

**Е.М. Царев, К.П. Рукомойников, И.С. Анисимов, Н.С. Анисимов,
В.Е. Макаров**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУБОК УХОДА В УСЛОВИЯХ СОМКНУВШИХСЯ ДВУХРЯДНЫХ КУЛЬТУР

Введение. Использование рядовых схем посадки в лесоводстве имеет давнюю историю, берущую начало в европейской практике плантационного лесовыращивания XVIII-XIX веков. Однако переход к интенсивным двухрядным схемам был обусловлен развитием механизации в середине XX века, когда требовалось создать баланс между густотой посадки и возможностью прохода техники.

В отечественной практике пионером таких работ стал Учебно-Опытный лесхоз Поволжского государственного технологического университета (ПГТУ, г. Йошкар-Ола), где в 1975 г. были заложены первые экспериментальные участки, показавшие как преимущества (высокая начальная густота), так и технологические сложности, проявившиеся на стадии рубок ухода [Романов и др., 2020]. Густота посадки составляла 3,8-4,5 тыс. шт./га. Саженьцы высаживали на расстоянии 0,55 м друг от друга. Ширина рядов составляла 1,2-1,3 м, а расстояние между рядами находилось в пределах 6-9 м. К 2018 г. сохранность растений составила 900-1300 шт./га, запас – 200-260 м³/га (рис. 1).

Проведенный анализ современного состояния вопроса показал наличие существенных пробелов в научно-методическом обеспечении плантационного лесовыращивания. В частности, в доступных научно-технических источниках отсутствует систематизированное описание пространственной организации плантационных угодий, не формализованы принципы их компоновки и не установлены количественные параметры составляющих элементов [Рукомойников, 2014; Демаков и др., 2015, 2016, 2018, 2020]. Этот факт свидетельствует о недостаточной теоретической проработке вопросов проектирования таких насаждений, что на практике затрудняет их последующее технологическое освоение.

Значительной проблемой является и отсутствие научно обоснованного инструментария для прогнозирования развития древостоя. Несмотря на признанную важность рубок ухода в интенсивном лесном хозяйстве, в большинстве исследований не представлено работающих методик расчета

прогнозных характеристик древостоя, оставляемого на дорастивание после изреживания [Романов и др., 2012; Антонов, 2017; Большаков и др., 2019; Дебков, 2020; Гамсахурдия, 2022; Rukomojnikov et al., 2023].



Рис. 1. Пример насаждения, полученного путем двухрядной посадки саженцев

Fig. 1. An example of a planting obtained by two-row planting of seedlings

Отсутствие надежных моделей роста и развития деревьев в разреженных насаждениях не позволяет объективно планировать интенсивность и периодичность рубок ухода, что снижает их эффективность и экономическую отдачу.

Особенно остро стоит вопрос технологического обеспечения рубок ухода в специфических условиях двухрядных посадок. В научной литературе практически не отражены вопросы машинного освоения пасек, которые гарантировали бы минимальное повреждение оставляемых на дорастивание деревьев [Демаков и др., 2015]. Не разработаны рациональные схемы работы техники, не определены траектории движения машин и не предложены технические средства, адаптированные для работы в стесненных условиях сближенных рядов. Это приводит к тому, что существующие технологии либо неприменимы, либо их применение наносит значительный ущерб остающейся части древостоя, сводя на нет положительный эффект от рубок ухода.

Таким образом, выявленный дефицит методологических и технологических решений в области плантационного лесовыращивания с двухрядной схемой размещения культур подтверждает несомненную актуальность и практическую значимость настоящего исследования. Разработка научных основ и практических рекомендаций по реализации рубок ухода в таких насаждениях является своевременной и востребованной задачей, решение которой будет способствовать развитию интенсивной модели лесного хозяйства.

Проблема технологического обеспечения рубок ухода в двухрядных насаждениях является частью более масштабной задачи – создания замкнутого технологического цикла интенсивного лесного хозяйства. Разрыв в этом цикле возникает на этапе первого коммерческого прореживания, когда стандартные машины и технологии оказываются неадаптированными к специфической пространственной структуре древостоя. Это приводит к возникновению «технологического узкого места», сводящего на нет экономические и экологические преимущества искусственного лесовосстановления. Таким образом, разработка специализированного способа валки является не просто частной инженерной задачей, а стратегическим элементом обеспечения устойчивости всего процесса интенсивного лесовыращивания.

Один из путей решения проблемы заключается в разработке альтернативных способов валки деревьев при сомкнувшемся древостое после посадки деревьев рядами, исключающей возможность повреждения соседних деревьев и деревьев близлежащих рядов при узкой ширине междурядий.

Целью исследований является разработка способа валки деревьев при сомкнувшемся древостое и узкой ширине междурядий, позволяющего производить валку деревьев без повреждения соседних деревьев и деревьев близлежащих рядов.

Материалы и методика исследования. В качестве объекта исследования выступили культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) возрастом 45 лет на территории учебно-опытного лесхоза ПГТУ. Древостой характеризовался II классом бонитета, средней высотой 18-22 м и средним диаметром 18-24 см.

При сравнении вариантов разработки лесных участков с двумя рядами посаженных в ходе лесовосстановительных операций деревьев был проведен патентный и литературный поиск и рассмотрено несколько существующих технологических решений.

Самым очевидным из них являлось сравнение трех способов работ:

- 1) механизированного способа с использованием бензопилы и трелевочного трактора с канатно-чokerным оборудованием (рис. 2а);
- 2) комбинированного способа с использованием бензопилы на валке деревьев и машинной трелевки с использованием форвардера (рис. 2б)
- 3) машинного способа с использованием харвестера на валке и форвардера на трелевке сортиментов (рис. 2с).

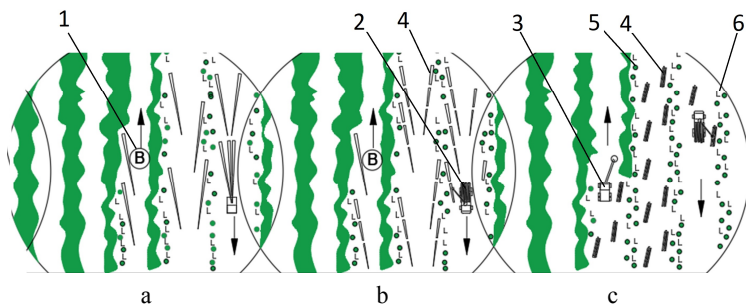


Рис. 2. Варианты разработки пасек в посаженных двумя рядами насаждениях (описание см. выше): 1 – вальщик с бензопилой, 2 – форвардер, 3 – харвестер, 4 – сортименты, 5 – остающиеся после валки деревья, 6 – пни от вырубленных деревьев

Fig. 2. Options for developing apiries in two-row plantings (description is given higher): 1 – feller with a chainsaw, 2 – forwarder, 3 – harvester, 4 – logs, 5 – trees remaining after felling, 6 – stumps from felled trees

Анализ данных способов в реальных природных условиях лесосек с двухрядным размещением лесных насаждений 45-летнего возраста, проведенный на территории учебно-опытного лесхоза Поволжского государственного технологического университета, показал, что использование на валке бензопилы, даже при работе вальщика с помощником, не дает возможность обеспечить точное направление валки деревьев без повреждения деревьев, расположенных рядом. В то же время при использовании харвестера возникает сложность наведения харвестерной головки и захвата ствола из-за недостаточного расстояния между стволами растущих деревьев для свободного открытия и закрытия механизмов при захвате деревьев. При работе форвардера наблюдаются сложности сбора лежащих перед ним заготовленных сортиментов, которые из-за узких междурядий не могут быть расположены сбоку от машины и лежат прямо на волоке.

Таким образом, все рассмотренные варианты ведения работ имели свои недостатки, среди которых общим являлся обдир коры у остающихся на доращивание деревьев из-за невозможности либо точной направленной валки механизированным способом так, чтобы поваленные деревья лежали вдоль волока, либо беспрепятственного внедрения захватов харвестерной головки между стволами растущих деревьев.

Принято решение о необходимости разработки нового конструктивного решения машины, обладающей малыми габаритами и оснащенной устройством для корректировки направления валки деревьев без необходимости его движения между стволами деревьев одного ряда, в то же время дающим возможность придания спиленному дереву нужной траектории.

Патентный поиск проводился в базах данных Роспатента по информационным источникам до 2022 г. и ключевым словам «валка деревьев», «сомкнутый древостой», «узкие междурядья», «two-row planting», «selective cutting» и другим близким к теме исследования вариантам словосочетаний. Было выявлено несколько патентов, близких к тематике исследования, однако ни одно из решений не предлагало комбинации малогабаритного трактора с манипулятором, позволяющим минимизировать повреждения древоостоя в заданных условиях работ.

Результаты исследований. В результате проведенных исследований предложена модернизация трактора, предусматривающая прием ствола манипулятором машины для его последующей контролируемой укладки на землю. На разработанное техническое решение получен патент РФ [Царев и др., 2022]. Новое техническое решение и принцип работы показаны на рис. 3. Способ предусматривает использование малогабаритного лесозаготовительного трактора 1, содержащего гидравлический манипулятор 2, с отбойником 3 и работу вальщика 4 с бензиномоторной пилой, осуществляющего спиливание деревьев.

Трактор, перемещаясь по междурядьям, подъезжает к дереву, подлежащему рубке. К этому же дереву подходит вальщик с бензопилой и осуществляет валку дерева перпендикулярно междурядью. При этом манипулятором осуществляется прием дерева на отбойник малогабаритной лесозаготовительной машины. Он постепенно опускает вершину спиленного дерева и располагает поваленные деревья 6 вдоль междурядья. Важным требованием является то, что в сторону трактора валят лишь деревья ближайшего к нему ряда. Валка деревьев второго ряда осуществляется после валки деревьев в первом ряду, при движении по следующему междурядью.

Обсуждение. Критический анализ текущих приемов выполнения рубок леса в контексте природного лесовозобновления выборочных и сплошных

рубок [Ширнин, 2004; Мохирев, Мамматов, 2015; Марковская, 2021; Rukotojnikov et al., 2022] позволил сделать вывод, что их использование в условиях двухрядных посадок леса неизбежно приведет к повреждению соседних деревьев одного ряда и деревьев смежных рядов.

В частности, один из наиболее известных в настоящее время способов разработки лесосек, позволяющих уменьшить повреждения остающихся после рубки деревьев, предусматривает разделение пасеки на узкие ленты [Кочегаров и др., 1990, с. 103 (рис. 3.146)]. Пасеки шириной 25...30 м разделяются на несколько узких лент, расположенных вдоль волока. В результате применения этого способа уменьшается вероятность того, что дерево, которое будет свалено с удаленной от пасечного волока ленты, заденет растущее дерево на ближайшей к пасечному волоку ленте. Этот вариант позволяет предотвратить нагромождения и предоставить гарантии подходящих требований для рабочих на очистке деревьев от сучьев.

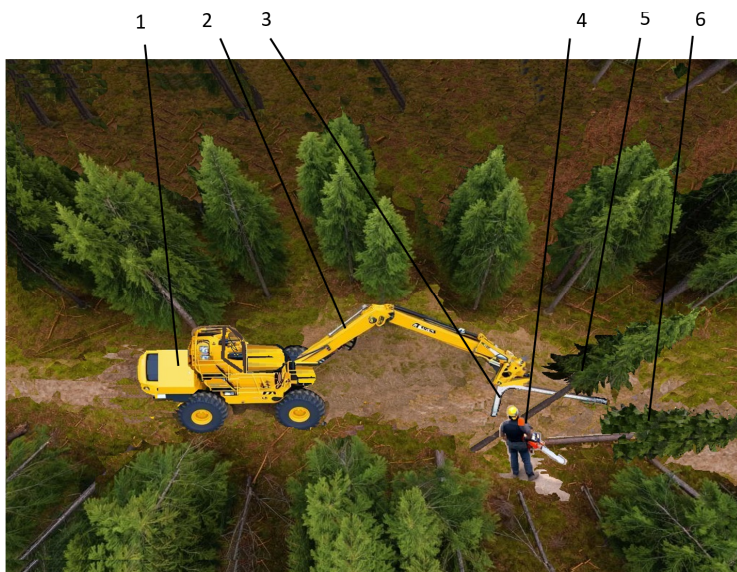


Рис.3. Способ валки деревьев с использованием бензиномоторной пилы и лесозаготовительного трактора: 1 – лесозаготовительный трактор, 2 – гидравлический манипулятор, 3 – отбойник, 4 – вальщик с бензиномоторной пилой, 5 – дерево в процессе падения, 6 – лежащее на земле поваленное дерево

Fig. 3. Free fall of a tree along a skidding trail using a logging tractor: 1 – logging tractor, 2 – hydraulic manipulator, 3 – hipper, 4 – chainsaw operator, 5 – falling tree, 6 – fallen tree

Другой метод, позволяющий сократить повреждения остающихся после валки деревьев, [Ширнин, 2004, с. 120 (рис. 3.16г)] заключается в задействовании трактора при трелевке за комли при условии отсутствия жизнестойкого подроста в нужном количестве или искусственном лесовозобновлении.

Недостатками приведенных выше методов являются следующие:

1. Невозможность задействовать при работе в посадках, включающих двухрядное позиционирование деревьев в полосах по кромкам широких междурядий, образующих волок;
2. При применении их на лесных угодьях воздействию подвергаются ленты на пасаках с валкой всех отведенных к уничтожению деревьев в обоих рядах двухрядной полосы, автономно от их позиционирования в пространстве в контексте междурядий.

Таким образом, использованию известных приемов в схожих лесных участках препятствует отсутствие гарантий невредимости лесных насаждений в прилегающих к волоку рядах деревьев. При них существует высокая вероятность повреждения ближайших деревьев второго ряда.

Имеются приемы рубок с использованием серийно выпускаемых лесозаготовительных машин с манипуляторами [Марковская, 2021; Norihiro et al., 2018; Rukomojnikov et al., 2018; Segla, 2018; Malashchenko et al., 2022] Эти способы позволяют эффективно валить деревья вдоль трелевочного волока без повреждения соседних деревьев на тех лесных площадях, на которых деревья были восстановлены в результате естественного лесовосстановления от семенников. Использование этих способов в условиях рубки на лесных участках с двухрядным размещением деревьев имеет функциональные ограничения по причине сложности наведения захвата в условиях близкой посадки деревьев в каждом из рядов.

Для количественной оценки преимуществ предложенного метода был проведен модельный расчет потенциального ущерба. При традиционной валке бензопилой в данных условиях повреждение крон соседних деревьев достигает 25-30%, а повреждение коры – 15-20%. Использование харвестера снижает повреждение коры до 5-7%, но приводит к невозможности обработки ~30% деревьев из-за конструктивных ограничений. Предлагаемый способ позволяет снизить общий показатель повреждений до 3-5%, обеспечивая при этом 100% доступность деревьев для валки.

Важным аспектом предлагаемой технологии является повышение безопасности труда. Контролируемая укладка дерева манипулятором исключает

риск непредсказуемого падения ствола, что является одной из основных причин травматизма при работе вальщика. Кроме того, оператор манипулятора находится в защищенной кабине, что снижает риски при работе в сложных погодных условиях (ветер, снегопад).

В отличие от трелевочных тракторов, которые при подъезде к дереву часто повреждают корневую систему деревьев и уплотняют почву, предлагаемый метод позволяет технике перемещаться строго по междурядью, минимизируя антропогенную нагрузку на почву. Это особенно важно для сохранения ее плодородия и влагоудерживающей способности в долгосрочной перспективе.

Разработанный способ открывает несколько направлений для дальнейшего технологического развития.

Принцип контролируемой валки с приемом ствола может быть адаптирован не только для двухрядных, но и для трехрядных или криволинейных схем посадки, которые начинают применяться на сложном рельефе для предотвращения эрозии почв.

В долгосрочной перспективе возможно создание не модернизированного, а специализированного лесозаготовительного комплекса, объединяющего функции валки и трелевки и оптимизированного для работы в условиях интенсивных плантаций с заданной геометрией посадки.

Заключение. Таким образом, использование предложенного варианта техники и технологии работы создает возможность повышения эффективности рубки леса на лесных участках с двухрядным расположением растущих деревьев и широкими междурядами между ними, созданными путем посадки саженцев в процессе искусственного лесовосстановления. Новый вариант частичной модернизации оборудования лесохозяйственного трактора дает возможность сокращения повреждений, наносимых остающимся на лесосеке деревьям, и обеспечивает укладку поваленных деревьев вдоль трелевочного волока.

В результате использования предложенного способа валки деревьев в молодняках при сомкнувшемся древостое и узкой ширине междурядий можно производить валку деревьев без повреждения соседних деревьев и деревьев близлежащих рядов.

Проведенное исследование носит междисциплинарный характер, находясь на стыке лесоводства, машиноведения и технологии лесозаготовок. Предложенное решение демонстрирует, что эффективное ведение интенсивного лесного хозяйства требует не адаптации старых подходов, а разработки принципиально новых, адекватных вызовам технологий. Внедрение разработанного способа позволит не только повысить экономическую отдачу от лесных

плантаций, но и обеспечить их экологическую устойчивость, сохраняя почву, биоразнообразие и здоровье древостоя на всех этапах выращивания.

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 26-16-00106, <https://rscf.ru/project/26-16-00106/>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Антонов О.И. Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. №1. С. 86–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86.

Большаков Б.М., Андрияшин М.И., Дороницева Е.В. Развитие технологий и машин при рубках ухода за лесом в Финляндии и Швеции // Лесохозяйственная информация. 2019. №2. С. 111-128. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2019.2.11.

Гамсахурдия О.В. Экономическая эффективность рубок ухода в системе воспроизводства лесов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер.: Экономика и право. 2022. №12-2. С. 31-35.

Дебков Н.М. Нужны ли рубки ухода в сосновых молодняках в типичных для них условиях местопроизрастания? // Сибирский лесной журнал. 2020. №1. С. 28-37.

Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. №2 (26). С. 19–36.

Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Рыжков А.А. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. №4 (32). С. 19–33. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.19.

Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С. Экономические основы и опыт плантационного лесовыращивания в Среднем Поволжье // Сибирский лесной журнал. 2018. №2. С. 3–14.

Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г. Результаты 30-летнего опыта по изреживанию культур сосны в борах Марийского Заволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. №3 (47). С. 5–18. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.5.

Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная промышленность, 1990. 392 с.

Марковская А.Н. Краткий обзор практики рубок ухода в России // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей StudNet. 2021. Т. 4, № 8.

Мохирев А.П., Мамматов В.О. Модель технологического процесса работы форвардера // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, №9-3 (20-3). С. 328-332. DOI: 10.12737/16935.

Романов Е.М., Нуреева Т.В., Еремин Н.В. Обоснование критериев и показателей перевода лесных культур в режим ускоренного лесовыращивания // ИВУЗ. Лесной журнал. 2012. №5 (329). С. 7–13.

Романов Е.М., Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Заболотских П.В. О необходимости создания учебно-опытных стационаров для разработки и внедрения интенсивных технологий лесовыращивания и подготовки специалистов лесного дела // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. №2 (46). С. 5–26.

Рукомойников К.П. Совершенствование технологического оборудования для пересадки подроста с закрытой корневой системой // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. №2 (338). С. 9–17.

Шурнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Ч. 1: Лесосечные работы. М.: МГУЛ, 2004. 446 с.

Царев Е.М., Анисимов С.Е., Рукомойников К.П., Волдаев М.Н., Татаринов Д.С., Ожиганов В.Н., Васильев Д.В., Попов Н.И. Патент № 2775910 Российская федерация, МПК А01G 23/08. Способ валки деревьев в молодняках. Заявл. 23.07.2021, опубл. 11.07.2022, бюл. №20.

Malashchenko V., Lanets O., Protasov R., Magdolen L. Research of stresses in support-rotary devices of truck cranes with mutually perpendicular rollers // *Strojnícky časopis – Journal of Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 72, iss. 2. P. 113–118. DOI: 10.2478/scjme-2022-0021.

Norihiro J., Ackerman P., Spong B., Längin D. Productivity Model for Cut-to-Length Harvester Operation in South African Eucalyptus Pulpwood Plantations // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2018. Vol. 39, iss. 1. P. 1–13.

Rukomojnikov K.P., Vedernikov S.V., Gabdrahmanov M.G. A method for delimiting tree-trunks and a device for applying the method // *Journal of Applied Engineering Science*. 2018. Vol. 16, iss. 2. P. 263–266. DOI: 10.5937/jaes16-16442.

Rukomojnikov K.P., Sergeeva T.V., Gilyazova T.A., Komisar V.P. Computer modeling to support management and organizational decisions in the use of a forest harvester // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2022. Art. no. 12251OP. DOI: 10.1117/12.2631137.

Rukomojnikov K.P., Gilyazova T.A., Anisimov I.S. Device for transplanting young undergrowth with soil lump when performing forestry // *Strojnícky časopis – Journal of mechanical engineering*. 2023. Vol. 73, iss. 2. P. 145–150. DOI: 10.2478/scjme-2023-0029.

Segla S. Static balancing of robot mechanisms and manipulation devices // *Strojnícky časopis – Journal of Mechanical engineering*. 2018. Vol. 68, iss. 2. P. 77–90. DOI: 10.2478/scjme-2018-0019.

References

Antonov O.I. Qualitative Productivization of Forest Stands is the Goal of Intensive Forestry. *Russian Forestry Journal*, 2017, no. 1, pp. 86–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86. (In Russ.)

Bolshakov B., Andrushin M., Doronicheva E. The development of technology and machines when thinning the forest in Finland and Sweden. *Forestry information*, 2019, no. 2, pp. 111-128. (In Russ.)

Debkov N.M. Do we need care thinning in young pine stands in their typical habitats? *Siberian Forest Journal*, 2020, no. 1, pp. 28-37. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Chernykh V.L. The use of allometric dependences for assessing the phytomass of various fractions of trees and modeling their dynamics. *Bulletin of the Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature management*, 2015, no. 2 (26), pp. 19–36. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A. Regularities of stand development in Scots pine cultures of different initial density. *Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management*, 2016, no. 4 (32), pp. 19–33. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.19. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S. Economic foundations and experience of plantation forestry in the Middle Volga region. *Siberian Forestry Journal*, 2018, no. 2, pp. 3–14. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G. The results of 30 years of experience in thinning pine crops in the forests of the Mari Trans-Volga region. *Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management*, 2020, no. 3 (47), pp. 5–18. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.5. (In Russ.)

Gamsakhurdia O.V. Economic efficiency of thinning in the reforestation system. *Modern science: current problems of theory and practice. Ser.: Economics and law*, 2022, no. 12-2, pp. 31-35. (In Russ.)

Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. Logging technology and machines. Moscow: Forest industry, 1990. 392 p. (In Russ.)

Malashchenko V., Lanets O., Protasov R., Magdolen L. Research of stresses in support-rotary devices of truck cranes with mutually perpendicular rollers. *Strojnícky časopis – Journal of Mechanical Engineering*, 2022, vol. 72, iss. 2, pp. 113–118. DOI: 10.2478/scjme-2022-0021.

Markovskaya A.N. Brief overview of care cleaning practice in Russia. *Scientific and educational magazine for students and teachers StudNet*, 2021, vol. 4, no. 8. (In Russ.)

Mokhirev A.P., Mammatov V.O. Model of the technological process of work of the forwarder. *Current directions of scientific research of the 21st century: theory and practice*, 2015, no. 9-3 (20-3), pp. 328-332. DOI: 10.12737/16935. (In Russ.)

Norihiro J., Ackerman P., Spong B., Längin D. Productivity Model for Cut-to-Length Harvester Operation in South African Eucalyptus Pulpwood Plantations. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2018, vol. 39, iss. 1, pp. 1-13.

Romanov E.M., Nureeva T.V., Eremin N.V. Justification of the criteria and indicators for the transfer of forest crops to the regime of accelerated forest growing. *Russian Forestry Journal*, 2012, no. 5 (329), pp. 7–13. (In Russ.)

Romanov E.M., Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Zabolotskikh P.V. On the need to create training and experimental hospitals for the development and implementation of intensive technologies for forest growing and training of forestry specialists. *Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management*, 2020, no. 2 (46), pp. 5–26. (In Russ.)

Rukomoynikov K.P. Improving the process equipment for containerized undergrowth replanting. *Russian forestry journal*, 2014, no. 2 (338), pp. 9–17. (In Russ.)

Rukomoynikov K.P., Vedernikov S.V., Gabdrahmanov M.G. A method for delimiting tree-trunks and a device for applying the method. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, no. 16(2), pp. 263–266. DOI: 10.5937/jaes16-16442.

Rukomoynikov K.P., Sergeeva T.V., Gilyazova T.A., Komisar V.P. Computer modeling to support management and organizational decisions in the use of a forest harvester. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 2022, art. no. 12251OP. DOI: 10.1117/12.2631137.

Rukomoynikov K.P., Gilyazova T.A., Anisimov I.S. Device for transplanting young undergrowth with soil lump when performing forestry. *Strojnícky časopis – Journal of mechanical engineering*, 2023, vol. 73, iss. 2, pp. 145–150. DOI: 10.2478/scjme-2023-0029.

Segla S. Static balancing of robot mechanisms and manipulation devices. *Strojnícky časopis – Journal of mechanical engineering*, 2018, vol. 68, iss. 2, pp. 77–90. DOI: 10.2478/scjme-2018-0019.

Shirnin Yu.A. Technology and equipment for timber industry. Part 1: Logging works. Moscow: Moscow State University of Forestry, 2004. 446 p. (In Russ.)

Tsarev E.M., Anisimov S.E., Rukomoinikov K.P., Voldaev M.N., Tatarinov D.S., Ozhiganov V.N., Vasiliev D.V., Popov N.I. Pat. № RU 2775910 Russian Federation. Method of felling trees in young stands. Appl. 07/23/2021, publ. 07/11/2022, bull. no. 20. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 09.06.2026

Царев Е.М., Рукомойников К.П., Анисимов И.С., Анисимов Н.С., Макаров В.Е. Повышение эффективности рубок ухода в условиях сомкнувшихся двухрядных культур // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 258. С. 297–311. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.258.297-311

В статье рассматривается актуальная проблема выполнения рубок ухода на лесных участках с двухрядным расположением насаждений, созданных в процессе искусственного лесовосстановления. Проведен критический анализ существующих технологических решений, применяемых при разработке лесосек с двухрядным размещением древостоя. Установлено, что использование традиционных способов валки деревьев: механизированного с применением бензопилы, комбинированного с использованием форвардера и машинного с

использованием харвестера – в условиях сомкнутого древостоя и узкой ширины междурядий приводит к значительным повреждениям остающихся на доразбивание деревьев. В качестве альтернативного решения предложен усовершенствованный способ валки деревьев с использованием малогабаритного лесозаготовительного трактора, оснащенного гидравлическим манипулятором с отбойным устройством. Разработанный метод направлен на минимизацию ущерба оставляемым деревьям и обеспечение контролируемой укладки сортиментов вдоль технологического коридора. Подробно описана технология выполнения работ, предусматривающая прием дерева на отбойник манипулятора с последующей контролируемой укладкой поваленных деревьев вдоль междурядья. Приведены результаты практических испытаний, подтверждающие сложности процесса валки деревьев в традиционных условиях ведения работ и актуальность нового способа их реализации для снижения повреждений деревьев, остающихся на лесосеке, и обеспечения их укладки вдоль трелевочного волока. Предлагаемый подход позволяет преодолеть ключевое технологическое ограничение при первом прореживании двухрядных культур, обеспечивая как экономическую эффективность, так и сохранение качества будущего древостоя. Описанное техническое решение представляет практический интерес для предприятий, осуществляющих лесозаготовительную деятельность в условиях интенсивной модели лесного хозяйства.

Ключевые слова: искусственное лесовосстановление, молодняк, валка, бензиномоторная пила, трелевочный трактор, трелевочный волок.

Tsarev E.M., Rukomoynikov K.P., Anisimov I.S., Anisimov N.S., Makarov V.E. Enhancing the Efficiency of Thinning Operations in Dense Two-Row Plantations. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2026, iss. 258, pp. 297–311 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.258.297-311

The article addresses the current challenge of performing thinning operations in forest stands with a two-row tree arrangement established through artificial reforestation. A critical analysis of existing technological solutions used in harvesting stands with a two-row configuration has been conducted. It has been determined that the application of traditional tree felling methods: mechanized (using chainsaws), combined (using forwarders), and machine-based (using harvesters) – under conditions of a closed canopy and narrow row spacing leads to significant damage to trees left for subsequent growth (leave trees). As an alternative solution, an improved felling method utilizing a compact logging tractor equipped with a hydraulic manipulator featuring a felling bumper is proposed. The developed method is aimed at minimizing damage to residual stands and ensuring the controlled placement of felled trees along the skid trail. The operational technology is described in detail, involving the reception of the tree by the manipulator's bumper followed by its controlled laying along the inter-row space. The results of field trials are presented, confirming the difficulties of the felling process

under traditional operational conditions and highlighting the relevance of the new method for reducing damage to trees remaining in the cutting area and ensuring their alignment along the skid road. The proposed approach overcomes a key technological bottleneck during the first commercial thinning in two-row plantations, ensuring both economic efficiency and the preservation of future stand quality. The described technical solution is of practical interest to enterprises engaged in logging operations within an intensive silvicultural model.

Key words: artificial reforestation, young trees, felling, gasoline-powered saw, skidder, skidder.

ЦАРЕВ Евгений Михайлович – профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук. ORCID: 0000-0001-5695-3028.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: CarevEM@volgatech.net

TSAREV Evgeniy M. – DSc (Technical), Professor, Department of Forestry and Chemical Technologies, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0001-5695-3028.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: Care-vEM@volgatech.net

РУКОМОЙНИКОВ Константин Павлович – профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-9956-5081.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: Rukomojnikovkp@volgatech.net

RUKOMOYNIKOV Konstantin P. – DSc (Technical), Professor, Department of Forestry and Chemical Technologies, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0002-9956-5081.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: Rukomojnikovkp@volgatech.net

АНИСИМОВ Илья Сергеевич – студент Поволжского государственного технологического университета. ORCID: 0000-0002-9528-8988.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: kikri-machete-00@mail.ru

ANISIMOV Ilya S. – student, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0002-9528-8988.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: kikri-machete-00@mail.ru

АНИСИМОВ Никита Сергеевич – студент Поволжского государственного технологического университета. ORCID: 0000-0001-8465-261X.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: nikita_anisimov2000@mail.ru

ANISIMOV Nikita S. – student, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0001-8465-261X.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: nikita_anisimov2000@mail.ru

МАКАРОВ Владимир Евгеньевич – доцент кафедры транспортно-технологических машин Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0003-2564-0832.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: MakarovVE@volgatech.net

MAKAROV Vladimir E. – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Transport and Technological Machines, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0003-2564-0832.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: Makarov-VE@volgatech.net