



УДК 630\*432.1

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-194-203

## НАВИГАЦИОННО-ПИЛОТАЖНАЯ СИСТЕМА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

*О.В. Скуднева<sup>1</sup>, ст. преподаватель; ResearcherID: [V-5466-2017](https://orcid.org/0000-0001-6387-0108),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6387-0108>*

*С.В. Коптев<sup>2</sup>, д-р с.-х. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>*

*С.В. Иванцов<sup>3</sup>, директор*

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, научно-учебный комплекс «Фундаментальные науки», ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005; e-mail: chukchuk@yandex.ru

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.koptev@narfu.ru

<sup>3</sup>ГАУ Архангельской области «Единый лесопожарный центр», просп. Обводный канал, д. 22, корп. 1, г. Архангельск, Россия, 163060; e-mail: iwantsow.s@yandex.ru

Лесные пожары являются распространенным стихийным бедствием во всем мире. Большое количество пожаров ежегодно возникает в лесных экосистемах Европейского Севера России по естественным причинам и по вине человека. Одной из актуальных проблем лесного хозяйства в настоящее время является организация эффективной борьбы с лесными пожарами. При этом важны как быстрое обнаружение очага возгорания, так и мониторинг развития пожара, координация действий персонала наземных служб лесной охраны и сотрудников служб Министерства по чрезвычайным ситуациям. Для этих целей все большее применение находят беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Для лесохозяйственной практики, в особенности для целей лесопожарного мониторинга, наиболее практичными являются БПЛА вертолетного типа, не требующие специальной подготовки персонала. Такие аппараты могут действовать в режимах «пожарной вышки» и мониторинга кромки пожара с возможностью сброса информационных радиовымпелов. Применение БПЛА – эффективное средство наблюдения за пожарной ситуацией в дополнение к существующим методам и технологиям, особенно в случаях невозможности использования космических снимков высокого разрешения для решения оперативных задач. Для эффективной работы БПЛА в зоне действующих лесных пожаров и сильного задымления необходимы навигационно-пилотажные системы, позволяющие выполнять безопасные полеты за пределами действия пульта наземного управления от местонахождения пилота-оператора. Целью данной работы является ознакомление с разработкой навигационно-пилотажной системы, которую можно применять на БПЛА в зоне действия наземных пунктов радиоуправления. Использование таких систем позволит вести автоматическое наблюдение за пожарной обстановкой на значительной площади в режиме реального времени, что представляется особенно важным при организации охраны и тушения лесных пожаров на больших пространствах особо охраняемых природных территорий, где приоритетной задачей является сохранение биологического разнообразия природных экосистем и уникальных ландшафтов. Данная статья может представлять интерес для специалистов лесного хозяйства, пожарной охраны и Министер-

ство по чрезвычайным ситуациям, разработчиков БПЛА и оборудования, а также студентов технических специальностей.

*Для цитирования:* Скуднева О.В., Коптев С.В., Иванцов С.В. Навигационно-пилотажная система беспилотного летательного аппарата для мониторинга лесных пожаров // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 194–203. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-194-203

*Ключевые слова:* лесное хозяйство, лесопожарный мониторинг, беспилотный летательный аппарат, навигационно-пилотажная система.

### *Введение*

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на сегодняшний момент ограничивается частными случаями при решении текущих производственных задач, преимущественно в экспериментальном порядке [1, 5, 9]. Актуальной является разработка теоретических основ и практических методик организации эффективного применения БПЛА для обнаружения лесного пожара с определением траекторий полетов, параметров информационных и командных линий связи. Кроме того, важно наличие запасных блоков питания или устройства их подзарядки в полевых условиях, а также необходимого количества наиболее востребованных запасных элементов БПЛА [7].

Современный уровень техники (развитие электронной промышленности, наличие высокоточных спутниковых навигационных систем, миниатюризация элементной базы, увеличение пропускной способности каналов радиосвязи) позволил значительно расширить возможности БПЛА как автономной системы различных конструктивных форм исполнения и предназначения. Благодаря использованию фото- и видеокамер и оперативной автоматизированной обработке полученной информации такие аппараты могут применяться для контроля состояния лесных массивов, дорог, эффективности проведения лесохозяйственных мероприятий, повышения качества лесоинвентаризационных работ, при подготовке лесосечного фонда, в геодезических и картографических работах [4–6].

В статье предлагается состав структурной схемы навигационно-пилотажной системы (НПС), позволяющей выполнять в условиях лесных пожаров полеты БПЛА с обеспечением требований по точности и безопасности при недостаточной видимости и отсутствии постоянной связи.

### *Объекты и методы исследования*

Применение БПЛА, необходимых для лесопожарного мониторинга лесного фонда, является новой технической задачей. Эффективные действия аппаратов могут быть ограничены площадью 200 км<sup>2</sup>. Для территории наземного применения сил и средств пожаротушения с развитой дорожной сетью к категории «крупный лесной пожар» относится площадь, пройденная огнем от 0,25 км<sup>2</sup> и более. Для районов авиационного применения сил и средств она составляет 2 км<sup>2</sup> и более [2]. К таким районам относятся труднодоступные территории.

За каждым лесным пожаром для принятия оперативных мер необходимо вести наблюдение с воздуха от момента его обнаружения и до полной ликвидации. Облет лесного пожара производится 2–3 раза в день, а для обнаружения скрытых очагов горения – в ранние утренние или поздние вечерние часы, когда влияние солнечной радиации минимально [6, 9]. Дальность определения места пожара зависит от высоты наблюдения, погоды, степени задымления. Для решения этой задачи наиболее оптимально использование БПЛА с радиусом действия 5...15 км, что соответствует проведению наземного патрулирования. До внедрения подобных БПЛА в лесохозяйственную практику следует провести отработку НПС и технологий работы с летательными аппаратами.

Объектом исследования является разработка структурной схемы навигационно-пилотажной системы БПЛА, программно-математическое обеспечение которой должно обеспечить требования к точности определения участков пожаротушения и безопасности полетов при ведении мониторинга лесопожарной обстановки.

Лесные пожары являются распространенным стихийным бедствием во всем мире. Большое количество пожаров ежегодно возникает в лесных экосистемах Европейского Севера России по естественным причинам и в результате антропогенных воздействий. Многолетний опыт использования данных дистанционного зондирования Земли в лесохозяйственной и лесоустроительной практике должен позволить БПЛА найти применение для оценки, оптимизации и принятия лесопожарных мероприятий, поиска и разработки новых технологий обнаружения, контроля и оценки лесных пожаров.

Наблюдение за пожарной обстановкой в режиме реального времени особенно важно при решении комплекса лесоводческих задач по организации охраны и тушения лесных пожаров на больших пространствах особо охраняемых природных территорий, где приоритетной задачей является сохранение биологического разнообразия природных экосистем и уникальных ландшафтов. Потери времени при этом могут привести впоследствии к значительным экономическим затратам [10, 13]. Необходим менее затратный и эффективный способ решения задач, стоящих перед лесным хозяйством и выполняемых ранее с помощью авиации. В связи с этим особый интерес представляют БПЛА различной технической оснащенности, грузоподъемности, дальности полетов. Практически БПЛА – это роботизированная автономная система различных конструктивных форм исполнения и предназначения. Применение БПЛА в этом направлении решает ряд проблем, связанных с недостаточным штатом сотрудников, труднодоступностью территорий, необходимостью минимизации влияния присутствия человека, при проведении лесохозяйственных работ по определению оперативных и актуальных данных о скорости распространения пожара, его границах. Поэтому использование БПЛА является эффективным средством наблюдения за пожарной ситуацией в дополнение к существующим штатным методам и технологиям, приведенным в материалах [1–4], особенно в случаях невозможности использования космических снимков высокого разрешения для выполнения оперативных задач.

При создании БПЛА для различных видов мониторинга, на наш взгляд, наибольшее предпочтение будет отдаваться БПЛА вертолетного типа: масса –

до 10 кг, высота полета – до 1 км, продолжительность полета – 20...60 мин (основной режим полета до 300 м), поскольку средние БПЛА требуют специалистов для обслуживания, управления, снятия и интерпретации результатов съемки. Они нацелены на замену авиации и, следовательно, имеют ограничения, как для самолетов, в том числе по высоте полетов, не обладая их преимуществами. При наземном патрулировании в местах, где нет связи и невозможно поставить видеокамеру и передать с нее информацию в диспетчерскую службу, важен каждый килограмм веса и сложно найти площадку для взлета БПЛА самолетного типа. Именно малые БПЛА вертолетного типа нужны для этой цели. Из практики применения БПЛА самолетного типа при лесохозяйственных работах известны негативные моменты, ограничивающие их возможности: есть ограничения высоты полета; при запуске БПЛА самолетного типа на время его работы; небо в этом районе закрывается для других летательных аппаратов; самолеты и вертолеты не могут быть использованы для оперативных мер по тушению лесных пожаров до приземления БПЛА; просмотреть результаты мониторинга с такого БПЛА в большинстве случаев возможно только после его приземления.

Одним из наиболее важных вопросов при использовании БПЛА для организации лесопожарного контроля и тушения лесных пожаров является разработка полетных маршрутов и системы управления полетами. При этом рассматривается возможность применения не только наиболее распространенных в лесохозяйственной практике БПЛА вертолетного типа – мультикоптеров, но и БПЛА самолетного типа. Преимуществами первых являются компактность, возможность взлета и приземления при достаточно ограниченных условиях, возможность изменения скорости полета вплоть до нулевого (режим зависания) для детализации изображений. БПЛА самолетного типа устойчивы в полете, имеют больший радиус действия, но более требовательны к организации их использования.

Устройства легких вертолетных БПЛА не применяют инерциальных систем [14, 15], но при этом встроенная навигационная аппаратура и устройства автоматической стабилизации по курсу и вертикали на основе гироскопа направления и жидкостных датчиков позволяют удерживать летательные аппараты в стабильном состоянии и обеспечивать тем самым приемлемую точность определения координат кромки и направления развития лесного пожара по карте местности. Для точной привязки снимков БПЛА предлагаются различные схемы и методики, реализуемые путем дополнительного применения в составе приемника GPS-навигаторов, увеличения перекрытий снимков [6, 12, 16]. В данной работе на основе применения НПС предлагается одно из решений повышения точности и безопасности полета БПЛА при мониторинге лесных пожаров в условиях плохой видимости по причине задымления.

БПЛА позволяет увеличить эффективность работы наблюдательных вышек в дневное время, а при сильном задымлении точность определения кромки пожара, особенно при дифференциальном рассмотрении различных спектральных яркостей пикселей изображений с помощью соответствующего навесного оборудования, фиксирующего ближний инфракрасный диапазон излучения [8, 11].

*Результаты исследования и их обсуждение*

При ведении лесопожарного мониторинга основной технологической задачей является проведение полетов на малой высоте (до 100 м) на удалении от пульта управления до 5 км при условии возможности изменения места старта. Это позволит более оперативно проводить наведение БПЛА на пожары малой площади, кромки пожаров и обеспечить информационную поддержку работ по тушению и окарауливанию пожаров.

В процессе выполнения полета управление БПЛА осуществляется в ручном режиме радиуправления и автоматически посредством бортового оборудования навигации и управления, в состав которого входят:

- приемник спутниковой навигации, обеспечивающий прием навигационной информации от систем ГЛОНАСС и GPS;
- бортовая система связи, работающая в определенном частотном диапазоне для передачи команд БПЛА, потоковых видеоизображений и фотоизображений;
- система датчиков, производящих определение пространственной ориентации по курсу и вертикали, стабилизации и параметров движения БПЛА;
- система воздушных сигналов, обеспечивающая измерение высоты и скорости полета (путевой или воздушной).

Бортовая навигационно-пилотажная система должна обеспечивать на БПЛА:

- полет по заданному маршруту (задание маршрута производится с указанием координат и высоты поворотных пунктов маршрута);
- изменение маршрутного задания или возврат в точку старта и облет указанной точки по команде с наземного пункта управления;
- формирование и выдачу команд, предусмотренных полетным заданием;
- автоматический взлет, полет и посадку по команде пилота-оператора на наземном пункте управления.

В связи с отсутствием экипажа на БПЛА его функции должна выполнять НПС, которая взаимодействует с исполнительными устройствами, аналогичными тем, что используются на пилотируемых летательных аппаратах.

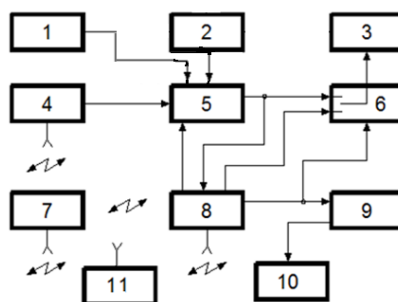
Структурная схема НПС БПЛА основана на радиуправлении от наземного пульта пилотом-оператором и использовании спутниковой навигационной системы (СНС), которая определяет с высокой точностью навигационные параметры, за исключением курса летательного аппарата. К сожалению, СНС имеют низкую помехоустойчивость и зоны их устойчивой работы не охватывают все районы на территории России. Чтобы исключить зависимость результата полета от работы СНС, необходимо иметь наземные пульты радиуправления на начальном и конечном пунктах маршрута, передающие команды на приемник-передатчик команд. Высокая точность определения курса БПЛА является необходимым требованием для безусловного выполнения полетных задач и автономной посадки, в том числе в условиях плохой видимости, задымления от лесных пожаров и при неустойчивой работе СНС.

Сложность внедрения НПС заключается в разработке и отладке программно-математического обеспечения – алгоритмов и программ бортового компьютера. Эта задача требует учета всех условий и особенностей полета БПЛА при выполнении задач по мониторингу лесных пожаров [2, 4, 10, 17].

В составе НПС достаточно иметь один навигационно-пилотажный канал управления. На рис. 1 приведена структурная блок-схема НПС БПЛА для выполнения работ по лесопожарному мониторингу. В качестве датчика курса необходимо иметь одноканальную курсовую систему, работающую в режиме гироскопа направления, в котором при регламентах проводится компенсация скорости вращения Земли и собственного дрейфа. В канале вертикали требуется применять жидкостной датчик авиагоризонта. Такая конструкция обеспечит выполнение требований, предъявляемых данному типу НПС БПЛА по надежности, точности и безопасности. Начальная выставка стояночного курса БПЛА выполняется перед вылетом автоматически по магнитному курсу после включения на старте питания курсовой системы. Управление взлетом и посадкой (высота, скорость) осуществляется от пультов управления на начальном и конечном пунктах маршрута. В полете вне зоны действия пультов управления БПЛА использует режим автономной коррекции заданного курса и коррекции от СНС. Наличие средств коррекции в полете от СНС в случае ее работоспособности позволит обеспечить без участия пилота-оператора посадку БПЛА на конечном пункте маршрута.

Рис. 1. Структурная блок-схема НПС БПЛА для выполнения работ по лесопожарному мониторингу: 1 – жидкостной датчик авиагоризонта; 2 – курсовая система с гироскопом направления; 3 – блок исполнения команд; 4 – приемник СНС; 5 – вычислительное устройство; 6 – блок переключения каналов управления; 7 – наземный пульт управления; 8 – приемник-передатчик команд; 9 – блок сброса груза; 10 – транспортируемый груз (радиовымпел); 11 – наземный резервный (контрольный) пульт управления

Fig. 1. Structure flowchart of the navigation and piloting system (NPS) of the unmanned aerial vehicle (UAV) for forest fire monitoring: 1 – attitude indicator liquid sensor; 2 – compass system with directional gyroscope; 3 – command execution unit; 4 – satellite navigation system receiver; 5 – computing device; 6 – control channel switching unit; 7 – ground control point; 8 – command receiver-transmitter; 9 – airdrop unit; 10 – transport cargo; 11 – ground control panel



На рис. 2 приведен эскиз схемы полета БПЛА для мониторинга лесных пожаров по маршруту с выдерживанием заданного курса.

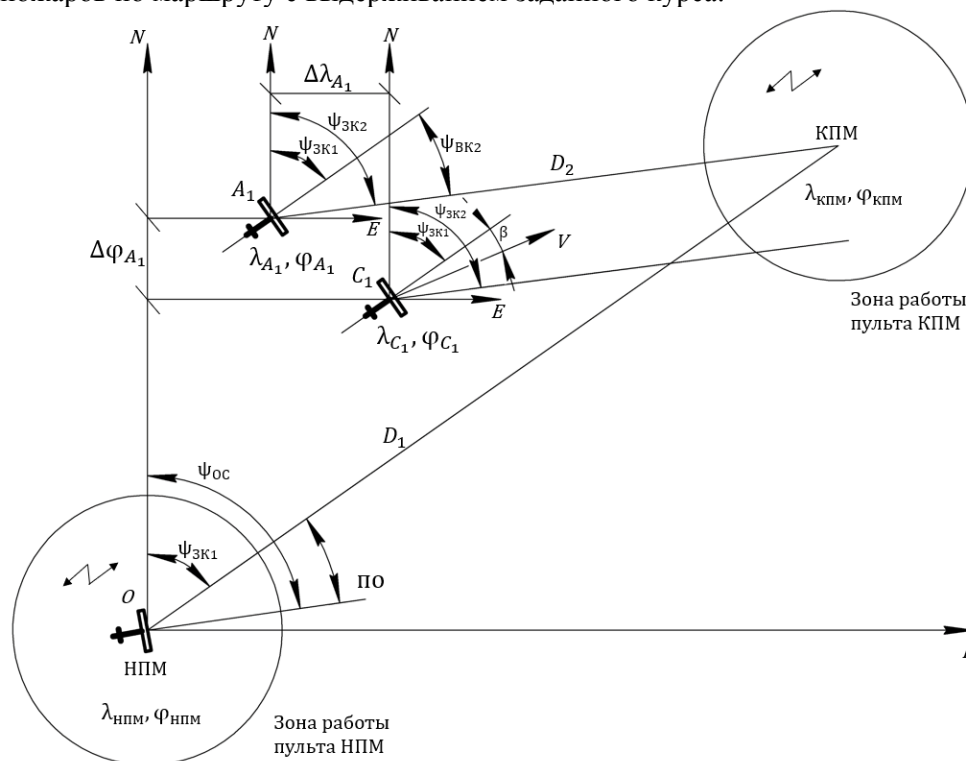


Рис. 2. Схема полета БПЛА для мониторинга лесных пожаров:  $\psi_{\text{Ос}}$  – стояночный курс;  $\psi_{\text{ЗК}}$  – заданный курс;  $\psi_{\text{тек}}$  – текущий курс;  $D$  – дальность; ПО – продольная ось летательного аппарата (ЛА);  $V$  – вектор скорости;  $\beta$  – угол сноса; N, E – страны света (Север, Восток);  $A_1$  – координаты ЛА, вычисленные НПС при автономном полете;  $\lambda_{A_1}$ ,  $\varphi_{A_1}$ ,  $\psi_{\text{ЗК1}} = \psi_{\text{тек}}$ ;  $\psi_{\text{ЗК2}}$  – расчет нового заданного курса,  $D_2$  – дальность до конечного пункта управления (КПМ);  $\lambda_{C_1}$ ,  $\varphi_{C_1}$ ,  $\psi_{\text{ЗК2}} = \psi_{\text{тек}}$ ;  $C_1$  – координаты ЛА, фактические, вычисленные после коррекции от СНС, с определением погрешности автономного полета –  $\Delta\lambda$ ,  $\Delta\varphi$

Fig. 2. The UAV flight pattern for forest fire monitoring:  $\psi_{\text{Ос}}$  – initial direction;  $\psi_{\text{тек}}$  – current direction;  $D$  – range; ПО – aircraft longitudinal axis;  $V$  – velocity vector;  $\beta$  – drift angle; N, E – cardinal directions;  $A_1$  – aircraft coordinates computed by the NPS during the autonomous flight;  $\lambda_{A_1}$ ,  $\varphi_{A_1}$ ,  $\psi_{\text{ЗК1}} = \psi_{\text{тек}}$ ;  $\psi_{\text{ЗК2}}$  – computation of a new current direction;  $D_2$  – distance to the final control point (КМП);  $\lambda_{C_1}$ ,  $\varphi_{C_1}$ ,  $\psi_{\text{ЗК2}} = \psi_{\text{тек}}$ ;  $C_1$  – actual aircraft coordinates computed after correction by the satellite navigation system with the error estimation of autonomous flight –  $\Delta\lambda$ ,  $\Delta\varphi$

Взаимодействие входящих в состав НПС устройств изложено в описаниях патентов на изобретения и материалах статьи [4].

Разработка НПС БПЛА, построенная на основе приведенной структурной блок-схемы, предназначена реализовать на практике решение задач по мониторингу лесных пожаров в режиме автономного автоматического полета по запрограммированному (например, челночному) маршруту и в режиме радиоуправления от наземного пульта. Зона действия мониторинга – территория с радиусом действия 5...15 км.

Разработка основана на применении курсовых систем, спутниковых навигационных систем, вычислительного устройства и наземных пультов радиоуправления, а также возможностей современной элементной базы и комплектующих изделий, используемых на летательных аппаратах.

Сведения о конструкции и работе НПС и БПЛА, в том числе об объемах и формах проведения полевых и камеральных работ, приведены в руководстве по технической эксплуатации (РЭ) НПС и руководстве по летной эксплуатации (РЛЭ) БПЛА.

### Заключение

В настоящее время БПЛА находят все большее применение в лесохозяйственной практике как инструмент мониторинга. В ближайшем будущем следует ожидать создания транспортных БПЛА, которые кроме выполнения функций мониторинга лесных пожаров станут средством оперативной доставки различных грузов в труднодоступные районы для решения задач тушения лесных пожаров.

Предлагаемая структура НПС обеспечивает требования к точности и безопасности полетов БПЛА. Решение ряда технологических задач лесного хозяйства может быть ускорено с помощью созданного в России Государственного центра беспилотной авиации и благодаря позиции Министерства по чрезвычайным ситуациям по применению БПЛА.

Материалы данной статьи по созданию навигационно-пилотажных систем могут быть использованы при разработке технического задания на транспортные беспилотные летательные аппараты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеевко Н.А. Методические вопросы картографического обеспечения деятельности особо охраняемых природных территорий России // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 5: География. 2014. № 1. С. 52–57. [Alexeevko N.A. Specific Methodological Features of Cartographic Support of the Activities of Nature Protection Areas in Russia. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 2014, no. 1, pp. 52–57].
2. Бобринский А.Н., Воронов М.А., Кориунов Н.А. и др. Правоприменение и управление в сфере использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов / под общ. ред. А.П. Петрова. М.: Всемир. банк, 2017. 274 с. [Bobrinskiy A.N., Voronov M.A., Korshchnov N.A. et al. *Law enforcement and Management in Use, Protection and Reproduction of Forests*. Ed. by A.P. Petrov. Moscow, Vsemirnyy bank Publ., 2017. 274 p.].
3. Евдокименко М.Д. География и причины пожаров в Байкальских лесах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 4. С. 30–39. [Evdokimenko M.D. Forest Fire Causes and Distribution in the Baikal Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2013, no. 4, pp. 30–39]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/eb9/lkh4.pdf>
4. Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 130–135. [Koptev S.V., Skudneva O.V. On the Applicability of UAV in Forestry Practice. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 1, pp. 130–135]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.1.130](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.1.130), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/0b3/130138.pdf>



5. Микова Е.Ю. Построение наглядных изображений лесовозных автомобильных дорог с помощью информационных технологий: по материалам беспилотных летательных аппаратов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2018. 16 с. [Mikova E.Yu. *Construction of Visual Images of Logging Roads Using Information Technologies (Adapted from Unmanned Aerial Vehicles)*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Arkhangel'sk, 2018. 16 p.].

6. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: моногр. Казань: Школа, 2015. 444 с. [Moiseev V.S. *Fundamentals of the Theory of Unmanned Aerial Vehicles Effective Use*: Monograph. Kazan, Shkola Publ., 2015. 444 p.].

7. Окорокова Н.С., Пушкин К.В., Севчук С.Д., Фармаковская А.А. Разработка схем базовых модулей типоразмерных рядов энергоустановок на основе воздушно-алюмохимических источников тока // Тр. МАИ. 2014. № 78. [Okorokova N.S., Pushkin K.V., Sevchuk S.D., Farmakovskaya A.A. The Development of the Basic Module Schemes for the Dimension-Type Series of Power Plants Based on the Air-Aluminum Chemical Current Sources. *Trudy MAI*, 2014, iss. 78].

8. Патент 2685572 Российская Федерация. Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата: № 2017102180/19: заявл. 24.01.2017; опубл. 22.04.2019 / В.И. Мелехов, О.В. Скуднева, С.М. Габбасов, В.И. Манохин, В.В. Корнейчук, В.К. Вороницын, Т.В. Тюрикова, Е.В. Сазанова. [Melekhov V.I., Skudneva O.V., Gabbasov S.M., Manokhin V.I., Kornejchuk V.V., Voronitsyn V.K. et al. *Aircraft Navigation and Pilotage System*. Patent RF no. RU 2685572 C2, 2019].

9. Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве: отчет о науч.-иссл. работе. Пушкино, 2010. 106 с. [*Development of Scientific and Methodological Approaches and Technologies for the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Forestry*. Pushkino, 2010. 106 p.].

10. Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (ч. 2). 2011. Режим доступа: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-for-mapping-2/> (дата обращения: 15.04.19). [Sechin A.Yu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. *Unmanned Aerial Vehicle: Application for Mapping by Aerial Photography* (part 2). 2011].

11. Скуднева О.В. Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2014. № 6. С.150–154. [Skudneva O.V. Unmanned Airborne Vehicles in the Forestry Sector of Russia. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2014, no. 6, pp. 150–154]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/565/1--bespilotnye-letatelnye-apparaty-v-sisteme-lesnogo-khozyaystva-rossii.pdf>

12. Getzin S., Nuske R.S., Wiegand K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, iss. 8, pp. 6988–7004. DOI: [10.3390/rs6086988](https://doi.org/10.3390/rs6086988)

13. Markiewicz A., Nash L. *Small Unmanned Aircraft and the U.S. Forest Service: Benefits, Costs, and Recommendations for Using Small Unmanned Aircraft in Forest Service Operations*. Final Report. Cambridge, MA, Volpe, 2016. 30 p.

14. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J.R., Maza I., Ollero A. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2012, vol. 65, pp. 533–548. DOI: [10.1007/s10846-011-9560-x](https://doi.org/10.1007/s10846-011-9560-x)

15. Ohmann J.L., Gregory M.J., Roberts H.M. Scale Considerations for Integrating Forest Inventory Plot Data and Satellite Image Data for Regional Forest Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 151, pp. 3–15. DOI: [10.1016/j.rse.2013.08.048](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.048)

16. Tewkesbury A.P., Comber A.J., Tate N.J., Lamb A., Fisher P.F. A Critical Synthesis of Remotely Sensed Optical Image Change Detection Techniques. *Remote Sensing of Environment*, 2015, vol. 160, pp. 1–14. DOI: [10.1016/j.rse.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.006)

17. Zhang L., Wang B., Peng W., Li C., Lu Z., Guo Y. Forest Fire Detection Solution Based on UAV Aerial Data. *International Journal of Smart Home*, 2015, vol. 9, no. 8, pp. 239–250. DOI: [10.14257/ijsh.2015.9.8.25](https://doi.org/10.14257/ijsh.2015.9.8.25)

#### NAVIGATION AND PILOTING SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR FOREST FIRE MONITORING

**O.V. Skudneva**<sup>1</sup>, Senior Lecturer; ResearcherID: [V-5466-2017](https://orcid.org/0000-0001-6387-0108),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6387-0108>

**S.V. Koptev**<sup>2</sup>, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

**S.V. Ivantsov**<sup>3</sup>, Director

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Faculty of Fundamental Science, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: [chykchyk@yandex.ru](mailto:chykchyk@yandex.ru)

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: [s.koptev@narfu.ru](mailto:s.koptev@narfu.ru)

<sup>3</sup>State Autonomous Institution of the Arkhangelsk Region “Unified Forest Fire Center”, prosp. Obvodnyy kanal, 22, korp. 1, Arkhangelsk, 163060, Russian Federation; e-mail: [iwantsow.s@yandex.ru](mailto:iwantsow.s@yandex.ru)

Forest fires are a common natural disaster all over the world. A great number of fires occur annually in the forest ecosystems of the European North of Russia for natural reasons and as a result of anthropogenic impacts. One of the urgent problems of forestry is the organization of effective control of forest fires. Herewith, it is important to quickly detect the source of fire, as well as to monitor the development of the fire, and to coordinate the actions of the staff of the ground forest protection services. Unmanned aerial vehicles (UAV) of different classes are increasingly used for these purposes. For forestry experience and, especially for forest fire monitoring, the most practical are helicopter-type UAV, which do not require special training of staff. Such devices can operate in the mode of “fire tower” and in the mode of monitoring the edge of the fire with an option to reset information pennants at certain points. The use of UAV is an effective means of monitoring the fire situation in addition to existing methods and technologies, and especially in cases of impossibility of using high-resolution satellite images for operative tasks. For the effective operation of UAV in the area of active forest fires and, thus, strong smoke, navigation and piloting systems are necessary to perform safe flights outside the action of the ground control panel located at the starting point. The aim of this work is to develop a navigation and piloting system for UAV, which can be used in the area of limitation of ground control point. The use of such systems will allow monitoring of the fire situation in real time, which is especially important in the organization of protection and suppression of forest fires in large areas of nature reserves, where the priority is to preserve the biological diversity of natural ecosystems and unique landscapes. This article may be of interest to forestry specialists, developers of UAV and equipment, fire protection and the Ministry of Emergency Situations staff, as well as to engineering students to gain experience with UAV.

**For citation:** Skudneva O.V., Koptev S.V., Ivantsov S.V. Navigation and Piloting System of Unmanned Aerial Vehicle for Forest Fire Monitoring. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 194–203. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-6-194-203](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-194-203)

**Keywords:** forestry, forest fire monitoring, unmanned aerial vehicle, navigation and piloting system.

Поступила 15.09.19 / Received on September 15, 2019