

---

## Применение системного анализа техники и технологий лесовосстановления для выявления перспектив использования роботизированных лесопосадочных машин

*О. Н. Галактионов, Ю. В. Суханов, А. С. Васильев*

*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск*

**Аннотация:** Высокая доля ручного труда в лесном хозяйстве не позволяет решать современные задачи, стоящие перед лесной отраслью России. Требуется внедрение новых машин и технологий, использующих достижения современной науки и техники. С целью выявления перспектив применения роботизированных систем для решения задач лесовосстановления были изучены существующие машины и технологии, обобщены результаты и опыт использования как успешных существующих решений, так и решений, находящихся на стадии разработки, и, с использованием элементов системного анализа, найдены новые конструктивные решения по компоновке роботизированной платформы и посадочного модуля к ней.

**Ключевые слова:** лесовосстановление, посадка леса, роботизированная платформа, лесной модуль

Успешное лесовосстановление является не только решением задачи обеспечения сырьём лесопромышленного комплекса России, но и является инструментом для решения проблем экологии в стране. Так, национальный проект «Экология» (разработан Министерством природных ресурсов и экологии во исполнение Указа Президента от 7 мая 2018 года № 204) требует обеспечения баланса выбытия и воспроизводства лесов в соотношении 100 % к 2024 году. Изменения в Лесном кодексе от 19 июля 2018 года и 02 июня 2021 года ввели новые требования для ряда пользователей леса производить компенсационное лесовосстановление не позднее чем через три года после рубки лесных насаждений с обеспечением агротехнического ухода за растениями в течение трех лет с момента посадки.

Чтобы достигнуть поставленные амбициозные цели необходимо увеличить объёмы лесовосстановительных работ, что, с учётом нехватки кадров в лесном хозяйстве [1], потребует внедрения новых машин и

технологий, в которых будут применяться современные достижения науки и техники.

Известно, что в основе поиска новых технических решений лежит необходимость рассмотрения исследуемого объекта техники с различных точек зрения – системный анализ [2].

В настоящее время в России посадка леса, в основном, осуществляется с использованием ручного труда. В качестве такого инструмента в основном используются мечи Колесова и посадочные трубы для сеянцев ЗКС (закрытая корневая система), а в Мордовии используют инструмент Рудол для сеянцев ЗКС, кроме того, на массовых мероприятиях могут использоваться и обычные штыковые лопаты.

Традиционные конструкции лесопосадочных машин использовали сошники для образования непрерывной посадочной щели, посадочные аппараты, обычно лучевого или дискового типа, а также заделывающие механизмы для фиксации растения и уплотнения почвой корневой системы. Известны конструкции лесопосадочных машин, которые использовали качающиеся (поворотные) сошники, образующие точечные (дискретные) лунки для посадки, но они в то время не нашли широкого распространения. Подобные машины, хотя и избавляли работников от тяжёлого ручного труда, не решали проблему монотонности работы сажальщика, которые, располагаясь на машине, вручную вкладывали посадочный материал в посадочный аппарат. В настоящее время лесопосадочные машины такого типа используются достаточно редко и, в основном, в лесных питомниках.

Еще в 20 веке вместе с механизацией технологий лесозаготовок предпринимались попытки автоматизировать работу и лесопосадочных машин и исключить из процесса посадки ручной труд сажальщиков (например, машина МЛА-1А «Илана», приспособления ПЛА-1А и АЛП-1), но они также не нашли широкого применения.

За рубежом развитие лесопосадочных машин изначально велось по аналогичному пути, однако к концу восьмидесятых годов 20 века в странах Скандинавии пришли к выводу, что на лесосеке выгоднее производить дискретные лунки для посадки и было разработано достаточно много конструкций посадочных машин на базе форвардеров, например, Silva Nova [3, 4]. Позднее конструкторы пришли к выводу о необходимости разработки машин, агрегатированных на стрелу экскаватора (Braske) или на манипулятор харвестера (EcoPlanter). Подобные машины имели одинарный или сдвоенный посадочный рабочий орган. В настоящее время наибольшее распространение получили именно лесопосадочные машины на базе экскаватора, например, Braske P11, Risutec PM120 и PM60, M-Planter с двумя головками и др. Существует машина M-Planter M-160M, которая навешивается на манипулятор харвестера тяжелого класса без удлинителя.

Машина подготавливает место под посадку сеянца с ЗКС в виде холмика, поддевая, переворачивая и прижимая к земле дёрн, и в образовавшемся микроповышении формирует лунку, куда высаживает сеянец.

По отзывам финских специалистов лесного хозяйства лесопосадочная машина M-Planter с двумя головками имеет большую производительность, чем сажальщик с посадочной трубой, при этом машина обеспечивает более высокое качество посадки и может работать в ночное время.

С 1 сентября 2022 года вступают в силу новые Правила лесовосстановления (приказ Министерство природных ресурсов и экологии российской федерации от 29 декабря 2021 года № 1024), которые предписывают не менее 20% площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления выполнять посадкой сеянцев и (или) саженцев с закрытой корневой системой, а с 1 марта 2025 года доля таких площадей должна составить 30%.

В работе [5] отмечается, что для инновационного развития лесного сектора и применения прогрессивных технологий необходим поиск решений по его трансформации. С учетом современной мировой обстановки стремление отечественной промышленности к импортозамещению, в том числе, и в отношении машин для механизированной посадки семян с ЗКС, приобретает еще большую актуальность.

В настоящее время идет успешное внедрение робототехнических комплексов и беспилотных машин в сельском хозяйстве [6, 7]. В лесном хозяйстве пока успешно внедряются только беспилотные летательные аппараты [8, 9], однако, с развитием технологий позиционирования и компьютерного зрения, беспилотные и роботизированные наземные лесные машины будут использоваться и на лесосеке.

Решение задач лесовосстановления и агротехнического ухода за растениями в будущем могут также решаться с использованием беспилотных и роботизированных машин. При этом, если ориентироваться на опыт проектирования и применения современных лесопосадочных машин, подобная машина также может создаваться на базе экскаватора. Мощная стрела позволит производить подготовку почвы и посадку растений на соседних междурядьях при значительном вылете стрелы от экскаватора, что обеспечит высокую производительность на посадке. Беспилотный или роботизированный экскаватор позволит отказаться от кабины оператора, однако это не приведёт к значительному уменьшению масса-габаритных параметров комплекса, а значит, как и существующие лесопосадочные машины на базе экскаватора, это решение будет характеризоваться невысокой мобильностью и требовать трал для перемещения между лесосеками. Применение на машине активных рабочих органов в виде фрез для подготовки почвы может позволить несколько уменьшить нагрузку на стрелу или манипулятор – подобное решение с двумя фрезами и двумя

---

головками применялось на машине EcoPlanter, навешиваемой на манипулятор харвестера. Однако решение с фрезами не прижилось и сейчас не применяется. Таким образом, вопрос методики подбора рациональных параметров беспилотных или роботизированных лесопосадочных машин со стрелой или манипулятором, в зависимости от ширины междурядий и расстояния между растениями в ряду, пока остаётся открытым.

Другим вариантом может быть полный отказ от стрелы или манипулятора и установка посадочного модуля непосредственно на базовом энергетическом модуле. В качестве примера может быть рассмотрен концепт от компании Milrem Robotics (Estonia) [10], представляющий собой гусеничную платформу с дизельным двигателем и массой 1630 кг. Концепт Milrem Robotics оснащен посадочным модулем на 380 семян с ЗКС и рабочим органом для создания дискретных микроповышений подобному поворотному треугольному рабочему органу культиватора Bracke M26.a. Объединение на одной платформе рабочих органов для двух технологических операций – энергоёмкой подготовки дискретных повышений и менее энергозатратной посадки семян в концепте Milrem Robotics требует большой энерговооружённости и гусеничного привода, что приводит к повышению масса-габаритных параметров.

Разделение операций подготовки почвы и посадки семени может позволить значительно снизить массу и габариты роботизированной платформы, выполняющей посадку семян, а также вместо гусеничного движителя применить колёсный. В этом случае операция подготовки почвы может осуществляться и при ручной посадке, например, дисковыми рыхлителями типа Bracke T26.b или TTS-Delta агрегатированными с форвардером или трактором, а операцию посадки семян сможет осуществлять роботизированная платформа, заменяя собой сажальщика или бригаду из мечника и сажальщика. В платформе для посадки семян без

подготовки почвы можно применить электропривод, что позволит сделать технологию более экологически совместимой за счёт отказа от двигателя внутреннего сгорания. Таким образом, подобное решение способно исключить ручной труд на лесосеке и позволит улучшить условия труда работников лесного хозяйства.

Возможное конструктивное решение подобной роботизированной платформы с посадочным модулем в колёсной базе и питателем на 150 семян представлено на рисунке 1. За счёт установки посадочного модуля в габаритах базы возможно эффективное использование всей массы платформы при создании посадочной лунки. На платформе могут быть применены мотор-колеса, что, при малой базе, позволит добиться полного привода и манёвренности за счет бортового поворота. При оснащении другими рабочими органами подобная платформа сможет выполнять агротехнический уход за растениями, а также освещения в молодом древостое и другие работы [11].

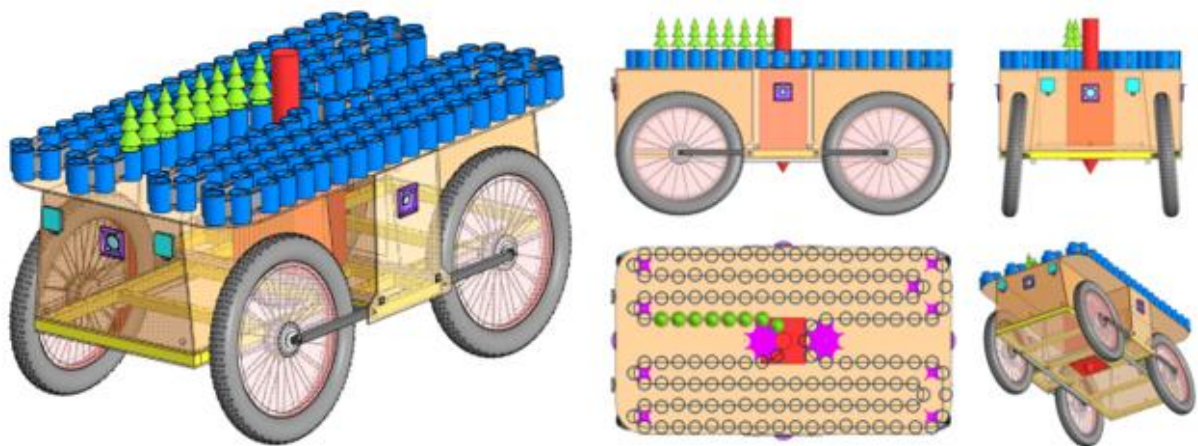


Рис. 1 – Концепт колёсной платформы для посадки семян с ЗКС

Задача разработки лёгкого и компактного посадочного модуля для роботизированной платформы сопряжена с необходимостью выбора типа привода. Гидравлический привод рабочего посадочного органа наиболее

удачное решение для гидрофицированных машин, но для небольшой платформы с электроприводом это избыточное усложнение конструкции. В известном прототипе посадочной машины TreeRover из University of Victoria (Canada) [12] был применён пневматическим посадочный механизм. Пневмопривод посадочных рабочих органов также был применён и в индийском прототипе Ouranos Robot [13], который действует аналогично канадскому TreeRover. При использовании пневматического привода требуется металлический ресивер и цилиндр для сжатия воздуха, приводимый от электродвигателя, система трубопроводов, распределители с электромагнитным управлением и система датчиков – это усложняет и утяжеляет конструкцию. Поэтому, решением может быть механический привод рабочих органов от электродвигателей. Возможное конструктивное решение подобного посадочного модуля и принцип его работы представлены на рисунке 2.

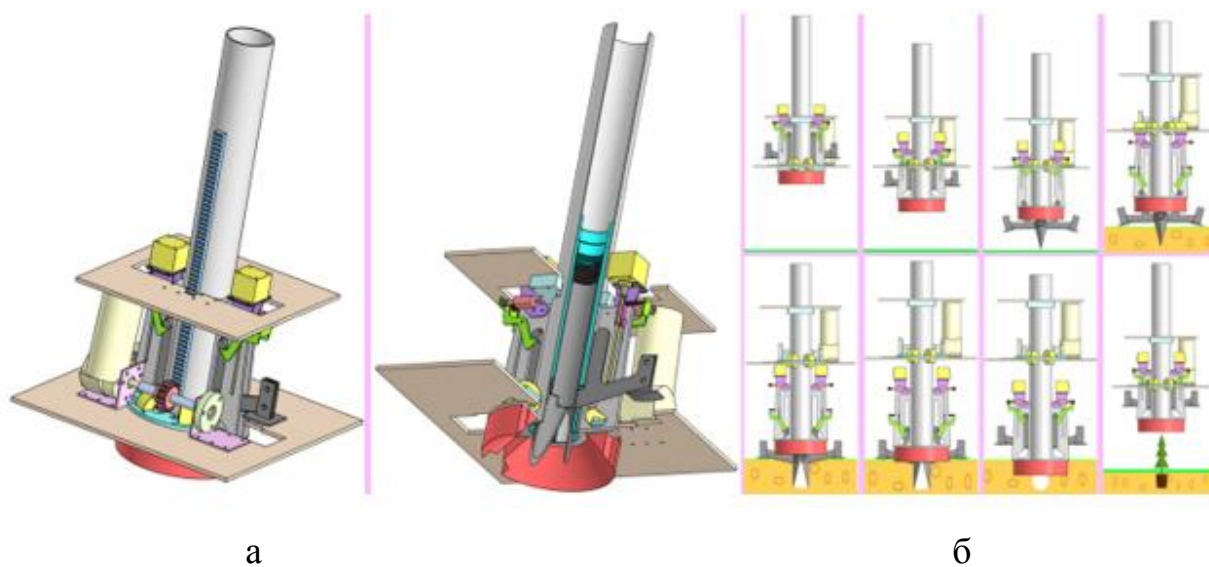


Рис. 2 – Концепт посадочного модуля для семян с ЗКС:

а – внешний вид; б – принцип работы

Привод опускания и поднятия посадочной трубы может осуществляться посредством зубчатой передачи «шестерня-рейка» от мотор-редуктора. Дополнительные движения осуществляются шаговыми двигателями через винтовую передачу, а также соленоидами для освобождения подпружиненного рабочего органа из верхнего положения.

Компактность и небольшая масса платформы позволяют обеспечить быструю доставку нескольких изделий к требуемой лесосеке в легковом прицепе или в кузове лёгкого коммерческого транспорта повышенной проходимости.

Посадка сеянцев ЗКС в условиях лесосеки является сложным процессом, механизация которого сопряжена с рядом трудностей связанных со сложным рельефом местности (наличие пней, камней, порубочных остатков и т.п.), с необходимостью бережного отношения к посадочному материалу (не допускать повреждения и поломку стволиков во время посадки), необходимостью расположения сеянца в строго определенном положении, правильной заделке корневой системы саженца в земле.

Как показал проведенный анализ, в лесной отрасли наблюдается дефицит технических решений, направленных на автоматизацию процесса посадки лесных культур в условиях лесосеки. Перспективным развитием данного направления является создание специализированных лесохозяйственных роботизированных платформ, которые должны учитывать, как природно-производственные условия работы машин, так и особенности предмета труда.

Для выявления перспективных решений и конструкций был проведен системный анализ, основанный на изучении существующих машин и технологий, применяемых в лесу, обобщении результатов и опыте использования известных решений.



## Литература

1. Лашкевич К. Лесная отрасль столкнулась с дефицитом кадров // Российская газета, 2021, № 271 (8622). URL: [rg.ru/2021/11/30/reg-cfo/lesnaia-otrasl-stolknulas-s-deficitom-kadrov.html](http://rg.ru/2021/11/30/reg-cfo/lesnaia-otrasl-stolknulas-s-deficitom-kadrov.html) (дата обращения: 20.05.2022).
2. Боргоякова Т. Г., Лоцицкая Е. В. Системный анализ и математическое моделирование // Инженерный вестник Дона, 2018, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763).
3. Magnus Löf, Bäck Tomas Ersson, Joakim Hjältén, Tomas Nordfjell, Juan A. Oliet and Ian Willoughby. Site Preparation Techniques for Forest Restoration // In book: Restoration of Boreal and Temperate Forests. Edition: 2nd Chapter: Chapter 5. 2015. Pp. 85-102. URL: [researchgate.net/publication/282979380\\_Site\\_Preparation\\_Techniques\\_for\\_Forest\\_Restoration](https://researchgate.net/publication/282979380_Site_Preparation_Techniques_for_Forest_Restoration) (дата обращения: 20.05.2022).
4. Бартенев И. М., Попов И. В. Современное развитие конструкций лесопосадочных машин за рубежом // Лесотехнический журнал, 2014, №2 (14). С. 203-216.
5. Горностаев В. Н. Краткий обзор исследований трансформаций в лесном секторе России // Инженерный вестник Дона, 2012, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/912](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/912).
6. Скворцов Е. А., Скворцова Е. Г. Тенденции развития сельскохозяйственной робототехники за рубежом // Аграрный вестник Урала, 2016, №1 (143). С. 37-43.
7. Загазежева О. З., Хаджиева М. И. Перспективы снижения экологической нагрузки сельскохозяйственного производства на основе массовой роботизации // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2020, №6 (98). С. 145-154.

8. Коптев С. В., Скуднева О. В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Известия ВУЗов. Лесной журнал, 2018, №1 (361). С. 130-138.

9. Костин П. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве // Вестник науки и образования, 2022, №1-2 (121). С. 60-62.

10. The Multiscope UGV. Multiscope Forester Planter // Milrem AS. URL: [milremrobotics.com/commercial/#product-category-robotic-forester](http://milremrobotics.com/commercial/#product-category-robotic-forester) (дата обращения: 20.05.2022).

11. Суханов Ю. В., Васильев А. С., Гетманец И. Н., Кемпи Е. А., Сергеев В.М. Возможности использования роботизированных платформ для решения задач лесного хозяйства // Лесное хозяйство. Материалы 86-й научно-технической конференции. Минск, 2022. С. 317-319.

12. Engineering co-op students build tree-planting robot to help fight deforestation // University of Victoria. URL: [uvic.ca/news/topics/2016+building-a-tree-planting-robot+ring](http://uvic.ca/news/topics/2016+building-a-tree-planting-robot+ring) (дата обращения: 20.05.2022).

13. Ouranos Robotics // Ouranos. URL: [ouranosrobotics.com](http://ouranosrobotics.com) (дата обращения: 20.05.2022)

### References

1. Lashkevich K. Lesnaya otrasl' stolknulas' s defitsitom kadrov [The forest industry is facing a labor shortage]. URL: [rg.ru/2021/11/30/reg-cfo/lesnaia-otrasl-stolknulas-s-deficitom-kadrov.html](http://rg.ru/2021/11/30/reg-cfo/lesnaia-otrasl-stolknulas-s-deficitom-kadrov.html) (accessed: 20.05.2022).

2. Borgoyakova T. G., Lozitskaya E. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763).

3. Magnus Löf, Bäck Tomas Ersson, Joakim Hjältén, Tomas Nordfjell, Juan A. Oliet and Ian Willoughby. In book: Restoration of Boreal and Temperate Forests. Edition: 2nd Chapter: Chapter 5. 2015. Pp. 85-102. URL: [researchgate.net/publication/282979380\\_Site\\_Preparation\\_Techniques\\_for\\_Forest\\_Restoration](https://researchgate.net/publication/282979380_Site_Preparation_Techniques_for_Forest_Restoration) (accessed: 20.05.2022).



4. Bartenev I. M., Popov I. V. Lesotekhnicheskiy zhurnal, 2014, №2 (14). Pp. 203-216.
5. Gornostaev V. N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/912](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/912).
6. Skvortsov E. A., Skvortsova E. G. Agrarnyj vestnik Urala, 2016, №1 (143). Pp. 37-43.
7. Zagazheva O. Z., Khadzhieva M. I. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2020, №6 (98). Pp. 145-154.
8. Koptev S. V., Skudneva O. V. Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal, 2018, №1 (361). Pp. 130-138.
9. Kostin P. I. Vestnik nauki i obrazovaniya, 2022, №1-2 (121). Pp. 60-62.
10. Milrem AS. URL: [milremrobotics.com/commercial/#product-category-robotic-forester](http://milremrobotics.com/commercial/#product-category-robotic-forester) (accessed: 20.05.2022).
11. Sukhanov Yu. V., Vasil'ev A. S., Getmanets I. N., Kempf E. A., Sergeev V.M. Lesnoe khozyaystvo. Materialy 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Forestry. Materials of the 86th scientific and technical conference]. Minsk, 2022. Pp. 317-319.
12. University of Victoria. URL: [uvic.ca/news/topics/2016+building-a-tree-planting-robot+ring](http://uvic.ca/news/topics/2016+building-a-tree-planting-robot+ring) (accessed: 20.05.2022).
13. Ouranos. URL: [ouranosrobotics.com](http://ouranosrobotics.com) (accessed: 20.05.2022).