

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

А.А. Мазуров¹, О.А. Авилова¹, Е.А. Голова¹, В.И. Анциферова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В современных условиях наблюдается экспоненциальный рост применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сфере дистанционного зондирования. Особое внимание уделяется их использованию в агропромышленном комплексе, поисково-спасательных и военных операциях. Ключевым направлением развития данной технологии является внедрение возможностей автономной навигации и принятия решений непосредственно на борту аппарата. Предлагается архитектурно описать систему с открытым исходным кодом, которая позволит из подручных компонентов собрать готовый продукт, покрывающий описанные выше задачи.

Ключевые термины: бортовая система компьютерного зрения, беспилотные авиационные комплексы, автономное управление, дистанционное зондирование.

CONCEPT OF A FOREST PLOT DIGITAL TWIN: FROM IoT DATA COLLECTION TO COGNITIVE MODELS FOR RESOURCE MANAGEMENT

A.A. Mazurov¹, O.A. Avilova¹, E.A. Golova¹, V.I. Antsiferova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. In modern conditions, there is an exponential growth in the application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the field of remote sensing. Particular attention is paid to their use in the agro-industrial complex, search and rescue operations, and military operations. A key direction in the development of this technology is the introduction of autonomous navigation capabilities and decision-making directly on board the vehicle. The paper proposes an architectural description of an open-source system that will allow assembling a ready-made product from available components to cover the tasks described above.

Keywords: on-board computer vision system, unmanned aerial systems, autonomous control, remote sensing.

Введение

Сейчас всё больше людей хотят делать беспилотники, которые сами принимают решения прямо на борту – используют навигацию по путевым точкам и компьютерное зрение [1, 2]. Методы компьютерного зрения уже повсюду применяются в военных, гражданских и сельскохозяйственных задачах [3], а ещё для построения цифровых двойников местности [9]. Системы управления для маленьких БПЛА с фиксированным крылом использовали, чтобы сопровождать непредсказуемо движущиеся наземные объекты [4]. Обнаружение целей по информации из окружающей среды изучали Милютин с коллегами [5]. Ознамец [6] тоже исследовал компьютерное зрение для автономности дронов – фокусировался на навигации по камере, воздушном наблюдении и визуальной SLAM (одновременная локализация и картографирование). Усачев, Коваль и другие [7] рассматривали методы посадки БПЛА с помощью компьютерного зрения – чтобы дрон сам находил ориентиры. Для проверки точности использовали смоделированное видео полёта [8]. Жребин с коллегами описали алгоритм визуального сопровождения для посадки БПЛА на произвольную площадку. Алгоритм работал в реальном времени, его оценивали по аэрофотоснимкам с реальных посадочных полётов и вручную размеченной базе данных. Результаты показали, что алгоритм устойчиво сопровождает посадочную площадку и даёт точность, достаточную, чтобы замкнуть контур управления по картинке.

Цель работы: сконструировать бюджетную систему с полностью открытым кодом (и для «мозгов», и для «железа»), которая подойдет для дрона весом до двух килограммов – вроде тех, что делает DJI. Собираем мы её из двух китов. Первый – это миниатюрный и дешевый компьютер Raspberry Pi 2, который работает как «мозг» на Linux. Второй – доступный на рынке автопилот Pixhawk, тоже с открытой архитектурой. Связка простая: Raspberry Pi управляет камерой, гоняет алгоритмы обработки картинки и в реальном времени следит, куда летит дрон.

Архитектура системы

Как всё это соединено воедино, показано на рисунке 1. Вся магия обработки изображений происходит прямо в полёте, на борту, на Raspberry Pi 2. К нему, как глаз, подключена камера. Пиксель и автопилот Pixhawk (управляющий

полётом) общаются через последовательный порт, а язык их общения – протокол MAVProxy. Плюс, Raspberry Pi прихватил с собой GPS, чтобы не просто видеть, но и знать точные координаты мест, где сделаны снимки, и передавать их на землю.

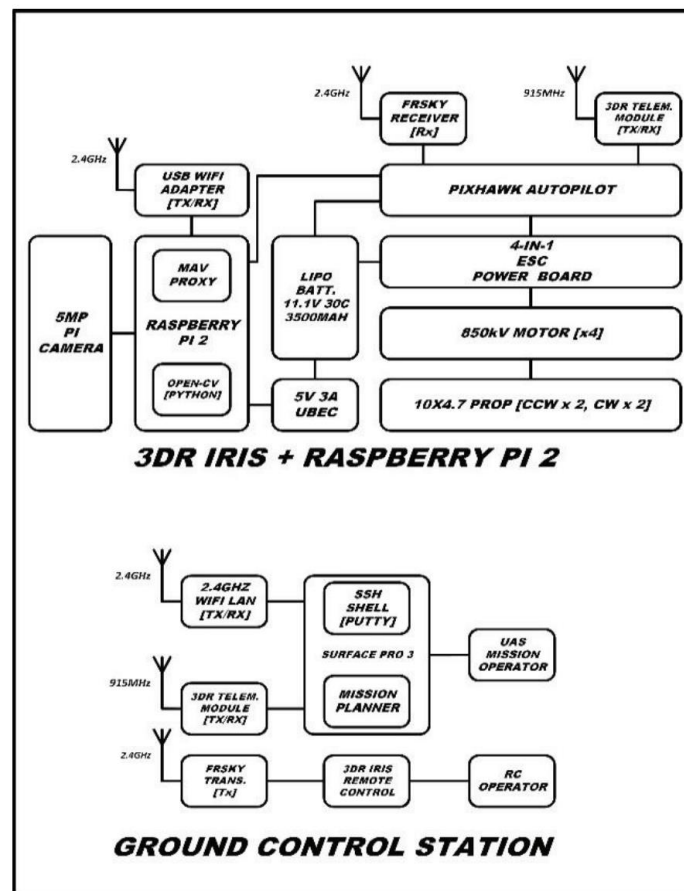


Рисунок 1 – Общая архитектура системы

1. БПЛА

Аппаратная часть дрона – рама 3DR IRIS от 3D Robotics. Он выдерживает на борту до 425 граммов полезной нагрузки [10, 11]. Питается от аккумулятора на 5 ампер-часов – энергии хватает минут на 15–20 неспешного полёта [10]. Главный пилот – автопилот Pixhawk, внутри которого целый арсенал датчиков: акселерометр, гироскоп, барометр и магнитный компас, и все они работают в связке с другими системами [10, 12]. Четыре мотора создают тягу. Два вращаются по часовой стрелке, два – против, за счёт чего дрон управляет креном, наклоном и поворотом. На каждом моторе – пропеллер 10×4,7 [10].

2. Бортовой компьютер

Raspberry Pi 2 и автопилот соединены специальным телеметрическим кабелем с 6-контактным разъёмом DF13, дополненным самодельными проводами-

переходниками. Разъём DF13 подключается ко второму телеметрическому порту Pixhawk (Telem2). Это сделано так, что Mission Planner (наземный софт) и Raspberry Pi могут получать телеметрию одновременно – на случай, если один канал откажет. После подключения провода соединяют последовательный порт Raspberry Pi с «землёй» (Tx, Rx, Gnd).

3. MAVProxy

MAVProxy – это программа, которая играет роль наземной станции управления (GCS). Её задача – служить курьером между дроном и землёй, пересылая данные по протоколу MAVLink. В основе разработки лежит Dronekit от 3D Robotics, который установлен на Raspberry Pi 2. Именно Dronekit позволяет свести воедино картину с камеры и данные с датчиков Pixhawk, делая систему по-настоящему «видящей».

4. Компьютерное зрение

Обработку изображений мы писали на OpenCV и с использованием MAVProxy. Оба инструмента дружат с Python, поэтому управление дроном и алгоритмы компьютерного зрения удалось реализовать в одной программе. Высокую точность цветового обнаружения получили за счёт бинаризации и поиска контуров. Бинаризация отсекает лишние пиксели, оставляя только те, что попадают в заданный цветовой диапазон [1]. А контурные функции OpenCV дают информацию о том, где именно находятся эти пиксели цели. На рисунке 2 показано, что бортовая программная система состоит из пяти этапов. Сначала БПЛА взлетает на заданную высоту и начинает выполнение миссии (этап 1).

На этапе 2 БПЛА летит к следующей путевой точке. Функция предварительной проверки определяет наличие цели в кадре изображения. Она разработана для повышения эффективности обработки изображений. Если цель обнаружена с помощью бинаризации, предварительная проверка инициирует функцию сопровождения цели.

Бортовая программная система

Функция сопровождения определяет положение цели в декартовой системе координат (X, Y), которое передаётся в модуль оценки местоположения цели. Текущее местоположение БПЛА в GPS-координатах также передаётся в модуль оценки (этап 3). Функция оценки местоположения цели выполняет задачи определения магнитного курса БПЛА на основе текущего и предыдущего

местоположения и оценку местоположения цели в GPS-координатах, которые передаются на следующий этап.

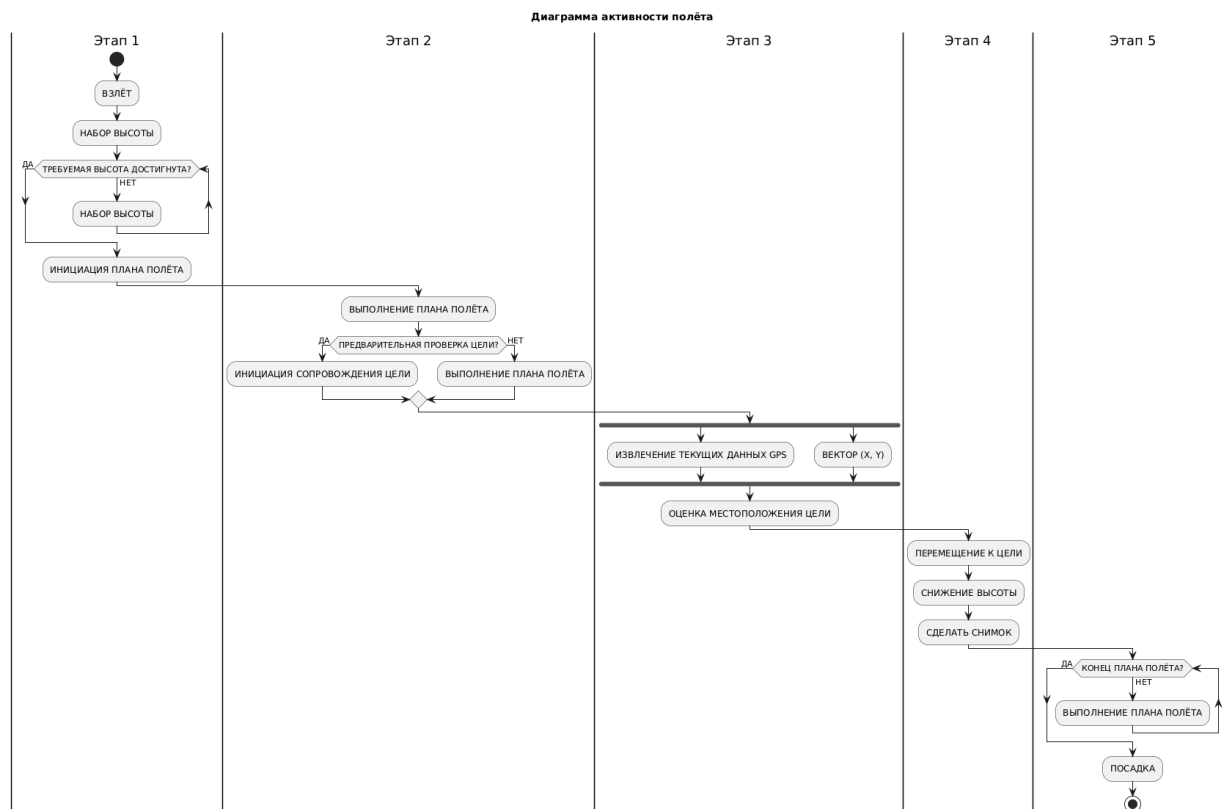


Рисунок 2 – Диаграмма активности полета

Широта и долгота добавляются как новая путевая точка через MAVProху. Высота БПЛА изменяется функцией снижения высоты в зависимости от пользовательских настроек; в данном случае высота уменьшается для более детального осмотра цели. Функция съёмки делает фотографию на новой высоте или в новой точке. После этапа 4 план полёта обновляется. Если оставшиеся путевые точки существуют, этапы 2-4 повторяются, иначе БПЛА совершает посадку и завершает миссию.

Этот процесс является полностью автономным, так как после запуска этапа 1 дополнительный ввод от оператора не требуется.

Результат испытаний

Испытания проводили в контролируемой среде и разбили на два теста. Первый тест – проверяли, работает ли алгоритм обнаружения, а ещё как система определяет, где находится цель. Второй тест – проверяли, правильно ли проходят все этапы (с 1-го по 10-й).

Тест 1

На этапе 4 функции снижения высоты и съёмки были заменены функцией посадки. БПЛА летел к цели и совершал посадку рядом с ней (рисунок 3). Результаты показали, что оценённое местоположение цели было близко к реальному, а алгоритм обработки изображений корректно работал во время полёта. Пять повторений теста дали среднее отклонение от цели 87 см.

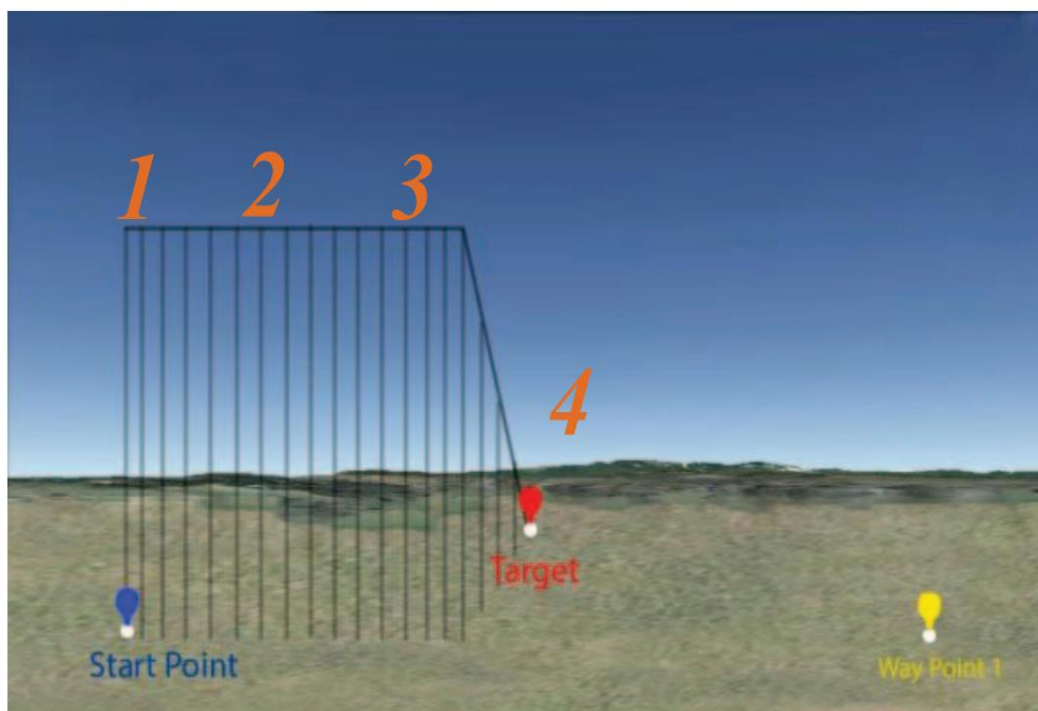


Рисунок 3 – Тест 1

Тест 2

Как показано на рисунке 4, мы задали конечную путевую точку. Когда дрон обнаруживал цель, он летел к ней на высоте два метра, а потом возвращался на исходную траекторию. Затем беспилотник садился в конечной точке, и миссия завершалась. На четвёртом этапе процесс «Сделать снимок» сохранял два изображения – исходное и бинаризованное (то, по которому дрон принимал решения). Рисунки 5А и 5В показывают, как алгоритм видит цель: бинаризация RGB-картинки отсекает всё лишнее и оставляет только красную цель на пустом фоне.

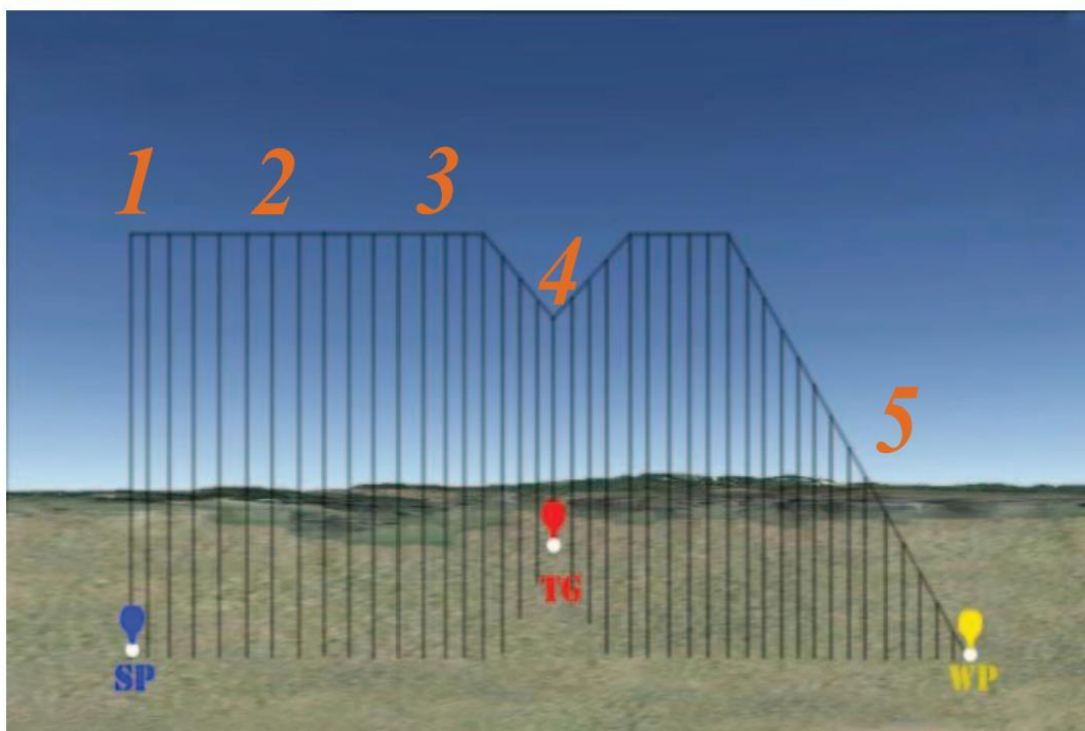


Рисунок 4 – Тест 2

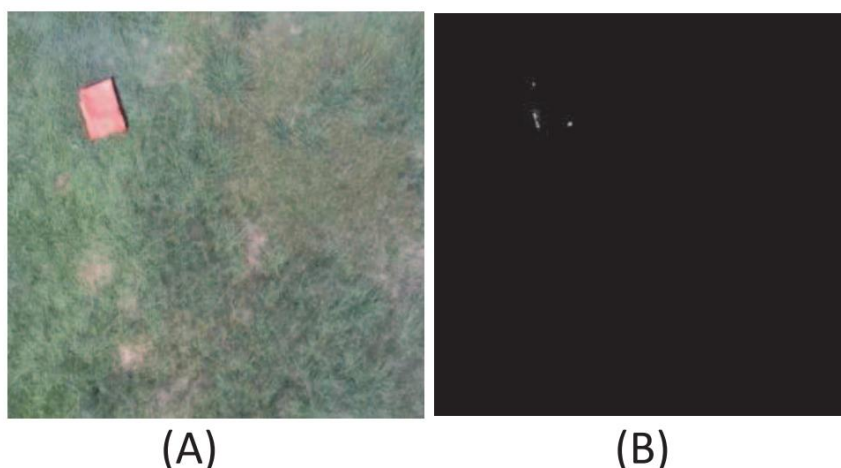


Рисунок 5 – Захват кадра при обнаружении цели и бинаризация

Заключение

В статье мы рассмотрели, как можно принимать решения прямо на борту беспилотника весом до двух килограммов. Система объединяет библиотеки OpenCV на Python с MAVProху – это позволяет Raspberry Pi 2 динамически менять план полёта, когда алгоритмы обработки изображений находят цель. Результаты показывают, что дрон обнаруживает цель прямо на борту с точностью 99 процентов.

Дальше систему можно развивать – например, использовать для прототипирования в точном земледелии или лесном хозяйстве. Сейчас мы работаем над

тем, чтобы заменить обычную RGB-камеру на инфракрасную и написать под неё соответствующий Python-код.

Список литературы

1. Порфирьева М. А. Обзор основных показателей аграрной индустрии России в 2023 году / М. А. Порфирьева // Студенческая наука - первый шаг в академическую науку : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11 классов. – Чебоксары, 2025. – С. 1198-1200.
2. Системная инженерия в проблемах национальной безопасности / Анищенко А.В., Артемьев В.Б., Бондарева М.К., Будзко В.И., Бурмака А.А., Бычков И.В., Васильев В.И., Вульфин А.М., Гаденин М.М., Гарбук С.В., Гедзюн В.С., Головин С.А., Емельянов С.Г., Жуков А.О., Зацаринный А.А., Зорин А.В., Игнатьев А.Г., Капустин., А.Я., Климов С.М., Козлов С.В. и др. Тематический блок «Национальная безопасность». – Москва, 2025.
3. Ловушкин, А. И. Анализ и оценка качества информационного сопровождения деятельности ИТ-компаний / А. И. Ловушкин, Д. Б. Спиридонов, А. А. Канаев // Аналитические технологии в социальной сфере: теория и практика. – 2023. – С. 9-16.
4. Интеллектуальная система мониторинга и адаптации маршрута беспилотных летательных аппаратов на основе нейросетевого анализа объектов риска / Сергеев Д.А., Родионов Д.Г., Поляков П.А., Голиков Г.И., Старченкова О.Д., Дмитриев Н.Д., Конников Е.А. // Программные системы и вычислительные методы. – 2025. – № 1. – С. 55-70.
5. Жаркова, В. В. Использование беспилотных летательных аппаратов для экологического мониторинга магистральных нефтепроводов / В. В. Жаркова, О. С. Сизов, Н. Е. Лобжанидзе // Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2023. – № 5 (314). – С. 59–65.
6. Кремчеев, Э. А. Состояние метрологического обеспечения систем мониторинга на базе беспилотных воздушных судов / Э. А. Кремчеев, А. Д. Данилов, Ю. Д. Смирнов // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 585–592.
7. Айроян, З. А. Мониторинг магистральных нефтегазопроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов / З. А. Айроян, О. А. Коркишко, Г. В. Сухарев // Вестник Евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 2.

8. Жеребин, А. М. Концепция мониторинга поверхности с применением беспилотных летательных аппаратов / А. М. Жеребин, В. В. Залуговская, Л. А. Маслова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 3. – С. 7–14.
9. Милютин, А. И. Системы связи для мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов / А. И. Милютин, В. М. Тютюнник // Информационные процессы, системы и технологии. – 2025. – Т. 6, № 2 (34). – С. 45–52.
10. Ознамец, В. В. Применение беспилотных летательных аппаратов для пространственного мониторинга / В. В. Ознамец // Конструкторское бюро. – 2018. – № 3. – С. 21–27.
11. Современные технологии управления группой беспилотных летательных аппаратов / Н. Н. Усачев, Г. М. Коваль, И. Я. Стрелецкий, С. А. Синдеев // Теория и практика защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций : сб. науч. тр. – М., 2025. – С. 112–119.
12. Морозова Г. Ф. Использование беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных пожаров : материалы научно-практической конференции. – 2024. – С. 88–94.
13. Голова, Е. А. Концепция цифрового двойника лесного участка от сбора ИОТ данных к когнитивным моделям для управления ресурсами / Е. А. Голова, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов, научно-технический журнал. – 2026. – Т. 19, № 1.

References

1. Porfiryeva M.A. Review of the Main Indicators of the Russian Agricultural Industry in 2023 // Student Science - the First Step into Academic Science : materials of the All-Russian Student Scientific and Practical Conference with the Participation of 10th-11th Grade Schoolchildren. Cheboksary, 2025. Pp. 1198-1200.
2. Systems engineering in problems of national security / Anishchenko A.V., Artemiev V.B., Bondareva M.K., Budzko V.I., Burmaka A.A., Bychkov I.V., Vasilyev V.I., Vulfin A.M., Gadenin M.M., Garbuk S.V., Gedzyn V.S., Golovin S.A., Emel'yanov S.G., Zhukov A.O., Zatsarinny A.A., Zorin A.V., Ignatiev A.G., Kapustin, A.Ya., Klimov S.M., Kozlov S.V. and others. Thematic block "National Security". – Moscow, 2025.

3. Lovushkin A.I., Spiridonov D.B., Kanaev A.A. Analysis and assessment of the quality of information support for the activities of IT companies // Analytical technologies in the social sphere: theory and practice. 2023. Pp. 9-16.
4. Intelligent system for monitoring and adapting the route of unmanned aerial vehicles based on neural network analysis of risk objects / Sergeev D.A., Rodionov D.G., Polyakov P.A., Golikov G.I., Starchenkova O.D., Dmitriev N.D., Konnikov E.A. Software systems and computational methods. 2025. No. 1. Pp. 55-70.
5. Zharkova V. V., Sizov O. S., Lobzhanidze N. E. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Environmental Monitoring of Main Oil Pipelines // Environmental Protection in the Oil and Gas Complex. – 2023. – No. 5 (314). – Pp. 59–65.
6. Kremcheev E. A., Danilov A. D., Smirnov Yu. D. State of Metrological Support for Monitoring Systems Based on Unmanned Aerial Vehicles // Notes of the Mining Institute. – 2019. – Vol. 235. – Pp. 585–592.
7. Airoyan Z. A., Korkishko O. A., Sukharev G. V. Monitoring of Main Oil and Gas Pipelines Using Unmanned Aerial Vehicles // Bulletin of Eurasian Science. – 2022. – Vol. 14, No. 2.
8. Zherebin A. M., Zalugovskaya V. V., Maslova L. A. Concept of surface monitoring using unmanned aerial vehicles // Bulletin of computer and information technologies. – 2017. – No. 3. – Pp. 7–14.
9. Milyutin A. I., Tyutyunnik V. M. Communication systems for monitoring using unmanned aerial vehicles // Information processes, systems and technologies. – 2025. – Vol. 6, No. 2 (34). – Pp. 45–52.
10. Oznamets V. V. Application of unmanned aerial vehicles for spatial monitoring // Design bureau. – 2018. – No. 3. – Pp. 21–27.
11. Usachev N. N., Koval G. M., Streletskiy I. Ya., Sindeev S. A. Modern technologies for controlling a group of unmanned aerial vehicles // Theory and practice of protecting the population and territories from emergency situations: collection of scientific papers. – Moscow, 2025. – Pp. 112–119.
12. Morozova G. F. Using unmanned aerial vehicles in monitoring forest fires : materials of the scientific and practical conference. – 2024. – Pp. 88–94.
13. Golova E. A., Antsiferova V. I. The concept of a digital twin of a forest area from IOT data collection to cognitive models for resource management // Modeling of systems and processes, scientific and technical journal. 2026. Vol. 19, No. 1.