

**Бочаров Никита Алексеевич** – ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»; e-mail: bocharov.na@phystech.edu; Москва, Россия; тел.: +79167346437; к.т.н.; начальник отдела.

**Зуев Александр Геннадьевич** – e-mail: Alexander.G.Zuev@mcst.ru; начальник отдела.

**Славин Олег Анатольевич** – ИСА ФИЦ «Информатика и управление» РАН; e-mail: oslavin@isa.ru; Москва, Россия; д.т.н.; зав. лабораторией.

**Bocharov Nikita Alexeevich** – PJSC «Brook INEUM»; e-mail: bocharov.na@phystech.edu; Moscow, Russia; cand. of eng. sc.; chief of department.

**Zuev Alexander Gennadevich** – e-mail: Alexander.G.Zuev@mcst.ru; chief of department.

**Slavin Oleg Anatolevich** – ISA FRC “Computer Science and Control” RAS; e-mail: oslavin@isa.ru; Moscow, Russia; dr. of eng. sc.; head of the laboratory.

УДК 528.722.4

DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-271-281

**А.М. Федулин, Д.М. Дрягин**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРУПНОРАЗМЕРНЫХ БПЛА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ**

*Целью приведенного в настоящей работе исследования является оценка перспективности применения крупноразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) большой продолжительности полета для решения задачи регулярного комплексного обследования территорий большой площади относительно других применяемых для этого средств, таких как: малоразмерные БПЛА, космические аппараты для дистанционного зондирования Земли и пилотируемые летательные аппараты. Рассмотрен вопрос практического построения программно-аппаратного комплекса бортовой системы технического зрения на основе крупноразмерного БПЛА «Орион» взлетной массой более тонны, обеспечивающего аэрофотографическую съемку в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне и воздушное лазерное сканирование подстилающей поверхности с автоматической обработкой получаемых данных на борту в режиме времени, близком к реальному, с целью выявления произошедших с предыдущего обследования интересующих изменений. Определены ключевые составные части системы технического зрения, включая требуемую для решения функциональных задач программно-аппаратную платформу для обеспечения высокопроизводительных вычислений и хранения больших объемов данных. В работе приведена перспективная архитектура построения такой системы, даны расчетные оценки по ее поисковой производительности, массе и потребляемой мощности, определена типовая высота выполнения полетов, обеспечивающая пространственное разрешение получаемой видовой информации, необходимое для надлежащей работы алгоритмов объектно-ориентированного распознавания интересующих изменений, построенных на машинном обучении сверточных нейронных сетей. Предложены организационно-технические решения по ускорению цикла обработки данных, с учетом требований законодательства в части рассекречивания данных аэросъемки. Полученные в ходе выполнения работы результаты подтверждают, что после выдачи БПЛА «Орион» Федеральным агентством воздушного транспорта сертификата типа воздушного судна, дающего право выполнения коммерческих полетов в общем воздушном пространстве Российской Федерации, на его базе с использованием современных технологий съемки и интеллектуальной обработки данных можно будет реализовать аэросъемочный комплекс высокой производительности и степени автономности, тактико-технические и экономические характеристики которого будут на порядки превосходить существующие на данный момент решения, особенно для труднодоступных районов страны.*

*Крупноразмерный БПЛА; диверсификация БПЛА; система технического зрения; ретроспективный анализ; автоматическая обработка данных аэросъемки; объектно-ориентированное выявление изменений; нейронные сети.*

A.M. Fedulin, D.M. Driagin

## PROSPECTS OF MALE-CLASS UAVS USING FOR THE HUGE TERRITORIES AERIAL SURVEY

*The aim of the study is to estimate the MALE-class (Medium Altitude Long Endurance) UAV (Unmanned Air Vehicles) using possibility to solve the problem of regular aerial survey of huge areas relative to other means used for this, such as: small-sized UAVs, satellite remote sensing and manned aircrafts. Considered is the issue of practical construction of onboard computer vision system based on a UAV "Orion" with a takeoff weight of more than a ton, which provides aerial photography in the visible and near infrared range and airborne laser scanning of the underlying surface with automatic processing of the received data on board in near real-time mode detecting the changes occurred since the previous survey. It has been determined the key components of the computer vision system both the hardware and software platform required high-performance computing and big-data storage. It has been presented a promising architecture, given estimates for its search performance, weight and power consumption, determined the typical flight altitude, which provides the input data spatial resolution, which is necessary for object-oriented change detection algorithms, based on a convolutional neural networks machine learning. It has been proposed organizational and technical solutions to speed up the data processing cycle, taking into account the requirements of the legislation regarding the declassification of aerial survey data. The results obtained confirm that after the issuance of the Orion UAV by the Federal Air Transport Agency of the aircraft type certificate, which gives the right to perform commercial flights in the shared airspace of the Russian Federation, it will be possible to implement an aerial survey complex of high productivity and degree of autonomy using cut of the edge CV & ML technologies. It seems the tactical, technical and economic capabilities of which proposed will be orders of magnitude superior to the currently existing solutions especially for hard-to-reach regions.*

*MALE-class UAV; computer vision systems; automatic aerial images processing; neural networks; aerial image change detection.*

**Введение.** Одним из важнейших вопросов социально-экономической повестки является комплексное развитие территорий, ключевым драйвером которого может стать эффективное обеспечение конечных потребителей актуальной семантической информацией о местности и расположенных на ней объектах. На основе таких данных исполнительные органы государственной власти могут проводить инвентаризацию работ по благоустройству дорожной сети, дворовых территорий, выявлять незаконные свалки, вырубки, нецелевое использование земельных участков и множество других задач различного уровня, где требуется принятие управленческих решений на основе точной и актуальной информации. Коммерческие организации вместо того, чтобы заказывать локальные работы по картографированию, смогут через цифровые сервисы получить доступ к интересующим их регулярно обновляемым данным, чтобы оценить актуальное состояние пространственной инфраструктуры, такой как линий электропередач, трубопроводы, лесные и сельскохозяйственные угодья и пр. Особенно эффективно такой подход может применяться для районов Дальнего Востока и Сибири с огромными по площади территориями с относительно неразвитой наземной инфраструктурой [1].

Традиционным методом решения указанной задачи является аэросъемка территории оснащенными специализированной съемочной аппаратурой космическими или авиационными средствами, как беспилотными, так и пилотируемыми [2]. Очевидно, что решения на основе малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) не являются эффективными ввиду их малой производительности и отсутствия возможности применения нескольких средств аэросъемки, построенных на различных физических принципах. Российские космические аппараты для дистанционного зондирования Земли («Канопус-В», «Ресурс-П», «Метеор-М», «Электро-М») не могут обеспечить требуемое пространственное разрешение

съемки [3], а также имеют ограничения, связанные с применением в сложных метеорологических условиях, характерных для большинства регионов нашей страны. Таким образом, в настоящий момент единственным способом решения поставленной задачи является пилотируемая авиация. Однако, использование пилотируемых вертолетов и самолетов в среднем на 1–2 порядка дороже, чем их беспилотных аналогов, что при требуемых больших площадях приведет к экономической нецелесообразности их применения.

В 2019г. в Федеральное агентство воздушного транспорта была подана заявка на получение сертификата типа для БПЛА «Орион» (рис. 1) [4], первоначально разработанного для решения задач государственной авиации. Это первая заявка для аппаратов взлетной массой более одной тонны, летно-технические характеристики которых позволяют находиться в воздухе более 24 часов, неся при этом целевое оборудование массой до 200 кг с потребляемой мощностью до 2КВт.



Рис. 1. БПЛА «Орион» на выставке МАКС-2019

К настоящему времени концептуальные и технические вопросы диверсификации БПЛА такого класса для решения задач народного хозяйства не рассмотрены [5]. На первый взгляд кажется, что все технические решения с учетом сопоставимых массогабаритных и энергетических возможностей можно заимствовать из пилотируемой авиации. Однако, законодательная необходимость контрольного просмотра военным цензором исходных данных аэросъемки для их дальнейшего использования в открытом доступе с учетом регистрируемых за один полет объемов информации приведет к растягиванию цикла обработки до нескольких недель, что делает такой подход абсолютно неактуальным в контексте решаемых задач. Целью данной работы является описание методологии автономной аэросъемки территорий большой площади с использованием БПЛА «Орион», которая бы позволила ускорить до нескольких часов получение конечными потребителями информации, а также обоснование решений, применяемых в реализующей описанную методологию системе технического зрения (СТЗ).

**Методология аэросъемки.** Предлагаемый нами подход основывается на переносе всей обработки на борт и исключении из цикла крайне затратного по вычислительным ресурсам этапа формирования точного ортофотоплана, ограничившись выявлением на совмещенных исходных данных аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования методами объектно-ориентированного ретроспективного анализа интересующих изменений, объем которых при цикличности проведения полетов раз в несколько недель будет на порядки меньше, что позволит выполнить их контрольный просмотр за время не более нескольких часов (рис. 2). Получаемой при этом точности координат объектов будет более чем достаточно для привязки на местности.

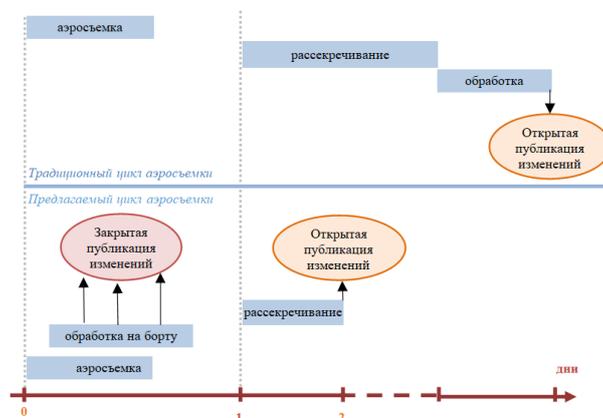


Рис. 2. Циклограмма работ по аэросъёмке

Более того, результаты обработки еще до контрольного просмотра могут быть оперативно переданы непосредственно с борта по защищенному спутниковому каналу в закрытые сегменты сетей органов государственной власти, так что к ним смогут получить доступ лица, имеющие соответствующий допуск. Это может оказаться крайне актуально, например, при мониторинге развития чрезвычайных происшествий или незаконных действий, требующих оперативной реакции.

Для реализации функции объектно-ориентированного выявления изменений местности непосредственно на борту в автоматическом режиме с достоверностью не менее 80–90 % необходимо выполнить аэросъёмку с пространственным разрешением не менее 10 см на пиксель [6]. Среди разработанных к настоящему моменту методов объектно-ориентированного анализа [7–12] наиболее перспективным видится алгоритм, который первоначально выполняет сегментацию изображений по классам с использованием нейросетевого подхода, а затем сравнения сегментированных изображений. На рис. 3 приводится пример работы такого алгоритма.

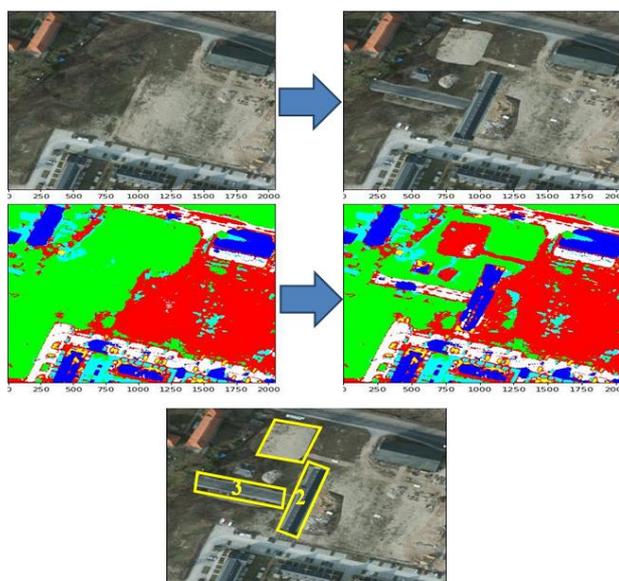


Рис. 3. Пример работы алгоритма анализа изменений

На двух верхних изображениях приводятся два аэрофотоснимка одной и той же местности, выполненные в разные периоды времени. На двух средних изображениях – результаты их сегментации с использованием сверточной нейронной сети U-Net [13], где красным цветом маркированы пустыри (поверхности без травяного покрова), зеленым цветом – газоны, бирюзовым – кустарники, белым – асфальтированные покрытия, а синим – строения (сооружения). Если попиксельно сравнить два сегментированных изображения, будут с высокой степенью достоверности выделены зоны объектовых изменений, которые обозначены на нижнем изображении: №1 – появление отсыпанной площадки на месте газона, №2 – появление здания на месте пустыря, №3 – появление асфальтированного покрытия на месте пустыря и газона.

Исходя из семантических изменений типа, достаточно легко определить, какие нарушения могли возникнуть при этом, и быстро проверить по имеющимся информационным базам данных, согласовано ли указанное использование территории с учетом известных координат объектов, а потом представить «подозрительные» случаи на окончательное рассмотрение лицам, принимающим решения.

**Технические решения, реализующие предложенную методологию.** С учетом изложенной выше методологии оценим возможность создания и реально достижимые характеристики подходящей для БПЛА «Орион» аппаратной платформы для автономной системы технического зрения (СТЗ), состоящей из нескольких разнотипных сенсоров, системы хранения данных, системы автоматической обработки, а также интерфейсов взаимодействия на базе существующего оборудования, первоначально разработанного для пилотируемой авиации.

Аэрофотографическую систему рассмотрим на примере Ultracam Condor Mark 1 фирмы Vexcel Imaging, масса которой составляет 64 кг при потребляемой мощности 350 ватт [14]. Данное изделие обеспечивает одновременную съемку в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Частота съемки составляет 1 кадр за 1,75 секунды, что при средней скорости полета 180 км/ч с учетом продольной проекции кадра в 500 метров обеспечит перекрытие соседних кадров порядка 80%. Такая степень перекрытия в том числе уменьшает вероятность «затенения» объекта в условиях нахождения БПЛА в зонах переменной облачности.

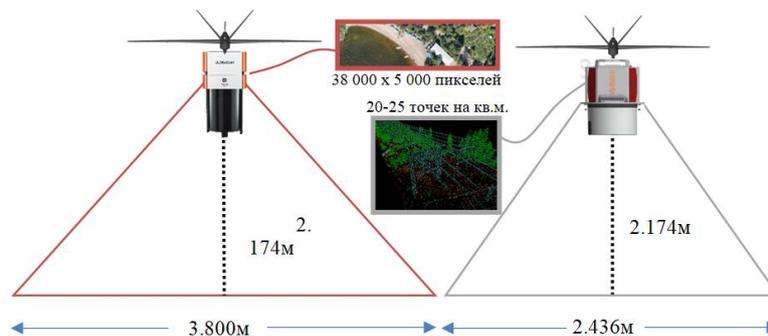


Рис. 4. Геометрические параметры устройств аэросъемки

Система воздушного лазерного сканирования (ВЛС) эффективно дополняет аэрофотографическую систему, значительно повышая точность привязки данных аэрофотосъемки, достоверность классификации объектов в сравнении с фотограмметрическими методами 3D-реконструкции рельефа и, как следствие, повышает скорость обработки до требуемого для данной задачи масштаба времени, близкого к реальному [15].

Для примера рассмотрим систему ВЛС RIEGL VQ-1560 II-S, масса которой составляет 60 кг при потребляемой мощности 370 ватт [16]. Данное изделие при скорости полета в 180 км/ч обеспечит получение облака точек 20-25 точек на квадратный метр.

Абсолютная поисковая производительность формирования фотоплана с разрешающей способностью 10 см на пиксель с получаемым таким образом поперечным перекрытием 35 % и облака точек плотностью 20–25 точек на кв. м. за 8 часов составит порядка 3500 кв. км. (рис. 4), что сопоставимо по размерам с Тосненским районом Ленинградской области. Для сравнения, применение малоразмерного БПЛА весом до 30 кг позволит снять за световой день порядка 50 кв. км. с указанной разрешающей способностью, т.е. для выполнения аналогичной работы понадобится 70 летних дней.

На рис. 5 приведен типовой профиль полета, соответствующий летно-техническим характеристикам БПЛА «Орион». Взлетев в аэропорту Новосибирска и сев через 10 часов в аэропорту Барнаула, БПЛА может обеспечить аэрофото-съемку бассейна Оби порядка 3 000 квадратных километров с заданной точностью 10 пикселей на квадратный метр.



Рис. 5. Типовой профиль полета БПЛА «Орион»

Суммарный объем данных, накопленный в ходе такого полета, составит порядка 16 500 снимков общим объемом около 14,5 Тб и около 70 млрд точек общим объемом порядка 1,5 Тб, что с учетом необходимости хранения данных за предыдущий полет потребует наличие системы хранения данных емкостью не менее 32 Тб.

Для реализации бортовых вычислений можно использовать доступные сопроцессоры общего назначения GPGPU [17]. Достоинством таких изделий помимо их высокой производительности является наличие большого количества прикладного программного обеспечения, обеспечивающего быстрый процесс создания функциональных программных модулей с использованием геоинформационных технологий, алгоритмов компьютерного зрения и нейронных сетей. Нарастивание вычислительной мощности обеспечивается за счет масштабирования числа GPGPU.

Примером реализации такого подхода является высокопроизводительная система Agile Condor (США) [18] (рис. 6), обрабатывающая в реальном масштабе времени непосредственно на борту получаемые от сенсоров данные.



Рис. 6. Вычислительная система Agile Condor для БПЛА MQ-1 Predator

Спецификация предлагаемой нами автономной СТЗ приводится в табл. 1. Как видно, предложенное решение по массе и потребляемой мощности соответствует заявленным летно-техническим характеристикам БПЛА «Орион».

Таблица 1

Спецификация СТЗ

Составная часть	Масса, кг	Мощность, ватт
Ultracam Condor Mark 1	64	350
RIEGL VQ-1560 II-S	60	370
Бортовой регистратор данных	6	50
Вычислительный кластер 40ТФлопс	12	150
Аппаратура шифрации	1	10
Бортовой спутниковый терминал	45	600
<b>ИТОГО:</b>	<b>188</b>	<b>1530</b>

Суммарно, схему работы СТЗ можно представить следующим образом (рис. 7).

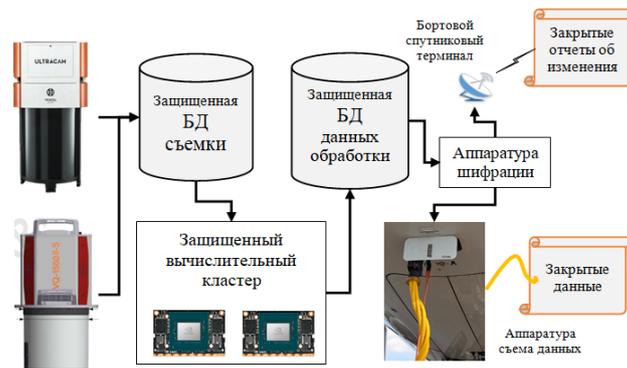


Рис. 7. Архитектура защищенной автономной СТЗ

В заключении описания предлагаемой архитектуры и технических решений необходимо отметить, что даже для изделий гражданской авиации крайне желательно строить элементы СТЗ на доверенной программно-аппаратной платформе, т.к. в противном случае нельзя исключить, что импортные компоненты, получая в процессе работы точную и детальную информацию о местности, могут передавать

ее за границу, минуя какие-либо проверки. Также, в [19] опубликован ряд практических способов информационных атак на применяемые для распознавания образов глубокие нейронные сети, которые были обучены на открытых наборах данных, что также накладывает ограничения на наземную инфраструктуру ведения баз знаний. В [20] рассмотрены сопроцессоры GPGPU, на основе которых в 2022–2023 гг. ожидается, можно будет создать отечественную аппаратную платформу СТЗ, перенеся на нее программное обеспечение, разработанное под импортную элементную базу.

**Заключение.** Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы.

Предложенная в работе методология комплексного обследования территорий большой площади с использованием крупноразмерных БПЛА сможет обеспечить значительное повышение оперативности доведения информации о произошедших изменениях до конечных потребителей за счет высокой поисковой производительности БПЛА данного класса, совместного использования средств аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования, а также достигнутых к настоящему моменту программно-аппаратных возможностей по их автоматическому выявлению непосредственно на борту.

Элементами научной новизны авторы считают приведенное в работе обоснование практической возможности в ближайшей перспективе создания такой высокопроизводительной бортовой вычислительной интеллектуальной системы (в том числе на доверенной отечественной элементной базе), которая может кардинально изменить методологию проведения аэросъемочных работ в масштабах страны.

В ближайшее время ожидается получение первым крупноразмерным БПЛА «Орион» сертификата типа воздушного судна, после чего в достаточно короткие сроки можно будет произвести его дооснащение описанной автономной системой технического зрения с целью проведения практической апробации полученного таким образом аэросъемочного комплекса в различных климатических и географических условиях по предложенной в настоящей работе методологии и получения реально достижимых технических и экономических оценок эффективности его применения относительно других способов и методов проведения аэросъемочных работ, особенно в удаленных малонаселенных районах РФ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шайтура С.В., Васкина М.Ю.* Комплексная цифровая модель мониторинга района // Геоэкология. – 2019. – № 4. – С. 71-76. – Doi: 10.24411/1816-1863-2019-14071.
2. *Журавлев Г.Р., Шаповалов Д.А.* Принципы и предложения использования результатов аэрофотосъемки, полученных с помощью БПЛА, в целях выявления незарегистрированных объектов недвижимости // Московский экономический журнал. – 2020. – № 6. – С. 135-143.
3. *Брагина Е.В., Черных Ж.В.* Современный уровень и тенденции развития группировки космических средств ДЗЗ в интересах получения оперативной космической информации о земной поверхности // Сб. трудов XXX Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь» по направлению секции «Совершенствование тактики действий спасательных воинских формирований МЧС России», Химки, 19 марта 2020 г. – 2020. – С. 27-37.
4. *Долженков Н.Н., Федюлин А.М., Дрягин Д.М.* Пути повышения автономности крупноразмерных беспилотных авиационных систем двойного назначения // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2020. – № 9. – С. 3-11.
5. *Костин А.С.* Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 1 (19). – С. 70-80.
6. *Quispe D., Sulla-Torres J.* Automatic Building Change Detection on Aerial Images using Convolutional Neural Networks and Handcrafted Features // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2020. – Vol. 11, No. 6. – P. 679-684.

7. *Huang X., Zhang L.* Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.* – 2012. – No. 2. – Vol. 5. – P. 161-172.
8. *Tang Y., Huang X., Zhang L.* Fault-tolerant building change detection from urban high-resolution remote sensing imagery // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.* – 2013. – No. 09. – Vol. 10. – P. 1060-1064.
9. *Huang X., Zhang L., Zhu T.* Building change detection from multitemporal high-resolution remotely sensed images based on a morphological building index // *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of.* – 2014. – No. 01. – Vol. 7. – P. 105-115.
10. *Wen D., Huang X., Zhang L., Benediktsson J.* A novel automatic change detection method for urban high-resolution remotely sensed imagery based on multiindex scene representation // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* – 2015. – No. 1. – Vol. 54. – P. 1-17.
11. *Dornaika F., Moujahid A., El Merabet Y., Ruichek Y.* Building detection from orthophotos using a machine learning approach: An empirical study on image segmentation and descriptors // *Expert Systems with Applications.* – 2016. – No. 3. – Vol. 58.
12. *Ji S., Wei S., Lu M.* Fully convolutional networks for multisource building extraction from an open aerial and satellite imagery data set // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* – 2018. – No. 8. – P. 1-13.
13. *Ronneberger O., Fischer P., Brox T.* U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // *MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science.* – Vol. 9351. – Springer, Cham.
14. ULTRACAM CONDOR MARK 1. – [https://www.vexcel-imaging.com/brochures/UC\\_Condor\\_M1\\_ru.pdf](https://www.vexcel-imaging.com/brochures/UC_Condor_M1_ru.pdf) (дата обращения: 14.02.2021).
15. *Гришина А.И., Рамазанов Р.Р., Глухов А.В., Левченко Е.Н.* Комбинирование методов наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для повышения эффективности контроля промышленного строительства // *Вектор ГеоНаук.* – 2020. – № 3. – С. 55-67. – Doi: 10.24411/2619-0761-2020-10032.
16. RIEGL VQ-1560 II-S. – [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/RIEGL\\_VQ-1560II-S\\_Preliminary-Datasheet\\_2020-10-05\\_01.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VQ-1560II-S_Preliminary-Datasheet_2020-10-05_01.pdf) (дата обращения: 14.02.2021).
17. *Vega A., Lin C., Swaminathan K., Buyuktosunoglu A., Pankanti S., Bose P.* Resilient, UAV-embedded real-time computing // 2015 33rd IEEE International Conference on Computer Design (ICCD), New York, NY, 2015. – P. 736-739. – Doi: 10.1109/ICCD.2015.7357189.
18. *Barnell M., Raymond C., Capraro C., Isereau D., Cicotta C., Stokes N.* High-Performance Computing and Machine Learning Demonstrated in Flight Using Agile Condor® // 2018 IEEE High Performance extreme Computing Conference», Waltham, MA, 25 - 27 September 2018, USA. 2018. – P. 1-4. – Doi: 10.1109/HPEC.2018.8547797.
19. *Федулин А.М., Горбачев В.С., Осадчук А.В.* Концептуальный подход к созданию наземной инфраструктуры машинного обучения систем технического зрения для беспилотной авиации // *Общероссийский научно-технический журнал «ПОЛЕТ».* – 2020. – № 11. – С. 32-38.
20. *Адамов А.А., Павлухин П.В., Биконов Д.В., Эйсымонт А.Л., Эйсымонт Л.К.* Альтернативные современным GPGPU перспективные универсальные и специализированные процессоры-ускорители // *Вопросы кибербезопасности.* – 2019. – № 4. – С. 13-21.
21. *Осипенко П.Н., Увкин И.В.* Блок тензорных вычислений для ускорения расчета искусственных нейронных сетей // *Наноиндустрия.* – 2020. – Т. 13, № S4 (99). – С. 261-262. – Doi: 10.22184/1993-8578.2020.13.4s.261.262.

## REFERENCES

1. *Shaytura S.V., Vaskina M.Yu.* Kompleksnaya tsifrovaya model' monitoringa rayona [Integrated digital area monitoring model], *Geoekologiya* [Geoecology], 2019, No. 4, pp. 71-76. Doi: 10.24411/1816-1863-2019-14071.
2. *Zhuravlev G.R., Shapovalov D.A.* Printsipy i predlozheniya ispol'zovaniya rezul'tatov aerofotos"emki, poluchennykh s pomoshch'yu BPLA, v tselyakh vyyavleniya nezaregistrovan-nykh ob"ektov nedvizhimosti [Principles and proposals for using the results of aerial photography obtained with the help of UAVs in order to identify unregistered real estate objects], *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2020, No. 6, pp. 135-143.

3. *Bragina E.V., Chernykh Zh.V.* Sovremennyy uroven' i tendentsii razvitiya gruppировки kosmicheskikh sredstv DZZ v interesakh polucheniya operativnoy kosmicheskoy informatsii o zemnoy poverkhnosti [Current level and trends in the development of a constellation of space-based DZ tools for the purpose of obtaining operational space information on the earth's surface], *Sb. trudov XXX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch'» po napravleniyu sektsii «Sovershenstvovanie taktiki deystviy spasatel'nykh voinskikh formirovaniy MChS Rossii», Khimki, 19 marta 2020 g.* [Proceedings of the XXX International Scientific and Practical Conference “Prevention. Rescue. Help” in the direction of the section “Improving the tactics of actions of rescue military units of the EMERCOM of Russia”, Khimki, 19 march 2020], 2020, pp. 27-37.
4. *Dolzhenkov N.N., Fedulin A.M., Dryagin D.M.* Puti povysheniya avtonomnosti krupno-razmernykh bespilotnykh aviatsionnykh sistem dvoynogo naznacheniya [Improvements of the MALE-class UAS autonomy], *Obshcherossiyskiy nauchno-tehnicheskii zhurnal «Polet»* [Journal «POLIOT»], 2020, No. 9, pp. 3-11.
5. *Kostin A.S.* Klassifikatsiya grazhdanskikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov i sfery ikh primeneniya [Classification of civil unmanned aerial vehicles and their scope of application], *Sistemnyy analiz i logistika* [System analysis and logistics], 2019, No. 1 (19), pp. 70-80.
6. *Quispe D., Sullá-Torres J.* Automatic Building Change Detection on Aerial Images using Convolutional Neural Networks and Handcrafted Features, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2020, Vol. 11, No. 6, pp. 679-684.
7. *Huang X., Zhang L.* Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2012, No. 2, Vol. 5, pp. 161-172.
8. *Tang Y., Huang X., Zhang L.* Fault-tolerant building change detection from urban high-resolution remote sensing imagery, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2013, No. 09, Vol. 10, pp. 1060-1064.
9. *Huang X., Zhang L., Zhu T.* Building change detection from multitemporal high-resolution remotely sensed images based on a morphological building index, *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, 2014, No. 01, Vol. 7, pp. 105-115.
10. *Wen D., Huang X., Zhang L., Benediktsson J.* A novel automatic change detection method for urban high-resolution remotely sensed imagery based on multiindex scene representation, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, No. 1, Vol. 54, pp. 1-17.
11. *Dornaika F., Moujahid A., El Merabet Y., Ruichek Y.* Building detection from orthophotos using a machine learning approach: An empirical study on image segmentation and descriptors, *Expert Systems with Applications*, 2016, No. 3, pp. 58.
12. *Ji S., Wei S., Lu M.* Fully convolutional networks for multisource building extraction from an open aerial and satellite imagery data set, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2018, No. 8, pp. 1-13.
13. *Ronneberger O., Fischer P., Brox T.* U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, *MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 9351. Springer, Cham.
14. ULTRACAM CONDOR MARK 1. Available at: [https://www.vexcel-imaging.com/brochures/UC\\_Condor\\_M1\\_ru.pdf](https://www.vexcel-imaging.com/brochures/UC_Condor_M1_ru.pdf) (accessed 14 February 2021).
15. *Grishina A.I., Ramazanov R.R., Glukhov A.V., Levchenko E.N.* Kombinirovanie metodov nazemnogo lazernogo skanirovaniya i aerofotos"emki s bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya povysheniya effektivnosti kontrolya promyshlennogo stroitel'stva [The Combining ground-based laser scanning and aerial photography from an unmanned aerial vehicle to improve the efficiency of industrial construction control], *Vektor GeoNauk* [Vector of Geosciences], 2020, No. 3, pp. 55-67. Doi: 10.24411/2619-0761-2020-10032.
16. RIEGL VQ-1560 II-S. Available at: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/RIEGL\\_VQ-1560II-S\\_Preliminary-Datasheet\\_2020-10-05\\_01.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VQ-1560II-S_Preliminary-Datasheet_2020-10-05_01.pdf) (accessed 14 February 2021).
17. *Vega A., Lin C., Swaminathan K., Buyuktosunoglu A., Pankanti S., Bose P.* Resilient, UAV-embedded real-time computing, *2015 33rd IEEE International Conference on Computer Design (ICCD), New York, NY, 2015*, pp. 736-739. Doi: 10.1109/ICCD.2015.7357189.
18. *Barnell M., Raymond C., Capraro C., Isereau D., Cicotta C., Stokes N.* High-Performance Computing and Machine Learning Demonstrated in Flight Using Agile Condor®, *2018 IEEE High Performance extreme Computing Conference», Waltham, MA, 25 - 27 September 2018, USA. 2018*, pp. 1-4. Doi: 10.1109/HPEC.2018.8547797.

19. Fedulin A.M., Gorbatshevich V.S., Osadchuk A.V. Kontseptual'nyy podkhod k sozdaniyu nazemnoy infrastruktury mashinnogo obucheniya sistem tekhnicheskogo zreniya dlya bespilotnoy aviatsii [General Approach to the Trusted Machine Learning of the UAV Computer-Vision Systems], *Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal «POLET»* [Journal «POLIOT»], 2020, No. 11, pp. 32-38.
20. Adamov A.A., Pavlukhin P.V., Bikonov D.V., Eysymont A.L., Eysymont L.K. Al'ternativnye sovremennym GPGPU perspektivnye universal'nye i spetsializirovannye protsessory-uskoriteli [Modern GPGPU alternative perspective universal and specialized processors-accelerators], *Voprosy kiberbezopasnosti* [Cybersecurity issues], 2019, No. 4, pp. 13-21.
21. Osipenko P.N., Uvkin I.V. Blok tenzornykh vychisleniy dlya uskoreniya rascheta iskusstvennykh neyronnykh setey [Tensor computing block for speeding up the calculation of artificial neural networks], *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2020, Vol. 13, No. S4 (99), pp. 261-262. Doi: 10.22184/1993-8578.2020.13.4s.261.262.

Статью рекомендовал к опубликованию доцент Д.А. Антонов.

**Федулин Андрей Михайлович** – АО «КТ – Беспилотные Системы»; e-mail: af@kronshtadt.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: 88124499090; директор центра разработки ПО.

**Дрягин Дмитрий Михайлович** – e-mail: dd@kronshtadt.ru; к.т.н.; генеральный директор.

**Fedulin Andrei Mikhaylovich** – JSC «КТ – UAV Systems»; e-mail: af@kronshtadt.ru; Saint-Petersburg, Russia; phone: +78124499090; software director.

**Driagin Dmitrii Mikhaylovich** – e-mail: dd@kronshtadt.ru; cand. of eng. sc.; chief executive officer.