https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

ОТРАСЛЕВОЕ, ИНДУСТРИАЛЬНОЕ И КОРПОРАТИВНОЕ СТРАТЕГИРОВАНИЕ

Оригинальная статья
УДК 65.011.56

Стратегические приоритеты применения беспилотных технологий при реализации энергетических проектов в Арктике

А. А. Спиридонов[1], А. М. Фадеев[2]
[1,2]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия
[1]ispbandrei@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7203-1864
[2]alexfadeev79@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3833-3316

Аннотация: Реализация энергетических проектов в Арктике требует применения передовых технологий, способных обеспечить эффективное и безопасное выполнение задач в суровых природно-климатических условиях. Одной из ключевых тенденций в нефтегазовом комплексе является использование беспилотных аппаратов, позволяющих выполнять сложные технологические операции без непосредственного участия человека. Беспилотники способны выполнять широкий перечень задач в рамках реализации энергетических проектов, таких как доставка грузов на месторождения, осуществление мониторинга внешней среды, проведение сейсморазведки, выполнение фото и видеосъемки и др. Ключевым преимуществом беспилотных аппаратов является возможность бесперебойной круглосуточной работы вне зависимости от внешних обстоятельств. Применение беспилотников позволяет существенно сократить время доставки груза, а также обеспечивает стабильность перевозок в любых погодных условиях за счет устойчивости к климатическим условиям Арктики. По оценкам экспертов применение беспилотных технологий значительно повышает эффективность логистики на месторождениях и увеличивает объемы поставок необходимого оборудования и материалов. В настоящее время на арктических нефтегазовых месторождениях применяются подводные, наземные и воздушные беспилотники, создаваемые российскими производителями. Достигнутые результаты в сфере разработки беспилотных технологий создают предпосылки для долгосрочного развития в данной области. По мере расширения технических возможностей применяемых аппаратов увеличивается спектр задач в рамках их использования (проведение магниторазведки, картографирование земельных участков, лазерное сканирование при составлении цифровых моделей местности и др.). Для современных нефтегазовых компаний, реализующих энергетические проекты в Арктике, развитие компетенций в области применения беспилотных технологий является важнейшей стратегической задачей в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: беспилотные технологии, беспилотный летательный аппарат, энергетический проект, Арктика, месторождение, логистика

Цитирование: Спиридонов А. А., Фадеев А. М. Стратегические приоритеты применения беспилотных технологий при реализации энергетических проектов в Арктике // Стратегирование: теория и практика. 2023. Т. 3. № 3. С. 322–335. https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

Поступила в редакцию 13.06.2023. Прошла рецензирование 20.06.2023. Принята к печати 25.06.2023.

© 2023. The Author(s). This article is distributed under the terms of the CC BY 4.0 International License

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

СТРАТЕГИРОВАНИЕ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
2023. Том 3. № 3

original article

Strategic Priorities for Unmanned Technologies in Energy Projects in the Russian Arctic

Andrey A. Spiridonov[1], Alexey M. Fadeev[2]
[1,2]Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
[2]Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences", Apatity, Russia
[1]ispbandrei@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7203-1864
[2]alexfadeev79@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3833-3316

Abstract: Energy projects in the Russian Arctic requires advanced, effective, and save technologies capable of working in harsh climatic conditions. Unmanned vehicles are a key trend in the contemporary oil and gas industry. They perform complex technological operations without direct human involvement. Unmanned vehicles deliver cargo to remote fields, monitor environment, do seismic exploration, provide photo and video surveillance, etc. The key advantage of unmanned vehicles is their uninterrupted round-the-clock operation, regardless of external circumstances. Drones make it possible to reduce the time of cargo delivery and ensure the stability of transportation in all weather conditions. Unmanned technologies increase the efficiency of logistics because they are reliable means of delivering equipment and materials to distant oil and gas fields. Submersible, land, and aerial drones of Russian production are used in the Arctic oil and gas fields. The achieved results create prerequisites for long-term development in this area. As the technical capabilities expand, the range of tasks increases to include magnetic exploration, mapping land plots, laser scanning for digital terrain models, etc. Russian oil and gas companies in the Arctic are likely to benefit from unmanned technologies in the long term.
Keywords: unmanned technologies, unmanned aerial vehicle energy project, Arctic, oil and gas fields, logistics

Citation: Spiridonov AA, Fadeev AM. Strategic Priorities for Unmanned Technologies in Energy Projects in the Russian Arctic. *Strategizing: Theory and Practice*. 2023;3(3):322–335. (In Russ.) https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

Received 13 June 2023. Reviewed 20 June 2023. Accepted 25 June 2023.

在北极实施能源项目中使用无人驾驶技术的战略优先事项

A.A. Spiridonov[1], A.M. Fadeev[2]
[1,2]圣彼得堡彼得大帝理工大学，俄罗斯圣彼得堡
[2]俄罗斯科学院科拉科学中心卢津经济问题研究所，俄罗斯阿帕季特
[1]ispbandrei@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7203-1864
[2]alexfadeev79@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3833-3316

摘要：在北极地区实施能源项目需要使用先进技术，以确保在恶劣的自然和气候条件下高效、安全地完成任务。石油和天然气综合体的主要趋势之一是使用无人驾驶飞行器，它可以在没有人直接参与的情况下执行复杂的技术操作。无人驾驶飞行器能够在能源项目框架内执行广泛的任务，如向油田运送货物、监测外部环境、地震勘测、拍照和录像等。 无人驾驶飞行器的主要优势是能够全天候不间断运行，不受外部环境的影响。使用无人驾驶飞行器可以大大缩短货物运输时间，而且由于其抵御北极气候条件的能力，还能确保在任何天气条件下运输的稳定性。据专家估计，使用无人驾驶技术可以大大提高油田的物流效率，增加必要设备和材料的运送量。目前，俄罗斯制造商制造的水下、地面和空中无人驾驶飞行器已经

© 2023. Автор(ы). Статья распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

用于北极油气田。无人驾驶技术的发展成果为该领域的长期发展创造了先决条件。随着无人驾驶飞行器技术能力的提高，其使用范围也在不断扩大（磁力勘探、地块测量、编制数字地形模型的激光扫描等）。对于在北极地区实施能源项目的现代石油和天然气公司来说，发展使用无人驾驶技术的能力是最重要的长期战略任务。
关键词：无人驾驶技术、无人驾驶飞行器、能源项目、北极、油气田、物流

2023 年 6 月 13 日收到稿件。2023年6月20日通过同行评审。2023年6月25日接受发表

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день Арктика является одним из наиболее значимых регионов для долгосрочного стратегического развития России. Повышенное внимание к Арктике обусловлено сосредоточением большого количества природных ресурсов на данной территории. Особое значение арктическое пространство имеет для российского нефтегазового комплекса, перед которым стоит задача по обеспечению энергетической безопасности на ближайшие десятилетия.

Деятельность нефтегазового комплекса оказывает серьезное влияние на социально-экономическое развитие всей страны. Нефтегазовый сектор России является не только основным источником доходов государства, но и крупнейшим потребителем различных технических устройств. Степень развитости этого сектора во многом определяет положение в других отраслях народного хозяйства, поскольку продукция, выпускаемая нефтегазовым комплексом, является сырьём для функционирования ряда отраслей и влияет на выпуск их конечной продукции.

По словам эксперта в области стратегирования, иностранного члена РАН В. Л. Квинта, промышленность создает технологическое ядро всей экономической системы[1]. Российская нефтегазовая промышленность подтверждает данный тезис в полной мере, т. к. является сферой применения самых передовых технологий и разработок.

Использование высокотехнологичных решений в нефтегазовой промышленности является производственной необходимостью на всех этапах цикла работ с углеводородными ресурсами (геологоразведка, добыча, транспортировка, хранение, переработка). Данная отрасль сама по себе крайне требовательна к технологическому оснащению компаний, осуществляющих свою деятельность в данной сфере[2]. Еще сильнее увеличиваются требования к оборудованию, применяемому в рамках энергетических проектов на территории Арктики.

Суровые природно-климатические условия Арктики (шквалистый ветер, устойчивые морозы, волнение моря, осадки в виде снега и т. д.) обусловливают необходимость использования технических средств с повышенными эксплуатационными характеристиками[3]. По уровню применяемых технологий реализацию проектов в Арктике можно сравнить с освоением космоса. Арктические условия ограничивают деятельность не только машин, но и людей. Для выполнения привычных операций в Арктике требуется гораздо более серьезная подготовка и техническое оснащение.

Вышеуказанные обстоятельства формируют предпосылки для массового внедрения беспилотных технологий, позволяющих выполнять технологические операции без непосредственного участия человека. Использование беспилотных аппаратов является тенденцией последних лет во многих отраслях промышленности. Многочисленные положительные эффекты увеличивают заинтересованность предприятий в их применении. С каждым годом увеличивается количество беспилотников, применяемых в производственных процессах.

[1] Стратегирование технологического суверенитета национальной экономики / В. Л. Квинт [и др.] // Управленческое консультирование. 2022. № 9. С. 57–67. https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-9-57-67

[2] The role of consulting in the implementation of investment projects in the Arctic region / A. A. Spiridonov [et al.] // The North and the Market: Forming the Economic Order. 2022. Vol. 25. № 4. P. 112–120. https://doi.org/10.37614/2220-802X.4.2022.78.008

[3] Спиридонов А. А., Фадеев А. М. Стратегическое управление рисками освоения арктических шельфовых месторождений // Экономика промышленности. 2022. Т. 15. № 1. С. 36–48. https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-1-36-48

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

Под беспилотными технологиями понимаются устройства, аппараты и транспортные средства, оборудованные системой автоматического управления или управляемые человеком извне, которые могут передвигаться без непосредственного участия человека[4]. Сегодня на нефтегазовых месторождениях уже применяются беспилотные летальные аппараты, роботизированные буровые установки и подводные добычные комплексы, обеспечивающие добычу углеводородов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является российский нефтегазовый комплекс. Предметом исследования является процесс внедрения беспилотных технологий в реализацию энергетических проектов на территории Арктики. В исследовании применялись инструменты и методы стратегического, системного и ситуационного анализа и экспертных оценок, а также методология оценки инвестиционных проектов и проектного менеджмента.

Информационная база исследования основана на личном производственном опыте работы автора в российских и международных энергетических компаниях, а также на анализе трудов российских и зарубежных экспертов в области промышленного менеджмента, теории и практики стратегического управления, инфраструктурного развития нефтегазового комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Подводные беспилотные аппараты

На сегодняшний день в российской части Арктики открыто более 40 крупных нефтегазовых месторождений. При этом часть месторождений находится на территории арктического шельфа. Шельфом является выровненная подводная часть материка, примыкающая к суше и имеющая общее с ней геологическое строение[5]. Российский шельф обладает огромными запасами углеводородного сырья. По мнению экспертов, общая стоимость разведанных углеводородных запасов на российском арктическом шельфе составляет около 2 трлн долл. США[6]. С учетом объема ресурсов, расположенных на российском арктическом шельфе, данная территория является ключевым источником углеводородных ресурсов для национальной экономики.

С учетом высокого ресурсного потенциала для нефтегазовой отрасли одними из приоритетных задач являются исследование, разведка и добыча полезных ископаемых морских месторождений. На начальных этапах поиска нефти или газа применяется сейсморазведка. Она позволяет определить строение и уточнить геологическую модель залежи, выбрать оптимальное расположение для бурения поисковых скважин – то есть заложить основу для всей дальнейшей разработки месторождения.

Несмотря на макроэкономические обстоятельства и сопутствующие изменения на мировом рынке энергетических ресурсов, в России сохраняется высокая потребность в проведении сейсморазведочных работ на континентальном шельфе с целью поиска новых нефтегазовых месторождений[7]. В 2023 г. в российской Арктике существует единственное разрабатываемое нефтяное морское месторождение Приразломное. Остальные морские лицензионные участки находятся в стадии изучения, и для их исследований необходима сейсморазведка с применением высокотехнологичного беспилотного оборудования[8].

[4] Морозова Ю. А. Беспилотные технологии в логистике: опыт применения, проблемы и перспективы // Логистика и управление цепями поставок. 2019. № 4. С. 33–39.

[5] Фадеев А. М., Череповицын А. Е., Ларичкин Ф. Д. Стратегическое управление нефтегазовым комплексом в Арктике. Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук, 2019. 289 с. https://doi.org/10.25702/KSC.978.5.91137.407.5

[6] Фадеев А. М. Оценка уровня развития нефтегазовых месторождений Арктики как важнейший элемент стратегического управления нефтегазовым комплексом // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. № 4. С. 81–90. https://doi.org/10.5862/JE.223.7

[7] The image of the Russian Arctic through strategic projects and international events / M. Safonova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Saint-Petersburg, 11 февраля 2021 года. Saint-Petersburg, 2021. P. 012011. https://doi.org/10.1088/1755-1315/816/1/012011

[8] Фадеев А. М., Спиридонов А. А. Технологическая независимость и импортозамещение при реализации энергетических проектов в Арктике // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 1. С. 68–73.

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

Морские беспилотные технологии представляют собой синтез технологических и научных достижений в широком спектре областей: гидроакустике, микроэлектронике, IT-технологиях и других[9].

В 2019 г. российская компания «Газпром нефть» провела на Аяшском лицензионном участке сейсморазведочные работы с применением донных станций «Краб». Исследования проводились на площади 515 км² и продолжались более 4 месяцев. Донные станции «Краб» являются уникальной отечественной разработкой, ставшей результатом совместного проекта «Газпром нефти», Минпромторга, Морской арктической геологоразведочной экспедиции и Морского технического центра. Станция «Краб» позволяет:

– проводить морские съемки;
– производить непрерывную регистрацию сигналов до 45 суток на глубине до 500 м;
– записывать сейсмические данные с каждого канала регистрации на независимый SD-носитель с объемом памяти 32 Гб;
– выполнять сейсморазведочные работы на акватории с любой системой наблюдений и высокой производительностью до нескольких тысяч км²;
– производить регистрацию полного вектора волнового поля в единый момент времени более чем на 3000 автономных донных станциях[10].

Ранее нефтегазовые компании использовали для шельфовых сейсморазведочных работ преимущественно зарубежное оборудование. Являясь полностью российской разработкой, донные станции «Краб» не только не уступают известным мировым аналогам, но и превосходят их по ряду параметров. Они успешно проявили себя в опытно-исследовательских испытаниях на шельфовых участках «Газпром нефти» и были запущены в промышленное производство[11].

Второе поколение станций «Flounder» – это новая донная сейсмическая станция в разборном комплексе. Разборный корпус позволяет уменьшить время нахождения станций на борту за счет наличия отдельного блока аккумуляторов. В 2021 г. в Охотском море прошли ресурсные испытания 400 станций длительностью более 100 дней.

После испытаний было принято решение изготовить неразборную станцию «Коралл» с наполнением из «Flounder». Отличительной чертой станции является глубина работы – 1000 м, что в два раза больше, чем у «Краба» и «Flounder». Разработанная линейка донных станций позволяет заказчикам выбрать соответствующее оборудование под конкретные задачи. Позднее при содействии Минпромторга РФ стартовала программа по созданию роботизированного комплекса для спуска и подъема донных сейсмических станций. Механизм позволяет автоматизировать сложные работы и увеличить их скорость, повысить безопасность труда[12].

Управление рабочими системами подводных беспилотных аппаратов осуществляется через обособленные закрытые каналы связи, которые соединяются со специализированными компьютерными системами. Подобные системы могут функционировать как в автономном, так и полуавтономном контролируемом режиме в реальном масштабе времени единого информационного рабочего пространства.

Работа над созданием подобных аппаратов ведется не только российскими, но и иностранными производителями. Проекты «крабообразных» роботов ALUV (Autonomous Legger Underwater Vehicle – автономные шагающие

[9] Fadeev A., Fadeeva M. Arctic Shelf Projects as a Driver for Social and Economic Development of the High North Territories: International Experience and Potential for Russian Practice // Springer Books. Springer. 2022. P. 497–528. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9616-9_19

[10] Многоволновые сейсморазведочные работы 3D (4C) на континентальном шельфе о. Сахалин с использованием системы автономной донной регистрации «Краб». URL: https://magazine.neftegaz.ru/articles/geologorazvedka/747936-mnogovolnovye-seysmorazvedochnye-raboty-3d-4c-na-kontinentalnom-shelfe-o-sakhalin-s-ispolzovaniem-si/

[11] Спиридонов А. А., Фадеев А. М. Современные технологии при реализации нефтегазовых проектов в Арктике // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2022. № 2. С. 25–31. https://doi.org/10.51823/74670_2022_2_25

[12] Fadeev A. M., Lipina S. A., Zaikov K. S. Innovative approaches to environmental management in the development of hydrocarbons in the Arctic shelf // The Polar Journal. 2021. Vol. 11. № 1. P. 208–229. https://doi.org/10.1080/2154896X.2021.1889836

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

подводные аппараты) в настоящее время разрабатываются следующими компаниями[13]:

– iRobot (аппарат «Ariel–II»);
– Nekton Research LLC (аппарат «Ranger»);
– Foster Miller Inc. (аппарат «Sea Talon») и др.

Классы существующих подводных беспилотных аппаратов приведены в таблице 1.

В Арктике использование подводных беспилотных аппаратов целесообразно для выполнения сложных подводных работ по подготовке площадок для строительства, по прокладке трасс трубопроводов, ремонта различных повреждений и т. д. Помимо этого, беспилотные аппараты позволяют осуществлять различные геологоразведочные работы и подледные работы. Их можно использовать для прокладки кабелей, труб на арктическом дне и сопутствующих коммуникаций[14].

Современные задачи, которые ставятся перед подводными беспилотными аппаратами, становятся все более сложными, что повышает и требования, предъявляемые к такой технике. По мере расширения их использования в морях и океанах будут пересматриваться направления и перспективы их дальнейшего развития.

2. Беспилотные транспортные средства

В рамках реализации энергетических проектов в Арктике перед нефтегазовыми компаниями стоят серьезные вызовы, связанные с экстремальными климатическими условиями и удаленностью производственных активов от инфраструктуры. Современные компании постоянно ищут новые возможности для повышения эффективности и безопасности нефтедобычи. В том числе, используя беспилотные технологии мониторинга промышленных объектов и доставки грузов[15].

Главным преимуществом беспилотных транспортных средств является неограниченная работоспособность. Отличительной особенностью этих машин является то, что им разрешено выходить на маршруты в сложные погодные условия, когда обычным машинам с водителями выезды запрещены. Подобное технологическое решение является одним из ярких и наглядных примеров использования современных цифровых решений при реализации проектов в Арктике[16].

Вместо водителя, которому требуются сон, еда и отдых, и который должен обладать высокой квалификацией, могут эффективно использоваться

Таблица 1. Классификация подводных беспилотных аппаратов,
Table 1. Classification of submersible unmanned vehicles

Класс	Вес	Предназначение	Глубина работы
Микро (мини)	5–50 кг	Выполнение обзорно-поисковых работ	100–150 м
Легкие	50–500 кг	Выполнение поисковых задач, осмотр трубопроводов, подводной части буровых платформ, проведение измерений параметров среды	До 3000 м
Средние и тяжелые	До 6000 кг	Решение широкого круга подводно-технических, инженерно-строительных и ремонтных механических работ на трубопроводах, подводной части буровых платформ, кабельных трассах и др.	До 3000 м
Сверхтяжелые	От 6000 кг	Проведение тяжелых механических работ на морском дне: прокладка трасс трубопроводов, укладка кабельных трасс, прямая добыча полезных ископаемых	До 3000 м

[13] Fadeev A. M., Lipina S. A., Zaikov K. S. Staffing for the development of the Arctic offshore hydrocarbon fields // Polar Geography. 2022. Vol. 45. № 2. P. 101–118. https://doi.org/10.1080/1088937X.2022.2032448

[14] Requirements for Transport Support of Offshore Production in the Arctic Zone / A. Fadeev [et al.] // Transportation Research Procedia, Novosibirsk, 25–29 мая 2020 года. Novosibirsk, 2021. P. 883–889. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.143

[15] Sergeev V., Ilin I., Fadeev A. Transport and Logistics Infrastructure of the Arctic Zone of Russia // Transportation Research Procedia, Novosibirsk, 25–29 мая 2020 года. Novosibirsk, 2021. P. 936–944. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.148

[16] Fadeev A. M., Lipina S. A., Zaikov K. S. Staffing for the development of the Arctic offshore hydrocarbon fields // Polar Geography. 2022. Vol. 45. № 2. P. 101–118. https://doi.org/10.1080/1088937X.2022.2032448

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

искусственный интеллект и дистанционные технологии. Благодаря беспилотному управлению не только гарантируется бесперебойность работы транспорта, но и снижается негативное воздействие человеческого фактора – уменьшаются простои, минимизируется аварийность[17].

Для беспилотного транспорта работа в экстремальных климатических условиях не является проблемой: связь между автомобилями осуществляется через промышленный Wi-Fi, 3G/4G и специальную частоту на УКВ-диапазоне. В сравнении с пилотируемыми аналогами беспилотные транспортные средства на 50 % более безопасны и позволяют на 10–15 % снизить издержки при грузоперевозках[18].

В 2023 г. российская компания «Газпром нефть» заявила о запуске регулярных грузовых перевозок в Арктике, выполняемых беспилотными КАМАЗами – многофункциональными роботизированными комплексами на базе полноприводного шасси. В ходе испытаний беспилотные грузовики продемонстрировали весь потенциал цифрового ресурса: умение передвигаться по заданным маршрутам с высокой точностью, обмениваться информацией через дублируемые системы связи, распознавать препятствия за доли секунды и прогнозировать траекторию движения с учетом актуальной дорожной обстановки.

Транспортные средства оснащены несколькими типами сенсоров, которые строят цифровую карту дорог, сканируют объекты во фронтальной зоне, распознают препятствия в радиусе 200 метров, фиксируют статичные и движущиеся объекты. Управление беспилотной колонной беспилотных грузовиков осуществляется удаленно при помощи специального программного обеспечения.

После успешных испытаний беспилотные КАМАЗы применяют на Восточно-Мессояхском месторождении, расположенном на Гыданском полуострове Ямало-Ненецкого автономного округа. Машины перевозят грузы по 140-километровому зимнику, соединяющему автономный нефтепромысел с поселком Тазовский. Грузовики будут применяться и после закрытия зимней переправы на промышленных объектах нефтяной компании, обеспечивая наземные перевозки.

В современных условиях интерес к внедрению беспилотных перевозок среди промышленных предприятий постоянно увеличивается[19]. Параллельно с инженерно-техническими разработками ведется активная работа в области нормативно-правового регулирования. Законодательной базой для реализации проекта стали инициированные Министерством промышленности и торговли РФ поправки в нормативные документы, направленные на упрощение механизма допуска высокоавтоматизированных транспортных средств на дороги общего пользования и расширение географии проведения эксперимента по их тестированию.

Внедрение беспилотных транспортных средств является комплексным процессом, затрагивающим сразу несколько направлений[20]:

– создание необходимой инфраструктуры;
– тестирование и доработка беспилотных систем и самого транспорта;
– формирование нормативно-правовой базы;
– обучение сотрудников и др.

После успешной апробации беспилотных грузовиков на Ямале компания «Газпром нефть» приступила к реализации аналогичного проекта в Югре при поддержке правительства Ханты-Мансийского автономного округа и при участии компании «ГАЗ» – другого российского разработчика технологий беспилотного управления транспортом. Целью испытаний является проверка работоспособности технологии в арктических

[17] Арктика сегодня. В Заполярье стартовали грузоперевозки на беспилотных КАМАЗах. URL: https://goarctic.ru/news/arktika-segodnya-v-zapolyare-startovali-gruzoperevozki-na-bespilotnykh-kamazakh/ (дата обращения 04.06.2023)

[18] «Газпром нефть» начала внедрять в Арктике беспилотные технологии. URL: https://lenta.ru/news/2020/04/23/bespilotnik/ (дата обращения: 04.06.2023).

[19] Квинт В. Л., Хворостяная А. С., Сасаев Н. И. Авангардные технологии в процессе стратегирования // Экономика и управление. 2020. Т. 26. № 11. С. 1170–1179. https://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179

[20] В Арктике стартовали беспилотные грузоперевозки. URL: https://www.ixbt.com/news/2023/05/05/v-arktike-startovali-bespilotnye-gruzoperevozki.html (дата обращения: 04.06.2023).

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

широтах с учетом имеющейся связи, дорожного покрытия, погодных условий и выявление зон развития для дальнейшей доработки[21]. В перспективе внедрение беспилотного транспорта на Южно-Приобском месторождении позволит повысить безопасность работ, снизить затраты и уменьшить антропогенное влияние на экосистему.

3. Беспилотные летательные аппараты

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является одним из самых ключевых трендов развития авиации на сегодняшний день. Ключевыми направления применения БПЛА в гражданском секторе экономики являются следующие:

– доставка грузов;
– производственный, геофизический и экологический мониторинг;
– дистанционное зондирование;
– наблюдение и охрана.

Современные БПЛА способны решать большой спектр задач в арктических условиях: поиск и обнаружение морских и наземных объектов; ведение фото- и видеосъемки; мониторинг состояния окружающей среды; проведение геологоразведки и др.[22] В ходе осмотра, проводимого при помощи беспилотника, можно получить точные топографические данные о перспективном участке с помощью технических инструментов (цифровая модель местности, фотопланы, 3D-модели). Оперативный и автоматический доступ к результатам обеспечивает эффективную дальнейшую обработку данных, интеграцию с данными GIS/CAD[23].

Для обеспечения задач мониторинга внешней среды в режиме реального времени БПЛА должен быть оснащен следующими компонентами:

– устройство получения и хранения видовой информации;
– спутниковая навигационная система;
– устройство радиолинии видовой и телеметрической информации;
– устройство командно-навигационной радиолинии с антенно-фидерным устройством;
– устройство обмена командной информацией;
– устройство информационного обмена;
– бортовая цифровая вычислительная машина.

Большинство БПЛА оснащены камерами высокого разрешения, которые в режиме реального времени предоставляют оператору картину наблюдаемой местности. Установленное оборудование определяет возможности применяемых аппаратов по обнаружению и распознаванию объектов. Ключевым недостатком современных камер является их ограниченная чувствительность, не позволяющая круглосуточное применение БПЛА[24].

Наиболее перспективным представляется применение комбинированных теле-тепловизионных систем съемки. Подобные системы предоставляют оператору синтезированное изображение, содержащее наиболее информативные части, присущие видимому и инфракрасному диапазонам длин волн, что позволяет существенно повысить тактико-технические характеристики системы наблюдения. Однако подобные системы отличаются технической сложностью и высокой стоимостью.

Оптимальным вариантом с точки зрения соотношения цены и качества является применение радиолокационных станций, позволяющих получать информацию круглосуточно и при неблагоприятных метеоусловиях. Применение сменных модулей позволяет снизить стоимость и реконфигурировать состав бортового оборудования для решения поставленной задачи в конкретных условиях эксплуатации[25].

[21] Газпром нефть тестирует беспилотный автомобильный транспорт в ХМАО и ЯНАО. URL: https://neftegaz.ru/news/Oborudovanie/544695-gazprom-neft-testiruet-bespilotnyy-avtomobilnyy-transport-v-khmao-i-yanao/ (дата обращения: 04.06.2023).

[22] Анализ перспектив развития и применения беспилотных летательных аппаратов / А. М. Шаймарданов и др. // Известия Института инженерной физики. 2019. № 4. С. 43–49.

[23] Применение дронов в нефтегазовой отрасли. URL: https://russiandrone.ru/publications/primenenie-dronov-v-neftegazovoy-otrasli/ (дата обращения: 04.06.2023).

[24] Применение беспилотных летательных аппаратов при геологоразведочных и поисково-оценочных работах / Ю. Н. Иванова [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2021. № 1. С. 78–88. https://doi.org/10.31857/S0205961421010061

[25] Ларсен А. Применение БПЛА в нефтегазовой промышленности // Control Engineering Россия. 2021. № 2. С. 14–16.

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

Применение БПЛА позволяет контролировать объекты добычи углеводородов, осуществлять мониторинг текущего состояния строительных площадок на месторождениях благодаря бесперебойной работе. В процессе наблюдения БПЛА за процессами нефтепереработки можно получить детальное изображение и описание целых сегментов инфраструктуры, что позволяет минимизировать риск возникновения неисправностей и сократить возможный ущерб. С помощью БПЛА возможно ускорение процедуры проверки запасов, а также раннее обнаружение проблем с объектами инфраструктуры в удаленных районах и планирование необходимого ремонта. Аппараты, оснащенные тепловизионными и оптическими системами, способны выявлять практически все дефекты до ввода установки в эксплуатацию.

В соответствии с международными стандартами существующие беспилотные летательные аппараты классифицируются следующим образом (таблица 2)[26].

На текущем этапе развития внедрение беспилотных технологий в логистические процессы на арктических месторождениях является одной из ключевых задач для нефтегазовых компаний. Ежегодно компании завозят тысячи тонн инженерного и бурового оборудования, строительных материалов, ресурсов для жизнеобеспечения центров нефтедобычи[27]. Использование БПЛА открывает большие возможности для оперативной и безопасной доставки необходимых ресурсов на месторождения.

С 2017 г. в России используются БПЛА для доставки грузов на месторождения. Применение подобных беспилотников позволяет вдвое сократить время доставки груза по сравнению с наземным транспортом, а также обеспечивает стабильность перевозок в любое время года. Используемые БПЛА способны находиться в воздухе не менее одного часа и устойчивы к климатическим условиям Крайнего Севера.

Таблица 2. Классификация беспилотных летательных аппаратов
Table 2. Classification of aerial unmanned vehicles

Класс	Наименование	Взлетная масса, кг	Радиус действия, м	Высота применения, м
Малые	Нано	<0,025	<1	100
	Микро	<5	<10	3000
	Мини	<25	10–40	3000
Легкие	Ближнего действия-1	25–50	25–70	3000
	Ближнего действия-2	50–150	50–100	3000
Средние	Малой дальности (SR)	<=200	<=150	4000
	Средней дальности (MR)	<=500	200	5000
	Средней дальности с большой продолжительностью полета (MRE)	500	500	8000
	Маловысотный большой дальности (LADP)	>=250	>250	<=4000
Тяжелые	Маловысотный (LALE)	>=250	>=250	4000
	Средневысотный (MALE)	>=1000	>1000	8000
	Больше высотный (HALE)	>=2500	>4000	20000

[26] БПЛА в условиях арктического региона. https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/473748-bpla-v-usloviyakh-arkticheskogo-regiona/ (дата обращения: 04.06.2023).

[27] Спиридонов А. А., Фадеева М. Л., Толстых Т. О. Стратегический подход к внедрению инноваций в Арктике на примере технологии сжижения природного газа «Арктический каскад» // Экономика промышленности. 2022. Т. 15. № 2. С. 177–188. https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-2-177-188

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

В 2020 г. компания «Газпром нефть» на Восточно-Мессояхском нефтегазоконденсатном месторождении провела успешные испытания беспилотного воздушного комплекса, предназначенного для доставки тяжелых и негабаритных грузов в условиях Арктики. Беспилотный вертолет «Тайбер» KAGU-150 успешно совершил несколько полетов и доставил к месторождению необходимые материально-технические ресурсы. В ходе испытаний был подтвержден высокий потенциал беспилотных технологий для оперативного и безопасного жизнеобеспечения северных автономных месторождений. БПЛА, управляемый с логистической базы компании в пос. Тазовский, успешно преодолел маршрут протяженностью 130 километров и доставил на месторождение 150-килограммовый груз. Аппарат продемонстрировал высокие технические возможности в условиях Заполярья[28].

В том же 2020 г. на Южно-Приобском месторождении впервые в России пробы нефти в лабораторию доставил беспилотный летательный аппарат отечественного производства, устойчивый к климатическим условиям Крайнего Севера. Аппарат преодолел более 40 км без промежуточных посадок вдвое быстрее, чем наземный транспорт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап развития нефтегазового комплекса характеризуется активным применением передовых технологий. При освоении углеводородных месторождений широко применяются инновационные инструменты, в том числе беспилотные системы. На сегодняшний день спектр применения беспилотных аппаратов очень разнообразен: от транспортировки грузов и геологоразведки до контроля инфраструктуры и экологического мониторинга[29]. Основным эффектом применения беспилотных технологий является значительное повышение скорости и качества получения данных.

Беспилотные аппараты способны выполнять широкий перечень задач в рамках реализации энергетических проектов:

– доставка грузов на отдаленные месторождения;
– перевозка грузов по внутрипромысловым дорогам;
– выполнение фото- и видеосъемки;
– проведение сейсморазведки;
– сканирование рельефа при планировании геологоразведочных работ;
– контроль выполнения работ на промышленных площадках;
– доставка проб нефти со скважин и т. д.

В среднем применение беспилотных технологий при реализации энергетических проектов обеспечивает снижение стоимости работ на 38 % и ускоряет стадию проведения полевых работ на 24 %[30]. Сфера применения беспилотных технологий нефтегазовыми компаниями ежегодно расширяется. Новыми задачами для беспилотных аппаратов становится транспортировка грузов на автономные арктические промыслы, проведение магниторазведки, картографирование земельных участков, лазерное сканирование при составлении цифровых моделей местности и др.

Применение беспилотных технологий в рамках реализации энергетических проектов полностью соответствует инновационному пути развития экономики. Создаваемые технологические решения в области применения беспилотных аппаратов демонстрируют способность российской промышленности справляться с современными вызовами. Российскими предприятиями уже созданы беспилотные аппараты, которые успешно применяются на реальных промышленных объектах:

– подводные аппараты («Краб», «Flounder», «Коралл»);

[28] «Газпром нефть» испытала тяжелый беспилотный вертолет на арктическом месторождении. URL: https://gazo.ru/ru/news/sector/gazprom-neft-ispytala-tyazhelyy-bespilotnyy-vertolet-na-arkticheskom-mestorozhdenii/ (дата обращения: 04.06.2023).

[29] Квинт В. Л., Бабкин А. В., Шкарупета Е. В. Стратегирование формирования платформенной операционной модели для повышения уровня цифровой зрелости промышленных систем // Экономика промышленности. 2022. Т. 15. № 3. С. 249–261. https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261

[30] Годовой отчет ПАО «Газпром нефть» за 2020 год. URL: https://www.akm.ru/upload/akmrating/GAZPROM-NEFT_annual_report_2020.pdf (дата обращения: 04.06.2023).

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

– транспортные средства («КАМАЗ», «ГАЗель NEXT»);
– летательные аппараты («Тайбер» KAGU-150).

Применение беспилотных технологий повышает эффективность логистики на арктических нефтегазовых месторождениях и увеличивает объемы поставок необходимого оборудования и материалов. Возрастающий интерес со стороны нефтегазовых компаний, осуществляющих деятельность в Арктике, обусловливает увеличение объемов производства беспилотных аппаратов всех типов в долгосрочной перспективе. Последовательное развитие компетенций позволит российским нефтегазовым компаниям обрести статус технологического лидера в сфере применения беспилотных технологий в рамках реализации энергетических проектов.

ЛИТЕРАТУРА

Анализ перспектив развития и применения беспилотных летательных аппаратов / А. М. Шаймарданов и др. // Известия Института инженерной физики. 2019. № 4. С. 43–49.

Квинт В. Л., Бабкин А. В., Шкарупета Е. В. Стратегирование формирования платформенной операционной модели для повышения уровня цифровой зрелости промышленных систем // Экономика промышленности. 2022. Т. 15. № 3. С. 249–261. https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261

Квинт В. Л., Хворостяная А. С., Сасаев Н. И. Авангардные технологии в процессе стратегирования // Экономика и управление. 2020. Т. 26. № 11. С. 1170–1179. https://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179

Ларсен А. Применение БПЛА в нефтегазовой промышленности // Control Engineering Россия. 2021. № 2. С. 14–16.

Морозова Ю. А. Беспилотные технологии в логистике: опыт применения, проблемы и перспективы // Логистика и управление цепями поставок. 2019. № 4. С. 33–39.

Применение беспилотных летательных аппаратов при геологоразведочных и поисково-оценочных работах / Ю. Н. Иванова [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2021. № 1. С. 78–88. https://doi.org/10.31857/S0205961421010061

Спиридонов А. А., Фадеев А. М. Стратегическое управление рисками освоения арктических шельфовых месторождений // Экономика промышленности. 2022. Т. 15. № 1. С. 36–48. https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-1-36-48

Спиридонов А. А., Фадеев А. М. Современные технологии при реализации нефтегазовых проектов в Арктике // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2022. № 2. С. 25–31. https://doi.org/10.51823/74670_2022_2_25

Спиридонов А. А., Фадеева М. Л., Толстых Т. О. Стратегический подход к внедрению инноваций в Арктике на примере технологии сжижения природного газа «Арктический каскад» // Экономика промышленности. 2022. Т. 15. № 2. С. 177–188. https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-2-177-188

Стратегирование технологического суверенитета национальной экономики / В. Л. Квинт [и др.] // Управленческое консультирование. 2022. № 9. С. 57–67. https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-9-57-67

Фадеев А. М. Оценка уровня развития нефтегазовых месторождений Арктики как важнейший элемент стратегического управления нефтегазовым комплексом // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. № 4. С. 81–90. https://doi.org/10.5862/JE.223.7

Фадеев А. М., Спиридонов А. А. Технологическая независимость и импортозамещение при реализации энергетических проектов в Арктике // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 1. С. 68–73.

Фадеев А. М., Череповицын А. Е., Ларичкин Ф. Д. Стратегическое управление нефтегазовым комплексом в Арктике. Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук, 2019. 289 с. https://doi.org/10.25702/KSC.978.5.91137.407.5

Fadeev A. M., Lipina S. A., Zaikov K. S. Innovative approaches to environmental management in the development of hydrocarbons in the Arctic shelf // The Polar Journal. 2021. Vol. 11. № 1. P. 208–229. https://doi.org/10.1080/2154896X.2021.1889836

Fadeev A. M., Lipina S. A., Zaikov K. S. Staffing for the development of the Arctic offshore hydrocarbon fields // Polar Geography. 2022. Vol. 45. № 2. P. 101–118. https://doi.org/10.1080/1088937X.2022.2032448

Fadeev A., Fadeeva M. Arctic Shelf Projects as a Driver for Social and Economic Development of the High North Territories: International Experience and Potential for Russian Practice // Springer Books. Springer. 2022. P. 497–528. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9616-9_19

Requirements for Transport Support of Offshore Production in the Arctic Zone / A. Fadeev [et al.] // Transportation Research Procedia, Novosibirsk, 25–29 мая 2020 года. Novosibirsk, 2021. P. 883–889. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.143

Sergeev V., Ilin I., Fadeev A. Transport and Logistics Infrastructure of the Arctic Zone of Russia // Transportation Research Procedia, Novosibirsk, 25–29 мая 2020 года. Novosibirsk, 2021. P. 936–944. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.148

The image of the Russian Arctic through strategic projects and international events / M. Safonova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Saint-Petersburg, 11 февраля 2021 года. Saint-Petersburg, 2021. P. 012011. https://doi.org/10.1088/1755-1315/816/1/012011

The role of consulting in the implementation of investment projects in the Arctic region / A. A. Spiridonov [et al.] // The North and the Market: Forming the Economic Order. 2022. Vol. 25. № 4. P. 112–120. https://doi.org/10.37614/2220-802X.4.2022.78.008

REFERENCES

Analysis of Development and Application Prospects Unmanned Aerial Vehicle. AM Shaymardanov [et al.]. Izvestiya Instituta Inzhenernoy Phiziki. 2019;4:43–49. (In Russ.)

Kvint VL, Babkin AV, Shkarupeta EV. Strategizing of forming a platform operating model to increase the level of digital maturity of industrial systems. Russian Journal of Industrial Economics. 2022;15(3):249–261. (In Russ.) https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261

Kvint VL, Khvorostyanaya AS, Sasaev NI. Advanced technologies in strategizing. Economics and Management. 2020;26(11):1170–1179. (In Russ.) https://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179

Larsen A. Primeneniye BPLA v neftegazovoy promyshlennosti [The use of unmanned aerial vehicles in the oil and gas industry]. Control Engineering Russia. 2021;2:14–16. (In Russ.)

Morozova YA. Unmanned Technologies in Logistics: Application Experience, Problems and Prospects. Logistics and Supply Chain Management. 2019;4:33–39. (In Russ.)

The Use of Unmanned Aerial Vehicles for the Search and Prediction of Ore Mineralization. YuN Ivanova. Issledovanie Zemli iz Kosmosa. 2021;1:78–88. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0205961421010061

Spiridonov AA, Fadeev AM. Strategic Risk Management of Development of the Arctic Offshore Fields. Russian Journal of Industrial Economics. 2022;15(1):36–48. (In Russ.) https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-1-36-48

Spiridonov AA, Fadeev AM. Modern technologies in the implementation of oil and gas projects in the Arctic. Arktika 2035: aktualnyye voprosy, problemy, resheniya. 2022;2:25–31. (In Russ.) https://doi.org/10.51823/74670_2022_2_25

Spiridonov AA, Fadeeva ML, Tolstykh TO. Strategic approach to implementation of innovation in the Arctic on the example of the "Arctic Cascade" natural gas liquefaction technology. Russian Journal of Industrial Economics. 2022;15(2):177–188. (In Russ.) https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-2-177-188

Strategizing the national economy during a period of burgeoning technological sovereignty. Kvint VL [et al.]. Administrative Consulting. 2022;9:57–67. (In Russ.) https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-9-57-67

Fadeev AM. Assessment level of the development of oil and gas fields of the Arctic as vital to the strategic management of oil and gas complex. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. 2015;4:81–90. (In Russ.) https://doi.org/10.5862/JE.223.7

Fadeev AM, Spiridonov AA. Technological independence and import substitution in the implementation of energy projects in the Arctic. Neftegaz.RU. 2023;1:68–73.

Fadeev AM, Cherepovitsyn AE, Larichkin FD. Strategic management of the oil and gas complex in the Arctic. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 2019. 289 p. (In Russ.) https://doi.org/10.25702/KSC.978.5.91137.407.5

Fadeev AM, Lipina SA, Zaikov KS. Innovative approaches to environmental management in the development of hydrocarbons in the Arctic shelf. The Polar Journal. 2021;11(1):208–229. https://doi.org/10.1080/2154896X.2021.1889836

Fadeev AM, Lipina SA, Zaikov KS. Staffing for the development of the Arctic offshore hydrocarbon fields. Polar Geography. 2022;45(2):101–118. https://doi.org/10.1080/1088937X.2022.2032448

Fadeev A, Fadeeva M. Arctic Shelf Projects as a Driver for Social and Economic Development of the High North Territories: International Experience and Potential for Russian Practice. Springer Books. Springer; 2022:497–528. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9616-9_19

Requirements for Transport Support of Offshore Production in the Arctic Zone. A. Fadeev [et al.]. Transportation Research Procedia, Novosibirsk, May 25–29, 2020. Novosibirsk; 2021:883–889. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.143

Sergeev V, Ilin I, Fadeev A. Transport and Logistics Infrastructure of the Arctic Zone of Russia. Transportation Research Procedia, Novosibirsk, May 25–29, 2020. Novosibirsk; 2021:936–944. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.148

The image of the Russian Arctic through strategic projects and international events. M Safonova [et al.]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Saint-Petersburg, February 11, 2021. Saint-Petersburg; 2021. P. 012011. https://doi.org/10.1088/1755-1315/816/1/012011

The role of consulting in the implementation of investment projects in the Arctic region. AA Spiridonov [et al.]. The North and the Market: Forming the Economic Order. 2022;25(4):112–120. https://doi.org/10.37614/2220-802X.4.2022.78.008

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявили об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и/или публикации данной статьи.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА: Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ: Спиридонов Андрей Алексеевич, аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация; ispbandrei@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7203-1864

Фадеев Алексей Михайлович, д-р экон. наук, профессор Высшей школы производственного менеджмента Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, главный научный сотрудник Института экономических проблем им. Г. П. Лузина, Апатиты, Российская Федерация; alexfadeev79@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3833-3316

https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335

CONFLICTS OF INTEREST: The authors declared no potential conflicts of interests regarding the research, authorship, and/or publication of this article.
CONTRIBUTION: All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.
ABOUT AUTHORS: Andrey A. Spiridonov, Postgraduate Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation; ispbandrei@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7203-1864
Alexey M. Fadeev, Dr.Sc. (Econ.), Professor of the Higher School of Production Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Chief Researcher at the Institute of Economic Problems named after G. P. Luzin, Apatity, Murmansk region, Russian Federation; alexfadeev79@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3833-3316