

УДК: 630\*3:630\*23: 630\*24

EDN: [ZOMFEK](#)



## Беспилотные машины и аппараты в лесном хозяйстве

Ю.В. Суханов<sup>1,\*</sup>, П.О. Щукин<sup>1</sup>, О.И. Гаврилова<sup>1</sup>, А.В. Кабонен<sup>1</sup>,  
А.В. Грязькин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Институтский пер., д. 5, Литер У, г. Санкт-Петербург, 194021, Россия

\*E-mail: [yv\\_sukhanov@petsu.ru](mailto:yv_sukhanov@petsu.ru)

**Аннотация.** Приведен обзор отечественной и зарубежной литературы о конструировании беспилотных машин и аппаратов, которые могут быть применены в лесном хозяйстве, а также о опыте их применения. Рассмотрены существующие решения в области механизации лесохозяйственных работ и проанализированы проблемы внедрения таких решений в России. Показана перспектива внедрения и применения беспилотных решений. Сделан анализ задач, успешно решаемых беспилотными летательными аппаратами уже сегодня и задач, которые могут решаться в ближайшем будущем

**Ключевые слова:** лесовосстановление, уход за лесом, беспилотные машины и аппараты, автоматизация

## Unmanned machines and drones in forestry

Yu. V. Sukhanov<sup>1,\*</sup>, P. O. Shchukin<sup>1</sup>, O. I. GavriloVA<sup>1</sup>, A.V. Kabonen<sup>1</sup>,  
A.V. Gryazkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Petrozavodsk State University, Lenin Str., 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State Forestry Engineering University, Institutskij per., d. 5 liter U, St. Petersburg, 194021, Russia

\* E-mail: [yv\\_sukhanov@petsu.ru](mailto:yv_sukhanov@petsu.ru)

**Abstract.** The article provides an overview of national and foreign literature about the design of unmanned machines and drones that can be used in forestry, as well as the experience of their use. The existing solutions to the mechanization of forestry work are considered and the problems of the implementation of such decisions in Russia are analyzed. The prospect of the implementation and application of unmanned solutions is shown. Appended task analysis where successfully solved unmanned aerial vehicles today and the tasks that can be solved in the near future

**Keywords:** reforestation, handling of forest, unmanned machines and drones, automation

## 1. Введение

При изучении технического прогресса в любой отрасли народного хозяйства, выделяют несколько этапов, охватывающих особенности внедрения механизмов и машин в технологические процессы и описывающих основные вехи процесса перехода от ручного труда через механизацию и механизацию к всесторонней комплексной автоматизации производства. Подобные этапы или периоды можно выделить и при изучении истории технического оснащения лесного хозяйства [1].

Однако, в отличие, например, от машиностроения, в лесной отрасли есть существенные особенности, которые заметно осложняли и осложняют процессы внедрения новой техники [2]:

- во-первых, постоянно изменяющиеся природно-производственные условия не позволяют добиться высокого уровня слаженности и ритмичности работы отдельных машин в системе машин, что отрицательно сказывается на стабильности производства;
- во-вторых, для выполнения ряда операций не было разработано эффективных машин, и, соответственно, внедрение отдельных производительных машин не решало задачи повышения эффективности всего технологического процесса.

В настоящее время на заготовке леса на большом числе предприятий Северо-Запада России применяют полностью механизированные технологии – используется система машин из харвестера и форвардера. Механизация лесозаготовок принесла не только улучшения условий труда для работников [3, 4], но и повысила безопасность работ, так как вероятность получить травму в кабине современной машины значительно меньше, чем при работе вальщика с бензомоторным инструментом непосредственно на делянке.

Машины для заготовки леса постоянно совершенствуются, оснащаются новыми функциями, которые повышают эффективность труда, автоматизируют и упрощают работу операторам [5]. Хотя сегодня лесосечные машины без оператора, например, подобные Gremo Besten I06rh [6], пока не получили распространения, но с развитием систем связи можно прогнозировать широкое применение таких решений в будущем. В этом случае оператор лесной машины будет находиться не в лесу, а в удалённом офисе откуда и будет управлять лесозаготовительной машиной на делянке.

## 2. Постановка задачи

В отличие от лесозаготовительных процессов, многие процессы лесовосстановления и ухода за лесом в недостаточно механизированные не только в России, но и за рубежом. Необходимо изучить существующий отечественный и иностранный опыт создания и использования машин для лесовосстановления и ухода за лесом. Следует проанализировать какие из существующих иностранных машин и технологий могут быть применены в России, какие идеи и конструкции будут востребованы в будущем, а также рассмотреть перспективы развития автоматизации процессов в лесу.

## 3. Методы и материалы исследования

В основе методологии исследования лежит широкий литературный обзор тематической области исследований. Метод исследования заключается в систематическом поиске и анализе материалов по статьям в научной и учебной литературе, а также по тематическим страницам в сети Интернет. Рассматривались материалы, не только вышедшие в последнее время, но и публикации по истории механизации и механизации в лесном секторе, так как они показывают вектор развития отрасли. Так как многие новейшие решения еще не описаны в научных статьях, то в работе широко использовалась информация и из не рецензируемых источников. Авторы надеются, что широкий выбор источников позволил выполнить более глубокий анализ проблем и тенденций развития автоматизации лесного хозяйства и выявить направления, где могут внедряться беспилотные решения.

## 4. Полученные результаты

Для выявления перспектив использования беспилотных машин и аппаратов в лесном хозяйстве следует рассмотреть историю механизации и механизации процессов лесовосстановления и ухода за лесом.

### *4.1. Развитие механизации и механизации лесного хозяйства*

В Советском Союзе уровень механизации в лесном хозяйстве возрастал, а доля ручного труда сокращалась [7]. Промышленностью серийно выпускалось около 100 машин специального назначения для лесного хозяйства, разрабатывались и автоматизированные машины, например, автоматические приспособления типа АЛП-1 и ПЛА-1А и машины типа МЛА-1А. Однако в 90-е годы прошлого века технический прогресс в машиностроении для отечественного лесного хозяйства фактически

остановился. В других странах учёные продолжали работать над новыми машинами для лесного хозяйства. Например, в Скандинавии конструкторы создавали посадочные машины дискретного действия двух типов: с посадочными головками (типа MoDo Mekan и Silva Nova) и полностью навешиваемые на кран или манипулятор (типа Bracke P11 и M-Planter) [8]. В настоящее время скандинавские машины агрегатируемые на стрелу экскаватора широко используются на практике (рисунок 1 а), а в качестве одной из значительных технических проблем подобных машин отмечается только не до конца решенная задача перезаправки машины посадочным материалом [9]. Для осветлений и прочисток были созданы и используются на практике специальные машины, например, рамы-осветлители для харвестера типа Naarva P25 (рисунок 1 б), кусторезы для харвестеров или малогабаритных тракторов типа Usewood UW40 и MenSe RP6L, широко используются в лесном хозяйстве малогабаритные харвестеры и форвардеры, а также харвардеры (рисунок 1 г). Для внесения минеральных удобрений используют разбрасыватели, установленные на форвардере (рисунок 1 в). Но и в странах с развитым лесным машиностроением существуют проблемы с механизацией лесного хозяйства, например, в странах Северной Европы внедрение новых технологий подталкивается не только отсутствием рабочих рук, но и требованиям к повышению безопасности работ, экологичности (запрет гербицидов) и качества проведения работ. В настоящее время в Финляндии и Швеции хорошо механизированы работы по подготовке почвы, однако при посадках и уходе используется много ручного и моторизированного труда, поэтому ученые прогнозируют более широкое внедрение разработанных машин и рост автоматизации новых лесохозяйственных машин [10].



**Рисунок 1.** Машины для лесовосстановления и ухода за лесом.

#### *4.2. Настоящая ситуация с механизацией и механизацией в России*

В настоящее время технологические процессы отечественного лесного хозяйства не обеспечены современными машинами. Старые отечественные машины физически и морально устарели. Многие заводы, ранее занимавшиеся производством лесных машин, уже не функционируют. Из-за проблем с финансированием современные иностранные машины недоступны. Таким образом, уровень механизации технологических процессов лесовосстановления и ухода за молодниками остаётся низким, а доля ручного труда высока [11, 12]. Например, посадка сеянцев осуществляется с помощью меча Колесова, для посадочного материала с закрытой корневой системой используют трубы Поттипутки или инструмент Рудол, а для ухода в молодниках используют мотокусторезы. Это физически тяжелый и травмоопасный труд, который осложняется дождями, летней жарой, кровососущими насекомыми и клещами, заболоченностью и отсутствием дорог. Существуют и разрабатываются машины, помогающие снизить трудоёмкость ручных работ, например, при посадке может использоваться дискретный лункообразователь типа Л2-У [13], но подобные машины не исключают ручной труд полностью. При этом, в отрасли ощущается острая нехватка кадров [14]. Все это приводит к тому, что качественно и в нужном объеме работы по лесовосстановлению, агротехническому и лесоводственному уходу без внедрения современных высокопроизводительных машин выполнены быть не могут.

#### *4.3. Предпосылки внедрения беспилотных технологий в лесной отрасли*

Из-за недостатка финансирования и нехватки кадров (в том числе операторов лесных машин) невозможно использовать напрямую скандинавский подход, где лесохозяйственные машины агрегируются на дорогие, в том числе и в эксплуатации, харвестеры, форвардеры и подготовленные для работы в лесу экскаваторы.

Поэтому, при решении задачи механизации отечественного лесного хозяйства следует, учитывая передовой международный опыт, разработать свои подходы, ориентированные на отечественные природно-производственные условия и специфику. Кроме того, следует рассмотреть не только возможности современных существующих машин, но и учесть тенденции развития современной науки и техники для того, чтобы предсказать в какую сторону будет развиваться современное лесное машиностроение.

В настоящее время в разных отраслях народного хозяйства начинают широко использовать беспилотную технику. Развитие компьютерных технологий и алгоритмов (например, позволяющих распознавать объекты), развитие и доступность датчиков и

сенсоров (система глобального позиционирования, лазерные радары, видео, ультразвуковые датчики и т.д.), технологий связи, позволяющих передавать по каналам связи видеосигнал с высокой разрешающей способностью, а также миниатюризация электроники, позволяет беспилотные технологии быстро совершенствовать.

Подобные решения в дальнейшем позволят не только сделать лесные машины более компактными, лёгкими и дешёвыми за счёт того, что дорогая кабина, которая должна отвечать высоким требованиям безопасности и комфорта, будет отсутствовать, но и позволят решить проблемы доставки и проживания операторов в лесу, а также кардинально решить проблему безопасности труда. Беспилотные и роботизированные машины по типу управления можно разделить на три группы: удаленно управляемую оператором, полуавтоматическую и автономную [15]. По мере развития технологий и автоматизации отдельных технологических операций беспилотная техника будет развиваться в сторону автономных машин.

Следует учитывать особенности лесного хозяйства. Так при проведении лесозаготовок предмет труда (дерево, хлыст, сортимент) имеют большие массу и габариты, в тоже время, задачи лесовосстановления сводятся к работе с более лёгкими и компактными объектами – сеянцами, травянистой растительностью и нежелательным листовым подростом, а значит от лесохозяйственной машины не требуется такой мощной стрелы, рамы, ходовой части и т.д. как у лесозаготовительной машины. Таким образом, лесохозяйственная машина может иметь более компактные размеры и меньшую массу. Снижение массо-габаритных характеристик машины означает не только более низкую себестоимость самой машины и меньшие затраты при эксплуатации, но и позволяет сделать машину более экологически-совместимой и работать под пологом леса, что важно для задач лесного хозяйства.

#### *4.4. Опыт внедрения беспилотных технологий в сельском хозяйстве*

В качестве примера внедрения новых машин, включая беспилотных роботизированных машин, следует изучить опыт современного сельского хозяйства.

Задачи и проблемы сельского и лесного хозяйства в некоторых аспектах достаточно похожи. Но в сельском хозяйстве уже внедряют беспилотные машины для решения различных задач растениеводства: обработка почвы, посев и посадка, уход, сбор овощей и фруктов и т.д.

За рубежом работа над такими мобильными роботами ведется достаточно активно и если десять лет назад были только лабораторные экземпляры, обрабатывающие почву,

позволяющие бороться с сорняками, осуществлять посев и посадку [16], то на сегодняшний день некоторые роботизированные машины активно внедряются в производство. Например, роботы для посева и внесения удобрений DOT Power Platform [17,18] работают на фермах США и Канады. Более десяти различных роботов стартапа SwarmFarm работают в садах и на полях, а вскоре найдут применение и на виноградниках [19]. Компания GUSS предлагает фермерам полностью автономных роботов-опрыскивателей для садов, оснащённых спутниковой навигацией и лидарами [20]. На рынке доступны роботы Oz фирмы Naio Technologies, которые недавно получили новые функции и теперь способны не только проводить уход, но и заниматься посевом [21], кроме того, компания предлагает более крупные машины Dino и Ted [22].

Одной из самых перспективных технологий для внедрения в роботизированных машинах является так называемое «компьютерное зрение», которое позволяет анализировать изображения или видеоряд и находить на них определённые объекты. Так роботы, используя стереоскопические камеры для идентификации плодов на деревьях, уже научились самостоятельно собирать фрукты, успешно ведутся работы над разработкой машин для сбора ягод и овощей, технология на практике используется также при прополке и выбраковке растений и плодов [23].

Внедряются системы для автоматизации управления сельскохозяйственными тракторами и синхронизации машин между собой. Так компания John Deere, у которой уже были свои технологии по синхронизации машин [24] летом 2021 года приобрела стартап Bear Flag Robotics, который разрабатывает технологию автономного вождения, совместимую с существующими машинами [25].

Работа над роботизированными сельскохозяйственными машинами ведётся и в России, например, успешно развивается проект «Cognitive Agro Pilot» компании «Cognitive Technologies» [26], который позволяет автоматизировать комбайны и трактора, в настоящее время система успешно внедрена в США, Бразилии и Китае, а также в ряде субъектов Российской Федерации: в Калининградской, Калужской, Курской, Белгородской, Тамбовской, Пензенской, Ростовской, Оренбургской, Томской, Курганской областях, Краснодарском, Красноярском и Ставропольском краях [27]. В 2016 году начались испытания робота АгроБот от компании «Аврора Роботикс», который позволяет автоматизировать значительную часть полевых работ [28]. Силами Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева совместно с ЗАО «Космос комплект» был разработан агротехнологический мобильный

роботизированный комплекс GreenBot, который стал победителем конкурса инновационных проектов «AgRoBot-2016» [29]. А команда инженеров и ученых из НИТУ «МИСиС», НИЯУ МИФИ, МИРЭА, МГТУ «Станкин» разработала в 2020 году автономного робота Siberian Tiger для комплексного мониторинга состояния растений [30]. Ведутся и другие работы, например, семейство роботов безлюдного сельскохозяйственного производства AgroMultiBot (роботы-сборщики, пропашной, транспортный и сервисный роботы), роботехнический опрыскиватель ВИМ, робот для сбора овощных культур, модульные платформы для сельского хозяйства и т.д. [31-34].

Часть машин, разработанных для сельского хозяйства, могут быть адаптированы для лесного хозяйства, например, для задач выращивания посадочного материала в питомниках. Но для работы в лесу требуются машины повышенной проходимости. Роботы для сельского хозяйства, в основном, оснащены колесным движителем, тогда как для лесохозяйственного робота, особенно если в его задачи входят энергоёмкие операции по расчистке и подготовке почвы, более подходящим будет гусеничный движитель. Подобные беспилотные машины для сельского хозяйства существуют, например, на рынке представлены специализированные беспилотные гусеничные трактора Roborower с дистанционным управлением компании McConnel, на которые, благодаря передней и задней 3-точечной навеске и двумя ВОМ, возможно навесить разные машины: мульчер для борьбы с нежелательной растительностью, косилка для травы, культиватор, снегоуборочная машина, погрузочное оборудование и т.д. [35], но эти машины не роботизированы. Другим примером гусеничной машины может служить роботизированная платформа AgRob V18 на базе компактного трактора Niko GmbH HRS70 с дизельным двигателем, контролируемая по протоколу CANopen [36].

#### *4.5. Обзор разработок беспилотных наземных решений для лесного хозяйства*

Природно-производственные условия в лесном хозяйстве более сложные, разнообразные и менее предсказуемые, лесная инфраструктура распределена на больших территориях и менее развита, а коммерческие компании не так активно вкладывают деньги в разработку роботизированных лесохозяйственных машин, поэтому большая часть разрабатываемых на сегодня лесохозяйственных машин находятся на уровне концептов или лабораторных образцов.

В настоящее время роботизированные решения в области лесного хозяйства ориентируются в основном на решение следующих групп задач: посадка, посев и уход за растениями, мониторинг и инвентаризация, охрана насаждений от пожаров [37].



Одним из актуальных направлений механизации лесохозяйственных работ являются машины для посадки семян и саженцев с закрытой корневой системой. Например, одним из самых известных прототипов является работа канадских студентов, в рамках которой они создали самоходную тележку TreeRover с оборудованием для посадки семян [38]. Работа механизма посадки осуществлялась с помощью сжатого воздуха. Производительность экспериментального образца – один сеянец в 90 секунд. Студенты через краудфандинговую компанию привлекли инвестиции для доработки проекта и оснащения тележки GPS и системой объезда препятствий. Похожая конструкция робота, но для сельского хозяйства, была создана в 2021 году в институте Гьян Ганга из Индии [39,40]. Эстонская компания Milrem Robotics, производящая платформу для пожарных и военных роботов, и университет Тарту в 2021 году представили концепты двух дизельных лесохозяйственных роботов с оборудованием для посадки семян и с кусторезом [41]. Гусеничная платформа с посадочным оборудованием Multiscope Forester Planter загружается 380 сеянцами и позволяет показать производительность посадки 5-6,5 часов на гектар [42]. Отличительной особенностью Forester Planter является рабочий орган для создания посадочных мест в виде дискретных микроповышений, напоминающий Bracke moulder, таким образом машине не требуется подготовка почвы перед посадкой. Гусеничная платформа с кусторезным оборудованием Multiscope Forester Brushcutter позволяет бороться с нежелательной растительностью с диаметром до 10 см не только при уходе на делянке, но и при обслуживании линейных объектов [43]. Предполагается, что представленные машины смогут работать в тандеме, а работой машин сможет управлять оператор в ручном режиме, полуавтоматическом (функция «следуй за мной») или автоматическом (ориентируясь на системы глобального позиционирования, лидары и камеры). Австралийская компания SkyGrow разработала робота с колесным движителем Growbot для посадки деревьев, в робота загружаются кассеты с сеянцами или саженцами, а машина в автоматическом режиме производит все остальные операции [44]. Разрабатываются машины с вращающимся буром-ямокопателем в качестве оборудования для создания посадочных мест. Например, студенты из ливанского университета RNU разработали робота для создания посадочных мест Kibotto [45]. Также известен проект компании Huawei по созданию роботизированного комплекса «Tree-Planting AI Robot» для борьбы с опустыниванием земель [46].

В мире разрабатывают и специализированные роботизированные машины, например, японская машина для получения высокосортной бессучковой древесины за счет обрезки ветвей в нижней половине ствола [47]. Робот самостоятельно взбирается вверх по стволу за счет колесного движителя и срезает сучья цепной пилой, что позволяет заменить работников лесного хозяйства, которые часто травмировались при работе на стволе дерева. Робот позволяет срезать сучья до 5 см на деревьях диаметром от 6 до 25 см. Скорость передвижения 0,25 м/с, а вес робота 13 килограмм [48].

Широко используют наземных роботов и для задач мониторинга и инвентаризации. Например, известна технология нахождения местоположения стволов деревьев и оценки биомассы при инвентаризации леса с использованием квадроцикла с установленными на него мобильного лидара и GNSS приемника [49]. В настоящее время в разных странах производятся работы по созданию роботизированных комплексов с камерами, лидарами и системами глобального позиционирования для решения аналогичных задач в автоматическом режиме, например, сенсорная башня на роботе AgRob V18 для мониторинга биомассы с лидарным датчиком Velodyne Puck [50], колесная тележка для инвентаризации [51].

#### *4.6. Обзор разработок беспилотных летательных аппаратов для лесного хозяйства*

Если наземные беспилотные машины еще не нашли широкого применения в лесном хозяйстве, то беспилотные летательные аппараты (БПЛА) уже используются для решения различных задач лесной отрасли за рубежом и в России, например, часто решаемые задачи [52]:

- определение границ и площадей лесных участков;
- определение таксационных характеристик насаждений, включая высоты деревьев, породный состав, сомкнутость крон и т. д.;
- различные задачи картографирования, включая подготовку ортофото планов, топографических карт, схем разработки лесосек и т.д.;
- создание цифровых трехмерных моделей местности и насаждений;
- обнаружение фактов нарушения лесного законодательства и борьба с незаконной заготовкой древесины;
- обнаружение пожаров и окарауливание;
- диагностика состояния растительности и объектов;
- определение участков эрозии, деградации почвы и т. д.;

- возможность фото и видео фиксации лесохозяйственных работ;
- визуальный осмотр территорий с высоты птичьего полета для различных задач и т.д.

Отмечается малозатратность и эффективность БПЛА при применении в лесном хозяйстве на уровне лесничества для мониторинга возобновления леса на труднодоступных участках лесного фонда и при изучении структуры древостоев [53,54]. В России есть успешный опыт создания трехмерных моделей древостоев методом фотограмметрии и использования полученных моделей для задач оценки состояния насаждений [55-57]. Возможность установки на БПЛА мультиспектральных камер, включающих снимки ближнего ИК, позволяет классифицировать растительность и рассчитывать вегетационные индексы [58]. Развиваются технологии воздушного лазерного сканирования, которое в настоящее время могут осуществляться не только с самолетов и вертолетов, но и с дронов [59]. Рассмотрены возможности использования беспилотных летательных аппаратов для задач оценки объемов и распределения древесины, включая древесины в прибрежных акваториях и береговой зоне [60]. Показана возможность применения БПЛА для задач дистанционной инвентаризации и мониторинга почв и земель [61]. Успешно применяются БПЛА и для оценки экологического состояния растительности и почв [62]. Предлагается двухуровневые технологии мониторинга лесной растительности, в которых комбинируются данные космических снимков и данные с БПЛА [63].

Возможности современных БПЛА уже сегодня позволяют частично заменить малую авиацию в некоторых задачах мониторинга лесных массивов и охраны лесов от пожаров. Эти задачи особенно актуальны, учитывая то, какой урон народному хозяйству наносят лесные пожары в последние годы. Например, отмечается [64-68], что БПЛА позволяет в режиме реального времени вести мониторинг за обстановкой и окарауливать пожары на площади до 100-200 кв. км, но требуется развивать технологии автоматизации обнаружения возгораний и снижение зависимости полёта от ветра и турбулентных конвекционных потоков лесного пожара.

В настоящее время широкое применение беспилотных летательных аппаратов для различных задач лесного хозяйства связан с прорывом развития гражданских БПЛА в последнее десятилетие, который объясняется появлением недорогих, компактных и надежных электронных компонентов (связь, приемники спутниковой навигации, датчиков, фото- и видеоаппаратуры, аккумуляторов и т.д.), что приблизило по

доступности БПЛА к уровню бытовых технологий [69]. Если начале века для задач лесного хозяйства иностранные компании разрабатывали и предлагали БПЛА в основном самолетного типа [70], то на сегодняшний день наиболее популярны quadro- и мультикоптеры, которые имеют такие положительные черты как и вертолетный тип: компактность, маневренность, простота управления, возможности зависнуть на месте и работы на ограниченной площадке, но заметно превосходят БПЛА вертолетного типа по простоте конструкции и стоимости, хотя и проигрывают самолётному типу по техническим и экономическим показателям при обследовании больших площадей.

Так в Институте природных ресурсов Финляндии используют доработанные бытовые квадрокоптеры типа DJI Mavic для решения различных задач лесного хозяйства: подеревная таксация с определением пород, высот, диаметра и площади крон; мониторинг состояния древостоев и выявление лесопатологических изменений; оценка качества проведения лесовосстановления и ухода за лесом; инвентаризация складов древесины; планирование заготовки древесины и т.д. [71-72].

Кроме задач, связанных с мониторингом, инвентаризацией и картографией, осуществляются попытки применения БПЛА и для других задач: посев и посадка семян, борьба с вредителями и сорняками, обрезка ветвей и т.д. Например, исследователи из университета Киото предложили конструкцию мультикоптера с оборудованием для спиливания ветвей, который может применяться, например, при обслуживании линейных объектов, для удаления нижних ветвей деревьев и т.д. [73]. Компания DroneSeed из Сигтлы предложила БПЛА с 23-литровыми баками для гербицидов и системами для посева семян, которыми заинтересовались крупные лесохозяйственные компании и правительственные учреждения [74]. Аэросев с дронов признается перспективным методом содействия естественному возобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для наземных средств [75-76]. Для увеличения приживаемости семян с дронов в некоторых проектах высеивают не отдельные семена, а заранее приготовленные капсулы с питательным субстратом, которая внедряется в почву и постепенно разрушается под воздействием воды [77-80]. Ведутся работы по созданию систем для посева семян с дронов [81]. Перспективным является возможность применения транспортных БПЛА для задач доставки различных грузов и технических средств, например, применяющихся для задач защиты древостоев [82].

## 5. Выводы

Технический прогресс в лесном хозяйстве приводит к постепенной замене ручного труда на всех операциях механизмами и машинами. Развитие систем связи и компьютерных технологий позволяет создавать все больше беспилотных машин и аппаратов, что позволяет создавать эффективные решения с небольшими массогабаритными характеристиками, а удаление оператора от места работы позволяет обезопасить оператора и улучшить условия труда человека. В настоящее время в лесном хозяйстве в основном используются беспилотные летательные аппараты, а наземные машины еще не вышли из состояния лабораторных разработок, но учитывая опыт применения беспилотных машин в сельском хозяйстве, можно прогнозировать расширение сферы применения беспилотных машин для лесного хозяйства в ближайшее десятилетие.

## Список литературы

1. Винокуров, В. Н. Система машин в лесном хозяйстве: Учебник для вузов / В. Н. Винокуров, Н. В. Еремин; под ред. В. Н. Винокурова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 320 с.
2. Андреев, А. В. Технический прогресс и технико-экономические показатели в лесозаготовительной промышленности / А. В. Андреев // Известия ТПУ. – 1972. – С. 72-82.
3. Герасимов, Ю. Ю. Сравнение лесозаготовительных (валочных) машин по эргономическим критериям / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сютнев, А. П. Соколов // Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. – 2008. – № 1. – С. 124-130.
4. Герасимов, Ю. Ю. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия [Текст] / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сютнев, А. П. Соколов [и др.]. – Йоэнсуу : НИИ леса Финляндии, 2008. – 126 с.
5. Васенёв, М. Ю. Перспективные направления автоматизации современных лесозаготовительных машин / М. Ю. Васенёв // Системы. Методы. Технологии. Братский государственный университет (Братск). – 2018. – № 3(39). – с. 125-129.
6. Карпачёв, С. Инновационные системы лесных машин / С. Карпачёв, Г. Приоров // Лесопромышленник. – 2009. – № 50(май-июнь). – С. 13-19.

7. Терехов, Г. Г. Состояние искусственного лесовосстановления в Свердловской области и пути его совершенствования / Г. Г. Терехов, И. А. Фрейберг, С. В. Залесов, Н. А. Луганский, В. И. Крюк // Известия ОГАУ. – 2018. – №2(70). – С. 95-98.
8. Back Tomas Ersson. Concepts for Mechanized Tree Planting in Southern Sweden / Back Tomas Ersson // Faculty of Forest Sciences. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå. – 2014. – P. 78.
9. Ersson, B. T. Reloading mechanized tree planting devices faster using a seedling tray carousel / B. T. Ersson, U. Bergsten, O. Lindroos // Silva Fennica. – 2014. – Vol. 48(2). article id 1064. <https://doi.org/10.14214/sf.1064>
10. Muedanyi Ramantswana. Advances in the Mechanization of Regenerating Plantation Forests: a Review / Muedanyi Ramantswana, Saulo Philipe Sebastião Guerra, Back Tomas Ersson // Forest Engineering (R Spinelli, Section Editor). Current Forestry Reports. –2020. – Vol. 6. – P. 143-158. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40725-020-00114-7>
11. Луганский, Н. А. Основные технические направления совершенствования лесовосстановления и лесообразования / Н. А. Луганский, В. А. Азаренок, С. В. Залесов, В. Н. Луганский, Р. П. Исаева, Г. Г. Терехов, И. А. Фрейберг // Леса России и хозяйство в них. – 2008. – № 2-30. – С. 1-18.
12. Терехов, Г. Г. Состояние искусственного лесовосстановления в Свердловской области и пути его совершенствования / Г. Г. Терехов, И. А. Фрейберг, С. В. Залесов, Н. А. Луганский, В. И. Крюк // Известия ОГАУ. – 2018. – № 2(70). – С. 95-98.
13. Цыпук А.М. Перспективные машины для дискретной подготовки почвы под лесные культуры / А. М. Цыпук, А. В. Родионов, Л. П. Пекки // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 56. – С. 90-93.
14. Мамонова, Евгения. Дефицит кадров в лесной отрасли оценили в 12 тысяч человек / Евгения Мамонова // Интернет-портал «Российской газеты». Спецвыпуск № 208 (7374). 14.09.2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2017/09/14/deficit-kadrov-v-lesnoj-otrasli-ocenili-v-12-tysiach-chelovek.html> (Дата обращения: 27.07.2021).
15. Рамеш, Бабу Н. Классификация и особенности робототехники в сельском хозяйстве / Бабу Н. Рамеш, В. И. Набоков, Е. А. Скворцов // Аграрный весник Урала (АВУ). – 2017. – № 2(156). – С 82-88.
16. Шаныгин, С. В. Роботы, как средство механизации сельского хозяйства / С. В. Шаныгин // Известия вузов. Машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 39-42.

17. Папушин, Э. А. Анализ роботизированных средств для внесения удобрений / Э. А. Папушин // АгроЭкоИнженерия. – 2019. – № 3(100). – С. 88-93.
18. Matt McIntosh. Eastern Canada gets its first working DOT Power Platform // Future farming. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2020/6/Eastern-Canada-gets-its-first-working-DOT-Power-Platform-595124E/> (Дата обращения: 27.07.2021).
19. Pip Courtney. Innovative agricultural robots land \$4.5 million in funding for start-up SwarmFarm // ABC NEWS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abc.net.au/news/2021-02-28/swarmfarm-agricultural-robots-queensland/13193394> (Дата обращения: 27.07.2021).
20. David Edwards. GUSS Automation launches autonomous orchard sprayer // Robotics & Automation News [Электронный ресурс]. URL: <https://roboticsandautomationnews.com/2021/03/19/guss-automation-launches-autonomous-orchard-sprayer/41526/> (Дата обращения: 27.07.2021).
21. Naïo Technologies показал новый функционал робота Oz // Сайт «ГлавПахарь» [Электронный ресурс]. URL: <https://glavpahar.ru/news/naio-technologies-pokazal-novuuy-funkcional-robota-oz> (Дата обращения: 27.07.2021).
22. Naïo Technologies met en marche la révolution agricole // Официальный сайт компании «Naïo Technologies» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.naio-technologies.com/> (Дата обращения: 27.07.2021).
23. Шалова, С. Х. Обзор рынка сельскохозяйственных роботов и их влияние на экономическое развитие / С. Х. Шалова, О. З. Загазежева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 7(209). – С. 57-70.
24. JOHN DEERE PRECISION AG TECHNOLOGY. Deere & Company. pp. 60 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.deere.ru/assets/publications/index.html?id=b1aedf6a#1/> (Дата обращения: 09.08.2021)
25. Горшкова, Елена. За 250 млн долларов компания John Deere приобрела стартап Bear Flag Robotics / Елена Горшкова. – ООО «Издательство Листерра». – 8 августа 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/za-250-mln-dollarov-kompanija-john-deere-priobrela-startap-bear-flag-robotics.html> (Дата обращения: 09.08.2021).

26. Cognitive Agro Pilot // ООО «Когнитив роботикс» [Электронный ресурс]. URL: <https://cognitivepilot.com/products/cognitive-agro-pilot/> (Дата обращения: 27.07.2021).
27. Cognitive Pilot произведет 5 тысяч автопилотов для умной сельхозтехники // ComNews. Цифровая экономика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/214574/2021-05-20/2021-w20/cognitive-pilot-proizvedet-5-tysyach-avtopilotov-dlya-umnoy-selkhoztekhniki> (Дата обращения: 27.07.2021).
28. Проект «АгроБот» // Официальный сайт компании «Аврора Роботикс» [Электронный ресурс]. URL: <https://avrora-robotics.com/ru/projects/agrobot/> (Дата обращения: 27.07.2021).
29. Балабанов, В. И. Разработка роботизированного комплекса для растениеводства / В. И. Балабанов // Агроинженерия. – 2017. – № 6(82). – С. 52-55.
30. Представлен новый российский сельскохозяйственный робот Siberian Tiger // Сайт «ГлавПахарь» [Электронный ресурс]. URL: <https://glavpahar.ru/news/predstavlen-novyy-rossiyskiy-selskohozyaystvennyy-robot-siberian-tiger> (Дата обращения: 27.07.2021).
31. Анчёков, М. И. Решение проблем автоматизации процесса сбора плодоовощной продукции / М. И. Анчёков, А. Л. Кильчукова, С. Х. Шалова // ИВД. – 2016. – № 4(43). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-problem-avtomatizatsii-protssessa-sbora-plodoovoschnoy-produktsii> (дата обращения: 27.07.2021).
32. Смирнов, И. Г. Робототехнические средства в растениеводстве / И. Г. Смирнов, А. А. Артюшин, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов, А. И. Кутырёв, А. А. Цымбал // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 118. – С. 1651-1660.
33. Шаныгин, С. В. Робототехническая система для уборки овощных культур, растущих над землей / С. В. Шаныгин, В. Г. Фокин, Ю. С. Асадова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2017. – № 9(3). [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN317.pdf> (Дата обращения: 27.07.2021).
34. Черненко, А. Б. Модульный подход к созданию многофункциональной автономной роботизированной платформы сельскохозяйственного назначения / А. Б. Черненко, Н. С. Черников, Н. А. Багинский, М. И. Сысоев // Вестник науки и образования. – 2020. – № 16-1(94). – С. 14-19.



35. McConnel презентовал новый трактор-беспилотник // Портал «АгроПравда» [Электронный ресурс]. URL: <https://agroppravda.com/news/tractors/834-mcconnel-prezentoval-novuyj-traktor-bespilotnik> (Дата обращения: 27.07.2021)
36. Ricardo Reis, Filipe Neves dos Santos, Luís Santos. Forest Robot and Datasets for Biomass Collection // Robot 2019: Fourth Iberian Robotics Conference. pp. 152-163. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35990-4\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35990-4_13)
37. Luiz F. P. Oliveira, António P. Moreira, Manuel F. Silva. Advances in Forest Robotics: A State-of-the-Art Survey // Robotics. – 2021. – № 10(2) 53. – P. 20. <https://doi.org/10.3390/robotics10020053>
38. Karoun Chahinian. Two university students from BC invented a robot that can plant trees // The Plaid Zebra. 28.09.2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://theplaidzebra.com/two-university-students-from-bc-invented-a-robot-that-can-plant-trees/> (Дата обращения: 27.07.2021).
39. Welcome To Ouranos Robotics // Ouranos [Электронный ресурс]. URL: <http://ouranosrobotics.com> (Дата обращения: 27.07.2021).
40. Presenting our first product prototype DIONYSUS // Facebook. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.facebook.com/OuranosRobotics123/posts/215454116992396> (Дата обращения: 27.07.2021).
41. Chris Young. New Tree-Loving Robots Could Plant Entire Forest of Seeds Daily // Interesting Engineering. 25.01.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://interestingengineering.com/new-tree-loving-robots-could-plant-entire-forest-of-seeds-daily> (Дата обращения: 27.07.2021).
42. Multiscope Forester Planter // Milrem Robotics. [Электронный ресурс]. URL: <https://milremrobotics.com/product/robotic-forester-planter/> (Дата обращения: 27.07.2021).
43. Multiscope Forester Brushcutter // Milrem Robotics. [Электронный ресурс]. URL: <https://milremrobotics.com/product/robotic-forester-brushcutter/> (Дата обращения: 27.07.2021).
44. Autonomous Tree Planting: Overview of Solution // Growbots — SkyGrow. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.skygrow.com.au/solution> (Дата обращения: 27.07.2021).
45. RHU engineering students develop a tree planting robot // RHU Publication. Rafik Hariri University. 07.05.2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rhu.edu.lb/media->

- room/news/rhu-engineering-students-develop-a-tree-planting-robot (Дата обращения: 27.07.2021).
46. The desert tree planting robot is online // iNEWS. 08.08.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://inf.news/en/tech/d90d8d7f4d1ac8f243dfbb595ae63b07.html> (Дата обращения: 10.08.2021).
47. Yasuhiko Ishigure. A pruning robot with a power-saving chainsaw drive / Yasuhiko Ishigure, Katsuyuki Hirai, Haruhisa Kawasaki // Conference Proceedings: 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6618088> (Дата обращения: 27.07.2021)
48. Японский робот-лесоруб успешно прошел испытания // RoboticsUA. [Электронный ресурс]. URL: [https://robotics.ua/news/prototypes/3363-japanese\\_robot\\_lumberjack\\_successfully\\_tested](https://robotics.ua/news/prototypes/3363-japanese_robot_lumberjack_successfully_tested) (Дата обращения: 27.07.2021)
49. Jian Tang, Yuwei Chen, Antero Kukko, Harri Kaartinen, Anttoni Jaakkola, Ehsan Khoramshahi, Teemu Hakala, Juha Нуурпӓ, Markus Holopainen, Hannu Нуурпӓ. SLAM-Aided Stem Mapping for Forest Inventory with Small-Footprint Mobile LiDAR // Forests. – 2015. – № 6(12). – P. 4588-4606. <https://doi.org/10.3390/f6124390>
50. Ricardo Reis, Filipe Neves dos Santos, Luís Santos. Forest Robot and Datasets for Biomass Collection // Robot 2019: Fourth Iberian Robotics Conference. pp. 152-163. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35990-4\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35990-4_13)
51. Greatest challenges for forest robots // Forest Monitor. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forest-monitor.com/en/greatest-challenges-forest-robots/> (Дата обращения: 27.07.2021).
52. Дайнеко, Д. В. Применение беспилотных летательных систем в лесной отрасли / Д. В. Дайнеко // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях». г. Иркутск. Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2018. – С. 59-62.
53. Денисов, С. А. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса / С. А. Денисов, А. А. Домрачев, А. С. Елсуков // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – № 4(32). – С. 34-46.
54. Иванов, В. В. Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / В. В. Иванов, А. Н. Борисов, А. Е. Петренко // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2019. – № 3(369). – С. 9-16.

55. Кабонен, А. В. Цифровое моделирование природно-ландшафтных комплексов по данным, полученным с помощью беспилотных летательных аппаратов / А. В. Кабонен, Ю. В. Ольхин // Лесохозяйственная информация. – 2020. – №3. – С. 101-110.
56. Вогель, Д. К. Оценка лесных насаждений Волго-Ахтубинской поймы на основе фотограмметрической обработки данных цифровой аэросъемки / Д. К. Вогель, В. Г. Юферов // Известия НВ АУК. – 2018. – № 3(51). – С. 203-209.
57. Осипенко, А. Е. Опыт применения квадрокоптера для создания трехмерной модели лесных насаждений / А. Е. Осипенко, Я. Коукал, И. А. Панин, Л. А. Иванчина, С. В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. – 2017. – № 4(63). – С. 16-22.
58. Галецкая, Г. А. Возможности обработки и анализа данных сверхлёгкого БПЛА SenseFly eBee в лесном хозяйстве / Г. А. Галецкая, М. В. Вьюнов, С. В. Железова, С. И. Завалишин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – № 4. – С. 11-18.
59. Neuville, R. Estimating Forest Structure from UAV-Mounted LiDAR Point Cloud Using Machine Learning / R. Neuville, J. S. Bates, F. Jonard // Remote Sens. – 2021. – № 3. – P. 352. <https://doi.org/10.3390/rs13030352>
60. Жук, А. Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки объёмов и распределения «Бесхозной» древесины, находящейся в прибрежных акваториях и береговой зоне водохранилищ / А. Ю. Жук // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2014. – № 39. – С. 5-7.
61. Савин, И. Ю. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв / И. Ю. Савин, Ю. И. Вернюк, И. Фараслис // Бюл. Почв. ин-та. – 2015. – № 80. – С. 95-105.
62. Горохова, И. Н. Использование снимков с беспилотного летательного аппарата для оценки экологического состояния почвенно-растительного покрова урбанизированной экосистемы / И. Н. Горохова, Т. И. Борисочкина, Е. А. Шишконокова // Бюл. Почв. ин-та. – 2014. – № 74. – С. 77-89.
63. Аковецкий, В. Г. Методы и технологии интерпретации аэрокосмических мониторинговых наблюдений лесной растительности / В. Г. Аковецкий, А. В. Афанасьев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2020. – № 2. – С. 29-36.
64. Кудрин, А. Ю. Современные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров / А. Ю. Кудрин, А. И. Запорожец, Ю. В. Подрезов // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – № 4. – С. 66-67.

65. Попов, Н. И. Использование беспилотных летательных аппаратов в МЧС России / Н. И. Попов, С. В. Ефимов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2012. – № 1. – С. 149-151.
66. Петушкова, В. Б. Мониторинг и охрана лесов с применением беспилотных летательных аппаратов / В. Б. Петушкова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – № 9. – С. 717-722.
67. Гаврилова, А. А. Организация беспилотного мониторинга лесных пожаров в Архангельской области / А. А. Гаврилова, Т. В. Ершова, А. А. Елисеев // ТТПС. – 2018. – С. 20-22.
68. Скуднева, О. В. Навигационно-пилотажная система беспилотного летательного аппарата для мониторинга лесных пожаров / О. В. Скуднева, С. В. Коптев, С. В. Иванцов // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2020. – № 6(378). – С. 194-203.
69. Эпов, М. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке / М. И. Эпов, И. Н. Злыгостев // Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2012. – Т. 2. – С. 27-32.
70. Никифоров, А. А. Анализ зарубежных беспилотных летательных аппаратов, применяемых в лесном секторе / А. А. Никифоров, В. А. Мунимаев // Resour. Technol. – 2010. – С. 97-99.
71. Лопатин, Евгений. Технология автоматической подеревной таксации лесов и штабелей древесины дронами / Евгений Лопатин. – Институт природных ресурсов Финляндии, 2020. – URL: <https://borealforestplatform.org/wp-content/uploads/2020/06/lopatin.pdf>
72. Ограничения и возможности лесообеспечения плитных и фанерных предприятий // Портал «ПроДерево». – 2019. – URL: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/ogranicheniya-i-vozmozhnosti-lesoobespecheniya-plitnykh-i-fanernykh-predpriyatij.html>
73. Javier Molina. Aerial pruning mechanism, initial real environment test / Javier Molina, Shinichi Hirai // Robotics Biomim. – 2017. – № 4(1): 15. – P. 11. – URL: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5681622/pdf/40638\\_2017\\_Article\\_73.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5681622/pdf/40638_2017_Article_73.pdf)

74. Drone swarms for tree planting and spraying operations // ForestTECH. [Электронный ресурс]. – URL: <https://foresttech.events/drone-swarms-for-tree-planting-and-spraying-operations/> (Дата обращения: 27.07.2021).
75. Новиков, А. И. Тенденции развития процессов аэросева семян в лесохозяйственном производстве / А. И. Новиков, Н. Е. Косиченко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2018. – № 5. – С. 14-25.
76. Соколов, С. В. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами лесовосстановительном производстве / С. В. Соколов, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4(28). – С. 190-205.
77. Omar Faruqi Marzuki. The mechanism of drone seeding technology: a review / Omar Faruqi Marzuki, Ellie Yi Lih Te, Azmin Shakrine Mohd Rafie // The Malaysian forester. – 2021. – № 84(2). – P. 349-358.  
URL: [https://www.researchgate.net/publication/353192140\\_THE\\_MECHANISM\\_OF\\_DRONE\\_SEEDING\\_TECHNOLOGY\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/353192140_THE_MECHANISM_OF_DRONE_SEEDING_TECHNOLOGY_A_REVIEW)
78. Adele Peters. These Tree-Planting Drones Are About To Start An Entire Forest From The Sky // Fast Company. The future of business. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fastcompany.com/40450262/these-tree-planting-drones-are-about-to-fire-a-million-seeds-to-re-grow-a-forest> (Дата обращения: 27.07.2021).
79. Maya Posch. Planting 20 Million Trees, Using Drones, Cannons, And More Unconventional Ways // Hackaday. [Электронный ресурс]. URL: <https://hackaday.com/2019/10/29/planting-20-million-trees-using-drones-cannons-and-more-unconventional-ways/> (Дата обращения: 27.07.2021).
80. Tree planting drones working on forest restoration // ForestTECH. [Электронный ресурс]. URL: <https://foresttech.events/tree-planting-drones-working-on-forest-restoration/> (Дата обращения: 27.07.2021).
81. A New Ally in Aerial Seeding and Mangrove Restoration // WeRobotics Blog. [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.werobotics.org/2021/06/08/a-new-ally-in-aerial-seeding-and-mangrove-restoration/> (Дата обращения: 27.07.2021).
82. Скуднева, О. В. Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России / О. В. Скуднева // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2014. – № 6(342). – С. 150-154.