

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ

Белянский Е.А., Малюков С.В., Малюкова М.А.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

ANALYSIS OF FOREIGN TECHNOLOGIES USED IN ARTIFICIAL FOREST REHABILITATION

Belyansky E.A., Malyukov S.V., Malyukova M.A.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

Аннотация: В статье произведён анализ современных технологий, технических решений и конструкций машин, применяемых при искусственном лесовосстановлении в странах Северной и Западной Европы, на основе инженерных разработок и научных исследований, выполненных как отечественными, так и зарубежными специалистами в области лесного хозяйства. Особое внимание уделено системам механизации и автоматизации, а также инновационным цифровым и роботизированным платформам, внедряемым в рамках устойчивого управления лесными экосистемами.

Abstract: The article analyzes modern technologies, technical solutions, and machine designs used in artificial forest restoration in Northern and Western European countries. This analysis is based on engineering developments and scientific research conducted by both domestic and foreign specialists in the field of forestry. Special attention is given to mechanization and automation systems, as well as innovative digital and robotic platforms that are being implemented as part of sustainable forest ecosystem management.

Ключевые слова: посадочный материал с ЗКС, мобильные комплексы для посадки, автоматизированная высадка саженцев.

Keywords: planting material with root ball, mobile planting complexes, automated seedling planting.

Введение.

Леса играют ключевую роль в поддержании глобального экологического равновесия, обеспечивая множество жизненно важных экосистемных услуг: регуляцию климата, сохранение биоразнообразия, предотвращение эрозии почв, водоудержание и очищение атмосферы от углерода. Однако в последние десятилетия человечество сталкивается с острейшими вызовами, связанными с интенсивной эксплуатацией лесных ресурсов, неконтролируемыми вырубками, пожарами, вредителями и, что особенно критично, последствиями глобальных

климатических изменений. Это влечёт за собой деградацию лесных экосистем и утрату их воспроизводственного потенциала. В такой ситуации вопросы восстановления лесов выходят на передний план как приоритетная задача устойчивого природопользования и стратегический элемент климатической и экологической политики большинства развитых государств.

Одним из эффективных инструментов реагирования на эти вызовы является искусственное лесовосстановление – управляемый процесс создания новых насаждений путём посадки или посева лесных культур. Именно искусственное лесовосстановление позволяет достичь максимальной продуктивности и выживаемости древостоев, оперативно возобновлять древесный покров на выведенных из оборота участках, регулировать породный состав, а также адаптировать леса к экстремальным природным и антропогенным условиям. В связи с этим многие страны Европы, обладающие высоким уровнем экологической ответственности, уделяют значительное внимание разработке и внедрению высокоэффективных технологических решений, направленных на совершенствование всех этапов лесовосстановительных мероприятий – от подготовки почвы и производства посадочного материала до механизированной посадки и цифрового мониторинга.

В последние годы в странах Западной и Северной Европы наблюдается активное применение автоматизированных и роботизированных систем для выполнения работ в лесной сфере. На смену традиционным трудоёмким и сезонным методам приходят интеллектуальные платформы, которые объединяют GPS-навигацию, ГИС, системы точного земледелия и машинного зрения. Особое значение придаётся интеграции дистанционного зондирования, дронов, спутниковых снимков и искусственного интеллекта, что позволяет оптимизировать пространственное планирование, оценку эффективности и выбор оптимальных участков для посадки. Кроме того, интенсивно развиваются технологии выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой, селекция и генетическое улучшение пород, а также теплично-лесопитомнические комплексы нового поколения, способные стабильно производить миллионы высококачественных саженцев ежегодно.

Несмотря на наличие определённого научного задела и практического опыта в России, многие из применяемых у нас методов и машин морально и технологически устарели, а реализация лесовосстановительных мероприятий часто осуществляется формально. Между тем международный опыт, особенно накопленный странами с развитым лесным хозяйством – такими как Финляндия, Германия, Швеция, Австрия, Норвегия, – может быть крайне полезным для адаптации и трансфера технологий в российских условиях. Особенно актуальным становится заимствование тех решений, которые способствуют повышению производительности труда, качеству посадки, устойчивости лесных культур и, в конечном итоге, – общей эффективности лесовосстановительных проектов [1].

Материалы и методы.

Использование посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) представляет собой современную и эффективную технологию лесовосстановле-

ния и лесоводства, широко применяемую в различных странах для повышения эффективности процесса посадки деревьев. Эта методика особенно актуальна для регионов с нестабильными климатическими условиями или деградировавшими почвами, где важна высокая приживаемость и адаптация растений.

Закрытая корневая система (ЗКС) – это технология выращивания саженцев, при которой корневая система растения развивается в контейнерах или специальных горшках. Эти контейнеры могут быть изготовлены из торфа, пластика или биоразлагаемых материалов, что позволяет защитить корни и избежать их повреждения при транспортировке и высадке. В отличие от традиционной технологии, при которой саженцы выкапываются с открытыми корнями, технология ЗКС значительно снижает риск повреждения корней и ускоряет приживаемость саженцев на новом месте.

Одним из главных преимуществ ЗКС является высокая приживаемость саженцев. Поскольку корневая система не повреждается при пересадке, это позволяет значительно снизить стресс для растения и повысить его способность прижиться на новом месте. Это особенно важно в условиях, когда саженцы пересаживаются на сложные, бедные или загрязнённые почвы. Растения с закрытой корневой системой гораздо более устойчивы к засухам, сильным морозам и другим экстремальным условиям. Такая система помогает растениям быстрее адаптироваться к новым условиям и снижает вероятность их гибели в первые годы после посадки.

Кроме того, использование ЗКС позволяет ускорить процесс посадки, так как саженцы готовы к высадке сразу после извлечения из контейнера, без необходимости долго адаптировать их к внешним условиям. Это особенно важно для крупных проектов по восстановлению лесов, где необходима высокая скорость выполнения работ. С помощью этой технологии можно значительно увеличить плотность посадок, так как саженцы с закрытой корневой системой требуют меньше времени для адаптации и быстрее начинают расти, что ускоряет процесс лесовосстановления.

Технология ЗКС также снижает затраты на подготовку почвы и уход за растениями. Саженцы с закрытой корневой системой легко приживаются и развиваются без необходимости долгосрочного ухода. Это также снижает затраты на полив, удобрения и защиту от болезней, что делает этот подход более экономически эффективным.

Финляндия является одним из лидеров в применении технологии ЗКС. В стране активно используют саженцы с закрытой корневой системой для лесовосстановления, особенно на территориях с бедными почвами или в условиях частых засух и морозов. Примером успешного применения ЗКС является посадка сосны и ели на труднодоступных и малоплодородных территориях. В Финляндии 90% всего посадочного материала для лесовосстановления производится с использованием этой технологии. Этот подход является частью более широкой стратегии природоподобного лесовосстановления, ориентированной на минимизацию вмешательства в экосистему и восстановление природных процессов [2].

В Германии большое внимание уделяется цифровизации процессов лесоза-

готовки. Государственная лесохозяйственная компания Bavarian State Forests внедрила систему SmartForestry, которая объединяет данные от беспилотников, спутников и датчиков на машинах, позволяя планировать и контролировать заготовку древесины в режиме реального времени. Кроме того, компания HSM (Hohenloher Spezial-Maschinenbau) производит лесозаготовительную технику с интегрированными электронными системами мониторинга нагрузки, расхода топлива и производительности.

В Австрии автоматизация лесозаготовки также идёт активными темпами. Компания Ecoforst разрабатывает роботизированные машины, способные работать в сложных горных условиях. Одним из примеров является автономная система Woody 60, предназначенная для трелёвки древесины в труднодоступных местах. Она использует сенсоры и алгоритмы машинного обучения для оптимального перемещения брёвен с минимальным повреждением почвы.

Кроме специализированной техники, в Европе активно развиваются беспилотные технологии. Например, финская компания HiVision разработала систему управления лесозаготовкой с использованием дополненной реальности. Операторы форвардеров могут работать, не выходя из кабины, управляя машиной через виртуальный интерфейс, который предоставляет информацию о состоянии деревьев и оптимальном маршруте движения.

Автоматизация лесозаготовки в Европе развивается в нескольких направлениях: совершенствование харвестеров и форвардеров с автоматизированными системами управления, внедрение цифровых платформ и геоинформационных систем для оптимального планирования заготовки, использование беспилотных и роботизированных комплексов. Эти технологии позволяют не только повысить эффективность работы лесозаготовительных предприятий, но и минимизировать негативное воздействие на лесные экосистемы, обеспечивая их устойчивое развитие.

Подготовка почвы в Европе механизирована с использованием специальных машин – рыхлителей, мульчеров и культиваторов. Их задача – разрушить плотный почвенный горизонт, улучшить аэрацию, влагоёмкость и обеспечить оптимальные условия для укоренения саженцев.

Мобильные комплексы для посадки в труднодоступных местах становятся всё более важным элементом в современном лесовосстановлении, особенно в условиях, когда традиционные механизированные методы невозможны из-за рельефа, удалённости или экологических ограничений. Эти комплексы представляют собой специально разработанные машины или системы, которые могут перемещаться по сложной местности, выполняя автоматизированную или полуавтоматизированную высадку саженцев.

Концепция мобильных комплексов базируется на принципах автономности, высокой проходимости и адаптивности к различным типам почв и ландшафтов. Они могут быть как на гусеничном, так и на колёсном ходу, оснащаться различными посадочными модулями, которые позволяют выполнять точную установку саженцев с закрытой корневой системой (ЗКС) или открытой корневой системой (ОКС). В некоторых случаях такие комплексы могут включать системы для одновременной подготовки почвы (рыхление, формирование лу-

нок) и высадки растений, что существенно ускоряет процесс и снижает затраты.

Одним из примеров эффективной мобильной системы можно назвать машину M-Planter финской компании Ponsse, предназначенную для работы в сложных условиях Северной Европы. Ponsse M-Planter монтируется на форвардер или харвестер и осуществляет последовательную механизированную посадку с минимальным вмешательством в почвенный покров. Машина способна высаживать до 3000 саженцев в смену, обеспечивая высокую производительность даже в пересечённой местности. Для подготовки лунок используется специальная фреза, встроенная в посадочный модуль, что позволяет работать без предварительной сплошной обработки почвы.

В Норвегии активно используется мобильный комплекс Bracke Planter P11.a, разработанный шведской компанией Bracke Forest. Этот агрегат так-же устанавливается на базовые машины типа экскаваторов или специализированных посадочных машин и предназначен для посадки в условиях скалистых или сильно каменистых почв, характерных для скандинавских стран. Устройство оснащено механизмом формирования мини-микрорельефа (гребней или лунок), что увеличивает выживаемость саженцев на бедных и плохо дренируемых почвах.

Кроме названных машин, стоит отметить решения, применяемые в Австрии, где мобильные комплексы разрабатываются для работы на крутых горных склонах в Альпах. Например, компания Koller Forsttechnik GmbH предлагает системы с канатно-транспортируемыми мобильными посадочными станциями. Эти станции перемещаются вдоль натянутых стальных тросов, доставляют саженцы в удалённые и труднодоступные зоны и позволяют выполнять точечную посадку вручную или полуавтоматически, минимизируя эрозию склонов и разрушение почвенного покрова.

В Германии в некоторых проектах используется концепция модульных мобильных комплексов на базе электрических гусеничных платформ (например, RoboPlant), которые могут работать в полностью автономном режиме. Эти роботы способны перемещаться по пересечённой местности, избегать препятствий и выполнять посадку с заданной плотностью благодаря интеграции GPS и систем компьютерного зрения.

Технологическая тенденция развития мобильных комплексов направлена также на повышение экологичности: всё больше машин оснащаются гибридными или электрическими двигателями, что позволяет сократить выбросы CO₂ в чувствительных природных территориях. Это особенно актуально для охраняемых природных зон и регионов с особыми требованиями к минимизации антропогенного воздействия.

Мобильные комплексы становятся незаменимыми в рамках проектов по восстановлению лесов после пожаров, ураганов или промышленной деградации, где требуется оперативное вмешательство в тяжёлых условиях. Они обеспечивают эффективную механизацию процессов на ранее труднодоступных территориях, сокращают сроки лесовосстановления и позволяют точнее контролировать параметры посадки, включая глубину установки, ориентацию саженца и плотность высадки [3].

Автоматизация процесса транспортировки древесины в странах Европы активно развивается благодаря внедрению интеллектуальных логистических систем, беспилотных технологий, цифровых платформ и роботизированных решений. Основная цель этих инноваций – повышение эффективности перевозок, снижение затрат, минимизация воздействия на окружающую среду и улучшение контроля за передвижением древесины от места заготовки до перерабатывающих предприятий. Европейские страны, такие как Финляндия, Швеция, Германия, Австрия и Норвегия, являются лидерами в применении современных технологий для оптимизации транспортировки лесоматериалов.

Автоматизация процесса транспортировки древесины в Финляндии активно развивается благодаря использованию цифровых логистических платформ, систем мониторинга лесовозов, автономных технологий и экологически чистого транспорта. Финляндия, являясь одной из ведущих лесопромышленных стран Европы, делает ставку на оптимизацию транспортных процессов, снижение затрат, сокращение вредных выбросов и минимизацию воздействия на дорожную инфраструктуру. Ведущие лесопромышленные компании и государственные организации внедряют инновационные решения, позволяющие автоматизировать ключевые этапы транспортировки древесины.

Один из ярких примеров – компания Metsä Group, которая использует Metsä Logistics, интеллектуальную систему управления логистикой. Эта система анализирует данные о заготовке древесины, доступности транспорта, состоянии дорог и погодных условиях, автоматически подбирая оптимальные маршруты для лесовозов. Все машины оснащены GPS-датчиками, что позволяет в реальном времени отслеживать их местоположение и уровень загруженности. Водители получают рекомендации через мобильные устройства, а диспетчеры могут оперативно перенаправлять транспорт при изменении условий на маршруте. Такой подход позволяет снизить холостые пробеги на 10-15% и повысить эффективность перевозок.

Вывод. Современные технологии лесовосстановления играют ключевую роль в решении глобальных экологических проблем, таких как деградация лесов, утрата биоразнообразия и изменение климата. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой, механизация посадочных работ, инновационные методы подготовки почвы, генетическое улучшение древесных пород, внедрение информационных технологий и учёт климатических изменений позволяют повысить эффективность и устойчивость мероприятий по восстановлению лесов.

Список литературы / References

1. Skogforsk. The Role of Robotics and Automation in Forestry – Research Highlights 2019-2023. – Uppsala, Sweden: The Forestry Research Institute of Sweden, 2023. – 92 p. <https://www.skogforsk.se>
2. Metsä Group. Sustainable forestry operations and digital transformation in Finland. – Technical Report, 2021. <https://www.metsagroup.com>
3. Ponsse Oyj. Planting and harvesting solutions for sustainable forest management. – Ponsse Technical Catalog, 2023. <https://www.ponsse.com>