



УДК 630*96

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ

С.В. Коптев¹, д-р с.-х. наук, доц.

О.В. Скуднева², ст. преп.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.koptev@narfu.ru

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

В статье рассмотрены особенности и возможности применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике на основе международного опыта. Особое внимание уделено вопросу определения и привязки границ лесных участков к карте местности с помощью приемника спутниковой навигационной системы, размещаемого на летательном аппарате. Показано, что использование беспилотных аппаратов исключает погрешности работы спутниковой навигационной системы, связанные с ее недостаточной помехоустойчивостью в условиях отражающих предметов и поверхностей (кроны и стволы деревьев, места с перепадом высот). Отмечены недостатки, ограничивающие применение беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике: нерегламентированность их использования в воздушном пространстве; наличие слабой теоретической базы; низкое качество получаемых изображений; сложность организации летно-съемочного процесса; невысокая точность бортовых навигационных систем; отсутствие наземных опорных точек; высокая аварийность и др. Установлена эффективность мониторинга лесных массивов с использованием беспилотных летательных аппаратов в целях обнаружения очагов пожаров, оказания помощи при пожаротушении, контроля состояния лесов и объектов лесной инфраструктуры, нахождения мест незаконной заготовки древесины и несанкционированных свалок, определения таксационных показателей древостоев, оптимизации технологий разработки лесосек, учета животных и др. Показана возможность создания транспортных беспилотных летательных аппаратов с навигационно-пилотажными системами и их использования при определении границ лесных участков и контроле привязки к карте местности с обеспечением требований точности.

Ключевые слова: лесное хозяйство, мониторинг, беспилотный летательный аппарат, навигационно-пилотажные системы, опорные точки лесосеки.

В связи с развитием мирового авиастроения и цифровых технологий беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят применение в различных сферах деятельности человека, в том числе и в тех областях, где требуется за сравнительно короткий период времени получить пространственную инфор-

Для цитирования: Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 130–138. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

мацию приемлемого качества о труднодоступных территориях. Поэтому использование БПЛА для съемки местности является одним из наиболее актуальных направлений в лесохозяйственной практике [3, 8, 13, 16]. Этот способ получения геопространственных данных, отличающийся оперативностью, актуален в настоящее время [1, 3]. В ближайшее десятилетие самыми крупными потребителями услуг беспилотной авиации будут те виды деятельности, где требуется регулярный осмотр линейных и площадных объектов [8].

БПЛА классифицируют на основании следующих ключевых характеристик: тип летательного аппарата (самолет, мультикоптер), дальность, высота и время полета, масса. Аппараты самолетного типа превосходят мультикоптеры по основным рабочим характеристикам. Преимущества БПЛА вертолетного типа – возможность зависания в одном месте, детальный осмотр объектов с близкого расстояния, работа с ограниченных площадок [3]. Для лесного хозяйства требуется сочетание детальности, производительности, непрерывности наблюдений при приемлемой себестоимости работ. В связи с этим в лесохозяйственной практике наибольшее применение находят БПЛА самого низкого класса (масса – до 10 кг, высота полета – до 1 км, продолжительность полета – 20...60 мин), оснащенные калиброванными фотокамерами. Их используют для мониторинга лесных массивов в целях обнаружения очагов пожаров и оказания помощи при пожаротушении, контроля состояния лесов и объектов лесной инфраструктуры, нахождения мест незаконной заготовки древесины и несанкционированных свалок, определения таксационных показателей древостоев, оптимизации технологий разработки лесосек, учетов маршрутов животных и др. [12, 15].

Следует отметить, что применение БПЛА в практике лесного хозяйства не имеет серьезной теоретической базы, учитывающей особенности техники, оптимизацию режимов полетов и необходимое количество аппаратов, что существенно снижает их практические возможности и результативность. БПЛА должны рассматриваться как элементы единой информационной системы совместно с действующими в лесном хозяйстве информационными системами [3]. Существует ряд проблем, ограничивающих использование беспилотников на практике и связанных с отсутствием регламентирующих документов по их применению в воздушном пространстве, условий страхования от ущерба третьим лицам, наземных опорных точек, а также с плохим качеством получаемых изображений, сложностью организации летно-съемочного процесса, низкой точностью бортовых навигационных систем [2, 3].

В настоящее время привязку границ лесных участков производят с помощью геодезических инструментов, которые обеспечивают требуемую точность определения и контроль за эксплуатационной площадью лесосек.

Погрешности измерения линий, углов и площадей лесных участков и лесосек, указанные на планово-картографических материалах, не должны превышать значений, приведенных в Правилах заготовки древесины... [7], которые допускают для съемки и привязки границ лесосек использовать также спутниковые навигационные системы (СНС), обеспечивающие необходимую точность измерений.

Определение координат и привязка границ лесных участков и лесосек с помощью геодезических инструментов – трудоемкий процесс, зависящий от квалификации специалистов и возможности выполнения работ на местности. Кроме того, точность выхода в опорную точку (один из углов лесосеки) определяется масштабом карт и их соответствием фактическому рельефу. Привяз-

ка к топографическому знаку (реперу) границ лесосеки в реальных таежных условиях крайне затруднена при наличии болот, рек, озер. В связи с этим следует рассмотреть возможность применения СНС для определения на местности координат опорных точек-визиров лесосеки (или другого лесного участка) с обеспечением требований по точности привязки координат. Практика работы подтверждает недостаточную помехоустойчивость СНС в условиях радиопомех вблизи поверхности Земли при наличии отражающих предметов и поверхностей (кроны и стволы деревьев, места с перепадом высот), что приводит к неопределенностям при обозначении границ объектов и в ряде случаев недопустимо.

В настоящее время БПЛА стали широко применять при мониторинге лесных массивов для обнаружения очагов лесных пожаров, что позволяет принимать меры к их локализации и оказанию помощи в пожаротушении, контролировать состояние лесов, определять зоны усыхания, незаконной заготовки древесины, затопления и др. [9, 10, 14, 16]. В дальнейшем можно рассматривать БПЛА в качестве транспортного средства для доставки различных грузов для пожаротушения, запасных частей для техники, а также продуктов питания и лекарств для специалистов, работающих в труднодоступных районах. Кроме лесного хозяйства, транспортные БПЛА можно эффективно использовать на промышленных, газо- и нефтедобывающих предприятиях, в гидрометеослужбе, при освоении Арктики и Северного морского пути, в интересах Министерства обороны и МЧС.

Особое место при создании БПЛА нового поколения будут занимать навигационно-пилотажные системы (НПС) на основе бортовой цифровой вычислительной машины, современного программно-математического обеспечения (ПМО), микроминиатюризации комплектующих изделий и радиоэлементов, использования СНС. Такие системы, обладающие высокой точностью ориентации и надежностью выполнения режимов автоматического взлета–полета–посадки, обеспечат безопасность и простоту эксплуатации БПЛА различных типов и назначения [3, 9] и будут дублировать работу пилота и навигатора на пилотируемых летательных аппаратах, а в будущем смогут заменить 2-го пилота и штурмана [4–6].

В данной статье рассматривается технология использования легких БПЛА для определения координат границ лесных участков, контроля и привязки их к карте местности, изучения состояния лесных насаждений с помощью установленной на БПЛА фото- и видеоаппаратуры оптического и инфракрасного диапазонов, оценки таксационных параметров и определения возможного объема заготовки древесины и отдельных сортиментов на данных участках.

Тип БПЛА и особенности его конструкции выбираются исходя из условий его назначения – обеспечение определения границ объекта (лесосеки, лесного участка) и контроль привязки лесосеки к плано-картографическим материалам. В качестве дополнительного оборудования для контроля состояния отдельных деревьев и древостоев, установления основных таксационных параметров древостоев (среднего диаметра, средней высоты, полноты, запаса) на планируемой площади лесосеки можно предложить использовать фоторегистраторы, что в дальнейшем позволит оценивать эффективность освоения лесного участка и прогнозировать выход сортиментов.

На рис. 1 приведен эскиз карты местности с обозначением разметки лесосеки с помощью БПЛА.

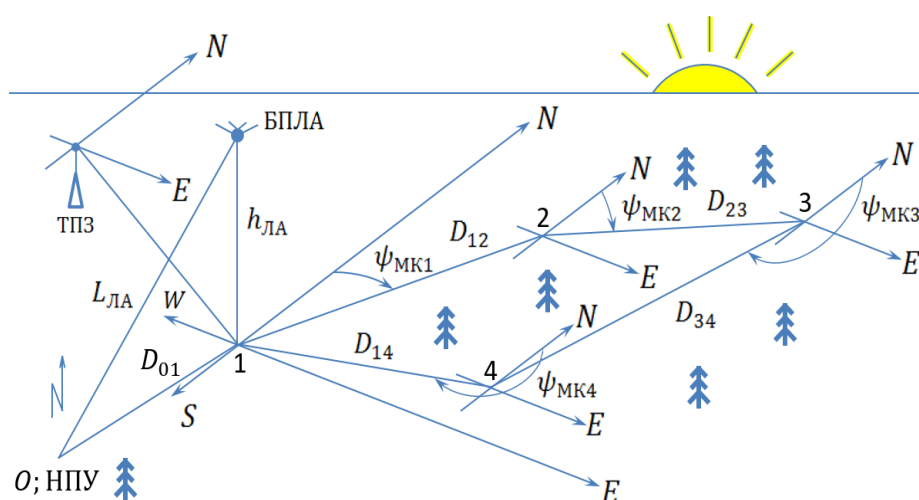


Рис. 1. Эскиз карты местности: N, E, S, W – стороны света (север, восток, юг, запад); O – опорная точка нахождения оператора; 1–4 – опорные точки лесосеки; НПУ – наземный пульт управления; $\psi_{МК1}$, $\psi_{МК2}$, $\psi_{МК3}$, $\psi_{МК4}$ – азимуты на опорные точки (МК – магнитный курс); D_{01} , D_{12} , D_{23} , D_{34} , D_{14} – расстояние между опорными точками; ☎ – лес; $L_{ЛА}$ – дальность от оператора до БПЛА; $h_{ЛА}$ – высота БПЛА над опорной точкой

Технология определения на местности участка планируемой заготовки древесины заключается в следующем.

Управление полетом БПЛА выполняется с помощью НПУ. В конструкции БПЛА должно быть предусмотрено устройство для сброса вымпела с небольшим грузом или легкого радиомаяка по команде от НПУ.

С НПУ на БПЛА вводятся географические координаты (долгота λ , широта φ , высота h , если таковая известна) опорных точек (1–4) лесосеки, снимаемые с географических карт. При этом следует иметь в виду, что географические координаты и контуры местности, показанные на карте, не всегда совпадают с фактическим рельефом. При вводе координат опорных точек для широты имеет место соотношение: $1^\circ - 111,3 \text{ км}$; $1' - 1855,0 \text{ км}$; $1'' - 30,9 \text{ м}$; $0,1'' - 3,1 \text{ м}$. Для долготы цена деления зависит от широты места проведения работ и измеряется по закону $\lambda = \cos \varphi$.

Опорную точку нахождения оператора с НПУ целесообразно (но не обязательно) размещать вблизи очередной опорной точки лесосеки, указанной на географической карте.

Для определения на местности положения опорной точки 1 лесного массива при работающем на БПЛА приемнике СНС с введенными в него координатами этой точки аппарат должен зависнуть над опорной точкой на высоте 30...40 м, безопасной для его работы. В зависимости от конструкции БПЛА зависание над опорной точкой выполняется автоматически или с помощью НПУ оператора по нулевому сигналу отклонения от введенных координат опорной точки. Сброс пассивного радиомаяка (вымпела) происходит по команде оператора с НПУ. Место падения радиомаяка фиксируется как опорная точка лесосеки.

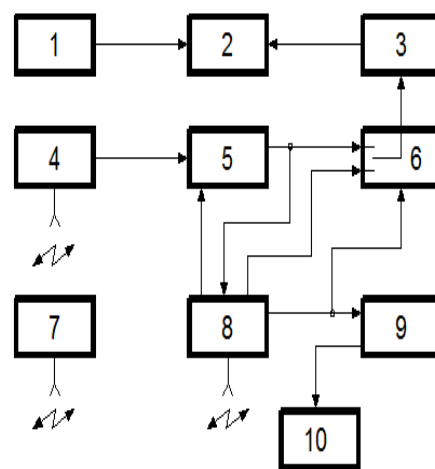
Оператор с БПЛА и НПУ перемещается в зону следующей опорной точки 2 лесосеки, расположение которой известно из планово-картогра-

фических материалов. Направление движения по линии границы на эту точку определяется географическим курсом (азимутом), снятым с карты при помощи магнитного компаса или буссоли с учетом магнитного склонения в данной местности. Положение на местности в зоне опорной точки 2 фиксируется аналогично точке 1 и т. д.

Для подтверждения объективности определения опорных точек лесосеки на местности целесообразно повторно производить запуски БПЛА со сбросом радиомаяков (вымпелов) и установлением средних значений координат опорной точки.

На рис. 2 приведена блок-схема системы определения координат опорных точек для отвода границ лесосеки.

Рис. 2 Структурная блок-схема НПС:
1 – жидкостной датчик авиагоризонта; 2 – БПЛА; 3 – блок исполнения команд; 4 – СНС; 5 – вычислительное устройство; 6 – блок переключения каналов; 7 – НПУ; 8 – приемник команд; 9 – блок сброса маяка; 10 – радиомаяк (вымпел)
(↔ – сигналы радиоприема–передачи)



Предложенная методика фиксации места определения опорных точек (визиров) лесосеки (мест отсутствия радиопомех) создает максимально возможные условия для работы приемника СНС на БПЛА. Точность ввода координат и вывод БПЛА в точку сброса радиомаяка (вымпела) определяются возможностями конструкции БПЛА и не должны вызывать сомнений, так как аналогичные приемы работы с СНС широко используются автомобилистами в мобильных телефонах.

При определении опорных точек важным параметром является точность, с которой найдены координаты непосредственно приемником СНС на БПЛА. Среднеквадратическая ошибка составляет 15 м с учетом постоянной составляющей статистической ошибки в зоне работы оператора с СНС. В случае необходимости повышение точности определения координат опорной точки может быть достигнуто введением дифференциального режима работы СНС, который позволяет устанавливать и исключать постоянную составляющую погрешности в конкретной зоне. На основании значения постоянной составляющей погрешности вводят поправку, которую учитывают при определении координат опорной точки с погрешностью до 2...3 м. Такой дифференциальный режим используют там, где необходимо иметь максимально возможную точность (например, в картографии, где погрешность составляет до 1 м).

Задачу привязки лесосеки к карте местности можно решать также с применением транспортных БПЛА, поскольку ПМО НПС позволяет выпол-

нять полет по заданным траектории и курсу на малые и большие расстояния с прохождением опорных точек и сбросом груза.

Существующие технологии отвода лесосек не лишены недостатков. В работе [2] предложен новый способ отвода лесосек, основанный на применении СНС и системы радиочастотной идентификации с использованием закапываемых в землю капсул, содержащих радиометку. По мнению авторов, такой способ в отличие от существующих позволяет снизить трудоемкость работ и затраты времени на разметку границ лесосек, а также дает дополнительные преимущества для участков, требующих особого подхода к сохранению биоразнообразия.

Заключение

Предложенная методика определения границ лесосеки с установкой опорных точек (визиров) участка при использовании БПЛА обеспечивает необходимую точность и контроль привязки их к карте местности, позволяет применять легкие и сравнительно недорогие БПЛА и обеспечивать заявленную СНС точность определения координат.

Обслуживание легких БПЛА не требует высокой квалификации оператора и может быть выполнено обученными студентами или молодыми специалистами. Необходимо, чтобы программно-математическое обеспечение НПС БПЛА позволяло получать исходные данные для формирования технического задания на работу по заявленной технологии.

Применение БПЛА с приемником СНС на борту над лесным участком исключает влияние помех и гарантирует точность определения координат. Кроме того, установка на легкий БПЛА фото- и видеорегистраторов при проведении «челночных» полетов над лесным массивом позволяет оценивать состояние отдельных деревьев и древостоя в целом, предварительно прогнозировать объем заготовки и товарную структуру древесины.

Предложенную методику определения опорных точек можно использовать в картографии, геодезии, а также при работах, выполняемых транспортными БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевко Н.А.* Методические вопросы картографического обеспечения деятельности особо охраняемых природных территорий России // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2014. № 1. С. 52–57.
2. *Васильев А.С., Лукашевич В.М., Шегельман И.Р., Суханов Ю.В.* Новый способ отвода лесосек // Инж. вестн. Дона (электрон. науч. журн.). 2015. Ч. 2, № 2.
3. *Моисеев В.С.* Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: моногр. Казань: Школа, 2015. 444 с.
4. Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата: пат. Рос. Федерация № 145174 U1 на полезную модель / Скуднева О.В., Мелехов В.И., Корнейчук В.В. 2015.
5. Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата: пат. Рос. Федерация № 2597814 С1 на изобретение / Скуднева О.В., Корнейчук В.В. 2016.
6. Пилотажно-навигационное устройство транспортного летательного аппарата: пат. Рос. Федерация № 151304 U1 на полезную модель / Скуднева О.В., Мелехов В.И., Корнейчук В.В. 2015.
7. Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в ст. 23 Лесного кодекса РФ: приказ Минприроды России № 474 от 13 сент. 2016 г.; зарегистр. в Минюсте России

29.12.2016 № 45041. (ред. от 11.01.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. *Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С.* Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Ч. 2. Режим доступа: <http://www.racurs.ru> (дата обращения: 10.10.2017).

9. *Скуднева О.В.* Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // Лесн. журн. 2014. № 6. С. 150–154. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. *Скуднева О.В.* Прошлое и будущее беспилотных летательных аппаратов. Вопросы навигации // Строительная наука – XXI век: теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. конф., 28–30 июня 2016 г., Архангельск. С. 298–302.

11. *Christiansen S.* Drones over Alaska // Anchorage Press. August 19, 2009. Available at: http://www.anchoragepress.com/news/drones-over-alaska/article_18cd878a-503a-511f-b4c9-eb50cca8cd03.html (дата обращения: 10.07.2017).

12. *Getzin S., Nuske R., 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

13. *Grenzdörffer G.J., Engel A., Teichert B.* The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: XXIst ISPRS Congress Technical Commission I. Vol. XXXVII, part B1 / ed. by Ch. Jun, J. Jie, A. Baudoin. Beijing, China, 2008. Pp. 1207–1214.

14. *Hein G., Bento M.* Unmanned Aerial Vehicles: an Overview // Inside GNSS. 2008. Vol. 3, no. 1. Pp. 54–61.

15. *Merino L., Caballero F., Martinez-de-Dios J., Maza I., Ollero A.* An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2012. Vol. 65, iss. 1–4. Pp. 533–548.

16. *Zhang L., Wang B., Peng W., Li Ch., 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.

Поступила 12.08.17

UDC 630*96

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

On the Applicability of UAV in Forestry Practice

S.V. Koptev¹, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.V. Skudneva², Senior Lecturer

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: s.koptev@narfu.ru

²Scientific and educational complex “Fundamental Sciences”, Bauman Moscow State Technical University, Rubtsovskaya Naberezhnaya, 2/18, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: chykchik@yandex.ru

The article discusses the features and capabilities of unmanned aerial vehicles (UAVs) in forestry practice on the basis of the international experience. The focus is on the problem of defining and linking the boundaries of forest sites to the map of the area using a satellite navigation system (SNS) receiver, placed on an UAV. The use of UAVs eliminates errors of the SNS operation due to its insufficient noise immunity in conditions of reflecting objects

For citation: Koptev S.V., Skudneva O.V. On the Applicability of UAV in Forestry Practice. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 130–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

and surfaces (crowns and trunks of trees, places with an altitude difference). We mark the shortcomings that limit the use of unmanned aerial vehicles in forestry practices (lack of regulation on their use in airspace; weak theoretical basis; poor quality of the images obtained; complexity of the flight survey organization; low accuracy of on-board navigation system; lack of ground control points; accident risks; etc.). The paper proves the effectiveness of monitoring forest areas using UAVs in order to detect fire fronts, to assist in fire-fighting, to monitor the state of forests, objects of forest infrastructure, sites of illegal logging, unauthorized landfills, to determine forest stand taxation indicators, to improve technologies of logging sites development, census of animals, etc. The authors demonstrate the possibility of creating transport unmanned aerial vehicles with navigation-flight systems and their use in determining forest land boundaries and map control of the region providing accuracy requirements.

Keywords: forestry, monitoring, unmanned aerial vehicle, navigation and flight system, control point of a cutting area.

REFERENCES

1. Alekseenko N.A. Metodicheskie osobennosti kartograficheskogo obespecheniya prirodookhrannoy deyatel'nosti osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy Rossii [Specific Methodological Features of Cartographic Support of the Activities of Nature Protection Areas in Russia]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Vestnik MGU. Series 5. Geography], 2014, no. 1, pp. 52–57.
2. Vasil'ev A.S., Lukashovich V.M., Shegel'man I.R., Sukhanov Yu.V. Novyy sposob otvoda lesosek [New Method for Coupe Demarcation]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2015, vol. 36, no. 2-2, pp. 85–86.
3. Moiseev V.S. *Osnovy teorii effektivnogo primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov: monogr.* [Fundamentals of the Theory of UAV Effective Use]. Kazan, Shkola Publ., 2015. 444 p. (In Russ.)
4. Skudneva O.V., Melekhov V.I., Korneychuk V.V. *Pilotazhno-navigatsionnaya sistema transportnogo letatel'nogo apparata* [Flight System of a Transport Aircraft]. Patent RF, no. 145174 U1, 2015.
5. Skudneva O.V., Korneychuk V.V. *Pilotazhno-navigatsionnaya sistema transportnogo letatel'nogo apparata* [Flight System of a Transport Aircraft]. Patent RF, no. 2597814 C1, 2016.
6. Skudneva O.V., Melekhov V.I., Korneychuk V.V. *Pilotazhno-navigatsionnoe ustroystvo transportnogo letatel'nogo apparata* [Flight Navigator of a Transport Aircraft]. Patent RF, no. 151304 U1, 2015.
7. *Ob utverzhdenii Pravil zagotovki drevesiny i osobennostey zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, lesoparkakh, ukazannykh v st. 23 Lesnogo kodeksa RF: prikaz Minprirody Rossii № 474 ot 13 sent. 2016 g.* [On Approval of the Rules for Timber Harvesting and the Features of Timber Harvesting in Forest Areas, Forest Parks, Specified in the Article No. 23 of the Forest Code of the Russian Federation: Order No. 474 of the Ministry of Natural Resources of Russia of September 13, 2016].
8. Sechin A.Yu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. *Bespilotnyy letatel'nyy apparat: primeneniye v tselyakh aerofotos'emki dlya kartografirovaniya. Ch. 2* [Unmanned Aerial Vehicle: Application for Aerial Photography for Mapping. Part 2]. Available at: <http://www.racurs.ru> (accessed 10.10.2017).
9. Skudneva O.V. *Bespilotnye letatel'nye apparaty v sisteme lesnogo khozyaystva Rossii* [Unmanned Airborne Vehicles in the Forestry Sector of Russia]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 6, pp. 150–154.
10. Skudneva O.V. *Proshloe i budushchee bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Voprosy navigatsii* [The Past and the Future of Unmanned Aerial Vehicles. Questions of Navigation]. *Stroitel'naya nauka – XXI vek: teoriya, obrazovanie, praktika, innovatsii Severo-Arkticheskomu regionu: sb. tr. VII mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., 28–30 iyunya 2016 g.*,

Arkhangel'sk [Construction Science – 21st Century: Theory, Education, Practice, Innovations to the North-Arctic Region: Proc. 7th Intern. Sci. Techn. Conf., June 28–30, 2016, Arkhangelsk]. Arkhangelsk, 2016, pp. 298–302.

11. Christiansen S. Drones over Alaska. *Anchorage Press*, August 19, 2009. Available at: http://www.anchoragepress.com/news/drones-over-alaska/article_18cd878a-503a-511f-b4c9-eb50cca8cd03.html (accessed 10.07.2017).

12. Getzin S., Nuske R., 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

13. Grenzdörffer G.J., Engel A., Teichert B. The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIst ISPRS Congress Technical Commission I. Vol. XXXVII. Part B1*. Ed. by Ch. Jun, J. Jie, A. Baudoin. Beijing, China, 2008, pp. 1207–1214.

14. Hein G., Bento M. Unmanned Aerial Vehicles: an Overview. *Inside GNSS*, 2008, vol. 3, no. 1, pp. 54–61.

15. Merino L., Caballero F., Martinez-de-Dios J., Maza I., Ollero A. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2012, vol. 65, iss. 1-4, pp. 533–548.

16. Zhang L., Wang B., Peng W., Li Ch., 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.

Received on August 12, 2017