



Научная статья

УДК 656.7.025

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-203-212

Навигационно-пилотажная система транспортных беспилотных летательных аппаратов для лесохозяйственной практики

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

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

Научно-учебный комплекс «Фундаментальные науки» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Рубцовская наб., д. 2/18, Москва, Россия, 105005; chukchuk@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.05.20 / Одобрена после рецензирования 13.08.20 / Принята к печати 20.08.20

Аннотация. На сегодняшний день существует необходимость увеличения количества авиационных транспортных перевозок «легких» грузов в лесопромышленной и лесохозяйственной практике, в практике работы промышленных предприятий, службы лесоохраны, МЧС и др. Использование вертолетов не может обеспечить оперативность и не всегда рационально в случаях перевозки незначительных по массе грузов на малые расстояния, но крайне необходимых, например, для пожаротушения в условиях бездорожья. Приводятся доказательства производственной и экономической целесообразности создания транспортных беспилотных летательных аппаратов с навигационно-пилотажными системами, которые должны обеспечивать автоматический полет и доставку грузов в район лесохозяйственной зоны. Приведены эскиз карты полета и параметры курса беспилотного летательного аппарата, а также структурная блок-схема работы навигационно-пилотажной системы. Рассмотрено взаимодействие входящих в нее устройств для решения навигационных задач. Отмечено, что создание навигационно-пилотажной системы в целях выполнения автоматической навигации беспилотных летательных аппаратов должно осуществляться на основе законов прикладной математики и их реализации при разработке алгоритмов и программно-математического обеспечения в составе бортового вычислителя навигационно-пилотажной системы. Навигационно-пилотажные системы, созданные на базе предложенной структурной схемы, могут найти применение в области контроля экологической обстановки, при наблюдении за живой природой, лесными запасами и другими природными ресурсами страны. Использование беспилотных летательных аппаратов позволит обеспечить безопасность жителей в случае экологических и техногенных катастроф. Повысится оперативность доставки грузов в удаленные районы РФ в промышленных целях и для обеспечения работ Министерства обороны по защите северных рубежей, охране природных ресурсов Северного Ледовитого океана и др. Учитывая современный уровень развития техники, несмотря на имеющиеся значительные трудности технического и финансового обеспечения при внедрении и эксплуатации беспилотных летательных аппаратов, считаем целесообразным и возможным рекомендовать создание таких средств

© Скуднева О.В., 2022



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

транспортировки. Технические возможности для разработки беспилотных летательных аппаратов в отечественной промышленности есть. Окончательное решение о целесообразности их создания должны принимать заинтересованные организации.

Ключевые слова: лесохозяйственные работы, транспортный беспилотный летательный аппарат, навигационно-пилотажная система, доставка грузов, доставка грузов воздушным путем

Для цитирования: Скуднева О.В. Навигационно-пилотажная система транспортных беспилотных летательных аппаратов для лесохозяйственной практики // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 203–212. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-203-212>

Original article

Flight Navigation System of Transport Unmanned Aerial Vehicles for Forestry Practice

Oksana V. Skudneva, Senior Lecturer; ResearcherID: [V-5466-2017](https://orcid.org/0000-0001-6387-0108),

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

Faculty of Fundamental Sciences at Bauman Moscow State Technical University, Rubtsovskaya naberezhnaya, 2/18, Moscow, 105005, Russian Federation; chykchyk@yandex.ru

Received on May 27, 2020 / Approved after reviewing on August 13, 2020 / Accepted on August 20, 2020

Abstract. Nowadays there is a need to increase air transportation of light-weighted cargo in timber industry and forestry practice, in the work of industrial enterprises, forest protection services, the Ministry of Emergency Situations, etc. The use of helicopters cannot ensure efficiency and is not always advisable in cases of transportation of light-weighted, but extremely necessary cargo over short distances, for example, for fire extinguishing in off-road conditions. The article provides evidence of the production and economic feasibility of creating transport unmanned aerial vehicles (UAVs) with flight navigation systems (FNS), which should ensure automatic flight and delivery of goods to the area of the forestry zone. The article provides a sketch of the flight map and the parameters of the UAV heading, as well as the block diagram of the FNS. The interaction of input devices for solving navigation problems is considered. The article notes that the FNS creation for automatic navigation of UAVs should be solved on the basis of the laws of applied mathematics and the ability to implement them in the development of algorithms and software and mathematical support as part of the FNS on-board computer. FNSs on the basis of the proposed structural scheme can also find application in order to control the environmental situation, to provide assistance in solving forestry problems related to monitoring and control over the conservation of wildlife, forest reserves and other natural resources of the country. The use of UAVs will ensure the safety of residents in the event of environmental and anthropogenic disasters. This will increase the efficiency of cargo delivery to remote areas of Russia for industrial purposes and to support the work of the Ministry of Defense to protect the northern borders, the protection of natural resources of the Arctic Ocean, etc. We consider it expedient and possible to recommend the creation of UAVs as transport vehicles, having regard to the current level of technological development, despite the existing significant challenges of technical and financial support during the introduction and operation of such vehicles. The domestic industry has the technical capabilities to develop UAVs. The feasibility of their creation should be determined by the interested organizations.



Keywords: forestry operations, transport unmanned aerial vehicle, flight navigation system, cargo delivery, cargo delivery by air

For citation: Skudneva O.V. Flight Navigation System of Transport Unmanned Aerial Vehicles for Forestry Practice. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2022, no. 3, pp. 203–212. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-203-212>

Введение

В настоящее время при выполнении лесохозяйственных работ и работ, связанных с тушением лесных пожаров, основными видами транспорта являются тракторы и другие виды колесной техники, а также вертолеты, осуществляющие перевозку специалистов, оборудования для тушения пожаров и пр. Для ведения лесохозяйственных работ необходима доставка запасных частей, химических средств для обработки лесных массивов и др. Эффективность работ по ликвидации возгорания в значительной степени зависит от оперативности подвоза средств пожаротушения, обеспечения специалистов лесоохраны и МЧС продуктами питания и всем необходимым для обустройства жизни в полевых условиях. Использование вертолетов для этих целей затруднено в первую очередь из-за высоких цен на обслуживание. Поэтому надо находить другие способы доставки грузов, с учетом условий удаленности и бездорожья. Решением может стать создание транспортных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с навигационно-пилотажной системой (НПС), которая должна обеспечивать автоматический безопасный полет летательного аппарата (ЛА) к месту доставки груза.

Объекты и методы исследования

Транспортные БПЛА. НПС. Необходимость и целесообразность. Известна поговорка – «Нет таких задач, которые не могли бы решить инженеры». М.В. Ломоносов в 1754 г. в исследовательских целях сумел создать первый в мире ЛА тяжелее воздуха. Прошло более 250 лет и идея ученого приобретает широкое применение [7]. В лесохозяйственной практике БПЛА используются для мониторинга лесных пожаров, могут применяться при геодезических работах, для целей картографии, контроля состояния лесов и объектов лесной инфраструктуры, нахождения мест незаконной заготовки древесины и несанкционированных свалок, установления таксационных показателей древостоев, оптимизации технологий разработки лесосек, учета животных и др. [1–7]. Службой лесоохраны и МЧС БПЛА применяются для обнаружения зон очагов пожаров и определения направления их распространения, а Министерством обороны – в основном для разведывательных целей и решения боевых задач. На следующем этапе развития беспилотной авиации следует ожидать использования БПЛА в промышленных и лесохозяйственных целях в первую очередь как средств доставки грузов различного назначения.

При современном уровне техники и инженерной мысли создание таких ЛА представляет определенную сложность, но является выполнимой задачей [1–10, 16, 19]. «XXI век должен стать в авиации веком БПЛА – массового

развития и применения летательных аппаратов, автоматически управляемых на всех этапах движения от взлета до посадки» [18, с. 14]. Необходимость оперативной доставки грузов является очевидной и будет становиться еще острее, что потребует в ближайшем времени создания БПЛА для выполнения транспортных работ.

Экономическая целесообразность создания транспортных БПЛА должна основываться в промышленности – на интересах производства, в лесохозяйственной практике – на необходимости охраны природных лесных ресурсов, в т. ч. мониторинга лесных пожаров, оказания помощи в пожаротушении, оперативной доставки химических средств для обработки лесных массивов от вредителей, запасных частей, специального оборудования, а также грузов для жизнеобеспечения специалистов. Применение транспортных БПЛА позволит повысить эффективность промышленного освоения Арктики и Северного морского пути, охраны северных границ страны, а также геолого-разведывательных и промышленных работ в добывающей промышленности и др.

Разработка транспортных БПЛА потребует создания на борту НПС, которые должны обеспечивать полет, безопасную и точную посадку пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов в месте назначения для «тяжелых» ЛА и прилет в зону работы на конечном пункте маршрута (КПМ) наземных пультов управления «легких» БПЛА [11, 13, 16].

Трудность создания БПЛА заключается именно в необходимости оснащения их НПС: требуется разработка алгоритмов управления и программно-математического обеспечения, основанных на законах прикладной математики, применительно к конструктивным особенностям и условиям эксплуатации летательных аппаратов. Оснащение двигателем, напротив, не вызовет сложностей. Здесь применимы электростатические или заряжаемые от химических генераторов на основе электролитов аккумуляторы, а также двигатели на жидком топливе [15, 17, 20].

Эскиз карты полета, параметры курса в точке старта, структурная блок-схема цифровой НПС БПЛА для лесохозяйственных работ. На рис. 1 приведен эскиз изменения углов полета БПЛА в автономном режиме и показаны параметры курса ЛА в точке старта. На рис. 2 представлена структурная блок-схема НПС БПЛА.

Результаты исследования и их обсуждение

Решение навигационных задач НПС на ЛА. Согласно карте полета ЛА, работа по доставке легких грузов с помощью НПС БПЛА заключается в следующем (рис. 1). В НПС на старте вводятся известные координаты начального пункта маршрута (НПМ) и КПМ, снятые с карты местности. Определяются заданный курс и расстояние до КПМ. На точность полета ЛА к КПМ в соответствии с заданным курсом в режиме автономного курсо-воздушного счисления влияют погрешность навигации НПС, внешние воздействия, особенности работы системы пилотирования. В результате ЛА будет находиться по данным расчета НПС в точке A_1 , где НПС производит расчет координат местоположения λ_{A_1} , φ_{A_1} , нового заданного курса Ψ_{3K2} , дальности D_2 до КПМ. По этим данным осуществляется полет ЛА.

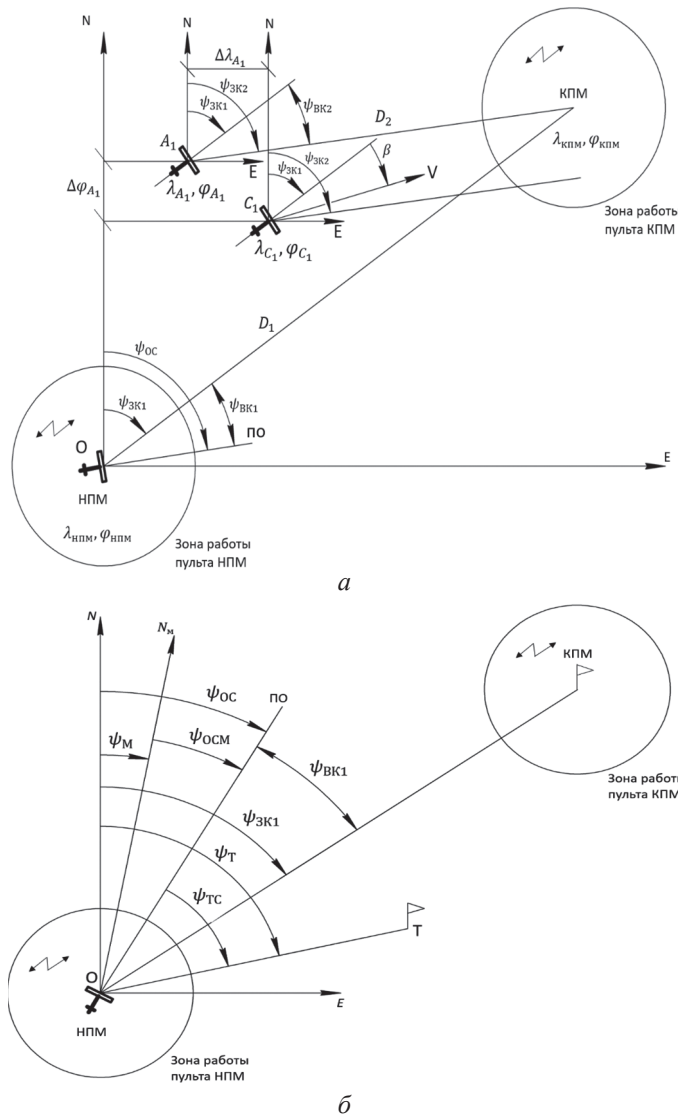


Рис. 1. Транспортный ЛА: *a* – полет с выдерживанием заданного курса; *б* – параметры курса в точке старта. Условные обозначения: β – угол сноса (град.); V – вектор скорости (м/с); ПО – продольная ось; D_1, D_2 – дальность (км); λ, φ – географические долгота и широта соответственно; A_1 – координаты в автономном полете; $\lambda_{A_1}, \varphi_{A_1}, \varphi_{3K1}$ – параметры курса воздушной навигации, $\lambda_{A_1}, \varphi_{A_1}, \Psi_{3K1} = \Psi_{ТЕК}$ (текущий курс); C_1 – фактические координаты; $\Delta\lambda_{A_1}, \Delta\varphi_{A_1}$ – погрешности автономного полета; Ψ_{OC} – стояночный курс (град.); Ψ_{OCM} – стояночный магнитный курс; Ψ_M – магнитное склонение; Ψ_{3K1}, Ψ_{3K2} – заданный курс; Ψ_{BK} – вычисляемый курсовой угол доворота на КПМ; Ψ_T, Ψ_{TC} – азимут на топографический знак Т

Fig. 1. Transport vehicle: *a* – flight with maintaining the heading; *б* – heading parameters at the starting point. Explanation of symbols: β – drift angle (deg.); V – velocity vector (m/s); ПО – longitudinal axis; D_1, D_2 – distance (km); λ, φ – longitude and latitude, respectively; A_1 – coordinates in autonomous flight; $\lambda_{A_1}, \varphi_{A_1}, \varphi_{3K1}$ – air navigation heading parameters, $\lambda_{A_1}, \varphi_{A_1}, \Psi_{3K1} = \Psi_{ТЕК}$ (current heading); C_1 – actual position; $\Delta\lambda_{A_1}, \Delta\varphi_{A_1}$ – autonomous flight error; Ψ_{OC} – ramp heading (deg.); Ψ_{OCM} – ramp magnetic heading; Ψ_M – magnetic declination; Ψ_{3K1}, Ψ_{3K2} – set heading; Ψ_{BK} – calculated heading angle of additional turn to FDP; Ψ_T, Ψ_{TC} – azimuth to the topographic symbol T

Фактическое местоположение ЛА из-за ошибок курсо-воздушного счисления окажется в точке C_1 с погрешностями по координатам $\Delta\lambda_{A1}$, $\Delta\varphi_{A1}$. В данных условиях НПС должна обеспечить прилет ЛА в зону работоспособности пульта – КПМ – для выполнения посадки в режиме радиопередачи. На точность прилета ЛА в КПМ влияют внешние атмосферные условия, радиус действия радиопередачи от пульта КПМ, время полета, погрешность навигации и особенности работы системы пилотирования ЛА. Такой режим напоминает полет снаряда «за горизонт» по заданному курсу, успешно применяемый в дальноточной артиллерии [14].

При значительных величинах дальности D_1 точность прилета ЛА с грузом в КПМ можно повысить за счет использования в составе НПС приемника спутниковой навигационной системы – GPS/ГЛОНАСС, подключаемого к вычислителю (БЦВМ) НПС. Это позволит даже при кратковременной коррекции координат гарантировать точный прилет ЛА в КПМ.

Состав, структурная блок-схема НПС. Описание работы. НПС транспортного ЛА содержит аппаратуру, соответствующую блокам, указанным на схеме рис. 2.

Работа с НПС на борту ЛА заключается в следующем. При подготовке к полету БВК устанавливают с помощью реперных штырей на реперные отверстия ЛА, обеспечивая при этом совмещение продольных осей БВК и ЛА. Конструктивно обеспечивается также совмещение нулевого значения угла датчика курса, устанавливаемого на БВК, и нулевого значения продольной оси БВК [12, 19].

В качестве датчика стояночного курса могут использоваться магнитный компас, буссоль или оптический (использующий ориентир Т) пеленгатор со шкалой курса или датчиком курса с цифровым или аналоговым (СКТ) выходом.

На старте измеренное БВК значение начального стояночного магнитного курса ЛА (например, показание шкалы магнитного компаса) вводится в блок ЗК/ЗМС, где с учетом магнитного склонения формируется сигнал начального стояночного курса $\Psi_{OC} = \Psi_{OCM} + \Psi_M$. От ЗК/ЗМС он поступает на 1-й вход ГН и обрабатывается от исходного нулевого значения, соответствующего направлению продольной оси ЛА. После, при известном заданном курсе на КПМ, вычисляется курсовой угол доворота ЛА на заданный курс КПМ и вводится с выхода ЗК/ЗМС на 1-й вход ГН, т. е. $\Psi_{BK1} = \Psi_{ЗК1} - (\Psi_{OCM} + \Psi_M) = \Psi_{ЗК1} - \Psi_{OC}$ (см. рис. 1, б), а затем с выхода ГН значение поступает на 2-й вход БЦВМ. БВК снимается с ЛА.

На 2-й вход ГН с выхода БКК вводятся сигнал широтной коррекции скорости вращения Земли $\Omega \sin \varphi$ и сигнал компенсации собственного дрейфа гироскопа – $\omega_{др}$, обеспечивающие стабильность показаний значений курса от ГН.

Запрограммированные в цифровом виде координаты НПМ и КПМ, заданные курс, скорости, высота полета, допустимые углы отклонения от авиагоризонта вводятся с выхода БПД на 3-й вход БЦВМ.

В полете посредством АТП измеряются текущие параметры транспортного ЛА: углы отклонения от авиагоризонта, воздушная скорость, барометрическая высота, высота полета от радиовысотомера, угол сноса β – и с выхода аппаратуры текущих параметров вводятся на 4-й вход БЦВМ. В БЦВМ происходят сравнение этих сигналов с заданными в БНД параметрами транспортного ЛА и сравнение заданного и текущего курса с вычисляемым курсовым углом доворота на КПМ до нулевого значения.

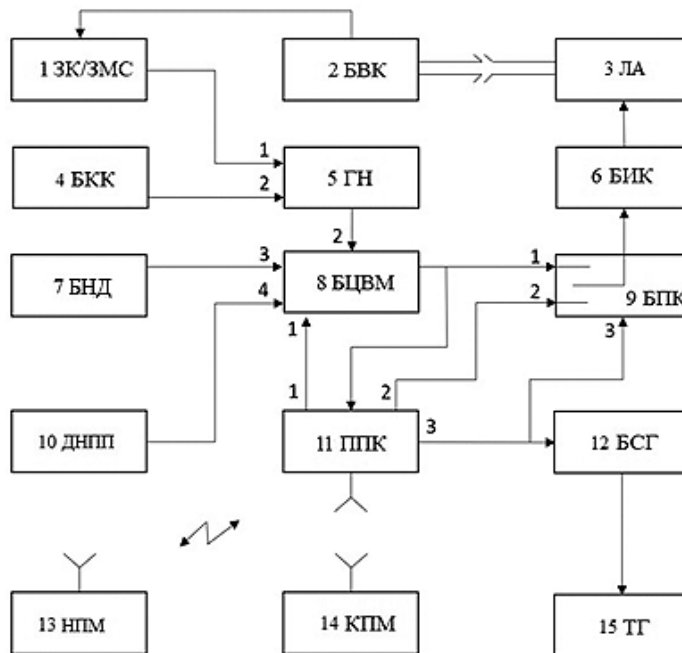


Рис. 2. Структурная блок-схема цифровой НПС транспортных БПЛА: ЗК/ЗМС – задатчик курса / магнитного склонения; БВК – съемный блок выставки начального стояночного курса; БКК – блок коррекции курса; ГН – гироскоп направления; БИК – блок исполнения команд; БНД – блок навигационных данных; БЦВМ – бортовая цифровая вычислительная машина (вычислитель); БПК – блок переключения каналов; ППК – пульт приема-передачи; БСГ – блок сброса груза; ТГ – исполнительное устройство сброса транспортируемого груза

Fig. 2. Structural flow-chart of the digital FNS of transport UAVs: ЗК/ЗМС – heading selector / magnetic declination; БВК – removable unit of the initial ramp heading display; БКК – heading correction unit; ГН – directional gyroscope; БИК – command acquisition unit; БНД – navigation data unit; БЦВМ – digital flight control computer (computer); БПК – channel-selection unit; ППК – receiving and transmitting console; БСГ – cargo drop unit; ТГ – executive device for transported cargo drop

На основании этого БЦВМ вырабатывает в цифровом виде директивные сигналы отклонений текущих параметров транспортного ЛА от заданных, которые преобразуются в директорные сигналы управления ЛА и вводятся с выхода БЦВМ на 1-й вход блока БПК. С выхода БПК данный директорный сигнал в цифровом виде поступает на вход БИК, который формирует сигналы управления, через выход БИК они вводятся в цифровую исполнительную систему управления ЛА – рулевыми тягами, закрылками и т. д. – до обнуления директорного сигнала, в т. ч. $\Psi_{\text{БК1}}$. Обнуление директорного сигнала означает, что ЛА вышел на траекторию полета по заданному курсу $\Psi_{\text{ТЕК}} = \Psi_{\text{ЗК1}}$. Из-за отклонения ЛА от запрограммированного движения по заданному курсу под действием внешних факторов, изменения в полете угла сноса β и ошибок курсо-воздуш-

ного счисления в полете необходимо корректировать текущий курс на вычисленное значение заданного курса $\Psi_{3К2}$. При этом следует иметь в виду, что фактическое местонахождение ЛА будет отличаться от расчетного (см. рис. 1, а).

В зоне работы пультов управления НПМ и КПМ команда на переход управления по каналам радиосвязи передается с пультов НПМ или КПМ на вход ППК. С 1-го выхода ППК команда поступает на 1-й вход БЦВМ и с 3-го выхода ППК – на 3-й вход БПК. При этом БПК переключает управление с выхода БЦВМ, связанного с 1-м входом БПК, на 2-й вход БПК, связанный со 2-м выходом ППК. Одновременно с выхода БЦВМ на вход ППК поступают сигналы управления и координаты, автономно вычисленные при полете по маршруту. После чего команды управления от пультов НПМ или КПМ идут по каналу радиосвязи на ППК и поступают со 2-го выхода ППК через 2-й вход БПК, далее – с выхода БПК на вход БИК и с выхода БИК – на цифровую систему управления ЛА для выполнения полета и посадки в точке КПМ. При этом сигнал сброса груза поступает с 3-го выхода ППК на вход БСГ, а с его выхода – на вход исполнительного устройства ТГ с выдачей разовой команды на сброс транспортируемого груза.

Заключение

В промышленности на практике особое значение придается надежности и безопасности работы транспорта и входящего в его состав оборудования. Большую роль играет выбор состава бортового оборудования: его стоимость, гарантированная точность, простота обслуживания и автономность работы. Исходя из этих требований предложенная структурная блок-схема навигационно-пилотажной системы является наиболее оптимальной для проведения хозяйственных мероприятий в лесной зоне.

Одноканальная структурная схема на основе использования гироскопа направления, магнитного курса, заимствованные серийно применяемые комплектующие изделия, простота технического обслуживания, радиоуправление на начальном и конечном пунктах маршрута, цифровая вычислительная техника позволяют реализовать создание навигационно-пилотажной системы транспортного беспилотного летательного аппарата для применения в лесохозяйственной практике. Основное назначение транспортных беспилотных летательных аппаратов с навигационно-пилотажной системой – доставка технических и химических средств, продовольствия и пр. для специалистов, работающих в лесохозяйственной зоне. Возможность автономного автоматического полета вне зоны действия радиоуправления на начальном и конечном пунктах маршрута позволит применять транспортные беспилотные летательные аппараты с навигационно-пилотажной системой для мониторинга лесных пожаров на значительной территории, выполнения работ по картографированию, геологоразведке, для контроля качества лесных массивов, защиты их от незаконной вырубki и др.

Для двигателей таких летательных аппаратов могут использоваться электрорезервные аккумуляторы или заряжаемые от химических генераторов на основе электролитов с достаточной емкостью заряда (при работах в полевых условиях), а также двигатели на жидком топливе. Главное, чтобы выполнялись требования по качеству и надежности. Сложность создания беспилотных ле-

тательных аппаратов в значительной степени заключается в необходимости разработки навигационно-пилотажных систем: алгоритмов управления и программно-математического обеспечения, основанных на законах прикладной математики, применительно к конструктивным особенностям и условиям эксплуатации летательных аппаратов. Основой для разработки навигационно-пилотажной системы транспортных беспилотных летательных аппаратов являются объективные возможности инженерной науки и техники. Целесообразность выпуска подобных летательных аппаратов очевидна: существует необходимость выполнения работ службами лесоохраны в условиях удаленности и бездорожья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Акиндейев Ю.А., Воробьев В.Г., Карчевский А.А., Магнусов В.С., Селезнев Б.В., Шихер И.С. Аппаратура измерения курса и вертикали на воздушных судах гражданской авиации. М.: Машиностроение, 1989. 344 с.
Akindeyev Yu.A., Vorob'yev V.G., Karchevskiy A.A., Magnusov V.C., Seleznev B.V., Shikher I.S. *Heading and Vertical Framework Measurement Equipment for Civil Aviation Aircraft*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1989. 344 p. (In Russ.).
2. Алексеенко Н.А. Методические вопросы картографического обеспечения природоохранной деятельности особо охраняемых природных территорий России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2014. № 1. С. 52–57.
Alexeenko N.A. Specific Methodological Features of Cartographic Support of the Activities of Nature Protection Areas in Russia. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia*, 2014, no. 1, pp. 52–57. (In Russ.).
3. Бобринский А.Н., Воронов М.А., Коришонов Н.А., Ловцова Н.В., Петров А.П., Проказин Н.Е. Правоприменение и управление в сфере использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов. М.: Всемирный банк, 2017. 274 с.
Bobrinskiy A.N., Voronov M.A., Korshchnov N.A., Lovtsova N.V., Petrov A.P., Prokazin N.E. *Law Enforcement and Management in the Field of Use, Protection and Reproduction of Forests*. Moscow, Vsemirnyy bank Publ., 2017. 274 p. (In Russ.).
4. Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 130–138.
Koptev S.V., Skudneva O.V. On the Applicability of UAV in Forestry Practice. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2018, no. 1, pp. 130–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.1.130>
5. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: моногр. Казань: РИЦ «Школа», 2015. 444 с.
Moiseev V.S. *Fundamentals of the Theory of Effective Use of Unmanned Aerial Vehicle*: Monograph. Kazan, RITs "Shkola", 2015. 444 p. (In Russ.).
6. Окорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Разработка схем базовых модулей типоразмерных рядов энергоустановок на основе воздушно-алюминиевых химических источников тока // Электрон. журн. «Труды МАИ». 2014. Вып. 78. С. 18.
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, p. 18. (In Russ.).
7. Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве: отчет о науч.-исслед. работе. Пушкино, 2010. 106 с.
Development of Scientific and Methodological Approaches and Technology for the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Forestry: Report on Scientific and Research Work. Pushkino, 2010. 106 p. (In Russ.).

8. Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Ч. 2. М., 2011. Режим доступа: https://racurs.ru/upload/iblock/3b4/UAV_2.pdf (дата обращения: 20.04.22).
- Sechin A.Yu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. *Unmanned Aerial Vehicle: Application for Aerial Photography for Mapping*. Part 2. Moscow, 2011. (In Russ.).
9. 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. (In Russ.). http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/565/1-_bespilotnyye-letatelnye-apparaty-v-sisteme-lesnogo-khozyaystva-rossii.pdf
10. 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.
- 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. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-194-203>
11. Ageev A.M., Bronnikov A.M., Bukov V.N., Gamayunov I.F. Supervisory Control Method for Redundant Technical Systems. *Journal of Computers and Systems Sciences International*, 2017, vol. 56, iss. 3, pp. 410–419. <https://doi.org/10.1134/S1064230717030029>
12. Geister R., Limmer L., Rippl M., Dautermann T. Total System Error Performance of Drones for an Unmanned PBN Concept. *2018 Integrated Communications, Navigation, Surveillance Conference (ICNS)*. Herndon, VA, IEEE, 2018, pp. 2D4-1–2D4-9. <https://doi.org/10.1109/ICNSURV.2018.8384845>
13. Markiewicz A., Nash L. *Small Unmanned Aircraft and the U.S. Forest Service*. Report No. DOT-VNTSC-USDA-16-06. Cambridge, MA, Volpe, 2016. 28 p.
14. Merino L., Caballero F., Martinez-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. <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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.048>
16. Shakhtarin B.I., Shen K., Neusypin K.A. Modification of the Nonlinear Kalman Filter in a Correction Scheme of Aircraft Navigation Systems. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2016, vol. 61, iss. 11, pp. 1252–1258. <https://doi.org/10.1134/S1064226916110115>
17. Shen K., Neusypin K.A., Proletarsky A.V., Guo R. Technology of Error Compensation in Navigation Systems Based on the Nonlinear Kalman Filter. *Guofang Keji Daxue = Journal of National University of Defense Technology*, 2017, vol. 39(2), pp. 84–90.
18. Shen K., Selezneva M.S., Neusypin K.A., Proletarsky A.V. Novel Variable Structure Measurement Systems with Intelligent Components for Flight Vehicles. *Metrology and Measurement Systems*, 2017, vol. 24, no. 2, pp. 347–356. <https://doi.org/10.1515/mms-2017-0025>
19. Spicer J., Perkins A., Dressel L., James M., Chen Y.-H., De Lorenzo D.S., Enge P. The JAGER Project: GPS Jammer Hunting with a Multi-Purpose UAV Test Platform. *Proceedings of Institute of Navigation International Technical Meeting, ITM-2015*. Dana Point, CA, 2015, pp. 62–70.
20. 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.006>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest