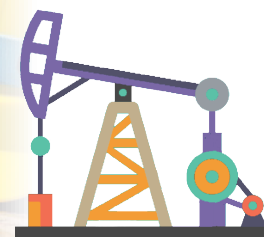


Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности



DOI 10.52209/1609-1825_2023_3_103

УДК 004.9

Система разведки и мониторинга лесных пожаров на базе БПЛА

^{1*}КАЛИЕВ Данияр Исатайулы, докторант, инженер-исследователь, daniyar.kaliyev96@gmail.com,

¹ШВЕЦ Ольга Яковлевна, к.т.н., ассоциированный профессор, olga.shvets75@gmail.com,

¹НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. А.К. Протозанова, 69,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель работы – разработка системы мониторинга лесных пожаров в режиме реального времени с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА). В данном исследовании предлагается система мониторинга лесных пожаров на базе квадрокоптера, в основе которой лежит радиоуправление с наземной станцией с использованием системы геолокации. Такой подход обеспечивает эффективное применение БПЛА как в автоматическом, так и в ручном режиме с помощью бортовой навигационной аппаратуры и средств управления. Аппаратная система построена с использованием контроллера ArduPilot и различных датчиков, таких как GPS, гироскоп, датчик температуры, датчик расстояния и цифровые камеры. Проведены летные испытания для оценки точности системы позиционирования. Результаты показывают, что применение БПЛА является эффективным способом борьбы с пожарной обстановкой в дополнение к существующим методам и технологиям решения оперативных задач обнаружения пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, БПЛА, квадрокоптер, система мониторинга лесных пожаров, пожарная разведка, дроны, лесная охрана, лесное хозяйство, лесопожарный мониторинг, беспилотный летательный аппарат, система мониторинга, обнаружение лесных пожаров, навигационная система, удаленный мониторинг, цифровые датчики.

Введение

Каждый год происходит множество лесных пожаров, опустошающих миллионы гектаров леса. Помимо уничтожения флоры и фауны, эти

пожары также уничтожают инфраструктуру и, к сожалению, иногда приводят к человеческим жертвам среди пожарных и гражданских лиц, которые могут быть случайно окружены огнём.

Для стран, где леса покрывают значительную территорию, таких как Казахстан, лесные пожары являются проблемой государственного масштаба. Хотя Казахстан является малолесной страной, площадь лесного фонда (совокупность всех лесов и земель лесного хозяйства) составляет 30,4 млн га, из них покрытых лесом 13,3 млн га (11% территории страны). Ежегодно регистрируется до 1000 лесных пожаров общей площадью до 100 тыс. га. В среднем сумма ущерба от лесных пожаров в год составляет больше 2 млрд тенге. Очевидно, что для многих стран мира, обладающих значительными лесными ресурсами, в том числе и для Казахстана, важно как можно раньше обнаружить пожар, определить его точное местонахождение и ликвидировать. Таким образом, мониторинг и раннее обнаружение пожаров являются двумя ключевыми факторами, которые позволяют пожарным действовать надлежащим образом, не допуская неуправляемых масштабов пожара. Поэтому мы предлагаем менее затратный и более эффективный способ выполнения задач пожарной разведки, ранее выполнявшихся авиацией.

В последние годы БПЛА приобретают все большее значение для мониторинга окружающей среды, с одной стороны, предоставляя данные из удаленных и труднодоступных районов, а с другой, снижая затраты на проведение необходимых исследований традиционными полевыми методами, повышая при этом эффективность работы. Использование БПЛА в составе противопожарных комплексов решает ряд проблем, связанных с нехваткой персонала, труднодоступностью территорий, необходимостью минимизировать воздействие присутствия человека, при проведении лесохозяйственных работ определять оперативные данные о пожаре [1, 2]. Современный уровень технологий значительно расширил возможности БПЛА, делая их автономными системами различных конструктивных форм конструкции и назначения. Благодаря использованию различных камер и оперативной автоматизированной обработке полученной информации, дроны могут использоваться для наблюдения за состоянием лесов, дорог, эффективностью лесохозяйственных мероприятий [3]. Использование технологии компьютерного зрения в системе мониторинга с использованием БПЛА позволит автоматически обнаруживать возгорания в режиме реального времени и предупреждать о них.

Материалы и методы исследования

Применение БПЛА на данный момент ограничивается частными случаями при решении производственных задач, преимущественно в экспериментальном порядке. При проведении мониторинга лесных пожаров основной технологической задачей является выполнение миссий полетов на малой высоте (до 75 м) на удалении от пульта управления до 5 км с возможностью изменения места старта. Каждый лесной пожар

необходимо контролировать с воздуха с момента его обнаружения до полной ликвидации для принятия оперативных мер. С целью обнаружения пожаров необходимо выполнять до 7-8 полетов в сутки. Для решения этой задачи оптимально использовать БПЛА с дальностью полета от 2 км до 6 км и временем полета от 15 до 60 мин, что соответствует наземному патрулированию [4]. В данной статье предлагается использование системы навигационного управления БПЛА, которые позволяют выполнять полеты для мониторинга и обнаружения лесных пожаров с применением методов обработки цифровых данных. Предлагаемая система основана на радиоуправлении с наземного пульта оператором и использовании спутниковой навигационной системы, определяющей навигационные параметры с высокой точностью [5]. Система предназначена для мониторинга в режиме реального времени, при котором осуществляется сбор данных с датчиков и камер с помощью БПЛА. Конфигурацию системы можно увидеть на рисунке 1.

В настоящее время на рынке представлено множество БПЛА разных классов, с совершенно разными техническими характеристиками. Учитывая огромный рынок беспилотных летательных аппаратов, наиболее предпочтительными являются квадрокоптеры, которые могут использоваться в самых разных областях и очень эффективны для поисково-спасательных и разведывательных операций. Мы предлагаем использовать квадрокоптеры, поскольку их преимуществами являются компактность, возможность взлета и посадки в достаточно ограниченных условиях, возможность изменения скорости полета до нуля (режим зависания) для получения детальных изображений и видеопоследовательностей. Сбор данных осуществляется с помощью датчиков, которые являются дешевым и эффективным способом безопасного мониторинга и обнаружения лесных пожаров [6]. В настоящее время доступно большое количество датчиков, и многие из них достаточно надежны, чтобы помочь оперативно реагировать и принимать дальнейшие решения пожарным службам. Цифровые датчики DS18B20 измеряют температуру окружающей среды в диапазоне от -55°C до 125°C с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, и могут быть полезны для удержания дрона в безопасной зоне, что означает, если температура превышает пороговое значение, квадрокоптер не должен следовать по маршруту. Датчик газа MQ135 (также известные как детекторы газа) обнаруживают и идентифицируют различные типы газов (углекислый газ, аммиак, бензин, дым). Измерения могут быть полезны для обнаружения возгорания, например, для измерения повышенной концентрации углекислого газа. Датчики ветра с анемометром измеряют скорость и направление ветра и предоставляют полезную информацию для пожарных, так как скорость ветра существенно влияет на лесные пожары. Кроме того, есть

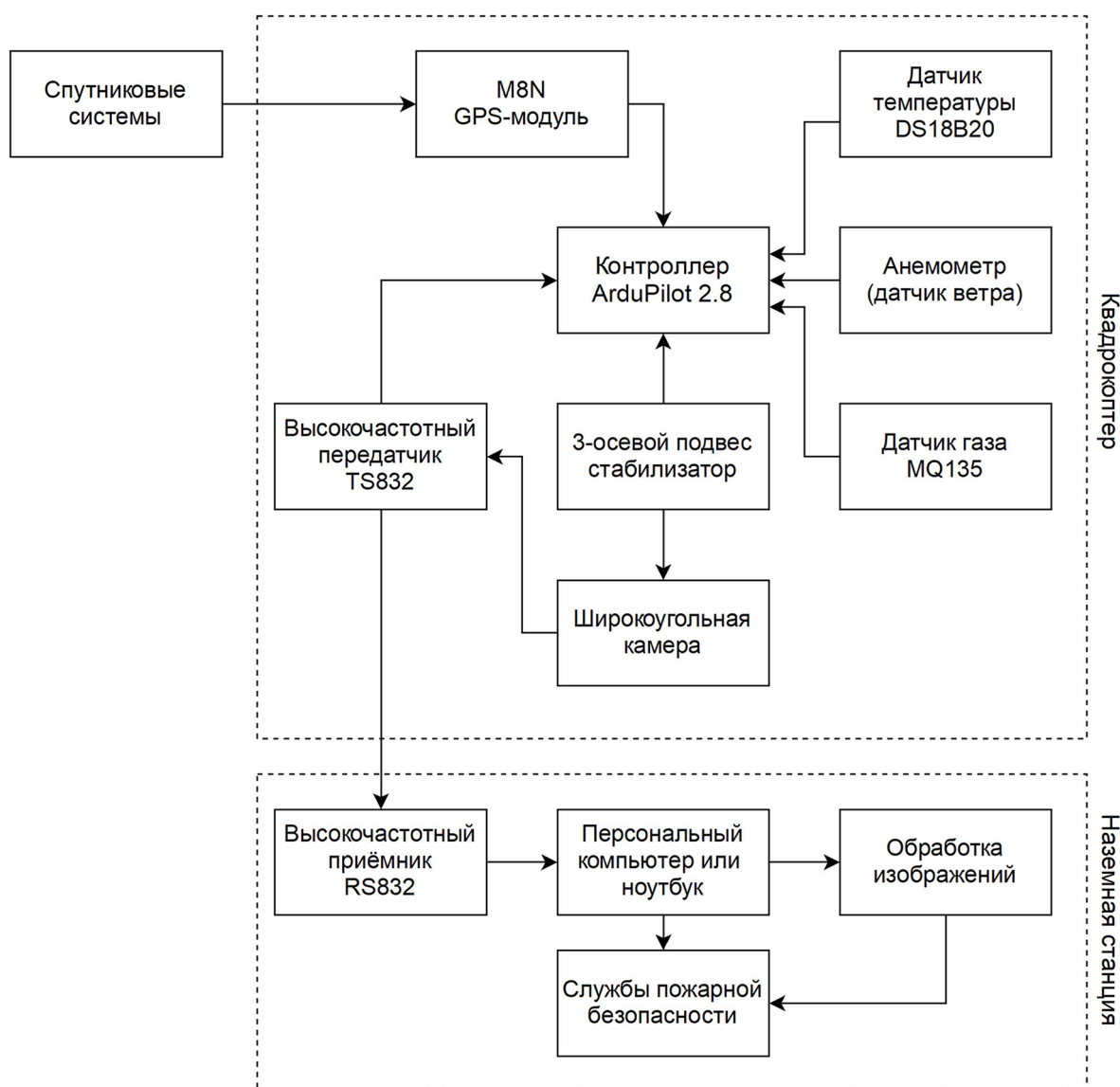


Рисунок 1 – Конфигурация системы мониторинга пожаров на базе квадрокоптера

несколько необходимых встроенных датчиков контроллера, такие как барометр, инерциальный измерительный блок из датчиков акселерометра и гироскопа, которые необходимы для оценки позиции и удержания высоты квадрокоптера. Внешние датчики подключаются к контроллеру квадрокоптера ArduPilot 2.8. Этот аппаратный элемент представляет собой гибкую платформу с открытым исходным кодом, которая позволяет собирать и интерпретировать информацию, полученную датчиками, и отправлять ее в виде привычных значений. Квадрокоптер имеет на борту два разных типа камер, которые позволяют получать изображения в режиме реального времени как в видимом, так и в инфракрасном спектре. Это дает возможность собирать подробную информацию о состоянии пожара и рабочей обстановке. Кроме того, на дроне установлен 3-осевой подвес для стабилизации и достижения правильного позиционирования обзора камеры при полёте. Положение квадрокоптера по широте (φ), дол-

готе (λ) и высоте (h) определяется контроллером ArduPilot 2.8 на основе сигнала GPS. Контроллер также обеспечивает три угла Эйлера: тангаж (θ), крен (ϕ) и рыскание (ψ), необходимые для определения положения квадрокоптера. Расстояние между БПЛА и огнем измеряется датчиком расстояния TF03 LiDAR. TF03 – это промышленный высокоскоростной LiDAR, который включает в себя алгоритмы компенсации внешних бликов и других помех, поэтому он хорошо работает в условиях сильного освещения, дождя, тумана и снега. Датчик расстояния, а также видеочамера расположены в центре масс БПЛА, совмещенном с вертикальной осью корпуса (z). Координаты места возгорания $F_{\text{воз}}$ в неподвижном состоянии корпуса БПЛА равен $(0,0,L_{\text{обн}})$ (см. рисунок 2).

При обнаружении признаков пожара, БПЛА передает координаты на наземную станцию для подтверждения информации. В случае подтверждения возгорания должна сработать пожарная сигнализация, в противном случае миссия по

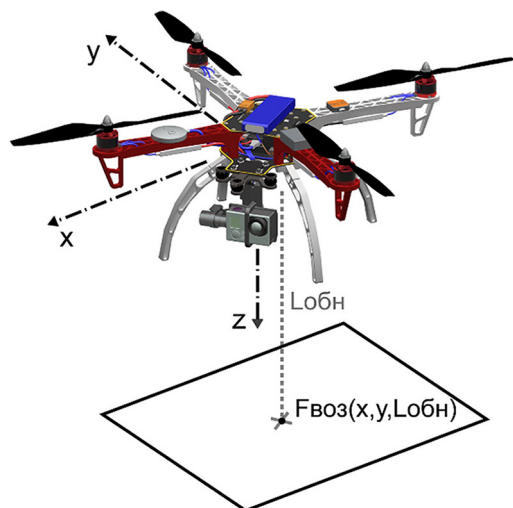


Рисунок 2 – Positionирование координат места возгорания относительно БПЛА

поиску возгорания возобновляется. На основании этих данных будет принято решение о дальнейших операциях. При обнаружении пожара геолокация должна быть точно известна пожарным службам, чтобы действовать быстро и эффективно составить план тушения пожара. Геолокацию пожара можно оценить, зная положение квадрокоптера, а также расстояние между дроном и самим пожаром [7].

Для оценки географических координат пожара (широты, долготы и высоты) требуется ряд преобразований между различными системами координат.

1. Первый шаг состоит в преобразовании места возгорания из кадра, закрепленного за корпусом БПЛА, в локальные координаты касательной плоскости север-восток-низ (NED).

2. Следующим шагом является преобразование местоположения пожара в кадре NED в кадр, ориентированный геоцентрической системой координат ECEF (Earth-centered, Earth-fixed).

3. Последний шаг состоит в преобразовании местоположения пожара в координатах ECEF в геодезические координаты [8].

Наземная станция управления действует как центральный пункт управления во время полетов БПЛА и выполняет такие функции, как планирование и проектирование полетного задания, обработка полученных данных (видеоизображений) для обнаружения пожаров, модули мобильного и спутникового управления, дисплеи для отслеживания всего хода выполнения миссий. Станция также генерирует команды аварийной сигнализации на основе обнаружения признаков пожара. Для связи между БПЛА и наземной станцией используется канал передачи данных телеметрии с частотой 2,4 ГГц. В полёте БПЛА управляется в режиме радиоуправления как вручную, так и автоматически через навигационно-управляющую аппаратуру [9].

Траектория полета задается с помощью программного обеспечения Mission Planner, который отлично подходит для наших задач. С помощью этой программы можно выбрать различные конфигурации и тонкую настройку БПЛА, планирование и отслеживание отдельных полетных миссий, сохранять и загружать в контроллер миссии с помощью обычного ввода путевых точек методом «Point-and-click» на спутниковых картах Google или других онлайн-сервисах. Сгенерированный маршрут включает в себя взлет, набор высоты, полет по координатам точек интереса, облет возможного очага и возвращение в точку приземления.

На начальном этапе миссий дрон взлетает и начинает наблюдение за целевой областью, следуя по маршруту, передавая изображения высокого разрешения в режиме реального времени на наземную станцию. На карте указаны контрольные точки полета с координатами, в которых отображается статус дрона. Карта мониторинга местности формирует траектории полета БПЛА в соответствии с выполнением заданий, а затем эта информация с обновленными параметрами передается на наземную станцию. Полученная информация передается на наземную станцию для обработки в реальном времени. Данные видеоизображения с БПЛА обрабатываются вычислительным устройством (персональным компьютером), применяя методы обработки изображений для обнаружения возгорания. В работе [10] мы предложили метод обнаружения пожара по данным аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, которые включает в себя методы предварительной обработки изображения для повышения точности обработки данных путем изменения их яркости и контрастности, удаления шумов и повышения резкости изображения, методы сегментаций и кластерный анализ цифровых изображений с использованием моделей нечеткой логики.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные полёты проведены для проверки работы системы. На первом этапе навесное оборудование было протестировано в ручном и автоматическом режиме для проверки надежности. Далее к квадрокоптеру была прикреплена аппаратная платформа и отработаны летные эксперименты. Ожидаемый результат заключался в том, что БПЛА смог завершить полетную миссию, и система могла работать со всеми датчиками, работающими при полёте. Наземная станция должна предоставлять все данные и отправлять команды управления через веб-интерфейс программы. Для этого в качестве наземной станции использовался ноутбук (процессор Ryzen 5 5500U 3.5 ГГц, 8 ГБ оперативной памяти), подключенный к квадрокоптеру через высокочастотный приёмник.

По итогам тестов квадрокоптер показал отличную производительность и смог выполнить

полёты по заранее определенному маршруту, с минимальной ошибкой в местоположении (см. рисунок 3). Следовательно, по данным, полученных во время полета в реальных условиях, можно установить, что система способна автономно и безопасно следовать путям, установленным для мониторинга и наблюдения за пожаром в лесной местности.

Заключение

В этой статье мы представили систему разведки и мониторинга лесных пожаров на базе квадрокоптера для раннего обнаружения возгораний.

Предлагаемая структура системы обеспечивает требования к точности и безопасности полетов БПЛА. Можно с уверенностью сказать, что использование БПЛА позволяет значительно снизить затраты на обнаружение лесных пожаров. Поэтому возникает необходимость в дополнительных исследованиях и разработке комплексных решений по мониторингу и раннему обнаружению лесных пожаров. В будущем планируем провести летные испытания для проверки алгоритма геолокации пожара и количественной оценки эффективности алгоритма обнаружения и мониторинга пожара с точки зрения дальности обнаружения пожара.

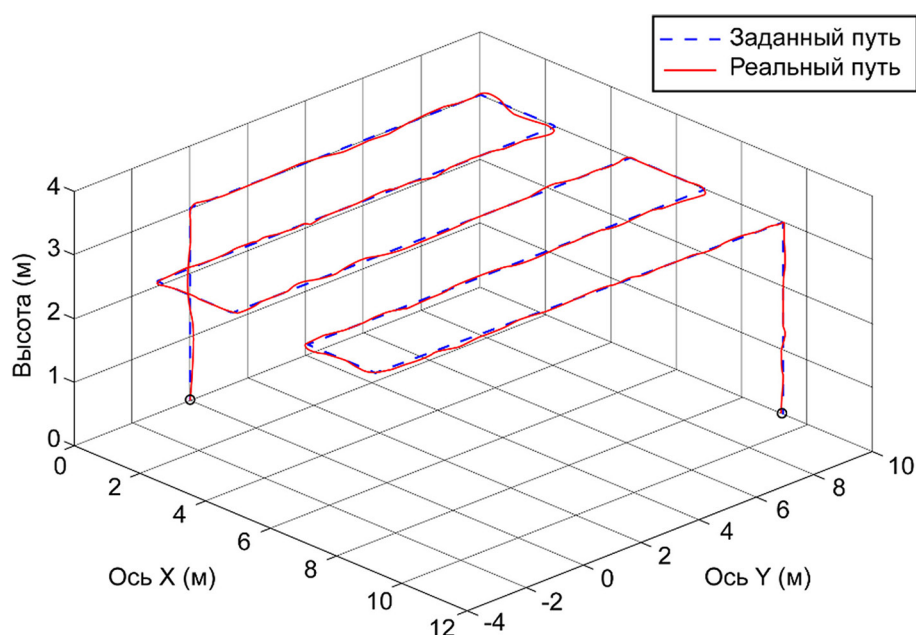


Рисунок 3 – Отслеживание траектории БПЛА в 3D-пространстве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». 2018. № 1. С. 130-135. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130.
2. Stöcker, C., et al. Review of the current state of UAV regulations // Remote sensing, 2017. 9(5): стр. 459.
3. Chi Yuan, Youmin Zhang, Zhixiang Liu. A Survey on Technologies for Automatic Forest Fire Monitoring, Detection and Fighting Using UAVs and Remote Sensing Techniques // Canadian Journal of Forest Research, 2015.
4. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: Моногр. Казань: Школа, 2015. 444 с.
5. M.A. Akhloufi, N.A. Castro, and A. Couturier. UAVs for wildland fires. Proceedings on Autonomous Systems: Sensors, Vehicles, Security, and the Internet of Everything, 2018, vol. 10643, pp. 1-14. DOI:10.1117/12.2304834.
6. Madridano A., Campos S. Unmanned aerial vehicle for fire surveillance and monitoring // Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial Journal, April 2020, issue 3, volume 17, p. 254. DOI: <https://doi.org/10.4995/riai.2020.11806>.
7. Joaquim Sousa, Pedro Gamboa. Aerial Forest Fire Detection and Monitoring Using a Small UAV // International Congress on Engineering – Engineering for Evolution, Volume 2020.
8. H. Vermeille. An analytical method to transform geocentric into geodetic coordinates. // J. Geod., vol. 85, pp. 105-117, 2011.
9. Y. Zeng, R. Zhang, and T.J. Lim. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges // IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, 2016.
10. Olga Shvets, Daniyar Kaliyev, György Györök. Automated Satellite And Uav Image Processing System For Emergency Detection In Kazakhstan // Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 100. No 9, pp. 2971-2987, 2022.

Пилотсыз ұшу аппараты базасындағы орман өрттерін барлау және мониторингілеу жүйесі

¹*ҚАЛИЕВ Данияр Исатайұлы, докторант, инженер-зерттеуші, daniyar.kaliyev96@gmail.com,

¹ШВЕЦ Ольга Яковлевна, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, olga.shvets75@gmail.com,

¹«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Өскемен, А.К. Протозанов көшесі, 69,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыстың мақсаты – пилотсыз ұшу аппаратын (ПҰА) пайдалана отырып, нақты уақыт режимінде орман өрттерінің мониторингі жүйесін құрастыру. Бұл зерттеуде геолокация жүйесін қолдана отырып, жердегі станциядан радио басқаруға негізделген квадрокоптер базасындағы орман өрттерін бақылау жүйесі ұсынылған. Мұндай тәсіл борттық навигациялық аппаратураның және басқару құралдарының көмегімен автоматты да, қолмен де ПҰА-ларын тиімді пайдалануды қамтамасыз етеді. Аппараттық жүйе ArduPilot контроллері мен GPS, гироскоп, температура сенсоры, қашықтық сенсоры және сандық камералар сияқты әртүрлі сенсорларды қолдана отырып жасалған. Позициялау жүйесінің дәлдігін бағалау үшін ұшу сынақтары жүргізілді. Жұмыстың нәтижесінде ПҰА қолдануды өртті анықтаудың жедел міндеттерін шешудің қолданыстағы әдістері мен технологияларына қосымша өрт жағдайымен күресудің тиімді әдісі екенін көрсетеді.

Кілт сөздер: орман өрттері, UAV, квадрокоптер, орман өрттерін бақылау жүйесі, өрт барлау, дрондар, орманды қорғау, орман шаруашылығы, орман өртінің мониторингі, пилотсыз ұшу аппараттары, мониторинг жүйесі, орман өрттерін анықтау, навигациялық жүйе, қашықтан бақылау, сандық сенсорлар.

UAV-based Forest Fire Exploration and Monitoring System

¹*KALIYEV Daniyar, Master, Senior Lecturer, Aizhan-world@mail.ru,

¹SHVETS Olga, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, olga.shvets75@gmail.com,

¹NCJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», Kazakhstan, Oskemen, A.K. Protozanov Street, 69,

*corresponding author.

Abstract. The goal of this work is to develop a system for monitoring forest fires in real time using an unmanned aerial vehicle (UAV). This study proposes a quadcopter-based forest fire monitoring system based on radio control from a ground station using a geolocation system. This approach ensures the effective use of UAVs both in automatic and manual modes with the help of onboard navigation equipment and controls. The hardware system is built using the ArduPilot controller and various sensors such as GPS, gyro compass, temperature sensor, distance sensor and digital cameras. Flight tests were carried out to assess the accuracy of the positioning system. The results show that the use of UAVs is an effective way to deal with a fire situation in addition to existing methods and technologies for solving operational problems of fire detection.

Keywords: forest fires, UAV, quadcopter, forest fire monitoring system, fire intelligence, drones, forest protection, forestry, forest fire monitoring, unmanned aerial vehicle, monitoring system, detection of forest fires, navigation system, remote sensing, digital sensors.

REFERENCES

1. Koptev S.V., Skudneva O.V. O vozmozhnostjakh primenenija bespilotnyh letatel'nyh apparatov v leshozjajstvennoj praktike [About the possibilities of using unmanned aerial vehicles in forestry practice]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij «Lesnoj zhurnal» [News of higher educational institutions «Forest Journal»]. 2018. No. 1. Pp. 130-135. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130.
2. Stöcker, C., et al. Review of the current state of UAV regulations. Remote sensing, 2017. 9 (5): pp. 459.
3. Chi Yuan, Youmin Zhang, Zhixiang Liu. A Survey on Technologies for Automatic Forest Fire Monitoring, Detection and Fighting Using UAVs and Remote Sensing Techniques. Canadian Journal of Forest Research, 2015.
4. Moiseev V.S. Osnovy teorii jeffektivnogo primenenija bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Fundamentals of the theory of effective use of unmanned aerial vehicles]: Monogr. Kazan: Shkola, 2015. 444 p.
5. M.A. Akhloufi, N.A. Castro, and A. Couturier. UAVs for wildland fires. Proceedings on Autonomous Systems: Sensors, Vehicles, Security, and the Internet of Everything, 2018, vol. 10643, pp. 1-14. DOI:10.1117/12.2304834.
6. Madridano A., Campos S. Unmanned aerial vehicle for fire surveillance and monitoring. Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial Journal, April 2020, Issue 3, Volume 17, p. 254. DOI: <https://doi.org/10.4995/riai.2020.11806>.
7. Joaquim Sousa, Pedro Gamboa. Aerial Forest Fire Detection and Monitoring Using a Small UAV. International Congress on Engineering – Engineering for Evolution, Volume 2020.
8. H. Vermeille. An analytical method to transform geocentric into geodetic coordinates. J. Geod., vol. 85, pp. 105-117, 2011.
9. Y. Zeng, R. Zhang, and T.J. Lim. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges. IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, 2016.
10. Olga Shvets, Daniyar Kaliyev, György Györök. Automated Satellite And Uav Image Processing System For Emergency Detection In Kazakhstan. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 100. No. 9, pp. 2971-2987, 2022.