DOI: 10.58168/PBHT2026_268-274
УДК 630.36

РОБОТ-АССИСТЕНТ «LECOVOД» ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РУБКАХ УХОДА

ROBOT ASSISTANT FOR COLLECTING AND TRANSPORTATION OF WOOD DURING REMOVAL OF WOOD

Четверикова И.В., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Chetverikova I.V., PhD in Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Forestry Mechanization and Machine Design Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Черных А.С., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Chernykh A.S., PhD in Technical Sciences, Docent, Head of the Forestry, Metrology, Standardization and Certification Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Опара М.В., кандидат технических наук, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Opara M.V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Forestry, Metrology, Standardization and Certification Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Щербакова И.С., студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Shcherbakova I.S., Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Болгов А.В., магистрант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Bolgov A.V., Master's Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. В статье рассматривается проблема механизации рубок ухода молодых лесных насаждений. Проведен анализ существующих технологий сбора тонкомерной древесины, выявлены их недостатки: высокая стоимость оборудования, повреждение почвы и наличие тяжелого ручного труда. Предложена концепция легкого гусеничного робота-ассистента «Lecovod» с функцией «следуй за мной». Описана конструкция платформы, манипулятора и системы технического зрения. Выполнен анализ мировых аналогов (проекты AORO, SAHA, CALAHARI). Приведены технические характеристики разрабатываемого устройства и расчет предварительной экономической эффективности. Сделаны выводы о

© Четверикова И. В., Черных А. С., Опара М. В., Щербакова И. С., Болгов А. В., 2026

перспективах внедрения роботизированных комплексов в лесное хозяйство Российской Федерации.

Ключевые слова: рубки ухода, роботизация лесного хозяйства, мини-форвардер, техническое зрение, «следуй за мной», трелевка древесины, лесная робототехника.

Abstract. The article discusses the problem of mechanization of thinning in young forest plantations. The analysis of existing technologies for collecting thin-sized wood is carried out, their shortcomings are revealed: high cost of equipment, soil damage and the presence of heavy manual labor. The concept of a light tracked robot assistant "Forester" with the "follow me" function is proposed. The design of the platform, manipulator and technical vision system is described. The analysis of world analogues (projects AORO, SAHA, CALAHARI) is performed. The technical characteristics of the developed device and the calculation of its preliminary economic efficiency are presented. The article concludes with the prospects for the introduction of robotic complexes in the forestry of the Russian Federation.

Keywords: thinning, forestry robotization, mini-forwarder, technical vision, "follow me", timber skidding, forest robotics.

Рубки ухода являются важнейшим лесохозяйственным мероприятием, направленным на формирование высокопродуктивных древостоев. В молодняках в возрасте до 20 лет и в средневозрастных насаждениях удаляются малоценные, поврежденные или мешающие росту главных пород деревья. Объемы вырубаемой при этом древесины, представленной тонкомером и жердями, достаточно значительны, однако ее сбор и транспортировка остаются серьезной технологической проблемой.

Существующая технология выглядит следующим образом. Сначала вальщик с бензопилой или харвестерной головкой срезает дерево. Затем срезанные стволы остаются лежать на волоке или в пасеке. После этого рабочие, часто те же вальщики, вручную подносят или подтаскивают бревна к погрузочной площадке, выполняя операцию подноски. В некоторых случаях используется форвардер, который заезжает в молодняк и собирает пачку древесины.

Однако данная технология имеет ряд существенных проблем. Прежде всего, это тяжелый физический труд, поскольку подноска бревен весом 50–100 кг вручную является низкопроизводительной и травмоопасной работой. Это приводит к высокой текучести кадров и низкому престижу профессии. Кроме того, наблюдается негативное воздействие на лес, так как форвардеры представляют собой тяжелые машины массой 8–12 тонн и более. При заезде в молодняк они повреждают корневые системы оставляемых на доращивание деревьев, уплотняют почву и ломают подрост. Образующаяся колея от форвардера сохраняется на долгие годы. Существует также проблема экономической неэффективности, поскольку использование крупного форвардера для сбора 2–3 кубометров тонкомерной древесины на гектаре приводит к тому, что дорогая техника простаивает или работает с огромной недогрузкой. Наконец, имеют место потери древесины, так как часто тонкомер просто бросают в лесу из-за того, что затраты на его сбор превышают стоимость самой древесины.

Целью работы является разработка концепции и технических решений для создания легкого роботизированного ассистента, который берет на себя функцию сбора, подтрелевки и

временного складирования тонкомерной древесины непосредственно в процессе валки, работая в связке с вальщиком.

При рассмотрении современных технологий лесозаготовок можно выделить несколько ключевых подходов, каждый из которых применяется в зависимости от условий и задач. Классическая схема «харвестер + форвардер», хорошо зарекомендовавшая себя при сплошных рубках за счёт высокой производительности, в условиях рубок ухода показывает ряд ограничений. Основная проблема заключается в том, что форвардер в таких условиях нередко оказывается избыточно крупной машиной, а его эффективное использование требует создания развитой сети технологических коридоров, что неизбежно приводит к сокращению площади продуктивного леса. В качестве альтернативы рассматриваются мини-форвардеры — машины малого класса массой порядка 2–4 тонн с узкой колеей 1,5–1,8 метра. Как отмечают Александров В.А. и Шоль Н.Р. [1], такие машины оказывают значительно меньшее давление на почву, однако их применение ограничивается высокой стоимостью и сравнительно сложным обслуживанием, что особенно заметно в условиях небольших лесозаготовительных предприятий. На практике в России по-прежнему широко используется технология, основанная на применении бензопилы и ручного труда, что, по мнению Миронова Е.И. [2], несмотря на отсутствие серьёзных затрат на технику, сопровождается низкой производительностью, высоким уровнем травматизма и в целом остаётся социально непривлекательным видом деятельности.

Если обратиться к зарубежному опыту, можно отметить устойчивую тенденцию к роботизации лесной отрасли. Так, шведский проект AORO, описанный Hellström T. с соавторами [3], представляет собой автономную платформу массой около 10 тонн, способную выполнять сбор древесины по GPS-заданию с использованием стереокамер и лидаров, однако такая машина ориентирована преимущественно на работу с крупными сортиментами и из-за своей массы малопригодна для рубок ухода. Европейский проект SAHA, представленный Andersson J. и др. [4], демонстрирует иной подход, предполагающий использование более лёгких платформ массой до 5 тонн, где применяются методы машинного обучения для повышения эффективности селективного прореживания, однако эти решения во многом остаются на стадии прототипов. Немецкая концепция CALAHARI, разрабатываемая в DFKI [5], делает акцент на полуавтономной лесозаготовке с дистанционным управлением, что подтверждает актуальность вывода оператора из опасной зоны, но при этом не решает полностью задачу работы в связке с вальщиком. Российские разработки, например проект «Святобор», показывают интерес к роботизации лесного хозяйства, однако в основном они ориентированы на задачи лесовосстановления, такие как посадка леса, а не на сбор и транспортировку древесины.

Таким образом, анализ существующих решений показывает, что манипуляторы являются центральным звеном в цепи транспортных технологий современного лесного комплекса [6]. Развитие техники идёт в сторону снижения массы машин и увеличения степени автономности, однако на практике либо сохраняется избыточная масса, как в проекте AORO, либо разработки находятся на экспериментальной стадии, как в случае SAHA. При этом фактически отсутствуют специализированные лёгкие устройства, способные эффективно работать совместно с вальщиком по принципу «следуй за мной», что и определяет новизну

предлагаемого подхода. Предлагаемый робот «Lecovod» предназначен для автоматического сопровождения оператора-вальщика, выполнения сбора срезанных деревьев, их транспортировки к месту временного складирования и последующего возврата для продолжения цикла работы. В его функционировании предусмотрено несколько режимов, основным из которых является режим «Следование», при котором робот удерживает дистанцию порядка 5–10 метров от оператора, одновременно обходя препятствия, благодаря чему вальщик может не отвлекаться на управление техникой. Режим «Сбор» включается с пульта управления, после чего робот самостоятельно перемещается к отмеченному дереву, выполняет его захват и либо размещает в бункере, либо подготавливает к транспортировке волоком. При накоплении древесины активируется режим «Челнок», в рамках которого робот по заданному маршруту направляется к погрузочной площадке, выполняет разгрузку и возвращается обратно к оператору, при этом дополнительно предусмотрена возможность дистанционного управления на случай нештатных ситуаций.

Принцип работы робота «Lecovod» можно описать следующим образом: вальщик осуществляет срез дерева, фиксируя это нажатием кнопки на пульте либо оставляя задачу системе технического зрения, после чего робот, находящийся в режиме следования, получает команду и перемещается к месту расположения древесины, ориентируясь по GPS-координатам или данным видеонаблюдения. Далее манипулятор с захватом подхватывает дерево за комлевую часть и приподнимает его над поверхностью земли, после чего робот продолжает движение за оператором, осуществляя транспортировку — либо волоком, либо в захваченном положении. По мере накопления определённого объёма древесины либо по команде оператора робот переходит в режим «Челнок», перемещается к точке складирования, выполняет разгрузку и затем возвращается обратно, ориентируясь на текущее положение оператора.

Технические характеристики разрабатываемого устройства подобраны с учётом условий работы в молодняках и необходимости минимального воздействия на лесную среду. Сухая масса робота находится в диапазоне 800–1000 кг, что позволяет существенно снизить давление на грунт по сравнению с традиционной техникой. Грузоподъёмность оценивается на уровне 500–700 кг, что соответствует объёму пачки тонкомерной древесины, собираемой за один рабочий цикл. Габариты машины (2200×1000×1200 мм) обеспечивают возможность перемещения между рядами лесных культур без их повреждения. В качестве силовой установки рассматривается дизель-генератор мощностью 15–20 л.с., работающий в связке с электромоторами, установленными непосредственно в гусеничных модулях, что позволяет реализовать гибридную схему привода. Использование резиноармированных гусениц обеспечивает хорошую проходимость и одновременно снижает негативное воздействие на почву. Рабочая скорость движения находится в пределах 5–7 км/ч, а запаса топлива и энергии достаточно для функционирования в течение полной восьмичасовой смены. Концепция конструкции робота «Lecovod» представлена на рисунке 1.

Конструктивная компоновка робота выстроена с учётом распределения нагрузок и удобства размещения основных узлов. В передней части располагаются манипулятор с захватным устройством, дизель-генератор, основная стереокамера, лидар, а также датчики приближения и осветительное оборудование. Центральная часть отведена под силовой

агрегат, гидравлическую станцию, обеспечивающую работу манипулятора, и блок управления. В задней части предусмотрен бункер-накопитель с откидным бортом для выгрузки древесины. На верхней части корпуса размещены антенны спутниковой навигации и связи, поворотная камера заднего вида и проблесковый маячок. Ходовая часть выполнена на базе гусеничной тележки, что даёт ряд преимуществ по сравнению с колесными аналогами, включая меньшее удельное давление на грунт, лучшее сцепление на влажных и наклонных участках, а также меньшую глубину формируемой колеи.



Рисунок 1 – Конструкция робота «Lecovod»

Применение резиноармированных гусениц дополнительно снижает риск повреждения корневой системы деревьев и позволяет при необходимости перемещаться по твёрдым покрытиям. Наличие индивидуального электромотора на каждой гусенице обеспечивает высокую маневренность, вплоть до разворота на месте. Манипулятор выполнен по шарнирной схеме и имеет 3–4 степени свободы, что позволяет эффективно работать с древесиной в ограниченном пространстве. Особенностью конструкции является наличие пассивной степени свободы, за счёт которой достигается самоцентрирование захвата относительно бревна и частичная компенсация ошибок позиционирования.

Система управления и навигации базируется на комплексе средств технического зрения и датчиков различного типа. Основная стереокамера высокого разрешения используется для построения трёхмерной модели окружающей среды и определения расстояния до объектов, в то время как дополнительные камеры обеспечивают круговой обзор. Лидар применяется для более точного обнаружения препятствий, особенно в условиях недостаточной освещённости или сложной визуальной обстановки. Для определения местоположения используются спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС, дополненные инерциальной навигацией, а также ультразвуковыми датчиками ближнего действия. Реализация режима «следуй за мной» основана на комбинированном подходе: радиомаяк, размещённый на операторе, задаёт общее

направление движения, а система технического зрения уточняет положение и обеспечивает обход препятствий.

Экономическая эффективность применения робота «Лесовод» формируется за счёт совокупности факторов. При традиционной организации работ бригада из двух-трёх человек при ручной валке и подноске древесины способна заготовить порядка 5–6 м³ за смену, тогда как использование роботизированного ассистента позволяет одному вальщику увеличить этот показатель до 8–10 м³. Это приводит к снижению затрат на оплату труда и росту производительности труда на одного работника в среднем на 200–300%. При этом предполагается, что стоимость робота будет существенно ниже стоимости импортных мини-форвардеров, что делает его более доступным для практического применения. При годовом объёме заготовки около 2000 м³ тонкомерной древесины и средней стоимости работ на уровне 500 руб/м³ суммарная экономия может достигать порядка 1 млн. рублей в год, что позволяет рассчитывать на окупаемость проекта в течение 2–3 лет эксплуатации.

Экологический эффект от применения подобной техники связан прежде всего с уменьшением воздействия на лесную среду. Небольшая масса робота и сниженное давление на грунт позволяют сохранить подрост и предотвратить уплотнение почвы, что особенно важно при проведении рубок ухода. Отсутствие глубокой колеи снижает риск развития эрозионных процессов и нарушения водного режима. Дополнительным фактором является использование гибридной силовой установки, что позволяет сократить выбросы по сравнению с традиционной тяжёлой техникой. Социальный эффект выражается в снижении физической нагрузки на работников, уменьшении уровня травматизма и повышении привлекательности профессии, что может способствовать привлечению в отрасль молодых специалистов.

Рассматривая возможность практической реализации проекта, следует отметить, что предлагаемая разработка требует фактически создания нового технического решения, поскольку существующие аналоги либо не соответствуют требованиям по массе, либо не обеспечивают необходимого уровня взаимодействия с оператором. Реализация проекта предполагает последовательное выполнение ряда этапов, включая разработку трёхмерной модели конструкции и проведение прочностных расчётов с использованием современных систем автоматизированного проектирования, создание экспериментального прототипа для отработки алгоритмов управления и навигации, разработку специализированного программного обеспечения, обеспечивающего распознавание объектов в лесной среде, а также проведение полевых испытаний с последующей доработкой конструкции на основе полученных результатов.

В результате выполненной работы была сформирована концепция робота-ассистента «Лесовод», предназначенного для механизации процессов сбора и транспортировки тонкомерной древесины при рубках ухода. Проведённый анализ существующих технологий подтвердил наличие проблемы, связанной с высокой трудоёмкостью работ и значительными затратами. Изучение мирового опыта показало общее направление развития в сторону роботизации, однако выявило отсутствие лёгких решений, ориентированных на совместную работу с оператором. Предложенная конструкция гусеничного робота массой до 1000 кг с гибридной силовой установкой и шарнирным манипулятором позволяет реализовать необходимые режимы работы, а предварительная оценка эффективности указывает на её

экономическую, экологическую и социальную целесообразность. Внедрение подобных решений способно в перспективе повысить эффективность использования лесных ресурсов и улучшить условия труда в отрасли, что в целом соответствует современным требованиям к развитию лесного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, В.А. Машины и механизмы лесного хозяйства: конструкция и расчет : учебное пособие / В.А. Александров, Н.Р. Шоль. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 368 с.

2. Миронов, Е.И. Повышение эффективности рубок ухода путем применения легких трелевочных средств / Е.И. Миронов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 45-52.

3. Hellström, T. An autonomous forest machine — first results from the AORO project / T. Hellström, H. Lideskog, M. Karlberg // Journal of Field Robotics. – 2024. – Vol. 41, No. 1. – P. 1-15.

4. Andersson, J. The SAHA project: Towards supervised autonomous forestry machines / J. Andersson, I. Bergkvist, O. Lindroos // arXiv preprint. – 2026. – arXiv:2601.01282. – URL: arxiv.org (date of access: 06.04.2026).

5. Project CALAHARI: Cognitive Autonomous Logging and Harvesting Robot : technical report / German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI). – [S. l. : s. n.], 2023. – 1 CD-ROM.

6. Четверикова, И.В. Кластерный анализ манипуляторов лесных машин / И.В. Четверикова, С.В. Зимарин, А.А. Работкин // Научные исследования: проблемы и перспективы в контексте глобальных вызовов : сборник научных трудов по материалам XXIII Международной научно-практической конференции (Анапа, 2024). – Анапа : Научно-исследовательский центр педагогики и психологии, 2024. – С. 66-70.

REFERENCES

1. Aleksandrov, V.A. Forestry Machines and Mechanisms: Design and Calculation: A Textbook / V.A. Aleksandrov, N.R. Shol. – St. Petersburg: Lan, 2020. – 368 p.

2. Mironov, E.I. Improving the Efficiency of Thinning by Using Light Skidding Equipment / E.I. Mironov // Forestry Bulletin. – 2022. – Vol. 26, No. 4. – P. 45-52.

3. Hellström, T. An Autonomous Forest Machine — First Results from the AORO Project / T. Hellström, H. Lideskog, M. Karlberg // Journal of Field Robotics. – 2024. – Vol. 41, No. 1. – P. 1-15.

4. Andersson, J. The SAHA project: Towards supervised autonomous forestry machines / J. Andersson, I. Bergkvist, O. Lindroos // arXiv preprint. – 2026. – arXiv:2601.01282. – URL: arxiv.org (date of access: 06.04.2026).

5. Project CALAHARI: Cognitive Autonomous Logging and Harvesting Robot : technical report / German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI). – [S. l. : s. n.], 2023. – 1 CD-ROM.

6. Chetverikova, I.V. Cluster analysis of forest machine manipulators / I.V. Chetverikova, S.V. Zimarin, A.A. Rabotkin // Scientific research: problems and prospects in the context of global challenges: collection of scientific papers based on the materials of the XXIII International scientific and practical conference (Anapa, 2024). - Anapa: Research Center for Pedagogy and Psychology, 2024. - P. 66-70.