

АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДРОНОВ И УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

¹Жигалов К.Ю., ²Емельянов А.М., ²Степанюк В.С.

¹Институт проблем управления им В. А. Трапезникова РАН, 117997, Россия, г. Москва Профсоюзная, 65, e-mail: kshakalov@mail.ru

²МИРЭА - Российский технологический университет», 119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 78, e-mail: ame3257240@gmail.com, stepanyuk.vladislav.1996@yandex.ru

Исследования в области связанной с самосборными платформами для дронов являются актуальными, из-за возрастающего интереса к применению технологий БПЛА в окружении человека. Применение дронов позволяет автоматизировать часть работ человека, переложив его функции на различные системы, ключевым звеном которых является беспилотный летательный аппарат. Однако у БПЛА есть существенный недостаток, выраженный в емкости батарей, и проблематики масштабирования размера. Для того, чтобы решить данную проблему предлагается применять самосборные дрон-станции, которые будут выступать в роли автономных пунктов запуска и зарядки дронов, а также использоваться в качестве канала связи между дроном и сервером. Такая станция берет на себя работу по налаживанию стабильного сигнала вокруг себя и транслирует его на соседние станции, за счет чего можно добиться хорошего покрытия в местах, где связь может отсутствовать в принципе. Эта разработка будет перспективна в труднодоступных областях, с целью расширения ареала работы беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: станция, самосборная платформа, дрон, БПЛА, bluetooth, gsm, rfid, wi-fi .

ASPECTS OF AUTOMATED INTERACTION BETWEEN DRONES AND UNIVERSAL PLATFORMS

¹Zhigalov K.Yu., ²Emelyanov A.M., ²Stepanyuk V.S.

¹V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences 117997, Russia, Moscow 65 Profsoyuznaya street, e-mail: kshakalov@mail.ru

²MIREA - Russian Technological University 119454, Russia, Moscow, Vernadsky Avenue, 78, e-mail: ame3257240@gmail.com, stepanyuk.vladislav.1996@yandex.ru

Research in the field of self-assembly platforms for drones is relevant, due to the growing interest in the application of UAV technologies in the human environment. The use of drones allows you to automate some of the work of a person, shifting his functions to various systems, the key element of which is an unmanned aerial vehicle. However, the UAV has a significant drawback, expressed in battery capacity, and the problem of size scaling, which also rests on it. In order to solve this problem, it is proposed to use self-assembled drone stations, which will act as autonomous points for launching and charging drones, and also be used as a communication channel between the drone and the server. Such a station takes over the job of establishing a stable signal around itself and broadcasts it to neighboring stations, due to which it is possible to achieve good coverage in places where there may be no connection at all. This development will be promising in hard-to-reach areas, in order to expand the range of operation of an unmanned aerial vehicle.

Keywords: station, self-assembly platform, drone, UAV, bluetooth, gsm, rfid, wi-fi.

Введение В контексте рассматриваемой статьи, в роли платформы выступает самосборная модульная дрон-станция. Эта технология является прямым продолжением применения дронов в различных исследованиях, проводимых человеком. Такие станции способны значительно расширить присутствие дронов в труднодоступных для человека местах. Ключевым элементом выступает возможности сборки самой станции без участия человека, силами дронов. Оператор работает только с программой, размещенной на сервере, куда поступает вся информация с сети станций. Его работа - поставить задание и определить координаты для развертывания платформы, после чего подтвердить или внести изменения в предложенной системой набор модулей для выполнения поставленной миссии. Основные направления для применения данной станции: картографирование местности, поисково-спасательные операции, мониторинг состояния роста агрокультур, сбор метео данных, анализ и разведка очагов пожаров в лесах.

Проблема: определение состояния станции дроном для получения основной информации в условиях отсутствия доступа к gsm или wi-fi. Реконфигурация станции под новые требования.

Алгоритм обмена информацией о состоянии станции и обработка потока данных построен на основании применения технологии GSM, которая позволяет в местах покрытия сразу передать всю необходимую информацию на сервера для дальнейшей обработки и использования.

Для решения поставленной задачи, было предложено использовать технологию дронов. Она так или иначе лежит в методике автономного возведения самосборной станции, как и в будущем планируется применять сменный модуль хаб-корзину для нескольких дронов. Тем самым можно достичь не только активного мониторинга и реконфигурации станций, но и наладить обмен относительно актуальной информации через передачу информации дронами.

Существует множество решений по беспроводной передаче информации, начиная от инфракрасного порта, вплоть до считывания qr-кодов и RFID меток, кратких обзор которых представлен в таблице 1. В данной статье разбираются и анализируются существующие возможности по обмену информацией между дроном и самосборной платформой.

Таблица 1. технологий беспроводной передачи для дрона

Технология	Ограничение объема данных	Скорость передачи	Дальность	Средне затраты энергии
QR код	до 2953 байт	Мгновенно	до 20м	375 мВт
ИК-порт	-	от 2.4 кбит/с до 16 Мбит/с	до 1м	85,8 мВт
RFID	до 256 бит	Мгновенно	до 500м	13,3 мВт
Bluetooth	до 4.2 Гб	до 2 Мбит/с	до 60 м	0,147 мВт.
Wi-Fi	-	до 100 Мбит/с	до 600м	210 мВт

Средние затраты энергии мВт и Дальность, м

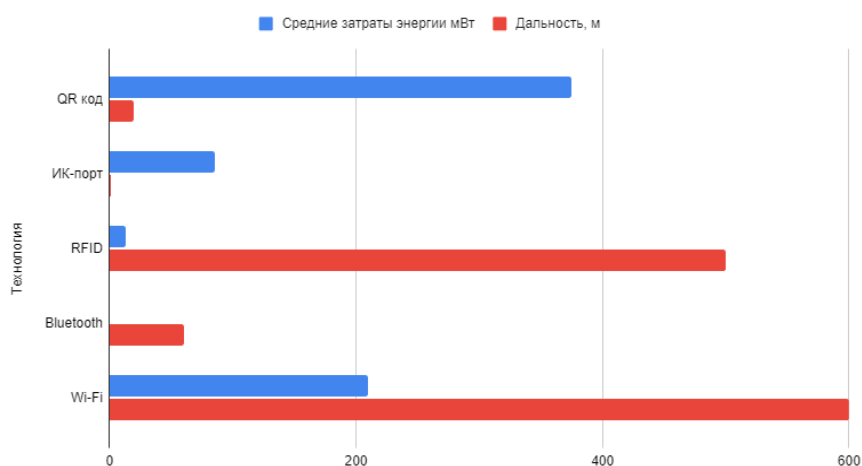


Рис. 1. Сравнительная диаграмма основных показателей способов связи

Затраты энергии в условиях необходимости её экономии существенны как для станции (из-за большого потенциального количества дронов), так и для дрона, соответственно видится необходимым применение комбинированного подхода к использованию технологий передачи данных.

Из таблицы выше видно, что для диагностики состояния станции или передачи небольшого критически важного сообщения достаточно, чтобы платформа сгенерировала на экран QR-код, который дрон может считать по пути, не затрачивая время и дополнительную энергию на длительную передачу информации.

Однако, если станция занята в активном мониторинге окружающей обстановки, или идут большие пакеты данных, сначала необходимо оценить размер передаваемого пакета.

Если пакет данных передающихся, с любой стороны, более 500 Мб, то после получения разрешения и обмена ключами через bluetooth, платформа запускает локальную Wi-Fi точку доступа, где будут переданы все необходимые данные за минимально короткий промежуток времени. Если размер пакета менее указанного, целесообразно передать пакет через bluetooth. К сожалению, обеспечить стабильное считывание данных через ИК-порт без посадки и фиксации дрона на станции достаточно сложная задача.

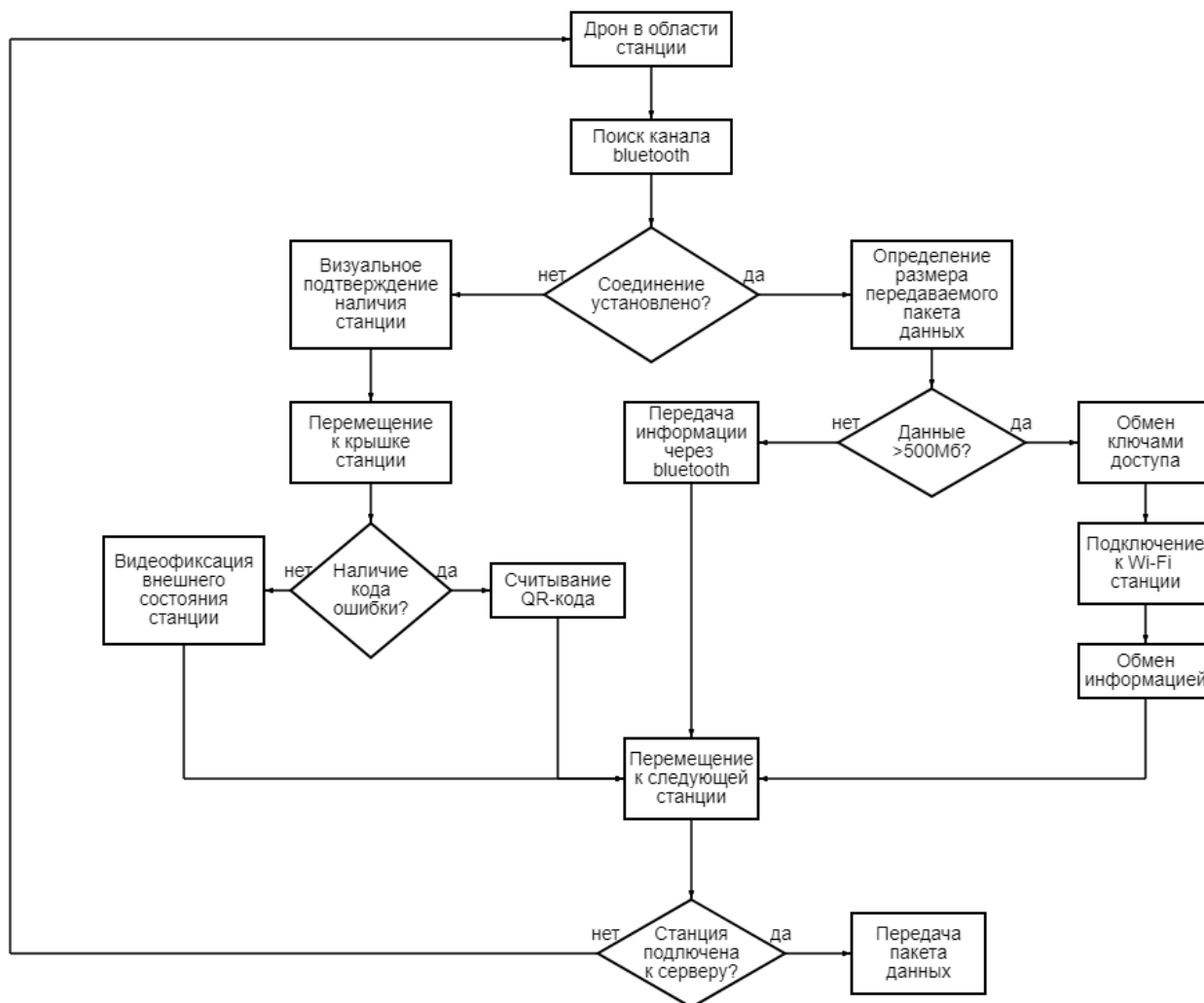


Рис.2. Алгоритм обновления информации о станциях через дрона

Дроны через определенные промежутки времени N циркулируют от станции к станции, с целью постоянного снятия информации и передачи его на сервер. Наличие такого алгоритма, как видно на рисунке 2 позволяет в случае обнаружения дроном неполадок произвести фотофиксацию внешнего состояния станции, благодаря чему оператор решает вопрос о необходимости в ремонте или замене блоков платформы. В качестве дублирующей системы контроля можно добавить на крышке дополнительную кнопку и световую индикацию или технический разъем для диагностики внутренних систем платформы, тем самым полностью автоматизировать процесс.

Технология передач информации может быть решена за счёт применения в станции направленных антенн, но имеется проблема в перекрытии видимости станций за счет наличия на пути сигнала различных препятствий, в т.ч. деревьев, холмов, снега.

Таблица 2 Анализ существующих типов антенн

Тип антенны	Описание
Микрополосковая	<p>Микрополосковые антенны относительно недороги в изготовлении и проектировании из-за простой 2-мерной физической геометрии. Они обычно используются на сверхвысоких и более высоких частотах, потому что размер антенны напрямую связан с длиной волны на резонансной частоте. Одна патч-антенна обеспечивает максимальное направленное усиление около 6-9 дБн. Относительно легко напечатать массив пятен на одной (большой) подложке, используя методы литографии. Матрицы патчей могут обеспечить гораздо более высокие коэффициенты усиления, чем один патч, при небольших дополнительных затратах; согласование и фазовую регулировку можно выполнять с помощью печатных микрополосковых структур подачи, опять же, в тех же операциях, которые формируют излучающие патчи. Возможность создания матриц с высоким коэффициентом усиления в низкопрофильной антенне является одной из причин, по которой патч-матрицы широко распространены на самолетах и в других военных приложениях.</p> <p>Преимуществом, присущим патч-антеннам, является способность иметь поляризационное разнесение. Патч-антенны могут быть легко сконструированы с вертикальной, горизонтальной, правой круговой (RHCP) или левой круговой (LHCP) поляризациями, с использованием нескольких точек подачи или одной точки подачи с асимметричной структурой патчей. Это уникальное свойство позволяет использовать патч-антенны во многих типах линий связи, к которым могут предъявляться различные требования.</p>
Бегущей волны	<p>Первое характерное свойство АБВ - это форма пространственной диаграммы направленности обладающей осевой симметрией. То есть независимо от плоскости, проходящей через ось излучателя - форма диаграммы одинакова.</p> <p>Второе характерное свойство - удовлетворительная направленность действия (у большинства АБВ), сохраняющаяся в широком диапазоне волн. Первое свойство проявляется тем больше, чем больше соотношение L/λ и чем выше осевая симметрия диаграммы направленности каждого излучающего элемента.</p>
Апертурные	<p>Характерной особенностью антенн такого типа является то, что в излучении участвуют сравнительно большие проводящие поверхности, по которым протекают токи высокой частоты. Токи на поверхности могут иметь различные направления, меняющиеся от точки до точки.</p> <p>Апертурные антенны – это антенны с поверхностными токами. По принципу действия, конструкции и методам излучения они существенно отличаются от проволочных антенн. Проволочные антенны являются антеннами с линейными токами.</p> <p>Апертурные антенны принимаются в диапазоне СВЧ. Малая длина волны позволяет сконструировать антенну, размеры которых намного больше длины волны. Следовательно, возможно создание остронаправленных антенн, имеющих сравнительно небольшие размеры.</p> <p>Кроме того, возможно создание антенн, имеющие ДН особой формы, определяемой специальным назначением антенны.</p> <p>Небольшые размеры антенны позволяют делать их быстро подвижными, можно осуществлять перемещение одних частей антенны относительно других или даже вращать всю антенну с целью вращения ДН.</p>
Щелевая	<p>Резонансными щелевыми антеннами называют антенны, у которых расстояние между соседними щелями равно $\lambda_e/2$.</p> <p>Подобные антенны согласованы только в узкой полосе частот, а возбуждение её щелей получается синфазным, соответственно она излучает по нормали к оси антенны.</p> <p>Недостатком резонансных антенн является резкое изменение согласования антенны при изменении частоты. На частотах отличных от резонансных, расстояние между излучателями не равно $\lambda_e/2$, поэтому возбуждение щелей происходит неравномерно и не синфазно, искажается диаграмма направленности.</p>
Вибраторные	<p>Симметричным вибратором называется прямолинейный провод или металлический стержень, разделенный на две равные части и питаемый посередине. Одиночные вибраторные антенны являются слабо направленными. Для увеличения КНД и получения диаграммы направленности требуемой формы применяют многовибраторные антенны. Взаимное размещение вибраторов может быть различным, но, как правило, они идентичны, одинаково ориентированы и поэтому образуют систему, к которой можно применить правило перемножения диаграмм направленности.</p>

Для реализации поставленных задач лучше всего, из множества рассмотренных типов антенн, лучше всего подойдут антенны полоскового и микрополоскового типов. Основное преимущество заключается в простоте конструкции, малыми габаритами и массой, высокой технологичностью, хорошей воспроизводимостью размеров и электрических параметров, возможностью работы в двух- и многочастотных режимах, с линейной и круговой поляризациями, с двойной поляризацией. Также положительным качеством для поставленной задачи является удобство их применения в качестве элементов антенных решеток, причем использование печатной технологии существенно упрощает реализацию различных схем питания составляющих, — как наиболее простых последовательных, так и сложных разветвленных параллельных схем. Рабочие частоты полосковых (ПА) и микрополосковых (МПА) антенн и решеток могут составлять от сотен МГц до нескольких десятков ГГц.

Применение локальной WiFi сети только после получения ключа подтверждения от дрона необходимо для исключения дублирования передачи на остальные бпла в радиусе действия антенн и служит в качестве дополнительной защиты от несанкционированного доступа. В связи с тем, что самосборная станция имеет ограниченные запасы энергии, держать постоянно активную точку доступа не целесообразно. Однако следует

учитывать, что при необходимости станция может быть снабжена дополнительными аккумуляторами и усилителями сигнала WiFi с целью управления роём дронов.

Подключение новых блоков

В случае если оператор запрашивает изменение текущей задачи, платформа может реконфигурировать свою сборку в зависимости от модулей доступных к применению на складе основного хаба. Программа на сервере анализирует текущий состав модулей на каждой платформе, обеспечивает мониторинг существующих и поступающих на склад сменных элементов платформ и на основании этого делает вывод о перераспределении задачи выбранной платформы.

Программа меняет статус платформы в системе и отдельно получает всю информацию о текущем состоянии станции, подключенных модулях и процессе выполнения задач. В случае если станция находится вне зоны покрытия сетей связи, туда направляется дрон с пакетом информации для основного вычислительного устройства платформы с целью начала процесса реконфигурации модулей. Задачей дрона также ставится загрузка себе на устройство хранения, всей информации станции.

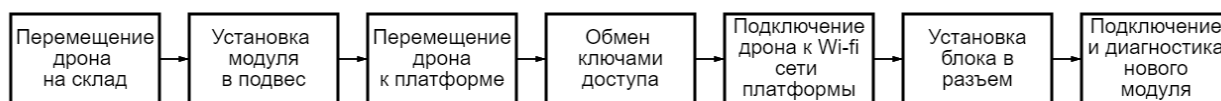


Рис.3. Алгоритм получения новых модулей платформой

Программа выбирает ближайшего к складу свободного дрона и дает ему набор задач по алгоритму на рисунке 3. На складе через оператора или автоматически через робота к дрону прикрепляют новый модуль для платформы, после чего идет его перемещение к заданной станции. В случае если ресурс аккумуляторов дрона не рассчитан на длину всего маршрута, программа выдает ему приоритетный доступ к платформам по пути с целью перезарядки или замены аккумуляторов.

По прибытию дрона к заданной станции, в случае если станция подключена к серверам, весь процесс по установке нового модуля берет на себя управляющая программа. Однако, если доступа к серверу нет, идет первичный обмен информацией через bluetooth и поднятие локальной точки доступа Wi-Fi со стороны платформы. Дальнейший процесс стыковки идет под управлением вычислительных модулей станции. Подключение к Wi-Fi необходимо для мониторинга процесса стыковки в режиме реального времени. Этому процессу отдается максимальный приоритет в конвейере задач, прочие выполняемые задания будут заморожены до конца процесса подключения нового модуля и диагностики его работы в случае нехватки вычислительных ресурсов платформы.

Для загрузки нового модуля в платформу, дрону необходимо провести строгое позиционирование по 4 маркерам по границе ячейки (рис.3), далее с применением лазерного дальномера начать плавно опускать модуль, пока станция не передаст сигнал о завершении процесса стыковки и подключения. После чего дрон открепляется от модуля и получив в случае необходимости (если станция вне зоны покрытия) пакет информации отправляется дальше по своим задачам. Если имеется необходимость в возврате обратно на центральный хаб, платформа также имеет возможность выдать дрону приоритетный доступ на зарядку по обратному маршруту

Заключение Многофункциональные платформы, совместно с автоматическими дронами способны существенным образом ускорить развитие некоторых труднодоступных регионов за счет автоматизации задач картографирования, доставки, мониторинга и т.д. Тем не менее, в комплексе, данные платформы представляют собой сложных механизм взаимодействующих между собой систем. Данное взаимодействие, происходящее в автоматическом режиме, иногда осложненное погодными условиями и различным спектром задач, влечет за собой большое количество различных аспектов и сложностей. Для их эффективной реализации основные аспекты должны быть рассмотрены отдельно и смоделированы. Рассмотренные в статье основные аспекты взаимодействия дронов с платформой, а также варианты их решения, позволяют повысить эффективность и скорость разработки многофункциональных модульных систем для решения широкого спектра задач, с возможностью широкой модернизации и динамической корректировки любого элемента системы.

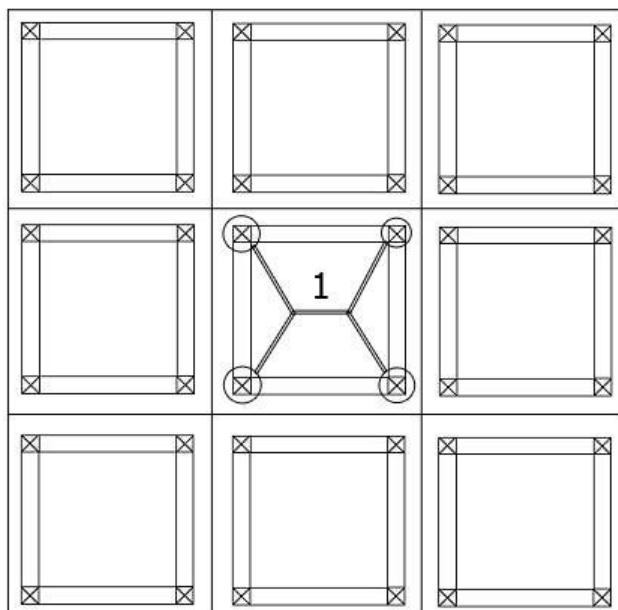


Рис. 3 Схематичное изображение ячейки центрального модуля с маркерами для позиционирования дрона

Список литературы

1. Царев, А. М. Беспилотные аппараты как путь к повышению эффективности логических процессов // Цифровая парадигма развития общества: взгляд из будущего: сборник научных трудов по итогам студенческой научно-практической конференции 26 апреля 2019 г. – Саратов: Саратовский социально-экономический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова", 2019. – С. 73 – 74.
2. Десницкий, В. А. Подход к обеспечению доступности в беспроводных сетях управления в чрезвычайных ситуациях / В. А. Десницкий, И. В. Котенко, Н. Н. Рудавин // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2018. — № 3. — С. 92-96.
3. Sefercik, Umut & Kavzoglu, Taskin & Colkesen, Ismail & Nazar, Mertcan & Ozturk, Muhammed Yusuf & Adah, Samed & Dinc, Salih. (2023). 3D positioning accuracy and land cover classification performance of multispectral RTK UAVs. 8. 119-128. 10.26833/ijeg.1074791.
4. Shakhathreh, Hazim & Sawalmeh, Ahmad & Al-Fuqaha, Ala & Dou, Zuochao & Almaitta, Eyad & Khalil, Issa & Othman, Noor & Khreishah, Abdallah & Guizani, Mohsen. (2019). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. IEEE Access. 7. 48572 - 48634. 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
5. Сорокин, А.А. Роевой интеллект и групповая робототехника в решении различных задач // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Казань, июль 2020 г.). — Казань: Молодой ученый, 2020. — С. 23-31.
6. Абрамов, М.М. Новые и перспективные направления применения беспилотных летательных аппаратов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, №. 3, 2022, С. 227-232.
7. Костин, П.И. Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве // Вестник науки и образования, № 1-2 (121), 2022, С. 60-62.
8. Хабаров, С.П., Шилкина, М.Л. Построение на базе задачи машины дубинса опорных траекторий движения объектов с учетом постоянных внешних воздействий // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, №. 1, 2022, С. 167-178.

References

1. Tsarev, A. M. Unmanned vehicles as a way to improve the efficiency of logical processes / A. M. Tsarev // Digital paradigm of social development: a look from the future: a collection of scientific papers based on the results of a student scientific and practical conference on April 26, 2019 - Saratov: Saratov Socio-Economic Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Plekhanov Russian University of Economics", 2019. - P. 73 - 74.
2. Desnitsky, V. A. Approach to ensuring availability in wireless control networks in emergency situations / V. A. Desnitsky, I. V. Kotenko, N. N. Rudavin // Problems of risk management in the technosphere. - 2018. - No. 3. - S. 92.

3. Sefercik, Umut & Kavzoglu, Taskin & Colkesen, Ismail & Nazar, Mertcan & Ozturk, Muhammed Yusuf & Adali, Samed & Dinc, Salih. (2023). 3D positioning accuracy and land cover classification performance of multispectral RTK UAVs. 8. 119-128. 10.26833/ijeg.1074791.
4. Shakhathreh, Hazim & Sawalmeh, Ahmad & Al-Fuqaha, Ala & Dou, Zuochao & Almaitta, Eyad & Khalil, Issa & Othman, Noor & Khreishah, Abdallah & Guizani, Mohsen. (2019). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. IEEE Access. 7. 48572 - 48634. 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
5. Sorokin, A. A. Swarm intelligence and group robotics in solving various problems / A. A. Sorokin, R. A. Kovalenko, E. A. Yakovleva. - Text: direct // Technical sciences: problems and prospects: materials of the VII Intern. scientific conf. (Kazan, July 2020). - Kazan: Young scientist, 2020. - S. 23-31.
6. Abramov M.M. New and perspective directions for the application of unmanned aerial vehicles // Proceedings of the Tula State University. Engineering Sciences, no. 3, 2022, pp. 227-232.
7. Kostin P.I. Use of unmanned aerial vehicles in forestry // Bulletin of Science and Education, no. 1-2 (121), 2022, pp. 60-62.
8. Khabarov S.P., Shilkina M.L. Construction on the basis of the problem of the dubins machine of objects' support trajectories with considering external influences // Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics, vol. 22, no. 1, 2022, pp. 167-178.