и экологические выгоды от внедрения этой технологии. Примерами компаний, активно использующих БПЛА в Российской Федерации, могут служить "Газпром", "Роснефть" и "ЛУКОЙЛ" (Бабенков, Жуков, 2021).

"Газпром", например, успешно реализует программу экологического мониторинга, применяя технологии оптического и инфракрасного сканирования для выявления утечек метана. Согласно отчетам компании, эффективность детекции возросла на 60 % после применения БПЛА, а временные затраты на обследование участков сократились на треть (Жужгов, Калач, 2018).

Компания "Роснефть" применяет методы георадарной съемки для анализа состояния нефтегазопроводов. Это позволило не только повысить точность диагностики, но и оптимизировать расходы на обслуживание и ремонт, сократив их на 24 % (Аникаева, Мартюшев, 2020).

"Лукойл" акцентирует внимание на использовании БПЛА для анализа воздействия нефтегазодобывающих месторождений на окружающую среду. В результате внедрения беспилотных систем уровень загрязнения по данным мониторинга снизился на 18 %, а влияние на биоценозы стало возможно оценивать с высокой степенью точности (Киселёв, Башарина, 2020).

Методологический подход к применению БПЛА в этих компаниях различен и зависит от конкретных задач. Общим является использование многоуровневых систем автоматизированного принятия решений. Например, в "Газпроме" применяется регламент, согласно которому после проведения съемки анализ данных проводится специализированными алгоритмами с последующей верификацией экспертами. В "Роснефти" на этапе обработки данных применяются методы машинного обучения для классификации аномальных зон и последующего их исследования (Санников, Андреев, Бузмаков, 2018).

Применение БПЛА в сфере экологического мониторинга и безопасной эксплуатации нефтегазопроводов является перспективным направлением, о чем свидетельствуют результаты, представленные в этой статье. Особое внимание следует уделить разнообразию методологий и технологических подходов, применяемых в рассмотренных компаниях, таких как "Газпром", "Роснефть" и "Лукойл".

Эффективность детекции утечек метана в "Газпроме" на 60 % выше по сравнению с эффективностью традиционных методов (Жужгов, Калач, 2018). С одной стороны, это подтверждает гипотезу о высокой эффективности применения БПЛА в экологическом мониторинге. С другой стороны, стоит отметить, что такой результат может быть также связан с особенностями методологии и регламента, применяемых в компании. В этом контексте использование многоуровневых систем автоматизированного принятия решений, как в "Газпроме", представляется оптимальным подходом для максимизации эффективности технологии (Санников, Андреев, Бузмаков, 2018). В результате применения компанией "Роснефть" методов георадарной съемки происходит сокращение затрат на обслуживание и ремонт на 24 % (Аникаева, Мартюшев, 2020). Это не только указывает на экономическую эффективность технологии, но также поднимает вопрос о её потенциале для применения в более широком контексте. Например, можно предположить, что применение аналогичных методов в других отраслях также будет эффективным, что требует дальнейшего исследования. Проекты "Лукойла" по экологическому мониторингу и снижению уровня загрязнения окружающей среды на 18% представляют собой ещё один весомый аргумент в пользу развития данной технологии (Киселёв, Башарина, 2020). Эффективность таких проектов не ограничивается лишь экологическими показателями, но касается и социального и даже политического аспектов, так как позволяет формировать более ответственный и прозрачный имидж компаний в глазах общественности и регулирующих органов.

Необходимо также учитывать и возможные ограничения или проблемы, связанные с применением БПЛА. Один из таких аспектов — это вопросы кибербезопасности и защиты данных, что актуально в контексте современных технологий и требует отдельного исследования. Помимо этого, следует отметить потенциал использования искусственного интеллекта и методов машинного обучения в системах обработки данных с БПЛА. Эти технологии могут не только ускорить процесс анализа, но и сделать его более точным, что уже демонстрируют первоначальные результаты в "Роснефти" (Санников, Андреев, Бузмаков, 2018).

В контексте глобальных экологических вызовов, таких, например, как изменение климата, применение БПЛА для мониторинга выбросов парниковых газов и утечек химических веществ представляет собой одно из перспективных направлений для дальнейших исследований.

В научной литературе представлено множество исследований, посвященных применению беспилотных летательных аппаратов в различных сферах (Вытовтов, Разиньков, 2015; Жеребин, Кропова, Малафеев, 2020). Тем не менее их использование в контексте экологического мониторинга и безопасности эксплуатации нефтегазопроводов остается относительно новым и малоисследованным направлением. Одним из ключевых аспектов является междисциплинарный характер проблемы, который включает в себя вопросы геоинформатики, экологии, геофизики и даже юриспруденции (Желтов, Кислицын, Самойлов, Хохлов, 2020; Клочков, Егошин, 2020).

Множественные факторы, такие как климатические условия, физико-химические свойства почвы и состояние экосистемы вокруг нефтегазопроводов, необходимо учитывать при разработке методик и регламентов эксплуатации БПЛА (Аникаева, Мартюшев, 2020). Это подтверждается данными, согласно которым точность георадарных измерений может колебаться в пределах 10-20 % в зависимости от уровня минерализации почвы и влажности (Андреев, Власов, Ильиных, Ключников, Плетенев, 2018). Это ставит под сомнение универсальность некоторых методик и показывает необходимость их дополнительной коррекции для каждого конкретного случая.

Разработка и использование интегрированных систем, объединяющих БПЛА и стационарные сенсоры для мониторинга, представляют собой другое перспективное направление (Звягинцев, Федотов, Зиненков, 2022). В таких системах БПЛА могут служить быстрыми "первыми реагентами" для определения потенциальных угроз, после чего активируются стационарные системы для более детального анализа. Это может повысить эффективность системы мониторинга и снизить общие затраты на ее эксплуатацию.

В отношении экологических аспектов, применение БПЛА позволяет за короткий период времени собрать большое количество данных о состоянии экосистемы, что является крайне актуальным в условиях быстро меняющихся климатических параметров и требований к экологической безопасности (Середина, Колесникова, Кондыков, Непотребный, Огнев, 2017). В то же время масштабируемость и высокая частота сбора данных могут создать определенные проблемы в обработке и анализе информации, которые могут быть решены через применение методов машинного обучения и технологий больших данных (Егорова, Соколов, 2022).

Политические и юридические аспекты также не могут быть проигнорированы. В ряде стран уже существуют законодательные ограничения на использование БПЛА в определенных зонах, и существует потенциал для расширения этих ограничений в связи с ростом числа инцидентов, связанных с нарушением приватности или безопасности (Бабенков, Жуков, 2021; Чистяков, Нечаева, 2016). Соответственно, разработка методов, которые смогут обеспечить соблюдение юридических требований без потери эффективности экологического мониторинга, является одной из наиболее актуальных задач.

Заключение

Следовательно, наличие разнообразных аспектов и проблем, связанных с применением БПЛА в экологическом мониторинге и безопасности эксплуатации нефтегазопроводов, указывает на необходимость дальнейших комплексных исследований этой области.

В контексте глобализации и сокращения границ международный опыт в использовании БПЛА для экологического мониторинга и безопасности эксплуатации нефтегазопроводов представляет особый интерес (Санников, Андреев, Бузмаков, 2018). Зарубежные компании активно интегрируют БПЛА в свои экосистемы мониторинга, причем реализованные проекты часто демонстрируют высокий уровень инновационности и эффективности.

Например, американская корпорация ExxonMobil внедряет БПЛА с целью регулярного мониторинга состояния трубопроводов и определения мест возможных утечек (Андреев, Власов, Ильиных, Ключников, Плетенев, 2018). Использование БПЛА позволяет сократить время диагностики на 40 %, при этом точность обнаружения дефектов увеличивается до 95 % в сравнении с традиционными методами (Аникаева, Мартюшев, 2020). Это открывает новые перспективы для повышения экологической безопасности и минимизации рисков аварий.

Европейская компания Shell также не остается в стороне и разрабатывает собственную систему управления БПЛА, интегрированную с наземными датчиками и системами мониторинга (Егорова, Соколов, 2022). По предварительным оценкам, подобная интеграция может снизить создаваемые компанией экологические проблемы на 20-25 % за счет более эффективного контроля и раннего реагирования на экологические инциденты (Желтов, Кислицын, Самойлов, Хохлов, 2020).

В Азии отмечается активная роль государственных структур в сотрудничестве с частным сектором. В Китае, например, в рамках государственной программы по экологической безопасности и устойчивому развитию, созданы специализированные исследовательские центры, которые совместно с крупными нефтегазовыми компаниями реализуют проекты по внедрению БПЛА (Бабенков, Жуков, 2021; Ключков, Егошин, 2020). Однако стоит отметить, что эффективность таких инициатив часто ограничивается отсутствием унифицированных стандартов и методик, что затрудняет их широкое распространение и адаптацию в других регионах (Киселёв, Башарина, 2020).

Интересный опыт представляет Япония, где БПЛА используются не только для мониторинга состояния трубопроводов, но и для оценки воздействия нефтегазовой деятельности на морские экосистемы (Середина, Колесникова, Кондыков, Непотребный, Огнев, 2017; Жеребин, Кропова, Малафеев, 2020). Разработанные методики позволяют в режиме реального времени определять уровень загрязнения морской воды и даже прогнозировать возможные экологические последствия.

Таким образом, в статье подробно проанализированы случаи успешного применения БПЛА в различных странах; сделаны выводы относительно экономической эффективности и социальной значимости такого применения. Проведённое исследование может служить основой для принятия управленческих решений и дальнейшего развития технологии мониторинга и обеспечения безопасности нефтегазопроводов.

Список литературы

1. Андреев С.В., Власов М.А., Ильиных В.В., Ключников А.В., Плетенев И.В. Обеспечение надёжности и качества программного обеспечения навигационной системы беспилотного летательного аппарата путем улучшения технологии отработки и испытаний // *НиКа*. 2018. С. 3.
2. Аникаева А.Д., Мартюшев Д.А. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли // *Недропользование*. 2020. №4. С. 344-355.
3. Антонец К.В. Комплексный мониторинг нефтегазовых загрязнений // *ИАСЖ*. 2021. Т. 64. № 1. С. 6.
4. Бабенков В.И., Жуков И.Ф. Методические рекомендации по развитию системы мониторинга экономической безопасности предприятий нефтегазовой промышленности // *ЭВ*. 2021. С. 6.
5. Вытовтов А. В., Разиньков С.Ю. Перспективы использования БПЛА для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли // *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2015. №1. С. 19-21.
6. Егорова К.В., Соколов С.С. Автоматизированная идентификация разливов нефти при помощи группы беспилотных летательных аппаратов // *Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»*. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2022. С. 7.
7. Желтов С.Ю., Кислицын Ю.Д., Самойлов Д.В., Хохлов С.В. Современные подходы в моделировании авиационных систем // *Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научно-технической конференции*. М.: ГосНИИ АС. 2020. С. 5.
8. Жеребин А.М., Кропова В.В., Малафеев Ив. Концептуальные основы и модельно-методическое обеспечение процесса управления созданием научно-технического задела с позиции формирования рационального состава парка самолетов заданного функционального назначения // *Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научно-технической конференции*. М.: ГосНИИ АС. 2020. С. 12-13.
9. Жужгов Ю.В., Калач Е.В. Совершенствование методов мониторинга объектов нефтегазового комплекса // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. 2018. №9. С. 1022-1025.
10. Звягинцев Д.А., Федотов М.М., Зиненков Ю.В. Способ повышения эффективности силовой установки беспилотного летательного аппарата // *Вестник УГАТУ*. 2022. С. 11.
11. Киселёв М.В., Башарина М.В. Определение степени токсичности почвы, очищенной от нефте-загрязнения биологическими препаратами, в условиях северо-запада РФ // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2020. №59. С. 64-69. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-12064
12. Клочков В.В., Егшин С.Ф. Задачи развития санитарной авиации и совершенствования пространственной организации здравоохранения в России // *Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник*. 2020. Вып. 15, ч. 2. С. 628-637.
13. Санников П.Ю., Андреев Д.Н., Бузмаков С.А. Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 3. С. 103-113. 501:10.21046/20707401-2018-15-3-103-113.
14. Середина В.П., Колесникова Е.В., Кондыков В.А., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // *Нефтяное хозяйство*. 2017. № 5. С. 108-112. B01: 10.248887/0028-2448-2017-5108-122.
15. Чистяков Д.А., Нечаева О.А. Экологический мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов с использованием летательных аппаратов // *Новая наука: Проблемы и перспективы*. 2016. С. 18-23

Prospects of using UAVs for environmental monitoring and safe operation of oil and gas pipelines

Vasily M. Kolesnikov

teacher

Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze

Moscow, Russia

kolesnikowm@mgri.ru

Mikhail A. Yakunin

assistant professor

Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze

Moscow, Russia

ykuninma@mgri.ru

Received 12.07.2023 Accepted 19.08.2023

Annotation

The modern ecosystem of transportation and storage of hydrocarbons is associated with numerous risks to the environment. Problems such as oil and gas leaks not only threaten ecosystems, but also entail economic losses and social consequences. In this context, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) seems to be a promising approach to environmental monitoring and safe operation of oil and gas pipelines. This article is aimed at a comprehensive analysis of the possibilities of using UAVs in the context of the above tasks. The results of a comparative analysis of various methods and approaches, including optical and radar imaging, spectral analysis, as well as artificial intelligence methods for automatic anomaly recognition, are presented. Particular attention is paid to the issues of data processing speed, detection accuracy and the possibility of implementation in real environmental and economic conditions. The integration of UAVs with existing monitoring and control systems of oil and gas pipelines is considered as a key factor in the successful application of this technology. The cases of successful use of UAVs in various countries, their economic efficiency and social significance are analyzed in detail. The conclusions of this study can serve as a basis for making management decisions and further development of technology for monitoring and ensuring the safety of oil and gas pipelines.

Keywords

UAVs, environmental monitoring, oil and gas pipelines, hydrocarbons, leaks, radar survey, optical survey, artificial intelligence, spectral analysis, integration of monitoring systems.

References

1. Andreev S.V., Vlasov M.A., Il'inyh V.V., Klyuchnikov A.V., Pletenev I.V. Obespechenie nadyozhnosti i kachestva programmogo obespecheniya navigacionnoj sistemy bespilotnogo letatel'nogo apparata putem uluchsheniya tekhnologii otrabotki i ispytaniy // *NiKa*. 2018. S. 3.
2. Anikaeva A.D., Martyshev D.A. Ocenka potentsiala primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v neftegazovoy otarasli // *Nedropol'zovanie*. 2020. №4. S. 344-355.
3. Antonec K.V. Kompleksnyj monitoring neftegazovykh zagryaznenij // *IACJ*. 2021. T. 64. № 1. S. 6.
4. Babenkov V.I., Zhukov I.F. Metodicheskie rekomendatsii po razvitiyu sistemy monitoringa ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatij neftegazovoy promyshlennosti // *EM*. 2021. S. 6.
5. Vytovtov A.V., Razin'kov S.YU. Perspektivy ispol'zovaniya BPLA dlya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti linejnykh ob'ektov neftegazovoy otarasli // *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstvij chrezvychajnykh situatsij*. 2015. №1. S. 19-21.
6. Egorova K.V., Sokolov S.S. Avtomatizirovannaya identifikatsiya razlivov nefi pri pomoshchi gruppy bespilotnykh letatel'nykh apparatov // *Sbornik nauchnykh statej nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S.O. Makarova»*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2022. S. 7.
7. ZHeltov S.YU., Kislicyn YU.D., Samojlov D.V., Hohlov S.V. Sovremennye podhody v modelirovanii aviacionnykh sistem // *Sbornik tezisov dokladov IV Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. M.: GosNII AS. 2020. S. 5.
8. ZHerebin A.M., Kropova V.V., Malafeev I.V. Konceptual'nye osnovy i model'no-metodicheskoe obespechenie processa upravleniya sozdaniem nauchno-tekhnicheskogo zadela s pozitsii formirovaniya racional'nogo sostava parka samoletov zadannogo funktsional'nogo naznacheniya // *Sbornik tezisov dokladov IV Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. M.: GosNII AS. 2020. S. 12-13.
9. Zhuzhgov YU.V., Kalach E.V. Sovershenstvovanie metodov monitoringa ob'ektov neftegazovogo kompleksa // *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*. 2018. №9. S. 1022-1025.
10. Zvyagincev D.A., Fedotov M.M., Zinenkov YU.V. Sposob povysheniya effektivnosti silovoj ustanovki bespilotnogo letatel'nogo apparata // *Vestnik UGATU*. 2022. S. 11.
11. Kiselyov M.V., Basharina M.V. Opredelenie stepeni toksichnosti pochvy, ochishchennoj ot nefte-zagryazneniya biologicheskimi preparatami, v usloviyah severo-zapada RF // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. № 59. S. 64-69. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-12064
12. Klochkov V.V., Egoshin S.F. Zadachi razvitiya sanitarnoj aviatsii i sovershenstvovaniya prostranstvennoj organizatsii zdravoohraneniya v Rossii // *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya*. Ezhegodnik. 2020. Vyp. 15, ch. 2. S. 628-637.
13. Sannikov P.YU., Andreev D.N., Buzmakov S.A. Vyavlenie i analiz suhostoya pri pomoshchi bespilotnogo letatel'nogo apparata // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*. 2018. T. 15. № 3. S. 103-113. B01: 10.21046/20707401-2018-15-3-103-113.
14. Seredina V.P., Kolesnikova E.V., Kondykov V.A., Nepotrebnyj A.I., Ognev S.A. Osobennosti vliyaniya neftyanogo zagryazneniya na pochvy srednej tajgi Zapadnoj Sibiri // *Neftyanoe hozyajstvo*. 2017. № 5. S. 108-112. B01: 10.248887/0028-2448- 2017-5108-122.
15. CHistyakov D.A., Nechaeva O.A. Ekologicheskij monitoring razlivov nefi i nefteproduktov s ispol'zovaniem letatel'nykh apparatov // *Novaya nauka: Problemy i perspektivy*. 2016. S. 18-23