Российский союз промышленников и предпринимателей

Координационный совет по развитию Северных территорий и Арктики

РОР «Союз промышленников и предпринимателей Заполярья»

Комитет по науке и инновациям

Комитет по транспорту и транспортной инфраструктуре

Технологии искусственного интеллекта для эксплуатации беспилотных авиационных систем в условиях Арктики и Крайнего Севера

Участник конкурса «Авиастроитель года» по итогам 2021 года

Федотовских Александр Валентинович

к.э.н., профессор РАЕ

директор, председатель Комитета по науке и инновациям,

член Президиума Координационного совета РСПП

по развитию Северных территорий и Арктики

Описание работы

Руководитель и ключевые участники

Руководитель проекта

Федотовских Александр Валентинович. Региональное объединение работодателей «Союз промышленников и предпринимателей Заполярья» / региональное отделение Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП), директор, председатель Комитета по науке и инновациям, член Президиума Координационного совета РСПП по развитию Северных территорий и Арктики.

Ключевые участники

- Федотовских Евгений Александрович. Студент Высшей школы киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета, программист нейросетей. Отвечает за анализ существующих систем искусственного интеллекта для беспилотных воздушных судов и разработку новых моделей нейронных сетей.
- Киселев Михаил Александрович. Исполнительный директор регионального объединения работодателей «Союз промышленников и предпринимателей Заполярья». Технический директор проекта, осуществляет подготовку к лабораторным и практическим работам по проекту.

В целом авторский коллектив состоит из более чем 15 человек, т.к. в реализации разных частей работы принимали участие специалисты различного профиля - от программиста до бухгалтера.

Ключевые компетенции участников проекта

- Федотовских А.В. Идеолог, внешний пилот (оператор) БВС, инженер по машинному обучению, преподаватель АУЦ ГА, член ТК по стандартизации «Искусственный интеллект». Управление проектами; стратегический анализ; публичные выступления; аналитические исследования; преподавание; написание научных статей; стратегическое планирование территорий и отраслей; руководство коллективами.
- Федотовских Е.А. Победитель конкурсов по искусственному интеллекту МФТИ, Сириус. Интеграция информационных систем, аналитика, C/C++; машинное обучение на Python, в основном работа с библиотеками Keras, Tensorflow, Dlib; знание основ сетевых технологий; LD, IL, ST, SFC, FBD (среда разработки CodeSys 2.3); алгоритмизация; работа с аппаратной частью ПК; AutoCAD; компьютерное зрение; разработка алгоритмов и моделей; нестандартные сложные решения.
- Киселев М.А. Инженер программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем. Снабжение; планирование реализации и контроль решений по проекту; проведение переговоров; привлечение инвестиций; командообразование; тайм-менеджмент; коучинг; развитие туризма; IT.

Опыт в реализации инновационных проектов

- Разработка и реализация ТЭО предприятий Госкорпорации (министерства) по атомной энергии, в т.ч. «Солнечный кластер», ПАТЭС, продвижение спутниковых систем в государства Ближнего Востока (совместно с ГК «Роскосмос»), 2002-2006
- Механизмы повышения эффективности деятельности руководителей высшего звена в создании и функционировании интегрированных экономических структур на примере предприятий авиационно-космического комплекса РФ (для создания ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация и АО «ИСС им. М.Ф. Решетнева»)», СО РАН, 2005.
- Разработка концепций для авиазавода Let и Ульяновского авиационного кластера, 2009.
- Современные технологии продвижения инновационных научно-технических проектов государственных и бизнес-структур с научными институтами и образовательными учреждениями на примере CERN, 2010.

- Разработка и реализация проектов робототехнических компаний (домашние роботы) в цикле «Маркетинг робототехники. Как продать лучшего друга», 2013-2014.

- Россия 2030: эпоха аэропортов с искусственным интеллектом, 2014.

- Воссоздание Полярной авиации в условиях активизации освоения Арктической зоны России, 2015.

- Изучение основ астрофизики и космологии с использованием мобильной малобюджетной любительской обсерватории, 2015.

- «Арктический киберкампус». Проведение чемпионатов по киберспорту в Красноярском крае, 2015-2017.

- Применение систем искусственного интеллекта в условиях нового этапа освоения Арктики, 2018 г.

- Исследование рынка самолетов-амфибий и гидросамолетов для круглогодичной эксплуатации в условиях Крайнего Севера и Арктики, 2019 г.

- Особенности разработки и эксплуатации гражданских беспилотных авиационных систем с технологиями искусственного интеллекта в Арктической зоне Российской Федерации, 2021.

Источники финансирования

Бюджетные средства не использовались. Средства компаний – разработчиков, производственно- технологических компаний, кредитных организаций, партнеров и т.п.: 2350000 руб.; собственные средства инициаторов, их родственников, друзей, а также бизнес-ангелов и венчурных инвесторов, и включая суммы и активы, переданные в рамках создания МИП: 2880000 руб.

Технико-экономические характеристики

Система с искусственными нейронными сетями (ИНС) на борту БВС значительно эффективнее, чем без ИНС, однако на первом этапе эксплуатации она должна работать под частичным контролем оператора. Для отработки предложенной модели запланировано проведение серии дополнительных летных экспериментов Комитетом по транспорту и транспортной инфраструктуре совместно с партнерами на Таймыре в 2021-2022 гг. (взлеты и посадки, подлеты к препятствиям, полеты на разных высотах и скоростях, полеты в сложных метеоусловиях) по эталонному прибору для набора данных. Поданы документы на регистрацию нового научного направления.

Применение ИНС в беспилотных авиационных системах (БАС) уменьшает экономические затраты сервисной компании (эксплуатанта) по ряду направлений применения БВС до 10 раз за счет снижения себестоимости авиационных и неавиационных работ, решает проблемы кадрового голода в Арктической зоне РФ, расширяет возможности транспорта, здравоохранения, строительства и многих других сфер жизнедеятельности человека.

Экспертные оценки дают прогноз более чем 80 направлений использования БВС с технологиями искусственного интеллекта в Арктике, затрагивающими социальную, экономическую и экологическую сферу.

Работа ИНС основана на железе (модель для сборки) малогабаритных графических процессоров или микрокомпьютеров зарубежного производства (например NVIDIA Jetson) ценой от 92 000 руб. (цены 2021 года!!!), стоимость используемых массовых серийных датчиков и камер до 300 000 руб.

Невозможность финансирования представленного проекта конкретным субъектом, в т.ч. рыночным, объективна. Компании готовы вкладывать средства в аналогичные исследования только в случае использования итоговых результатов исключительно в личных целях без открытого обсуждения и доступных публикаций. Такие предложения команде проекта поступали, однако, были отвергнуты в связи с тем, что частное финансирование не способствует развитию мысли, отрасли, внедрению новых технологий повсеместно, а не только в конкретных компаниях.

Основное содержание работы

Цель работы: применение инновационных прорывных технологий для разработки и эксплуатации гражданских беспилотных воздушных судов.

Задачи:

- Прогнозирование развития отрасли беспилотной авиации с учетом инновационных наукоемких технологий современности и будущего.
- Популяризация и ускорение применения отечественных инновационных систем для гражданской беспилотной авиации и их практического внедрения.
- Описание систем применения глубоких искусственных нейронных сетей для эффективного решения задач построения многомерных динамических событийных моделей, прогнозирования вероятности наступления событий на борту БВС и принятия решений без участия внешнего оператора для полетов БВС.
- Формирование реестра наиболее актуальных технологий, программ и проектов в сфере развития беспилотной авиации для их практического использования в хозяйственной деятельности.
- Инициирование публичного обсуждения вышеуказанных задач, в т.ч. для возможных заказчиков.
- Содействие развитию интеллектуального и технического творчества молодёжи.

Предмет исследования составляют теория, история и практика внедрения БАС, в т.ч. с технологиями искусственного интеллекта, рассмотрение возможностей будущего применения в ракурсе создания инновационной цифровой экономики в России.

По состоянию на 2022 г. эксплуатация беспилотных воздушных судов (далее по тексту БВС, БПЛА, БЛА) в Арктической зоне РФ носит прерывистый характер. Большинство полетов заранее планируется и совершается в нормальных метеоусловиях только в дневное время и в условиях известного рельефа местности. Однако этого недостаточно. БВС должны совершать регулярные рейсы. Планируемая доставка грузов и почты не может быть периодической, а спасание происходит не всегда в удобных для эксплуатации условиях. БВС должны стать также всепогодными, только в этом случае они смогут быть действительно полезными и экономически выгодными. Простой техники приносит только убытки.

Применение БВС, в т.ч. в коммерческих целях, в арктических территориях, требует автономного полета без ручного управления внешним оператором. Связано это с тем, что полеты могут выполняться регулярно, по аналогии с пилотируемой авиацией, по одному и тому же маршруту и полетному плану, который можно запрограммировать и снизить издержки на внешних пилотов в пунктах отправления и/или назначения. Такой подход применителен к доставке грузов, почты, частично для мониторинга территорий. Но такой полет возможен только при точном определении БВС собственных координат, а также при условии реакции на внешние условия (метеорологические, топографические, биологические и т.д.)

За качество полета отвечает бортовой комплекс управления (в ряде источников система автоматического управления, БКУ, САУ), который несет в себе функции управления ориентацией и стабилизацией БВС, управления бортовым оборудованием, в т.ч. внешним, энергопитанием, связью. Для повышения надежности полета БКУ осуществляет анализ отклонений параметров состояния бортовых систем от нормальных (возможных) значений и вырабатывает самостоятельные решения о компенсации возникших отклонений путем восстановления параметров до исходных. Одним из направлений решения подобных задач является использование систем искусственного интеллекта (ИИ), основанных на искусственных нейронных сетях (ИНС). Такие системы могут располагаться как в наземном сегменте управления полетом, так и на борту аппарата. Последний вариант намного

предпочтительнее из-за отсутствия задержек принятия решений и зависимости от наличия и качества связи с наземной станцией управления в условиях нестабильной связи по нерегламентированным для беспилотных авиационных систем (БАС) (на момент написания материала) каналам.

Количество определений того, что такое искусственный интеллект, приближается к нескольким десяткам. В данной работе предлагается считать, что искусственный интеллект (ИИ, Artificial Intelligence, AI) – это междисциплинарная научная дисциплина, занимающаяся моделированием разумного поведения[1].

Аналитический обзор более 110 научных публикаций показал, что наиболее актуальным является создание бортовых автоматизированных систем контроля и диагностики, способных повысить отказоустойчивость и продлить срок эксплуатации беспилотной авиационной техники. Для этого применяются различные технические и информационные решения, в основе которых лежат математические модели, искусственные нейронные сети и другие алгоритмы. ИНС является наиболее перспективным инструментальным средством реализации методов интеллектуального контроля и диагностики БВС в полете.

В настоящее время в сфере развития ИНС появляются новые изобретения и технологии. В числе основных причин такого бурного роста: постоянно совершенствующиеся алгоритмы и архитектуры ИНС; доступные объемы данных (миллиарды различных изображений и тысячи категорий деления объектов); ускорение обучения и вывода с помощью мощных графических процессоров.

Нейросетевые технологии активно применяются в беспилотной авиации. Авторы различных разработок предлагают использовать ИНС для оценки устойчивости и надежности БВС в процессе их проектирования; созданы системы управления на базе нейроконтроллеров; предлагаются варианты автономной посадки БВС с использованием нейросетевого анализа оптического изображения; корректируются сигналы спутниковой и инерциальной навигации.

В представленной работе предлагается комплексный подход к решению подобных задач.

Цель заключается в разработке системы применения глубоких ИНС для эффективного решения задач построения многомерных динамических событийных моделей, прогнозирования вероятности наступления событий на борту БВС и принятия решений без участия внешнего оператора для полетов в условиях Арктической зоны РФ.

К числу специфических особенностей Арктики для пилотирования относятся: низкие температуры; полярная ночь; высокая вероятность образования сложных метеоусловий (СМУ); слабое развитие аэродромной инфраструктуры; недостаточное аэронавигационное обеспечение; безориентирная местность (особенно в зимний период времени); низкое количество ясных дней (не более 50 в году) и другие.

В качестве задач в представленной работе производится распознавание определенных объектов по фотографиям/видео, сделанным в реальном времени; предсказываются внештатные ситуации, используя различные параметры полета и/или данные с датчиков как входные данные. С помощью ИНС выполняется прогнозирование изменения какого-либо параметра в зависимости от других.

В модели предложен подход к разработке комплексной системы оценки состояния БВС, основанный на анализе многомерных данных с помощью ИНС. Предложена модернизация ранее созданных различными авторами алгоритмов. В настоящее время поданы документы на регистрацию нового научного направления.

В итоге каждое мгновение полета БВС самостоятельно решает, как изменить скорость, направление движения в зависимости от изменений окружающей среды.

Компьютерное зрение

Действие ИНС основано на деятельности человеческого мозга. Каждый участок

[1] Что такое искусственный интеллект? [Электронный ресурс] // AIPORTAL. – URL: http://www.aiportal.ru/articles/introduction/ai.html (дата обращения: 26.11.2020)

бортовой ИНС отвечает за свою часть: один - за образ горы, второй - за образ птицы, третий - за образ посадочной площадки. Для реализации компьютерного зрения наиболее эффективно использовать сверточную ИНС вместо обычной ИНС прямого распространения на основе мощных графических процессоров. Принцип действия сверточных ИНС заключается в извлечении обучаемых признаков (локальных особенностей, локальных дескрипторов) изображения.

Изображение подается с телевизионной или фотокамеры БВС. Для эксплуатации аппарата в ночном режиме или во время полярной ночи необходимо использование камеры ночного видения (инфракрасного или ультрафиолетового диапазона). В результате, обрабатывая поступающую потоковую информацию, сверточная ИНС, в отличие от ИНС прямого распространения может автоматически строить карты высококачественных визуальных признаков минимум по двум причинам:

1. Из-за большого количества весов. Если на вход поступает черно-белое изображение в разрешении 1080p (1920*1080 пикселов), то входной вектор будет состоять из 2073600 элементов, следовательно потребуется 2073600*n1 весов для описания связей между входным слоем и первым скрытым слоем (n1-количество нейронов в первом скрытом слое, а для адекватной работы ИНС их должно быть приблизительно 10^2-10^4). Для обучения такой ИНС необходимо большое количество данных и времени. В случае с цветным изображением потребуется в 3 раза больше весов, так как входной вектор будет иметь 3 столбца интенсивности каждого пиксела по RGB.

2. Входное изображение представляется в виде одномерного массива, учитывается только связь между пикселями по горизонтали, при этом теряется связь между пикселями по вертикали.

Для реализации модели компьютерного зрения используется известный алгоритм SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). В потоке кадров с камеры на борту БВС сверточная ИНС производит поиск специальных точек поверхности, обычно являющиеся неоднородностями. К примеру, в зимних условиях Арктики такими объектами могут быть деревья, пики гор и холмов, русла замерзших рек, редкие строения, в т.ч. заброшенные и т.д. Таким точкам присваиваются дескрипторы в последовательности, когда эта же точка будет найдена в последующих кадрах камера успевает переместиться в пространстве, а ИНС присваивает точке такой же, аналогичный дескриптор.

Существует два вида слоев, использующихся в сверточных ИНС: сверточные слои и слои подвыборки.

Сверточный слой используется следующим образом: рассматривается некоторая область изображения n*n пикселов, элемент, стоящий в i-ой строке и j-ом столбце умножается на соответствующий элемент ядра свертки той же размерности n*n. После этой операции находится сумма этих произведений и это значение подается на нейрон. Далее к нейрону может быть применена какая-либо функция активации, необходимая в данный момент. Каждый нейрон в сверточном слое связан с соответсвующей областью изображения n*n, которые могут накладываться друг на друга. Однако при это все нейроны слоя используют одинаковое ядро свертки. Обычно используется несколько слоев свертки (каждый со своим ядром свертки) для выделения полной карты признаков (набор слоев нейронов, каждый из которых использует свое ядро свертки для поиска совершенно различных и непохожих признаков). Слой подвыборки уменьшает размерность следующим образом: значение нейрона следующего слоя, к которому чаще всего подключен фрагмент 2*2 (иногда большей размерности) предыдущего слоя, определяется на основе значений предыдущего слоя. Обычно как вход берется максимальное (иногда усредненное) значения фрагмента нейронов предыдущего слоя.

Рис 1. Пример слоев свертки и подвыборки[2]

На практике обычно используется несколько последовательно соединенных слоев свертки и слоев выборки, а далее обычная ИНС прямого распространения с некоторым количеством (обычно не более 3) скрытых слоев.

Обучение сверточных ИНС происходит методом обратного распространения ошибки и называется «обучение с учителем», когда существует некоторый массив данных и ему соответствует другой массив данных. ИНС обучается на этих данных, подстраивает свои веса так, чтобы потом можно было дать ей другие данные без соответствующих этим данным. После обучения полученная модель загружается в память БВС и ИНС, имея данные с бортовых датчиков предсказывает необходимый параметр, который являлся ответом при обучении. Имитационное обучение, в котором «учитель» обучает БВС летать по различным траекториям, исправляя его действия в случае необходимости или критических действий, используется достаточно эффективно на протяжении последних лет. Постепенно БВС выучивает постоянные маршруты полета. Однако такой подход несколько ограничен набором входных данных, особенно в условиях Арктики. В этом случае «учителем» может быть оператор БВС. Однако «учитель» не может постоянно сопровождать аппарат, особенно если ему приходится совершать полеты по различным маршрутам, а в условиях монотонного окружения в Арктике задача усложняется. Поэтому, в последние годы стали бурно развиваться системы машинного обучения без учителя (Self-Supervised Learning).

Технология самообучения ИНС на БВС выглядит следующим образом: БВС во время полета снимает видео или делает большое количество различных изображений разных объектов, потом человек (инженер или внешний оператор) формирует образовавшийся датасет по классам: класс деревьев, класс пиков гор, класс строений и т.д. На этом массиве происходит обучение ИНС. Во избежание переобучения в ИНС, когда подается новый объект, можно отключать некоторые связи нейронов с заданной вероятностью, чтобы нейроны настраивались на общие закономерности, а не закономерности конкретной выборки данных, по которой происходит обучение. На рисунке изображена модель существующей сверточной ИНС VGG. На ее вход подается квадратное трехканальное изображение, а точнее тензор 224*224*3, далее идут два сверточных слоя, имеющих по 64 фильтра каждый и образующих карту признаков. Затем слой подвыборки, уменьшающий линейные размеры карт выборки в два раза. После слоя подвыборки - 3 сверточных слоя, после которых снова следует слой подвыборки и т.д. В итоге получается слой 3*3*512, который подается на два полносвязных слоя по 4096 нейронов, после которых следует выходной слой из 1000 нейронов (каждый из них выдает вероятность того, что объект принадлежит конкретному классу).

[2] Свертка // PPT-online. - https://ppt-online.org/688178 (дата обращения 23.03.2021)

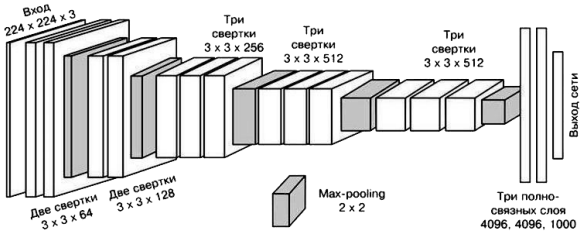

Рис 2. Архитектура сверточной нейросети VGG[3]

Представленная ИНС максимально подходит для классификации объектов, но для этого их изначально надо разделить, отделить изображения разных предметов друг от друга. В контексте использования БВС в арктических условиях, ввиду малого количества объектов и достаточной монотонности окружающей среды не обязательно выполнять разделение, подобной ИНС хватит для получения информации о наличии интересующего нас объекта. На топологию модели сверточной ИНС можно выделять маску нужного нам объекта, а следовательно, и узнать его расположение относительно БВС. Таким образом, при помощи сверточной ИНС получается универсальная система, которая одинаково хорошо подходит для решения всех важнейших задач, связанных с компьютерным зрением.

Входные и выходные параметры нейросети БВС

Создают входные параметры (направляют сигналы) для ИНС на борту БВС следующие источники: датчики, в т.ч. инфракрасные; компас; приемник GPS/ГЛОНАСС; гироскоп или более продвинутые системы стабилизации и ориентации в пространстве, в т.ч. одномерные сонары, лидары, двумерные лидары, 3D-лидары; фотовидеокамеры формата UHD (стереокамеры, камеры глубины, камеры ночного видения) и другие.

На борту БВС устанавливается дополнительный вычислитель, в реальном времени считывающий информацию от источников и создающий 3D-модель окружающего пространства для планирования безопасного маршрута. Получив информацию от процессора САУ или БКУ управляет полетом: держит высоту, удерживает БВС на месте даже при порывах ветра в любые стороны, тормозит перед препятствиями и облетает их.

На рисунке приведены все возможные источники информации для нейросетей, однако, их количество может меняться, учитывая, что для БВС с электрическими двигателями особенно важно минимизировать энергопотребление, а у аппаратов классов «микро» и «мини» взлетный вес не позволяет установить на борту необходимое количество датчиков.

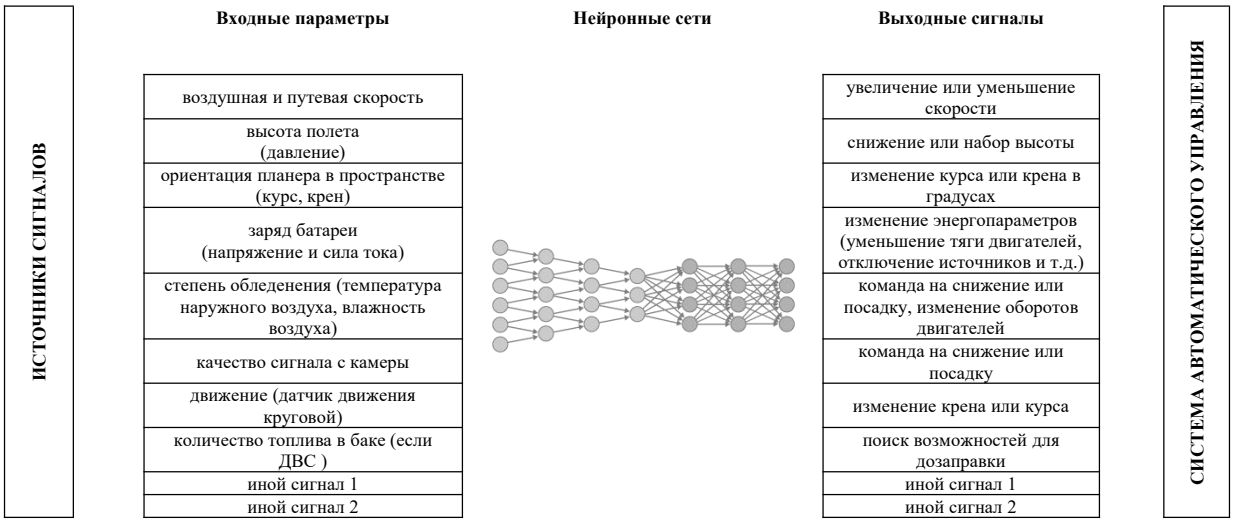

Рис 3. Соответствие входных и выходных параметров ИНС БВС

[3] Свертка // PPT-online. - https://ppt-online.org/688178 (дата обращения 23.03.2021)

Распознавание объектов

БВС должен выполнять значительно сложные задачи. Например, зависнуть в нескольких метрах от движущегося объекта, чтобы сделать четкое фото, и сделать это при сильном меняющемся по направлениям ветре с порывами. Для автоматизации сложных задач, таких как управление БВС, все чаще используется не фиксированные алгоритмы с набором заранее установленных правил, а машинное обучение. Этот подход требует времени и тренировок на больших наборах данных, но в результате позволяет получить программу, способную выполнять сложные задачи, среди которых обнаружение неявных закономерностей или распознавание образов. Компьютерное зрение можно использовать для распознавания определенных объектов, как полезных, так и тех, которые могут навредить целостности БВС. Это птицы или другие БВС, столкновения с которыми нужно избегать. Сверточная ИНС может определить наличие птицы на снимке, а также ее расположение, относительно БВС. Следовательно, на САУ БВС отправляются соответствующие сигналы для изменения скорости и/или высоты полета. Потенциально опасным может быть и человек с оружием, при появлении которого в области видимости стоит изменить параметры полета. Также можно «научить» БВС облетать препятствия или наоборот, находить узкие места, через которые можно безопасно пролететь.

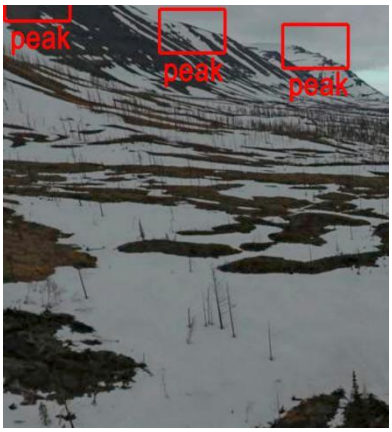

Рис 4. Пример детектирования вершин гор с выделением их масок на изображении

Очень полезным является детектирование специально нанесенных/установленных объектов для ориентации БВС в пространстве, что может пригодиться при выполнении различных действий, например посадке в специально установленное место, на ВПП или посадочную площадку.

Еще одним примером использования компьютерного зрения может быть выявление степени обледенения БВС по изменению качества изображений с камеры. Камера покрывается инеем и льдом, качество исходного изображения значительно ухудшается, что может детектировать ИНС. Обучение такой ИНС будет происходить на фотографиях сделанных с камеры БВС в лабораторных или идеальных полевых условиях, при которых специально будут создаваться условия для различной степени обледенения. Как выходные данные для обучения можно использовать степень обледенения БВС, оцененную экспериментаторами, или набранную массу льда. Таким образом в реальном полете обученная ИНС по изменению качества получаемого с камеры изображения может не только детектировать наличие обледенения, но и оценить его «количество», а следовательно, дать нужную команду на блок САУ БВС для предотвращения опасных ситуаций. Кроме стабилизированной посадки БВС также учится более стабильно перемещаться на небольшой высоте над неровным рельефом.

Обучение происходит на основе анализа известных данных (исторические Big Data). Информация на серверы поступает с БВС действующих эксплуатантов или, в случае

невозможности получения таких датасетов, с аппаратов, которые уже совершают рейсы по определенным маршрутам или в определенных условиях.

Программирование осуществляется во всех популярных средах для глубокого машинного обучения, таких как Keras, Caffe, TensorFlow Lite, ONNX, PyTorch, Matlab. Эти среды представляют собой открытые программные библиотеки для машинного обучения, разработанные различными компаниями с целью решения задач построения и тренировки нейронных сетей для автоматического нахождения и классификации образов и объектов, сравнимых по качеству с человеческим восприятием. Для создания модулей можно использовать известный фреймворк Robot Operating System (ROS), созданный специально для разработки приложений робототехники, принимая во внимание, что БВС является летающим роботом.

```
with detection_graph.as_default():
    with tf.Session() as sess:
      ops = tf.get_default_graph().get_operations()
      all_tensor_names = {output.name for op in ops for output in op.outputs}
      tensor_dict = {}
      for key in [
          'num_detections', 'detection_boxes', 'detection_scores',
          'detection_classes', 'detection_masks'
      ]:
        tensor_name = key + ':0'
        if tensor_name in all_tensor_names:
          tensor_dict[key] = tf.get_default_graph().get_tensor_by_name(
              tensor_name)
      if 'detection_masks' in tensor_dict:
        detection_boxes = tf.squeeze(tensor_dict['detection_boxes'], [0])
        detection_masks = tf.squeeze(tensor_dict['detection_masks'], [0])
        real_num_detection = tf.cast(tensor_dict['num_detections'][0], tf.int32)
        detection_boxes = tf.slice(detection_boxes, [0, 0], [real_num_detection, -1])
        detection_masks = tf.slice(detection_masks, [0, 0, 0], [real_num_detection, -1, -1])
        detection_masks_reframed = utils_ops.reframe_box_masks_to_image_masks(
            detection_masks, detection_boxes, image_np.shape[0], image_np.shape[1])
        detection_masks_reframed = tf.cast(
            tf.greater(detection_masks_reframed, 0.5), tf.uint8)
        tensor_dict['detection_masks'] = tf.expand_dims(
            detection_masks_reframed, 0)
      image_tensor = tf.get_default_graph().get_tensor_by_name('image_tensor:0')

      # Запуск поиска объектов на изображении
      output_dict = sess.run(tensor_dict,
                             feed_dict={image_tensor: np.expand_dims(image_np, 0)})

      # Преобразуем выходные тензоры типа float32 в нужный формат
      output_dict['num_detections'] = int(output_dict['num_detections'][0])
      output_dict['detection_classes'] = output_dict[
          'detection_classes'][0].astype(np.uint8)
      output_dict['detection_boxes'] = output_dict['detection_boxes'][0]
      output_dict['detection_scores'] = output_dict['detection_scores'][0]
      if 'detection_masks' in output_dict:
        output_dict['detection_masks'] = output_dict['detection_masks'][0]
```

Рис 5. Пример сверточной ИНС на основе библиотеки TensorFlow для поиска и детектирования объектов на изображении[4]

Стоит отметить, что для ускорения вычислений можно предварительно сжать изображение, т.е. уменьшить его размерность (вес файла). Создание модели ИНС должно происходить на экспериментировании с ее топологией (количество слоев и нейронов в них, функциях активаций нейронов, размерности входных данных) для нахождения эталонной модели с оптимальным отношением точности к быстродействию. Обучение таких ИНС происходит с учителем, а датасетом обучения будет являться набор фотографий с камер БВС или других фотографий с наличием интересующих нас объектов, изначально разделенный на классы.

На практике можно использовать готовые решения. Например, бортовой аналитический модуль, предназначенный для обработки материалов аэрофотосъемки на базе высокопроизводительных микрокомпьютеров Nvidia (серия Jetson) со специальным программным обеспечением в основе которого лежит нейросеть для распознавания объектов компьютерным зрением в режиме реального времени. Потребление энергии составляет до 10 Вт, размеры 69x45 мм или 50x87 мм.

[4] А.Созыкин. Пример поиска и распознавания объектов на изображении // GitHub,Inc.- 17.07.2018. - URL: https://github.com/sozykin/dlpython_course/blob/master/computer_vision/object_detection/object_detection_api.ipynb

Предсказание нештатных ситуаций и критических параметров

Система может быть предназначена и для решения такого круга задач как: детектирование неисправностей бортовой аппаратуры, двигателей, навесного оборудования на основе комплексного анализа измерений нейросетью, резервирования неисправных датчиков, оценка состояния БВС, прогнозирование и предотвращение опасных ситуаций в связи с отказами техники, наличие помех или провалов в связи, в т.ч. со спутниковыми системами навигации.

Теперь о предсказании внештатных ситуаций и/или каких-либо параметров полета. Для решения данной задачи используется ИНС прямого распространения, обучение с учителем. На вход подаются значения параметров с датчиков, а на выходе ИНС получается вероятность какой-либо критического состояния. ИНС дает соответствующие команду на САУ во избежании аварийных ситуаций.

```
В [ ]: df = pd.read_csv('train_uav_dataset.csv')

       x_train=df[['uav current speed','pressure change','wind speed']] #считывание данных для обучения
       y_train=df['gust speed']

       ddf = pd.read_csv('test_uav_datase.csv')

       x_test=ddf[['uav current speed','pressure change','wind speed']] #считывание данных для проверки качества модели
```

```
В [ ]: normalized_Xtrain = preprocessing.normalize(x_train)
       standardized_Xtrain = preprocessing.scale(x_train) #стандартизация данных

       normalized_Xtest = preprocessing.normalize(x_test)
       standardized_Xtest = preprocessing.scale(x_test)
```

```
В [ ]: model = Sequential()    #создание модели сети
       model.add(Dense(15, activation="linear", input_shape=(standardized_Xtrain.shape[1],)))
       model.add(Dense(25, activation="linear"))
       model.add(Dense(20, activation="linear"))
       model.add(Dense(1, activation="linear"))
```

```
В [ ]: opt=optimizers.Adam(learning_rate=0.01, beta_1=0.9, beta_2=0.999, amsgrad=False)
       model.compile(optimizer=opt, loss='mse', metrics=['RootMeanSquaredError'   ] )
       model.fit(standardized_Xtrain, y_train, epochs=50000, batch_size=69, verbose=1) #обучение модели
```

```
В [ ]: prediction_gustspeed = model.predict(standardized_Xtest)  #предсказание для порыва ветра
```

Рис 6. Пример ИНС прямого распространения на основе библиотеки Keras для предотвращения сноса ветра от заданной траектории полета

Отметим, что для глубинного обучения БВС необходимы значительные базы данных объектов, которые могут окружать БВС во время всей процедуры полета. Для этого собирается датасет, состоящий из последовательности параметров полета. Получаемая с датчиков, камеры и иных источников БВС информация зачастую не может храниться на борту аппарата, особенно, если он относится к классам «микро» и «мини», для этого необходим дополнительный бортовой модуль памяти объемом в десятки или даже сотни террабайт. Зарубежный опыт показывает, что при наличии устойчивого сигнала 4G/5G БВС передает информацию сразу в «облако» дата-центра для последующей обработки и создания баз данных. В регионах Арктики и Крайнего Севера в настоящее время использовать такую технологию невозможно в связи с узким охватом сетей мобильных операторов, а передача сигнала через космические стационарные спутники происходит со значительной задержкой и экономически крайне невыгодна в связи с высокой стоимостью спутниковой связи. Однако в будущем, особенно в связи с формированием арктической спутниковой группировки и созданием локальных приполярных дата-центров не исключается передача информации с БВС в режиме онлайн. При этом создание арктических дата-центров как хранителей значительных баз данных для нейросетей БВС может быть эффективным инструментом решения проблемы цифровизации арктического региона по всем сферам.

Особенным направлением применения ИНС может стать улучшение качества сигнала с наземной станцией управления или системы спутниковой навигации. На вход ИНС поступает сигнал от антенны радиостанции или GPS, с помощью внутреннего алгоритма ИНС рассчитывает значение поправки на помеху. Используя нечеткую логику ИНС процесс

определения наличия помехи будет значительно эффективнее, чем у обычного процессора.

Предсказание интенсивности обледенения

Одна из проблем использования БВС в арктических условиях - обледенение датчиков, элементов управления и самой поверхности БВС, что нарушает его летно-технические характеристики, затрудняет управление, а также дает неверные данные о летных параметрах. Для предотвращения обледенения БВС совершает крутой маневр с увеличением скорости для того, чтобы сбросить лед. Также возможна экстренная посадка в определенных критических ситуациях обледенения. Такие входные параметры как влажность, температура воздуха, скорость ветра и его направление, качество картинки с камеры (качество изображения), данные с тепловизора (если таковые имеются) могут быть измерены/высчитаны в режиме реального времени и представляются численными данными. Эти данные будут являться входными для ИНС. На выходе получаем значение интенсивности обледенения, и на основе этого значения принимается решение о необходимости принятия противодействующих обледенению мер.

```
df = pd.read_csv('train_uav_dataset.csv')

x_train=df[['temperature','humidity','wind speed']] #считывание данных для обучения
y_train=df['icing intensity']

ddf = pd.read_csv('test_uav_dataset.csv')

x_test=ddf[['temperature','humidity','wind speed']] #считывание данных для проверки качества модели

normalized_Xtrain = preprocessing.normalize(x_train)
standardized_Xtrain = preprocessing.scale(x_train) #стандартизация данных

normalized_Xtest = preprocessing.normalize(x_test)
standardized_Xtest = preprocessing.scale(x_test)

model = Sequential()    #создание модели сети
model.add(Dense(25, activation="relu", input_shape=(standardized_Xtrain.shape[1],)))
model.add(Dense(35, activation="relu"))
model.add(Dense(45, activation="relu"))
model.add(Dense(20, activation="relu"))
model.add(Dense(1, activation="relu"))

opt=optimizers.Adam(learning_rate=0.001, beta_1=0.9, beta_2=0.999, amsgrad=False)
model.compile(optimizer=opt, loss='mse', metrics=['RootMeanSquaredError'   ] )
model.fit(standardized_Xtrain, y_train, epochs=50000, batch_size=69, verbose=1) #обучение модели

prediction_icing_intensivity = model.predict(standardized_Xtest)  #вывод предсказания для искомого параметра
```

Рис 7. Пример ИНС прямого распространения на основе библиотеки Keras для предсказания интенсивности обледенения БВС

Предсказание времени работы аккумулятора БВС

По напряжению и силе тока на аккумуляторной батарее, а также текущей потребляемой мощности двигателями и другими потребителями электрической энергии ИНС может спрогнозировать оставшееся время работы батареи, и, следовательно, если это требуется, отключить лишних потребителей энергии.

```
def SensorRemainingTimeMalfunction:
    prediction_RemainingFlightTine = model.predict(standardized_Xtest)  #предсказание для оставшегося времени полета
    SensorValue_RemainingFlightTine = ReturnSensorValue() #получаем значение оставшегося времени полета с датчкика
    a = rediction_RemainingFlightTine/SensorValue_RemainingFlightTine*100
    if (85<a<115): #если значения с датчика и предсказанное значение отличаются больше чем на 15%,
        return (a-100)                              #то функция возвращает это значение в процентах
```

Рис 8. Пример ИНС прямого распространения на основе библиотеки Keras для предсказания оставшегося времени полета БВС с электродвигателями

Кроме того, предсказание ИНС необходимо в связи с тем, что некоторые из аппаратов перед самой посадкой зависают в воздухе, что приводит к неэффективному расходу заряда аккумулятора и аварийным ситуациям.

Основные результаты работы

Авиационные события во время полета характеризуются множеством параметров (тип БВС, время года и суток полета, этап полета, продолжительность полета, метеоданные, и т.п.). Осуществление контроля всех параметров полета - важная задача и в беспилотной авиации. За последние годы ученые во всем мире и в РФ разработали сотни ИНС различной архитектуры, которые способны распознавать препятствия и вычислять оптимальную траекторию движения для автономных БВС. Но полет БВС в регионах Арктической зоны РФ, особенно в сложных метеоусловиях, представляет собой зачастую невыполнимую в настоящее время задачу. Используя ИНС мы создаем систему, в которой БВС управляет собой самостоятельно, избегает препятствий. Добиваемся этого путем выбора соответствующих входов/выходов и тщательного обучения. ИНС получает информацию о расстояния до ближайших препятствий вокруг БВС, имитируя зрение внешнего пилота. На выходе ИНС подает САУ показания к изменению ускорения, замедлению или изменению положений руля высоты, руля направления и других систем управления аппарата. ИНС обучаются на множестве стратегий ввода-вывода.

В качестве основных результатов работы можно перечислить следующие:

1. Способность БВС облетать препятствия при отсутствии известных наземных ориентиров и устойчивого сигнала со спутниковых навигационных систем.

2. Создание модифицированных моделей ИНС, когда программное обеспечение решает более специфические задачи, среди которых:

- парирование сноса ветра при посадке БВС на площадку, в т.ч. неподготовленную, когда нейросеть «осваивает» основные пилотажные навыки, включающие в себя быстрое вращение вокруг трёх главных осей (тангаж, рыскание, крен) и различные последовательности манёвров;
- прогнозирование энергозатрат силовых установок и аппаратуры БВС в непредвиденных условиях полета с более высокой точностью, чем без систем с ИНС;
- моделирование множества сценариев полета для понимания того, что происходит с БВС во время полета и предугадывания возможных неисправностей заранее;
- просчет вариантов ремонта БВС при обнаружении неполадки на борту.

К дополнительным результатам можно причислить следующие:

- повышение безопасности полетов БВС в долгосрочной перспективе и снижение вероятности рисковых событий в полете в условиях Арктической зоны РФ;
- повышение экономической эффективности БВС, а также эксплутационных компаний, с учетом более высокой себестоимости производства и оказания услуг в северных регионах;
- положительное влияние на экономическую эффективность коммерческих и государственных организаций, эксплуатирующих БВС;
- положительное влияние на репутацию Российской Арктики в области разработки и внедрения инновационных нейросетевых подходов для применения на БВС.

Области применения и способы использования ожидаемых результатов:

- прогнозирование вероятности авиационных происшествий с БВС, проведение мероприятий по повышению уровня безопасности полетов;
- прогнозирование событий, влияющих на экономические показатели предприятия-эксплуатанта БАС.

Потребители ожидаемых результатов работы:

- российские и иностранные эксплуатанты БВС;
- разработчики и производители БВС для эксплуатации в высоких широтах;
- компании - конечные потребители услуг БАС.

К недостаткам использования дополнительного оборудования (процессора нейросети) можно отнести снижение мобильности комплекса БВС в целом и увеличение его массы и габаритов, что существенно влияет на дальность полета.

Таким образом, предложена система ИНС для полетов в Арктической зоне РФ в

сложных метеоусловиях в режиме круглогодичной и круглосуточной эксплуатации. Создав несколько моделей ИНС, выполняющих разные функции и решающих различные задачи, от детектирования предметов на изображениях до предсказания критических ситуаций можно интегрировать их в единый программный модуль, который будет при необходимости подавать сигналы на САУ БВС для предотвращения внештатных ситуаций и для более оптимальной работы аппарата. Таким образом обеспечивается автоматизация процесса управления БВС, минимизация человеческого фактора в процессе управления большим количеством БВС. С помощью ИНС БВС обучается самостоятельно летать в динамичной среде.

Сведения об экономическом, управленческом или социальном эффекте

Беспилотные технологии в логистике, разведке и добыче природных ресурсов, науке и туризме в Арктике открывают невероятные перспективы. Компании и местные жители смогут быстро получать грузы, доставки которых сейчас приходится ждать неделями или месяцами. Ученые будут исследовать изменение климата и миграции животных с воздуха. С помощью дронов можно найти экспедицию, попавшую в беду, и оказать ей экстренную помощь.

Представленная работа основана не только на теоретических исследованиях и предложениях, но и на двух практических направлениях внедрения БВС в Арктике.

Первое направление - расширение возможностей применения БВС для нужд туристической отрасли в связи с тем, что в настоящее время использование их в Арктике ограничено и не развито. Для этого проводилось практическое использование БВС DJI Mavic Mini и DJI Phantom 4 Pro на Таймыре. В рамках проводимых научных теоретических и практических исследований ведется полномасштабная работа по поиску и внедрению адаптированных к суровым арктическим условиям современных образцов БВС, в первую очередь, оснащенных элементами искусственного интеллекта.

Рис 9. Фото территории туристической зоны с БВС, Таймыр.

В 2019 г. стартовало сотрудничество с Агентством развития Норильска. В число совместных приоритетных направлений деятельности вошло проведение картографирования туристических территорий, входящих в состав туристско-рекреационного кластера «Арктический» Севера Красноярского края. В ходе реализации проекта по созданию новых туристических точек притяжения команда столкнулась с отсутствием качественных карт для массового использования, а туристические территории не указаны в основных геоинформационных системах, таких как 2GIS, ArcGIS и других. Для восполнения недостающей информации в рамках реализации проекта создания туристического экологического центра проводилось экспериментальное и повторное картографирование территории охватываемой зоны мини-квадрокоптером с камерой высокого разрешения и

системой стабилизации[5].

Рис 10, 11. Фото территории туристической зоны с БВС.

Несмотря на неблагоприятные погодные условия при помощи квадрокоптера были сделаны первичные облеты на высоте до 20-30 м в безлюдной обстановке вдали от населенных пунктов и запретных зон. Технология позволила определить точки для установки схем и указателей туристической навигации на маршрутах, разметить экологические тропы для разработки маршрутов, определить точки стоянок, что в условиях вечной мерзлоты и труднодоступности территории является актуальным.

В настоящее время в Арктической зоне РФ все чаще внедряются технологии картографирования и хранения пространственных данных, определяющие новый этап развития картографирования в высоких широтах. Дроны способны также делать фотографии с высоким разрешением для альбомов и сайтов, выступать в качестве курьеров, изучать животный мир, проводить мониторинги и реализовывать другие задачи. Для туристов БВС — дополнительные глаза, следящие за территорией с небольшой высоты, а также средство для доставки небольших грузов и помощник в случае опасной ситуации.

Система с ИНС на борту БВС значительно эффективнее, чем без ИНС, но на первом этапе эксплуатации БАС она должна работать под частичным контролем живого оператора. В будущем при возможности рывка технологического развития на борту БВС возможно использование технологий квантового компьютера.

Второе направление - участие в разработке профессиональных квалификаций и представление опыта автора работы в рамках реализации проекта «Применение систем искусственного интеллекта в условиях нового этапа освоения Арктики».

Координационный совет по развитию Северных территорий и Арктики РСПП при поддержке Национального агентства развития квалификаций (НАРК) участвует в разработке профессиональных стандартов и делает ставку, в том числе на профессии будущего. Рассматриваются и направляются предложения по вопросам совершенствования подготовки кадров для арктических регионов, расширения масштаба целевого обучения и целевого приема специалистов, необходимых для работы на проектах в Арктике, а также проводится мониторинг потенциала развития профессиональных стандартов по специальностям, представляющим интерес для предприятий, осуществляющих деятельность в районах крайнего Севера и Арктической зоны. Научным партнером выступает Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В.Ломоносова (С(А)ФУ).

В макет профессионального стандарта входят: общие сведения; описание трудовых функций, входящих в профессиональный стандарт; характеристика обобщенных трудовых функций; сведения об организациях - разработчиках. Со временем такой набор будет видоизменяться под влиянием рынка труда, социальных и государственных задач. С 2017 г. начато сотрудничество с Национальным арктическим научно-образовательным

[5] В Арктике проведено картографирование территории с помощью дрона [Электронный ресурс] // Хибины.com. - 13.06.2019. - URL: https://www.hibiny.com/news/archive/193911/

консорциумом (НАНОК)[6].

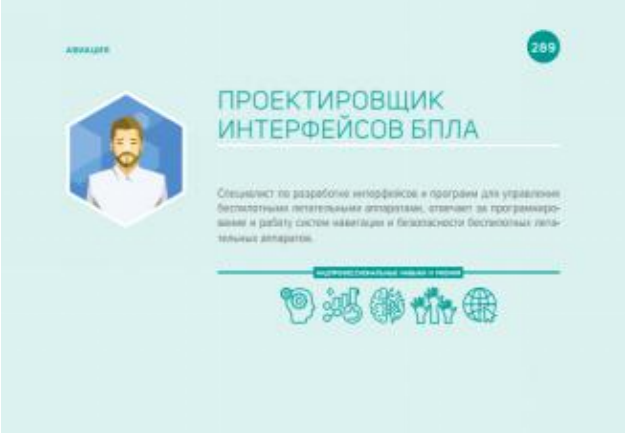

Рис 12, 13. Описание профессий «Оператор БПЛА для разведки месторождений» и «Проектировщик интерфейсов БПЛА» в Атласе новых профессий версии 3.0[7]

Основой для профессиональных стандартов в Арктике стал «Атлас новых профессий» версий 2.0 и 3.0 (https://atlas100.ru/). По нашим оценкам, для нужд освоения Арктики в видоизмененных вариантах возможно применение более чем 50 профессий Атласа. На повестке дня - обсуждение актуальности и возможностей внедрения программ обучения по специальностям, указанным в Атласе, в том числе на период их изменения в ближайшие 30-50 лет.

Получено личное разрешение авторов Атласа на использование визуальных материалов по лицензиям Creative Commons by-SA 3.0 и Creative Commons Attribution 4.0 International.

Более 10 лет назад стало понятно, что архитектура профессий будущего в Арктике должна измениться под воздействием социальных и климатических перемен, а автоматизация технических процессов должна соответствовать новой кадровой политике. Новые специальности будут востребованы в Арктике уже в ближайшие 5-10 лет, однако подготовка по этим направлениям в учебных заведениях еще не началась. в этом случае корпоративные учебные центры в разы мобильнее, чем система образования и способны максимально быстро освоить новые образовательные лакуны. В Стратегии развития Арктической зоны РФ до 2035 г. заложены меры поддержки образовательного и кадрового потенциала. Это означает, что к этому времени необходима разработка и практическое применение новых арктических профессиональных стандартов. Мы на пороге создания универсального арктического технологического кадрового пакета, основанного не только на динамичном переходе в онлайн-образование, но и на максимальной возможности удаленной работы. Новая кадровая и образовательная парадигмы потребуют специалистов исследователей, инженеров, строителей, транспортников, связистов и работников вспомогательных сфер. Потребность в профессиональной стандартизации будет не только у тех профессий, которые занимаются технической эксплуатацией, но и у разработчиков, авторов прорывных технологий[8].

На основе экспертных мнений, прогнозов развития отраслей экономики и информации из «Атласа новых профессий» выявилось, что практически все виды деятельности в Арктике потребуют разработки новых профессиональных стандартов и описания квалификаций в ближайшие 10 лет, в их числе и в части разработки и эксплуатации БВС с ИИ. Среди таких профессий (специальностей) выделим следующие (по отраслям):

---

[6] РСПП, САФУ и НАНОК обсудили вопросы подготовки кадров для регионов Арктической зоны и Крайнего Севера [Электронный ресурс] // Российский союз промышленников и предпринимателей. - 08.05.2017. - URL: https://old.rspp.ru/regionalnews/view/14365

[7] Оператор БПЛА для разведки месторождений [Электронный ресурс] // Атлас новых профессий. - URL: https://atlas100.ru/catalog/dobycha-i-pererabotka-poleznykh-iskopaemykh/operator-bpla-dlya-razvedki-mestorozhdeniy/ (дата обращения: 20.12.2020)

[8] А.В. Федотовских. Рывок в будущее. Профессиональные стандарты для Арктики 2050 [Электронный ресурс] // Арктическое обозрение (Arctic review). - 2020. - №6. - URL: http://csef.ru/media/articles/9229/12039.pdf

- добыча и переработка полезных ископаемых: оператор беспилотных летающих аппаратов для разведки месторождений арктического шельфа;

- экология и природопользование: оператор мониторинга очистки ледовых загрязнений; полярный эколог; эколог по вечной мерзлоте; гляциолог - оператор БВС;

- культура и туризм: специалист по оцифровке труднодоступных территорий; гид по виртуальным турам; VR-технолог; разработчик арктических тур-навигаторов;

- транспорт и логистика: системный инженер инфраструктуры морей Северного ледовитого океана; проектировщик инфраструктуры для высокоширотного воздухоплавания; проектировщик высокопрочных композитных конструкций для БПЛА; специалист по цифровой системе управления логистикой с использованием БВС.

Такое мнение подтверждают исследования специалистов Петрозаводского государственного университета. Специальность «Оператор беспилотных летательных аппаратов для разведки месторождений» входит в число профессий будущего для Арктической зоны РФ, а в качестве базиса выступают уже имеющиеся профильные профессии[9].

05.12.2019 г. в ходе V всероссийского форума «Национальная система квалификаций России» (протокол №41) был создан Совет по профессиональным квалификациям воздушного транспорта Национального Совета при Президенте РФ по профессиональным квалификациям (СПК ВТ). На состоявшемся 14.01.2020 г. в РСПП первом заседании Совета была рассмотрена и утверждена организационная структура и Положение о Совете, а так же принято решение о создании специальной Комиссии по эксплуатации беспилотных авиационных систем. В мае 2020 г. Национальный Совет при Президенте РФ по профессиональным квалификациям (НСПК) утвердил создание Комиссии по профессиональным квалификациям беспилотных авиационных систем. Комиссия работает в структуре Совета по профессиональным квалификациям воздушного транспорта[10]. Таким образом структуры РСПП активно участвуют в процессе.

Основой для новых «арктических» профессиональных стандартов станет разработанный Ассоциацией эксплуатантов и разработчиков беспилотных авиационных систем «Аэронет» и утвержденный приказом Министерства труда РФ 05.07.2018 г. профессиональный стандарт «Специалист по эксплуатации беспилотных авиационных систем, включающих в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов с максимальной взлетной массой 30 кг и менее»[11]. В настоящее время ведется доработка таких стандартов.

Целью программ подготовки по профессии внешнего пилота должно являться формирование у обучающихся устойчивых soft-skills и hard-skills (знаний и компетенций) не только по прямым авиационным дисциплинам, таким как аэродинамика, навигация, основы радиоэлектроники и схемотехники, программирование микроконтроллеров, лётная эксплуатация БВС, но и по другим направлениям. Особенно актуален такой подход в части эксплуатации и ремонта аппаратов с бортовыми или наземными нейросетями (системами искусственного интеллекта) и представлении БВС как летающего робота. Среди таких дисциплин: теория решения изобретательских задач, инженерная графика, конструирование БВС, основы машинного обучения, большие данные, Интернет вещей, мехатроника и роботехника, 3D моделирование и другие. Такой комплекс знаний позволит обучающимся быть в тренде долгие годы и в дальнейшем самостоятельно их обновлять, имея значительную теоретическую и практическую базу.

---

[9] И.С. Степусь, С.В. Шабаева. Настоящее и будущее рынка труда регионов Арктической зоны России: востребованные профессии [Электронный ресурс] //Непрерывное образование: XXI век. – 2019. – Вып. 3 (27).- URL: https://lll21.petrsu.ru/journal/article.php?id=5026

[10] Национальный Совет при Президенте утвердил создание Комиссии по профессиональным квалификациям в сфере БАС [Электронный ресурс] // Ассоциация эксплуатантов и разработчиков беспилотных авиационных систем. - 25.05.2020. - URL: https://aeronet.aero/press_room/news/251920

[11] Профессиональный стандарт «Специалист по эксплуатации беспилотных авиационных систем, включающих в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов с максимальной взлетной массой 30 кг и менее» [Электронный ресурс] // Министерство труда и социально защиты Российской Федерации. - 23.07.2018. - URL: https://mintrud.gov.ru/uploads/magic/ru-RU/Document-0-8561-src-1535017720.628.docx

Масштабы реализации результатов работы

Сферы использования беспилотных гражданских воздушных судов в Арктике неисчерпаемы: различные виды мониторингов, доставка грузов и почты, фотосъемка и картографирование, сканирование больших территорий и др. БВС постоянного арктического базирования являются залогом конкурентоспособности РФ в Арктике. Противоречия и их обобщение, сделанные во время данного исследования, позволяют сделать вывод, что без их устранения невозможно дальнейшее полноценное использование БВС и развитие всей гражданской авиации РФ, а также исполнение задач, поставленных в «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

Использование современного оборудования, в частности БВС, для создания топографического плана местности позволяет за минимальное время выполнить съемку и последующую камеральную обработку материалов, что в свою очередь существенно повышает производительность работ в регионах Арктической зоны РФ.

Для отработки предложенной модели необходимо проведение серии летных экспериментов в различных регионах Арктики (взлеты и посадки, подлеты к препятствиям, полеты на разных высотах и скоростях, в т.ч. в сложных метеоусловиях) по эталонному прибору для набора экспериментальных данных. Планируется проведение таких экспериментов на Таймыре в 2021-2022 гг. Кроме того, для ночных полетов в хороших метеоусловиях без облачности возможно применение обучения ИНС дескрипторам из точек звездного неба на основе авиационной астронавигации, однако, такая технология ограничена в связи с тем, что количество ясных суток в различных регионах Арктики колеблется от 20 до 50.

Важно отметить, что проект, являясь некоммерческим, реализует популяризаторскую задачу продвижения регионов Арктической зоны РФ как высокотехнологичных. Автор представленной работы является ответственным за направление «Цифровизация Арктической зоны РФ» в Координационном совете по развитию Северных территорий и Арктики Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП).

Пилотируемая авиация в арктических и северных территориях РФ является единственным круглогодичным средством транспортного сообщения и выполняет жизненно важную функцию[12]. В перспективе аналогичный статус могут получить и арктические БАС. Главное преимущество любых беспилотных транспортных средств — неограниченная работоспособность. Оснащенные системой автономного управления (искусственного интеллекта) аппараты не устают, не ошибаются на маршрутах даже в условиях низких температур и сложных метеоусловий[13]

В ряде случаев необходимо применение нейросетей, что позволяет создавать цифровые двойники значительных по размерам объектов или площади территорий. Этот процесс актуален для автоматического распознавания объектов по снимкам, автоматического сбора GPS-треков пользователей мобильных приложений, что позволяет определить места наиболее частого передвижения туристов.

Аналитические материалы, статьи, обзоры по внедрению систем искусственного интеллекта и беспилотного транспорта в регионах Арктической зоны РФ представлены автором на выставках, презентованы в ходе работы профильных мероприятий общероссийского и международного уровня при поддержке гранта EANH.

---

[12] Круглый стол «Перспективы развития малой авиации в Арктической зоне Республики Саха (Якутия)» [Электронный ресурс] // Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия). - 04.12.2020. - URL: https://arktika.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3248082

[13] П.Чернышов. «Газпром нефть» внедряет в Арктике беспилотные технологии [Электронный ресурс] // Комсомольская правда (Ямал). - 23.04.2020. - URL: https://www.yamal.kp.ru/daily/27121/4204242/

Серьёзные теоретические работы по использованию ИНС для БВС появились в РФ в конце 1990 гг., а в зарубежных источниках на 5-10 лет раньше. Среди них можно отметить монографии «Выбор оптимальной стратегии полета транспортного вертолета с помощью методов искусственного интеллекта»[14], «Нейросетевая система управления посадкой самолетного типа для беспилотного летательного аппарата»[15], а нейросетевая система планирования полета группы БВС была подробно описана в 2007 г.[16] Для облета препятствий возможно использование моделей, представленных в работе «Алгоритмическая помехозащита беспилотных летательных аппаратов» (№ гранта РФФИ: 18-18-00014). Важной составляющей является обработка информации при огибании рельефа местности с облетом опасных препятствий. Для решения задач авторами формулируется траектория маловысотного полета БВС в режиме огибания местности[17].

Аналогичные работы ведутся в таких государствах как Дания, Канада, Норвегия, США и другие страны Арктического совета. Используют такую технологию в Израиле, Германии, Саудовской аравии, но она требует дальнейшего усовершенствования. Кроме того, в основном речь идет о сфере военного применения и без учета работы в сверхнизких температур и сложных метеорологических условий:

- Теперь дронам не нужен сигнал GPS: ПО NavSight можно установить на любой серийный БПЛА с камерой [Электронный ресурс] // ixbt.com 18.02.2021. - URL: https://www.ixbt.com/news/2021/02/18/teper-dronam-ne-nuzhen-signal-gps-po-navsight-mozhno-ustanovit-na-ljuboj-serijnyj-bpla-s-kameroj-.html
- UAV photogrammetry and UAV laser scanning (LiDAR scanning) compared [Электронный ресурс] // LOGXON GmbH & Co. KG. - URL: https://logxon.com/en/uav-photogrammetry-uav-laser-scanning/ (дата обращения 23.06.2021)
- A. Hannestad. Rapport: Send droner til Arktis (Дания в Арктике делает ставку на БПЛА) [Электронный ресурс] // Politiken. - 28.08.2016. - URL: https://politiken.dk/indland/art5633958/Rapport-Send-droner-til-Arktis (перевод на русский: 5 секунд нейронной активности. - https://5cek.livejournal.com/467958.html)
- Chris Baraniuk. US military tests swarm of mini-drones launched from jets [Электронный ресурс] // BBC.- 10.01.2017. - URL: https://www.bbc.com/news/technology-38569027
- Universität Zürich: Drohnen fliegen autonom dank künstlicher Intelligenz [Электронный ресурс] // Drohnen. - 11.02.2016. - URL: https://www.drohnen.de/10427/drohnen-fliegen-autonom-dank-kuenstlicher-intelligenz/
- Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Testing In Prudhoe Bay, Alaska [Электронный ресурс] // Sumflows. - 10.04.2013. - URL: https://www.youtube.com/watch?v=oRs2kaCcPCI

Для контроля над процессом строительства и добычи ископаемых дроны с искусственным интеллектом уже используют компании Brasfield&Gorrie, 3DRobotics, Airwave и этот опыт является одним из самых известных в мире, однако, условия эксплуатации БВС также далек от тех, что известны в Арктике: https://habr.com/ru/company/coptertime/blog/407413/

Особенностью эксплуатации БВС является зависимость от спутниковой навигации. Без GPS/ГЛОНАСС большинство БВС не могут осуществлять автономную работу, и если проблемы со связью случились в полете, то аппарат обречен, найти его в арктической тундре будет невозможно. Для такого случая исследователи NVIDIA разработали дрон, который

---

[14] Т. Алиреза. Выбор оптимальной стратегии полета транспортного вертолета с помощью методов искусственного интеллекта [Электронный ресурс] // Каталог диссертаций. Диссертация кандидата технических наук. - 1999. - URL: https://www.dissercat.com/content/vybor-optimalnoi-strategii-poleta-transportnogo-vertoleta-s-pomoshchyu-metodov-iskusstvennog

[15] Д.А. Михайлин. Нейросетевая система управления посадкой самолетного типа для беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] // Каталог диссертаций. Диссертация кандидата технических наук. - 1999. - URL: https://www.dissercat.com/content/neirosetevaya-sistema-upravleniya-posadkoi-samoletnogo-tipa-dlya-bespilotnogo-letatelnogo-ap

[16] Л.А. Мирзоян. Нейросетевая система планирования полета группы беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // Каталог диссертаций. Диссертация кандидата технических наук. - 2007. - URL: https://www.dissercat.com/content/neirosetevaya-sistema-planirovaniya-poleta-gruppy-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov

[17] В.А. Бухалёв, А.А. Скрынников, В.А. Болдинов. Алгоритмическая помехозащита беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // М.: Физматлит. - 2018. - URL: https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2079106

способен автономно перемещаться в самых сложных местах, используя компьютерное зрение и самообучающийся ИИ, благодаря суперкомпьютеру NVIDIA Jetson TX1[18]. Именно этот графический процессор лучше всего использовать для полетов БВС с ИНС в Арктике.

В 2015 г. представлена математическая модель ветра с учетом его порывистой части и ветра устойчивого направления, действующего на БВС малой дальности в связанной системе координат и рассмотрена реакция автопилота управления углом тангажа БВС на ветер. Доказана необходимость учета скорости ветра при синтезе автопилота угла тангажа для БВС малой дальности на режиме посадки.[19]

В 2018 г. были опубликованы материалы исследования, целью которого является повышение эффективности применения БВС в условиях влияния внешних дестабилизирующих факторов, обусловленных метеорологическими причинами, на основе выявления связей и закономерностей их функционирования в сложных погодных условиях. Эта работа крайне актуальна для разработчиков БВС, пригодных к круглогодичной эксплуатации в условиях сложного арктического климата. Авторами применены методы системного анализа, математического моделирования атмосферных явлений и процессов, теории вероятности и статистического оценивания[20].

В России группа инженеров из проекта Navigation Engineering разработала полностью автоматизированную оптоэлектронную систему для БВС без применения GPS и с горизонтальным способом посадки, однако на данный момент технология остается невостребованной. Система посадки работает по принципу классической курсо-глиссадной системы, использующейся в авиации для посадки самолетов. Такой подход позволяет выбрать горизонтальный способ посадки БПЛА, а также полностью отказаться от использования GPS. Появляется возможность посадить аппарат в любых условиях окружающего пространства и погоды[21].

Мы практически доказали, что БВС можно использовать в регионах Арктической зоны РФ с их экстремальным климатом практически круглогодично и круглосуточно. Оценив возможности БВС, в будущем планируется их групповое использование для целей развития туристического кластера «Арктический» на Севере Красноярского края[22]. Рассматривается возможность внедрения услуги аренды беспилотных летательных аппаратов. Для этих задач планируется покупка профессионального среднего специализированного БВС, подготовленного для работы в тяжелых климатических условиях и оснащенного системой искусственного интеллекта.

В целом необходимо отметить, что несмотря на существующие проблемы в части конструирования и модернизации БВС для выполнения полетов в Арктической зоне РФ, у каждого из производителей есть уникальный шанс выработать целый ряд перспективных решений наряду с широкомасштабным испытанием и применением оборудования.

Патентно-лицензионная ценность разработок

Патент не зарегистрирован, однако, 27.07.2018 г. в Реестре научных направлений Российской Академии Естествознания под №0080 решением от 02.07.2018 г. было зарегистрировано новое научное направление «Использование искусственного интеллекта для применения в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера». Шифры научных специальностей, в рамках которых разрабатывалось научное направление: 08.00.05.2 и

---

[18] NVIDIA разработали дрон с ИИ способный летать без GPS [Электронный ресурс] // DronoMania.ru. - URL: https://dronomania.ru/news/12517.html (дата обращения: 26.11.2020)

[19] А.А. Санько, И.В. Рожков, А.А.Шейников. Влияние ветра на систему угловой стабилизации беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. - 2015. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vetra-na-sistemu-uglovoy-stabilizatsii-bespilotnogo-letatelnogo-apparata

[20] И.Е. Кузнецов, А.В. Мельников, Е.А. Рогозин, О.В. Страшко. Методика учета влияния метеорологических факторов на эффективность применения беспилотных летательных аппаратов на основе системного анализа [Электронный ресурс] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2018. - №45(2): 125-139. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-ucheta-vliyaniya-meteorologicheskih-faktorov-na-effektivnost-primeneniya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-na-osnove

[21] Медицинские дроны: как использовались беспилотники в борьбе с COVID-19 [Электронный ресурс] // РБК Тренды. - 16.07.2020. - URL: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5f0f36809a794761ccf8a89e

[22] Для картографирования в целях туризма в Арктике использован дрон [Электронный ресурс] // Российский союз промышленников и предпринимателей. - 13.06.2019. - URL: https://old.rspp.ru/photo/set/2109?s=2&p=6

08.00.05.9.15[23]. 15.07.2018 г. было получено Свидетельство о депонировании объектов интеллектуальной собственности №1069 Национального фонда депонирования научных работ на исследование «Применение систем искусственного интеллекта в условиях нового витка освоения Арктики»

Коммерческий потенциал реализации проекта

БВС, оснащенные системой датчиков, инерциальной навигационной и спутниковой системой под контролем нейросети могут применяться для оказания практически всех видов сервисных услуг в беспилотной авиации: различные виды мониторингов, доставка грузов и почты, фотосъемка и картографирование, сканирование больших территорий и др.

Основной целевой рынок (конечные потребители): крупные системообразующие компании Арктики, Крайнего Севера и Дальнего Востока, реализующие масштабные проекты по освоению территорий, инфраструктурные государственные и частные компании.

Для сервисных компаний внедрение ИНС на БВС позволит более активно захватывать долю рынка авиационных услуг, в т.ч. у пилотируемой авиации. В перспективе внедрение БВС с ИНС позволит повысить безопасность работ, снизить затраты и уменьшить антропогенное влияние на экосистему. Новые факторы в конечном итоге уменьшат общую стоимость грузоперевозок, стоимость самих товаров во всех отраслях рынка, а также ряда сервисных услуг.

Стоимость ряда авиационных услуг с применением БВС кратно меньше, чем стоимость таких же услуг с применением пилотируемой авиации, а социально-экономический эффект достигается посредством предоставления таких услуг более оперативно.

Объем и емкость рынка конечных результатов.

Инвестиционно-экономические показатели эксплуатации БВС в Арктике представляют собой ряд индикаторов, стандартных или привязанных к территориям применения. Чтобы вкладывать значительные средства в разработку и эксплуатацию БВС с нейросетями надо быть уверенным в последующем экономическом эффекте и высокой скорости возврата вложенных средств. Главный эффект от повсеместного внедрения БВС и сопутствующей инфраструктуры - не столько прямая прибыль, сколько новое качество жизни и выигрыш в сокращении инвестиций, в т.ч. в строительство и ремонт дорог, стоимость которых в Арктической зоне РФ значительно превышает общероссийские показатели.

Анализируя стоимость профессиональных БВС у отечественных разработчиков можно отметить, что разница в стоимости между аналогичными дистанционно-управляемыми БВС и БВС с нейросетями на борту и оборудованием может составлять до 5-10 раз. Стоимость специально подготовленного для Арктики БВС также отличается от 30% до 100% от стоимости серийной машины.

Ориентировочная емкость рынка применения технологии составит около 600 млн руб до 2030 г. на при средней цене продажи 1 комплекта оборудования и софта до 500 тыс руб. без учета стоимости БАС (БВС-носителя).

Целевые сегменты потребителей результатов проекта

Потребители ожидаемых результатов работы:
- российские и иностранные эксплуатанты БВС;
- разработчики и производители БВС для эксплуатации в высоких широтах;
- компании - конечные потребители услуг БАС.

Основные потребители - крупные системообразующие компании Арктики, туристические

[23] А.В. Федотовских. Использование искусственного интеллекта для применения в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера [Электронный ресурс] // Известные ученые. Научные направления. - 20.08.2018. - URL: https://famous-scientists.ru/direction/view/225

операторы, логистические, строительные, маркшейдерские компании.

Реализация инвестиционных проектов в Арктической зоне РФ по освоению природных ресурсов компаниями - потенциальными потребителями БВС и их услуг повлечет за собой восстановление и развитие авиационного сообщения. В первую очередь, это интересы крупного бизнеса и участие государства в логистических и инфраструктурных проектах.

Эксплуатация БВС в Арктике накладывает ряд специфичных для этой территории экономических реалий. Среди них: «северное удорожание», повышенная стоимость топлива, сложная логистика. Однако стоимость любого нового БВС несоизмерима со стоимостью нового даже самого небольшого пилотируемого ВС, исключая дельтапланы и дельталеты, воздушные шары и иные аппараты сверлегкой (сверхмалой) авиации, имеющие низкую экономическую эффективность и сильно подверженные внешним условиям.

Экономическая выгода подталкивает предприятия к принятию решений по использованию БВС вместо использования классических видов услуг - как авиационных, так и неавиационных. Этот процесс начался всего около 5 лет назад, находится в начальной стадии, но будет неуклонно развиваться.

Анализ динамики рынка определен Росавиацией

Рис. 13. Динамика рынка БАС.

Появление аппаратов, функционирующих без участия человека, означает увеличение эффективности, повышение безопасности и в перспективе снижение затрат на основную деятельность.

Модель коммерциализации

Важно отметить, что проект первоначально задуман как некоммерческий, реализует популяризаторскую задачу продвижения регионов Арктической зоны РФ как высокотехнологичных. Руководитель представленной работы является ответственным за направление «Цифровизация Арктической зоны РФ» в Координационном совете по развитию Северных территорий и Арктики Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП). Однако концепция проекта меняется в связи с необходимостью реальной эксплуатации БВС и презентации потенциальным заказчикам.

Модель коммерциализации: модель лицензирования. Получение прибыли от НИОКР и интеллектуальных активов, не вкладывая средства в коммерциализацию.Обладание технологическим заделом. Технология может создать критическую массу или способствовать принятию выгодного стандарта для всех БВС, летающих в труднодоступных территориях.

Предложение о включении пункта о применении БВС, оснащенных нейросетями, для туристической отрасли направлено в Ростуризм для включения в Дорожную карту по развитию туризма в АЗ РФ. В 2022 г. работа будет сосредоточена на внесении предложений

по развитию БАС в профильные ФОИВ в части нормативно-правового регулирования и эксплуатации БАС: создание пилотных полигонов в Арктике; обоснование создания нормативно-регуляторных «песочниц» для активизации эксплуатации гражданских БВС. Подана заявка на грант «Особенности разработки и эксплуатации гражданских беспилотных авиационных систем с технологиями искусственного интеллекта в Арктической зоне Российской Федерации» в Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ). Начато сотрудничество с экспертами по техническому заданию технологического конкурса Up Great Национальной технологической инициативы (НТИ) в области беспилотных авиационных грузоперевозок. Инициативы по внедрению БАС с системами ИИ в Арктике поддерживают Норильский городской Совет депутатов, Союз авиастроителей, туристическая компания «Арктик Эдвенчер», спортивно-туристический комплекс «Оль-Гуль» и другие компании. В проекте заинтересованы туроператоры, логистические компании, производители БВС.

Дополнительная информация

Итоги проекта актуальны для ученых, специалистов, работающих в промышленности в области создания беспилотных авиационных систем, научных сотрудников и аспирантов, специалистов, работающим в сфере беспилотной авиации. Результаты исследования будут полезна также для студентов средних-специальных и высших учебных заведений, обучающихся по профильным специальностям, в т.ч. «Эксплуатация беспилотных авиационных систем» поскольку ее содержание соответствует программам специальных профессиональных дисциплин. Особая аудитория издания - потенциальные заказчиков услуг с применением беспилотных воздушных судов: российские и иностранные эксплуатанты БВС; разработчики и производители БВС для эксплуатации в высоких широтах; компании - конечные потребители услуг БАС.

Отметим, что одним из сдерживающих факторов внедрения беспилотной авиации в РФ является отсутствие у организаций - возможных конечных эксплуатантов техники или потребителей сервисных услуг практического опыта их использования, а также отсутствие теоретически обоснованных рекомендаций по выбору БВС и аппаратуры с определенными параметрами для выполнения необходимых задач.

В настоящее время командой разрабатывается ИНС-штурман. Проблема применения БВС в Арктике - плохое навигационное и связное обеспечение. Плохое навигационное обеспечение связано с низким показателем доступности радиовидимости спутниковых навигационных аппаратов, влиянием ионосферы, технологической погрешностью, связанной с несовершенством инерциальных бортовых систем. Определение координат БВС в подобных условиях может быть выполнено: с использованием дополнительного бортового оборудования; автономно с использованием штатного (целевого) оборудования на БВС. Одним из подходов, направленных на повышение степени автоматизации управления БВС является также использование нейронных сетей. Решаются две задачи:

1. Описать нейросеть способную прогнозировать траекторию полета БВС без спутниковой навигации или в процессе задержки сигнала со спутников на основе машинного зрения (сопоставление рельефа места нахождения с картой).

2. Создать нейросеть, которая позволит нивелировать или уменьшить задержку сигнала со спутниковых навигационных систем или эмулировать такой сигнал. При попадании в «мертвую» зону (без GPS) на любом промежутке полёта данные камеры БВС корректируют погрешность инерциальной навигационной системы для получения информации о положении в пространстве (крен, тангаж). Такое сопоставление позволяет устранить временное отсутствие получения координат (положения) от систем спутниковой навигации и продолжать полет по заданному первоначально маршруту или близкому к нему.

Отзывы, заключения

Положительные отзывы и заключения на работу получены от различных предприятий, организаций и учреждений, среди них: «Союз авиастроителей» (Москва, вице-президент Кувшинов С.В.), Норильский городской Совет депутатов (председатель Пестряков А.А.), Спортивно-туристический комплекс «Оль-Гуль» (Норильск, директор Киселева П.В.) и других. Предложение о включении пункта о применении БВС, оснащенных нейросетями, для туристической отрасли направлено в Федеральное агентство по туризму в марте 2021 г. для включения в Дорожную карту по развитию туризма в Арктической зоне РФ.

Список используемых сокращений

GPS - англ. Global Positioning System - система глобального позиционирования
БАС, БАК - беспилотная авиационная система, беспилотный авиационный комплекс
БВС, БПЛА, БЛА (англ.: UAV, UAS, Counter UAS, C-UAS, UTM) - беспилотное воздушное судно, беспилотный летательный аппарат вертолетного или самолетного типа, иные названия: дрон, коптер, беспилотник, бот, квадрокоптер, мультикоптер и др.
БКУ - бортовой комплекс управления
ВС - воздушное судно
ГЛОНАСС - глобальная навигационная спутниковая система
ГО - глубинное обучение
ИИ, AI (англ. Artificial Intelligence) - искусственный интеллект, искусственный разум
ИНС, НС - искусственная нейронная сеть, нейронная сеть
КП, КДП - командный пункт, командно-диспетчерский пункт
ЛА - летательный аппарат
МЗ - машинное зрение
МО - машинное обучение
НПУ, НСУ - наземная станция управления, наземный пункт управления
РАЕ - Российская Академия Естествознания
РАН - Российская академия наук
РСПП - Российский союз промышленников и предпринимателей
САУ - система автоматического управления
СМУ - сложные метеорологические условия
СНС - спутниковая навигационная система (GPS, ГЛОНАСС)
СТЗ - система технического зрения
ТТХ - тактико-технические характеристики
ЦУП, ПУП - центр управления полетами, пункт управления полетами

Библиографический список

1. «Искусственный интеллект в Арктике» представлен на ММКЯ - 2020 [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 05.09.2020. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/%C2%ABiskusstvennyij-intellekt-v-arktike%C2%BB-predstavlen-na-mmkya-2020.html
2. Digital Twins Day 2020 [Электронный ресурс] // TAdviser. - 29.09.2020. - URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F:Digital_Twins_Day_2020
3. NVIDIA разработали дрон с ИИ способный летать без GPS [Электронный ресурс] // DronoMania.ru. - URL: https://dronomania.ru/news/12517.html (дата обращения: 26.11.2020)
4. VII Международная научно-техническая конференция «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток» [Электронный ресурс] // Газпром ВНИИГАЗ. - 27.11.2018. - URL: https://vniigaz.gazprom.ru/events/2018/roogd2018/
5. А.А. Санько, И.В. Рожков, А.А.Шейников. Влияние ветра на систему угловой стабилизации беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. - 2015. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vetra-na-sistemu-uglovoy-stabilizatsii-bespilotnogo-letatelnogo-apparata
6. А.Созыкин. Пример поиска и распознавания объектов на изображении // GitHub,Inc.- 17.07.2018. - URL: https://github.com/sozykin/dlpython_course/blob/master/computer_vision/object_detection/object_detection_api.ipynb
7. В Арктике проведено картографирование территории с помощью дрона [Электронный ресурс] // Хибины.com. - 13.06.2019. - URL: https://www.hibiny.com/news/archive/193911/
8. В Москве представят умных роботов и искусственный интеллект для Арктики [Электронный ресурс] // Союз промышленников и предпринимателей Красноярского края - 14.10.2018. - URL: https://www.sppkk.ru/v-moskve-predstavjat-umnyh-robotov-i-iskusstvennyj-intellekt-dlja-arktiki/
9. В Москве состоялась конференция «Международные и социальные последствия использования технологий искусственного интеллекта» [Электронный ресурс] // Российский совет по международным делам. - 06.11.2018. - URL: https://russiancouncil.ru/news/v-moskve-sostoyalas-konferentsiya-mezhdunarodnye-i-sotsialnye-posledstviya-ispolzovaniya-tekhnologiy/
10. В Стратегию развития Арктики 2035 включены проекты арктических отделений РСПП [Электронный ресурс] // Российский союз промышленников и предпринимателей. - 27.10.2020. - URL: https://rspp.ru/events/news/v-strategiyu-razvitiya-arktiki-2035-vklyucheny-proekty-arkticheskikh-otdeleniy-rspp-5f98031eb27d8/
11. В.А. Бухалёв, А.А. Скрынников, В.А. Болдинов. Алгоритмическая помехозащита беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // М.: Физматлит. - 2018. - URL: https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2079106
12. Д.А. Михайлин. Нейросетевая система управления посадкой самолетного типа для беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] // Каталог диссертаций. Диссертация кандидата технических наук. - 1999. - URL: https://www.dissercat.com/content/neirosetevaya-sistema-upravleniya-posadkoi-samoletnogo-tipa-dlya-bespilotnogo-letatelnogo-ap
13. Дата-центры - тренд развития цифровых технологий в Арктике [Электронный ресурс] // Российский союз промышленников и предпринимателей. - 07.11.2019. - URL: http://рспп.рф/events/news/data-tsentry-trend-razvitiya-tsifrovykh-tekhnologiy-v-arktike/
14. Для картографирования в целях туризма в Арктике использован дрон [Электронный ресурс] // Российский союз промышленников и предпринимателей. - 13.06.2019. - URL: https://old.rspp.ru/photo/set/2109?s=2&p=6
15. И.Е. Кузнецов, А.В. Мельников, Е.А. Рогозин, О.В. Страшко. Методика учета влияния метеорологических факторов на эффективность применения беспилотных летательных аппаратов на основе системного анализа [Электронный ресурс] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2018. - №45(2): 125-139. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-ucheta-vliyaniya-meteorologicheskih-faktorov-na-effektivnost-primeneniya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-na-osnove
16. И.С. Степусь, С.В. Шабаева. Настоящее и будущее рынка труда регионов Арктической зоны России: востребованные профессии [Электронный ресурс] //Непрерывное образование: XXI век. – 2019. – Вып. 3 (27).- URL: https://lll21.petrsu.ru/journal/article.php?id=5026
17. Инновационные аппараты на фестивале «НЕБО: теория и практика» [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 27.05.2019. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/innovaczionnyie-apparatyi-na-festivale-%C2%ABnebo-teoriya-i-praktika%C2%BB.html
18. Использование БАС в туризме и спасании на Крайнем Севере обсудили на HeliRussia 2020 [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 18.09.2020. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/ispolzovanie-bas-v-turizme-i-spasanii-na-krajnem-severe-obsudili-na-helirussia-2020.html
19. Круглый стол «Перспективы развития малой авиации в Арктической зоне Республики Саха (Якутия)» [Электронный ресурс] // Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия). - 04.12.2020. - URL: https://arktika.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3248082
20. Круглый стол по развитию Арктической зоны России [Электронный ресурс] // Ассоциация Европейского Бизнеса. - 28.02.2020. - URL: https://aebrus.ru/ru/news/round_table_on_the_russian_arctic_development/
21. Л.А. Мирзоян. Нейросетевая система планирования полета группы беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // Каталог диссертаций. Диссертация кандидата технических наук. - 2007. - URL: https://www.dissercat.com/content/neirosetevaya-sistema-planirovaniya-poleta-gruppy-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov
22. Медицинские дроны: как использовались беспилотники в борьбе с COVID-19 [Электронный ресурс] // РБК Тренды. - 16.07.2020. - URL: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5f0f36809a794761ccf8a89e
23. Московский Международный Салон Образования 2019. Итоги [Электронный ресурс] // Российская Академия Естествознания. - 15.04.2019. - URL: https://rae.ru/ru/conferences/chronicle_mmso2019.html

24. На конференции ИНИОН РАН представлено использование БПЛА в Арктике [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 20.12.2019. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/na-konferenczii-inion-ran-predstavleno-ispolzovanie-bpla-v-arktike.html
25. Национальный Совет при Президенте утвердил создание Комиссии по профессиональным квалификациям в сфере БАС [Электронный ресурс] // Ассоциация эксплуатантов и разработчиков беспилотных авиационных систем. - 25.05.2020. - URL: https://aeronet.aero/press_room/news/251920
26. Оператор БПЛА для разведки месторождений [Электронный ресурс] // Атлас новых профессий. - URL:https://atlas100.ru/catalog/dobycha-i-pererabotka-poleznykh-iskopaemykh/operator-bpla-dlya-razvedki-mestorozhdeniy/ (дата обращения: 20.12.2020)
27. П.Чернышов. «Газпром нефть» внедряет в Арктике беспилотные технологии [Электронный ресурс] // Комсомольская правда (Ямал). - 23.04.2020. - URL: https://www.yamal.kp.ru/daily/27121/4204242/
28. Подготовка кадров для цифровой экономики поможет эффективности бизнеса [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 15.10.2020. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/podgotovka-kadrov-dlya-czifrovoj-ekonomiki-pomozhet-effektivnosti-biznesa.html
29. Председатель РСПП-Заполярье вошел в состав ТК «Искусственный интеллект» [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 19.07.2019. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/predsedatel-rspp-zapolyare-voshel-v-sostav-tk-%C2%ABiskusstvennyij-intellekt%C2%BB.html
30. Презентация на конференции Digital Twins Day 2020 [Электронный ресурс] : https://www.tadviser.ru/images/f/f6/10._%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80.pdf
31. Профессиональный стандарт «Специалист по эксплуатации беспилотных авиационных систем, включающих в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов с максимальной взлетной массой 30 кг и менее» [Электронный ресурс] // Министерство труда и социально защиты Российской Федерации. - 23.07.2018. - URL: https://mintrud.gov.ru/uploads/magic/ru-RU/Document-0-8561-src-1535017720.628.docx
32. Профстандарты для Арктики 2050 в новом журнале «Арктическое обозрение» [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 30.10.2020. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/profstandartyi-dlya-arktiki-2050-v-novom-zhurnale-%E2%80%9Carkticheskoe-obozrenie%E2%80%9D.html
33. Публикуем итоги Общего собрания Клуба [Электронный ресурс] // Клуб авиастроителей. - 20.12.2019. - URL: http://www.as-club.ru/news/publikuem_itogi_obshhego_sobranija_kluba/2019-12-20-292
34. РСПП, САФУ и НАНОК обсудили вопросы подготовки кадров для регионов Арктической зоны и Крайнего Севера [Электронный ресурс] // Российский союз промышленников и предпринимателей. - 08.05.2017. - URL: https://old.rspp.ru/regionalnews/view/14365
35. Свертка // PPT-online. - https://ppt-online.org/688178 (дата обращения 23.03.2021)
36. Стартовало обсуждение модельной конвенции по робототехнике и AI [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 20.05.2019. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/startovalo-obsuzhdenie-modelnoj-konvenczii-po-robototexnike-i-ai.html
37. Т. Алиреза. Выбор оптимальной стратегии полета транспортного вертолета с помощью методов искусственного интеллекта [Электронный ресурс] // Каталог диссертаций. Диссертация кандидата технических наук. - 1999. - URL: https://www.dissercat.com/content/vybor-optimalnoi-strategii-poleta-transportnogo-vertoleta-s-pomoshchyu-metodov-iskusstvennog
38. Цифровые двойники в Арктике на Digital Twins Day 2020 [Электронный ресурс] // КС РСПП по развитию Северных территорий и Арктики. - 28.09.2020. - URL: http://www.rspp-arctic.ru/vyisokie-texnologii/czifrovyie-dvojniki-v-arktike-na-digital-twins-day-2020.html
39. Что такое искусственный интеллект? [Электронный ресурс] // AIPORTAL. – URL: http://www.aiportal.ru/articles/introduction/ai.html (дата обращения: 26.11.2020)