

КОНЦЕПЦИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПОЖАРАМ

Забродкин Е.О.

*Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия*

CONCEPT FOR A DUAL-COMPONENT ROBOTIC FIREFIGHTING SYSTEM

Zabrodkin E.O.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Аннотация: Предложена концепция роботизированного комплекса для борьбы с лесными пожарами. Рассмотрены преимущества применения БПЛА для обнаружения возгораний и мобильной платформы для их ликвидации. Приведено описание взаимодействия компонентов роботизированного комплекса.

Abstract: A concept of a robotic wildfire-fighting system is proposed. The advantages of using UAVs for fire detection and a mobile platform for fire elimination are considered. A description of the interaction between the components of the robotic complex is provided.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, виртуальные датчики, мобильная энергетическая платформа, пожар, пожаротушение.

Keywords: robotic complex, virtual sensors, mobile energy platform, fire, fire extinguishing.

Введение

Пожары представляют собой серьёзную угрозу для жизни людей и существования материальных ресурсов. Согласно отчетам МЧС России, в 2024 г. зарегистрировано 83 случая лесных пожаров [1]. Отдалённость лесных территорий приводит к увеличению времени реагирования спасательных служб, что, в свою очередь, существенно усугубляет масштабы ущерба.

Оперативная оценка масштабов горения и своевременное выявление очагов возгорания остаются ключевыми задачами при мониторинге пожароопасных ситуаций. Дымовой шлейф дает неполную информацию о развитии пожара, а привлечение средств авиации (в частности вертолетов) для наблюдения нередко сопряжено с существенными финансовыми затратами. В этих условиях наиболее перспективным выглядит применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с электрическими двигателями, оборудованных виртуальными датчиками. Такая технология позволяет в автоматическом режиме получать высокоточные данные о геолокации точек распространения огня на обширных

лесных территориях, что существенно повышает эффективность локализации очагов возгорания и ускоряет принятие решений по их ликвидации.

Пожаротушение характеризуется высокой степенью риска и требует работы специалистов и техники в экстремальных условиях. В последнее время для локализации и ликвидации очагов возгорания с минимизацией прямого участия человека всё шире применяются роботизированные системы (рис. 1). Такие комплексы входят в состав оперативных подразделений МЧС и эксплуатируются в дистанционном режиме посредством пультов управления, что позволяет существенно снизить опасность для спасателей и повысить эффективность тушения.

БПЛА имеют ограничения по радиусу действия и нуждаются в мобильной платформе, на которой располагается пост управления, оборудование для зарядки бортовых накопителей энергии, площадки размещения и т.д. Кроме того, весьма желательно, чтобы платформа могла принять оперативное и активное участие в ликвидации обнаруженного возгорания, что выдвигает требования по подвижности и грузоподъемности. Таким требованиям в наибольшей степени удовлетворяет гусеничное шасси массой 11...13 т. В качестве прототипа могут быть рассмотрены бронированные пожарные машины, используемые при тушении возгораний в местах складирования боеприпасов.



а)



б)



в)

а) робот ЕЛЬ-4; б) пожарный робот СОБР-1; в) коммерческий робот RXR-M30D-A20.

Рисунок 1 – Пожарные роботы:

Целью данной работы является обоснование концепции двухкомпонентного роботизированного комплекса для переноса воздушных дронов, патрулирования территорий и оперативного тушения очагов возгорания, способного обнаруживать пламя и принимать решения об оптимальных траекториях движения и подаче огнетушащих средств.

Описание системы

Предлагается разработка мобильной автономной платформы с модулем пожаротушения, способной переносить от 2 до 3 БПЛА. Функция обнаружения очагов возгорания реализована посредством видеокамер, установленных на БПЛА, оборудованных виртуальным датчиком на основе обученной нейросети.

В качестве мобильной платформы предлагается использовать шасси высокой проходимости, на котором будут расположены посадочные площадки для БПЛА [2], модуль пожаротушения, запасы топлива и дополнительные аккумуляторы.

Для модуля пожаротушения предлагается выбрать следующие компоненты: ствол (или несколько) для направленного распыления мелкодисперсного огнетушащего порошка, полость для хранения снарядов с огнетушащими веществами и механизм заряжания ствола. Данное решение обеспечивает компактность пожаротушащей установки и возможность тушения очагов возгорания на площади до 35 м^2 , а также дальности до 12 м [3] (пример работы установки на рис. 2). Такая конструкция так же повышает целостность комплекса при эксплуатации ввиду достаточного удаления от возгорания.

В качестве детектора возгорания предлагается использовать обученную нейросеть YOLOv11. Для обучающих данных целесообразно брать готовые наборы данных, а также комбинировать их для получения наилучшего результата. На рис. 3 представлены примеры изображений из готовых наборов данных [3], в рамках работы предложены наборы Fire Detection Computer Vision Project, DFireDataset, FIRE Dataset.



Рисунок 2 – Распыление порошка выстрелом пожаротушащего снаряда



Рисунок 3 – Изображения пожаров, огня и дыма из открытых наборов данных

Для обучения подойдет модель YOLOv11n от Ultralytics, предобученная на больших наборах данных, что позволит начать обучение с ненулевыми весами и быстрее адаптироваться модели к новым изображениям.

Сама по себе задача идентификации факта пожара не является тривиальной и требует комплексной обработки данных по температуре возможного очага, уровню задымления, скорости, направления движения дымовой завесы, видимого пламени и др.

Предполагается использование принципов группового управления для коллективного взаимодействия [4] при ликвидации возгораний. Пример взаимодействия: при обнаружении возгорания с камер дронов формируется оптимальный маршрут для гусеничной платформы, далее высчитывается баллисти-

ческая траектория для выпуска пожаротушащего снаряда. В это время, другие БПЛА, входящие в группу, патрулируют территорию лесного массива в поисках других очагов возгорания. По окончании работ, дроны возвращаются на посадочные места для подзарядки и технического обслуживания.

Дальнейшее развитие

Реализация виртуальных датчиков может быть обеспечена использованием инфракрасных камер при условии доступности обширных обучающих выборок для алгоритмов распознавания тепловых аномалий. Конструктивные особенности мобильной платформы и пожаротушащей установки требуют детального анализа; в рамках настоящей работы планируются исследования по практической реализации предложенной концепции.

Список литературы

1. Рослесхоз: 97% лесных пожаров в 2024 году пришлось на труднодоступные территории [Электронный ресурс] // Федеральное агентство лесного хозяйства [сайт] [2025]. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-97-lesnykh-pozharov-v-2024-godu-prishlos-na-trudnodostupnye-territorii-n11216> (Дата обращения: 14.07.2025)
2. Разведывательно-спасательный комплекс на базе двухкомпонентной роботизированной группы / А.Л. Долгополов, С.И. Матросов, Е.Г. Борисов [и др.] // Транспорт России: проблемы и перспективы–2020. – СПб: ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 210-213..
3. Захматов В.Д. Распыление мелкодисперсного огнетушащего порошка и воды выстрелом из стволов или залпом из многоствольных модулей / В.Д. Захматов // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – №. 7. – С. 61-70.
4. Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М: Физматлит, 2009. – 280 с.

References

1. Rosleskhoz: 97% of forest fires in 2024 occurred in hard-to-reach areas [Electronic resource] // Federal Forestry Agency [website] [2025]. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-97-lesnykh-pozharov-v-2024-godu-prishlos-na-trudnodostupnye-territorii-n11216> (Accessed: 14.07.2025)
2. Reconnaissance and rescue complex based on a two-component robotic group / A.L. Dolgoplov, S.I. Matrosov, E.G. Borisov [et al.] // Transport of Russia: problems and prospects–2020. – St. Petersburg: FGBUN Institute of Transport Problems named after N.S. Solomenko RAS, 2020. – pp. 210-213.
3. Zakhmatov V.D. Spraying finely dispersed fire extinguishing powder and water by shot from barrels or by salvo from multi-barrel modules / V.D. Zakhmatov // Fire and explosion safety. – 2015. – Vol. 24. – № 7. – pp. 61-70.
4. Kalyaev I.A. Models and algorithms of collective control in groups of robots / I.A. Kalyaev, A.R. Gaiduk, S.G. Kapustyan. – M: Fizmatlit, 2009. – 280 p.