

УДК 630*377.4

А. А. Духовник, С. П. Мохов

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА МЕТОДОВ И ПРИЕМОВ ПРОВЕДЕНИЯ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ
СИСТЕМОЙ МАШИН «ХАРВЕСТЕР – ФОРВАРДЕР»
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ (ОБЗОР)**

Важнейшей задачей современного лесного хозяйства является повышение продуктивности лесов и рациональное использование лесных ресурсов. Эта задача решается комплексом мер, ведущее место среди которых занимают рубки ухода за лесом. Они включают в себя ряд мероприятий по выращиванию леса в целях повышения и улучшения его продуктивности, увеличения размера лесопользования и лучшего использования леса как фактора окружающей среды. Повышение продуктивности лесов является одной из важных и сложных проблем современного лесоводства. Выращивание высокопродуктивных насаждений оптимального состава требует проведения регулярных уходов за лесом. В Республике Беларусь рубки ухода осуществляются различными системами машин и методами, каждый из которых имеет свои особенности и эффективность в зависимости от условий эксплуатации.

В данной статье выполнена оценка эффективности рубок ухода за лесом в условиях лесохозяйственных учреждений Республики Беларусь с применением машинных комплексов. Отмечены важнейшие цели развития лесного хозяйства страны, среди которых выделяются обеспечение формирования высокопродуктивных и устойчивых лесов, а также повышение ресурсного потенциала лесов для удовлетворения потребностей экологии и общества. Проанализированы и предложены методы и приемы проведения рубок ухода за лесом в условиях Республики Беларусь, рассмотрены технологические процессы при освоении лесосек. Произведено сравнение применяемых систем машин на базе бензиномоторных пил и харвестеров, на основании которого можно осуществлять обоснованный выбор систем машин под соответствующие методы и приемы проведения рубок ухода, отмеченные в данной статье.

Ключевые слова: рубки ухода за лесом, система машин, технология, харвестер, форвардер, лесосека, лесозаготовка.

Для цитирования: Духовник А. А., Мохов С. П. Оценка методов и приемов проведения рубок ухода за лесом системой машин «харвестер – форвардер» в Республике Беларусь (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 88–97. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-09.

A. A. Dukhovnik, S. P. Mokhov

Belarusian State Technological University

**EVALUATION OF METHODS AND TECHNIQUES FOR PREPARATION FELLING
BEHIND THE FOREST WITH A SYSTEM OF MACHINES
“HARVESTER – FORWARDER” IN THE REPUBLIC OF BELARUS (REVIEW)**

The most important task of modern forestry is to increase the productivity of forests and rational use of forest resources. This task is solved by a set of measures, the leading place among which is occupied by forest thinning. They include a range of activities to grow the forest in order to increase and improve its productivity, increase the size of forest use and make better use of the forest as an environmental factor. Increasing the productivity of forests is one of the important and complex problems of modern forestry. Growing highly productive stands of optimal composition requires regular forest maintenance. In the Republic of Belarus, thinning is carried out by various systems of machines and methods, each of which has its own characteristics and efficiency depending on the operating conditions.

This article evaluates the effectiveness of thinning for forest care in the conditions of forestry institutions of the Republic of Belarus using machine systems. The most important goals for the development of the country's forestry are noted, among which are the provision of the formation of highly productive and sustainable forests, as well as increasing the resource potential of forests to meet the needs of the environment and society. Methods and techniques for carrying out thinning for forest care in the conditions of the Republic of Belarus are analyzed and proposed, technological processes are considered during the development of cutting areas. A comparison of the used machine systems based

on gasoline-powered saws and harvesters was made, on the basis of which it is possible to make a reasonable choice of machine systems for the relevant methods and techniques for thinning, noted in this article.

Keywords: thinning, machine system, technology, harvester, forwarder, logging site, logging.

For citation: Dukhovnik A. A., Mokhov S. P. Evaluation of methods and techniques for preparation felling behind the forest with a system of machines “harvester – forwarder” in the Republic of Belarus (review). *Processing of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 1 (264), pp. 88–97. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-09 (In Russian).

Введение. Одной из важнейших целей развития лесного хозяйства страны является обеспечение формирования высокопродуктивных и устойчивых лесов, повышение ресурсного потенциала лесов для удовлетворения потребностей экологии и общества. Данные цели отражены в государственных программах и стратегиях (Государственная программа «Белорусский лес» до 2025 г., стратегический план развития лесного хозяйства до 2030 г. и др.) [1, 2].

Для реализации поставленных целей одним из важнейших направлений интенсивного лесного хозяйства является качественное и своевременное проведение рубок ухода, где все большее применение находят машинные комплексы с широким диапазоном технических характеристик технологического оборудования и базового шасси [3–5]. Целью исследования является изучение методов и приемов проведения рубок ухода за лесом в Республике Беларусь.

Основная часть. Рубки ухода за лесом являются одним из важнейших лесохозяйственных мероприятий, направленных на выращивание хозяйственно ценных, высокопродуктивных, качественных насаждений и улучшение других полезных свойств леса, увеличение объема лесопользования в соответствии с технологическими требованиями, установленными СТБ 1361-2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки промежуточного пользования. Требования к технологиям» [6–8]. Они заключаются в периодической вырубке из насаждений нежелательных деревьев и кустарников для создания благоприятных условий роста лучшим деревьям главных пород и служат

источником получения древесины и другого сырья [9–12].

Со временем лесные насаждения изменяются. Это происходит из-за появления больных и поврежденных вредителями стволов деревьев, сухостоя, повышения густоты лесных массивов [13]. Как правило, виды рубок ухода зависят от возраста леса (на момент проведения). Их соответствие с возрастом насаждений отражено в Правилах рубок леса в Республике Беларусь [14]. Выделяют следующие виды рубок ухода: осветление, прочистка, прореживание и проходная рубка (таблица).

В решении проблем лесного хозяйства Республики Беларусь важную роль играет внедрение современных технологий и механизация производственных процессов, обеспечивающих необходимое качество работы, снижение трудоемкости и повышение экономической эффективности лесохозяйственной деятельности, особенно при проведении рубок ухода за лесом. В настоящее время в Республике Беларусь для проведения рубок ухода за лесом используют как бензиномоторные пилы, так и системы машин «харвестер – форвардер» [15–17].

Сравнение систем машин для проведения рубок ухода за лесом на базе бензиномоторных пил и харвестеров позволяет сделать вывод, что одной из главных причин массового перехода на механизированное проведение рубок ухода является недостаток рабочей силы. На данный момент во многих регионах проблематично набрать бригаду вальщиков, поскольку количество людей, работающих в сельской местности, заметно сократилось в последние годы.

Виды рубок ухода

Вид рубок ухода	Возраст насаждений, лет			
	хвойных	лиственных		
		дуба, ясеня, клена семенного и смешанного происхождения	березы, ольхи черной, липы, граба	тополя, осины, ольхи серой
Осветление	1–10	1–10	1–10	До 5
Прочистка	11–20	11–20	11–20	6–10
Прореживание	21–40	21–40	21–30	11–20
Проходная рубка	41 и выше	41 и выше	31 и выше	21 и выше

В связи с этим проведение технологий рубок ухода за лесом с применением многооперационных лесозаготовительных машин типа харвестер и форвардер стало более рациональным, поскольку эта система машин обеспечивает высокую производительность труда при соблюдении лесоводственных и экологических требований [18–20]. Особенности проведения рубок ухода за лесом с использованием данных машин, в отличие от применения бензиномоторных пил, являются: механизация операций лесозаготовительного процесса, вырубка деревьев без предварительного отбора и маркировки (с учетом опыта и квалификации оператора харвестера), улучшение условий труда, повышение степени безопасности труда и снижение травматизма, сокращение сроков заготовки древесины и др. [21–23].

На рубках ухода в Республике Беларусь находят применение малогабаритные лесозаготовительные машины компаний Vimek, Rottne, Sampo Rosenlew, «Амкодор», Usewood, Logbullet, Ponsse Fox и др.

Организация рубок ухода за лесом включает в себя разбивку лесосеки на технологические элементы, в том числе устройство технологических коридоров (волоков) и погрузочных площадок. В зависимости от вида рубок, применяемых машин и характеристик лесного фонда [24, 25] могут применяться *методы с прокладкой волоков и без их устройства*.

При использовании метода освоения лесосек с *прокладкой технологических коридоров* необходимо вырубать целый ряд деревьев, в том числе лучших и главных пород [26–29]. Применяется данный метод тогда, когда необходимо обеспечить беспрепятственное движение лесных машин, ширина которых 2 м и более. Технологический коридор при этом получается шириной 3,5–4 м, т. е. необходимо вырубать его шириной, равной квартальной просеке лишь для того, чтобы произвести трелевку (вывозку) заготовленных сортиментов к местам их складирования. При данных условиях находят применение такие машины, как МЛХ-46, «Амкодор 2531», «Амкодор 2541» на проходных рубках ухода, реже на прореживании. В некоторых случаях при проведении таких рубок с использованием машин на базе Vimek при трелевке лесоматериалов ввиду большого радиуса поворота загруженного форвардера приходится также прорубать технологический коридор [30, 31].

Метод разработки лесосек *без прокладки технологических коридоров* основывается на применении машин Vimek, Usewood, Logbullet. При этом машины двигаются криволинейно между деревьями, технологический коридор не

прорубается, но намечается траектория их движения. Однако необходимо учитывать, что эта траектория должна позволять проезжать форвардеру с лесоматериалами, ввиду того что там, где может проехать харвестер, не всегда есть возможность проехать форвардеру.

Исходя из способа рубки и выбранных машин, прокладка коридоров может совершаться как прямолинейным способом, так и криволинейным. *Прямолинейный* способ упрощает разбивку лесосеки на технологические элементы и трелевку заготовленной древесины, *криволинейный* – позволяет машинам объезжать одиночные деревья главных и хозяйственно ценных пород и другие препятствия, а также снижает ветровую нагрузку на насаждение, однако уменьшает расстояние между технологическими стоянками машины по причине необходимости обеспечения доступности и ограничения повреждений деревьев, остающихся на лесосеке [32].

Комбинированный метод рубок ухода подразумевает удаление деревьев любой породы и любого размера, если они заглушают деревья главных пород, а из главных – худшие экземпляры. При проведении этого метода применяют системы машин «харвестер – форвардер» и бензиномоторные пилы. Основной объем заготовки древесины осваивается харвестером, а на труднодоступных участках лесосеки, где харвестер не сможет пройти по тем или иным причинам, деревья дообрабатываются бензиномоторной пилой. Применение комбинированного метода на рубках ухода обеспечивает максимальную продуктивность и большой выход деловой древесины, а благодаря механизированной технике снижаются затраты и повышается производительность труда. Существенным отличием данного метода можно назвать применение бензиномоторных пил в системе с харвестером и форвардером. Это позволяет уменьшить степень повреждения деревьев главных пород, которые оставляют для доращивания, производя вырубку нежелательных деревьев [33].

Находит применение и *метод заготовки древесной биомассы* [34–36] с применением харвардера Vimek 610 SE BioCombi, который может работать в режиме заготовки тонкомерной древесины на прочистках без обрезки сучьев и транспортировать деревья к местам складирования для последующего измельчения в топливную щепу. Его использование более рационально для расчистки площадей от нежелательной тонкомерной древесно-кустарниковой растительности с целью заготовки топливной биомассы для энергетических целей. Использование комбинированных машин, позволяющих выполнять операции по заготовке и трелевке,

дает возможность повысить производительность. Как правило, этот метод применяется в том случае, где нет деловой древесины [37, 38]. При разработке данного метода также может использоваться харвестер Vimek 404 DUO Bio. Метод работы не отличается от классической системы машин «харвестер – форвардер», за исключением объединения в одной машине полноценного харвестера, способного работать в режиме форвардера, а не наоборот.

Заготовка и вывозка древесины с последующей *переработкой в топливную щепу* также находит применение в Республике Беларусь [39–42]. При проведении ранних прореживаний образуются значительные объемы биомассы в виде тонкомерной древесины. При малом объеме хлыста вся заготовленная древесина может назначаться для переработки в топливную щепу. Метод основывается на том, что после проведения рубок ухода осуществляется разделение заготовленной древесины на деловую и дровяную, где дровяная, в свою очередь, вывозится для дальнейшей переработки на верхний или промежуточный склад. Достоинством данного метода является рациональное использование древесного сырья.

Система машин «харвестер – форвардер» находит применение на всех видах рубок ухода [43, 44]. При классическом их использовании вслед за харвестером движется форвардер, собирающий заготовленные сортименты. Однако существует технология, согласно которой форвардер движется не по каждому следу харвестера, а через один. При этом харвестер укладывает заготовленные сортименты на максимальном вылете манипулятора, ближе к границе пасаки, на которой движение форвардера исключается. Но это условие выполняется только при обеспечении вылета манипулятора как харвестера для возможной укладки, так и форвардера для последующего сбора лесоматериалов. Таким образом, упрощается работа форвардера, так как поддерживаются границы пасаек, но дополнительно к этому повышается изреживание. При использовании данной технологии ориентироваться стоит на форвардер, поскольку преимуществом его является большой радиус поворота вылета манипулятора, высокие показатели грузоподъемности, высокая маневренность. В связи с этим путь форвардера уменьшается примерно вдвое, а то и втрое, при этом сокращается время на заполнение грузовой платформы, благодаря чему повышается производительность машины. При этой технологии не обязательно движение машин друг за другом и не важно, как будет произведена валка, раскряжевка и обрезка сучьев, – ручным инструментом или харвестером. Главное, чтобы заготовленные сортименты были сложены в пачку, а также находились в пределах

видимости и досягаемости манипулятора форвардера по пути его движения. Если брать харвестер, то при заготовке лесоматериалов оператор укладывает их рядом с собой по проходящему пути, где вслед за ним пройдет форвардер. В результате коридоры не прокладываются и остается равномерно прореженный лес. Выбор форвардера влияет на технологический процесс, а также на лесоводственные требования рубок ухода [45, 46].

В связи с большой разновидностью размерно-качественных и биометрических показателей древостоя актуальным является обоснованный выбор технологического оборудования и параметров лесных машин. Прежде всего к главным параметрам можно отнести ширину и вес харвестера и форвардера [47–50], так как минимальная ширина машин избегает повреждения лучших деревьев главных пород. Как показывает практика, для проведения рубок ухода лучше применять малогабаритные машины с вылетом стрелы манипулятора до 6 м. А что касается веса, то немаловажно использование легких машин для предотвращения повреждения корневых систем и почвогрунтов. Однако при прореживании и прочистке учитываются габариты машин, чтобы они могли работать под пологом леса без прокладки коридоров. Для лучшего выхода качественной древесины обе машины должны быть взаимоувязаны и согласованы между собой по техническим и технологическим параметрам. В итоге технология работ на рубках ухода за лесом должна основываться на двух критериях: лесоводственном и экономическом. Лесоводственный критерий позволяет сократить риск повреждения лучших деревьев главных пород, а экономический приводит к сокращению эксплуатационных затрат на рубках.

В настоящее время одним из показателей, характеризующих работу харвестеров Vimek на рубках ухода в лесхозах, является объем заготовленной древесины в месяц, в соответствии с которым осуществляются выплаты заработной платы оператору. Однако учитывая цель рубок ухода, целесообразно в качестве такого показателя использовать не объем заготовленной древесины, а площадь, пройденную рубкой ухода. Это позволит повысить качество рубок ухода, не исключая контроля за работой систем машин.

Заключение. Выполнен анализ методов и способов осуществления рубок ухода за лесом, который показал, что в Республике Беларусь находят применение как системы машин на базе харвестера, так и бензиномоторные пилы. При этом одной из важнейших причин внедрения многооперационных лесозаготовительных машин является недостаток рабочей

силы для своевременного комплексного выполнения рубок ухода.

Сравнительный анализ использования систем машин на базе бензиномоторных пил и харвестеров показал, что применение машинных комплексов обеспечивает проведение качественных рубок в соответствии с СТБ 1361-2002, при этом повышается безопасность труда, улучшаются условия труда, сокращаются сроки рубок, возрастает оперативность организации лесопользования, лесохозяйственных работ.

На основании изучения различных методов проведения рубок ухода за лесом системой машин «харвестер – форвардер» предложены следующие из них для применения в условиях Республики Беларусь:

- с прямолинейной прокладкой технологических коридоров и разбивкой на пасеки;
- с прокладкой криволинейных технологических коридоров;
- без прокладки технологических коридоров, с наметкой траектории движения харвестера и форвардера под пологом леса;
- комбинированный метод с применением в комплексе систем машин «харвестер – форвардер» и бензиномоторных пил;
- заготовка древесной биомассы с использованием харвардера Vimek 610 SE BioCombi;

– классический метод с прокладкой или без прокладки технологических коридоров с применением харвестера Vimek 404 DUO Bio.

Установлены системы машин, рекомендуемые для проведения вышеперечисленных методов. На проходных рубках, реже на прореживаниях, могут применяться машины Ponsse Fox, МЛХ-46, «Амкодор 2531», «Амкодор 2541». На прореживании с прокладкой технологических коридоров в большей степени применяются машины на базе МЛХ-46, «Амкодор 2531» и реже Vimek 404 SE. Без прокладки технологических коридоров на прореживаниях и проходных рубках могут использоваться машины фирмы Vimek, на прочистках и прореживании – Usewood, Logbullet.

На основании исследований можно осуществлять обоснованный выбор систем машин под соответствующие методы и приемы проведения рубок ухода, что позволит обеспечить соответствие лесоводственным требованиям, а также требованиям стандарта СТБ 1361-2002 и др.

После проведения анализа производств рубок ухода в лесхозах в качестве рекомендаций предложено использовать для оценки нормирования труда и заработной платы вместо нормативного показателя объема рубок показатель площади, пройденной рубками.

Список литературы

1. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси на период до 2030 года: утв. заместителем Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014, № 06/201-271. Минск: Совет Министров Респ. Беларусь, 2015. 15 с.
2. О государственной программе «Белорусский лес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 янв. 2021 г., № 52 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100052> (дата обращения: 20.09.2022).
3. Вавилов А. В. Механизация подготовительных работ при лесовосстановлении. Минск: Ураджай, 1985. 47 с.
4. Давыдов А. В. Рубки ухода за лесом. М.: Лесная пром-сть, 1971. 184 с.
5. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси. Минск: Беларуская навука, 1996. 367 с.
6. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки промежуточного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1361-2002. Минск: Госстандарт, 2003. 20 с.
7. Лесной кодекс Республики Беларусь // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=Hk1500332> (дата обращения: 14.10.2022).
8. Чибисов, Г. А., Нефедова А. И. Экологическая эффективность рубок ухода за лесом // Лесной журн. 2003. № 5. С. 11–16.
9. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.
10. Рожков Л. Н. Современные тенденции управления лесами Беларуси // Устойчивое лесопользование. 2016. № 3. С. 16–23.
11. Юшкевич М. В. Влияние рубок ухода на компоненты насаждения // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2003. Вып. XI. С. 103–105.
12. Заготовка и переработка древесных лесных ресурсов // М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. URL: <https://mlh.by/our-main-activities/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-lesnykh-resursov> (дата обращения: 14.10.2022).

13. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
14. Правила рубок леса в Республике Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 8 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631584&p1=1> (дата обращения: 14.10.2022).
15. Просужих А. А. Повышение производительности колесных форвардеров обоснованием их параметров и режимов работы: дис. ... канд. техн. наук. Ухта, 2020. 158 л.
16. Полукаров М. В. Оценка резервов эксплуатационных затрат систем машин заготовки древесины «харвестер – форвардер» // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2017. С. 23–25.
17. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
18. Герц Э. Ф. Сравнительная оценка эффективности технологических схем работы систем машин «харвестер – форвардер» по критериям площади технологических коридоров и производительности // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 4. С. 63–67.
19. Изотова Е. Н. О факторах повышения эффективности работы на харвестерах и форвардерах // Приоритетные направления развития науки и образования. 2016. № 4-2 (11). С. 67–68.
20. Бурмистрова О. Н., Просужих А. А., Рудов С. Е. Экспериментальные исследования производительности форвардера с учетом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки и физико-механических свойств почвогрунта // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 1. С. 94–124. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5583.
21. Матвейко А. П., Протас П. А. Технология и машины лесосечных работ. Минск: БГТУ, 2008. 116 с.
22. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ. Минск: Технопринт, 2002. 480 с.
23. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
24. Германович А. О., Леонов Е. А., Мохов С. П. Оборудование лесопромышленных предприятий. Практикум. Минск: БГТУ, 2020. 223 с.
25. Лесной фонд // М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. URL: <https://mlh.by/our-mainactivities/forestry/forests/> (дата обращения: 14.10.2022).
26. Руководство по организации и проведению рубок в лесах Республики Беларусь / М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. Минск, 2006. 81 с.
27. Божбов В. Е. Повышение эффективности процесса трелевки путем обоснования рейсовой нагрузки форвардеров. СПб.: С.-Петербург. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, 2015. 119 с.
28. Игнатенко В. В., Турлай И. В., Федоренчик А. С. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок. Минск: БГТУ, 2004. 180 с.
29. Кузнецов А. В. Эффективность транспортных операций в сложных природно-производственных условиях // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2005. № 6. С. 28–29.
30. Макаренко А. В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 233–237.
31. Макаренко А. В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2018. Т. 22, № 6. С. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78.
32. Макаренко А. В. Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 1. С. 99–104.
33. Руководство по организации и проведению рубок в лесах Республики Беларусь / Ком. лесного хоз-ва при Совете Министров Респ. Беларусь. Минск, 2003. 87 с.
34. Вавилов А. В. Ресурсосберегающие технические средства для топливообеспечения энергетических установок на биомассе. Минск: Стринко, 2006. 187 с.
35. Вавилов А. В. Технологические аспекты и оборудование для получения энергии из биотоплива // Вестник БНТУ. 2004. № 1. С. 68–73.
36. Леонов Е. А., Клоков Д. В. Технология лесозаготовок и переработки древесины. Минск: БГТУ, 2018. 231 с.
37. Семенов Ю. П. Лесная биоэнергетика. М.: МГУЛ, 2008. 350 с.

38. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Минск: БГТУ, 2016. 204 с.
39. Вавилов А. В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов. Минск: СтройМедиаПроект, 2014. 90 с.
40. Малая энергетика на биотопливе / А. В. Вавилов [и др.]. Минск: Технопринт, 2002. 247 с.
41. Вавилов А. В., Пашковский М. Н., Соколовский Ю. В. Современная технология и техника для производства топливной щепы // Лесопромышленник. 2008. № 8. С. 22–23.
42. Вавилов А. В., Пашковский М. Н., Соколовский Ю. В. Разработка лесосек и других облесенных площадей с эффективной заготовкой топливной щепы из образуемых древесных отходов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 139–145.
43. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Темплан, 2009. 287 с.
44. Инновационные технологии лесосечных работ / И. Р. Шегельман [и др.]. Петрозаводск: Verso, 2016. 134 с.
45. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 225 л.
46. Федоренчик А. С., Протас П. А., Хотянович А. И. Повышение эффективности эксплуатации системы машин «харвестер – форвардер» // Наука и инновации вузов – производству: взаимодействие, эффективность, перспективы: сб. ст. и тез. науч.-практ. семинара, Минск, 22–23 мая 2007 г. Минск, 2008. С. 78–80.
47. Обоснование параметров технологического оборудования харвестера 4К4 для рубок ухода / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 43–46.
48. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5-4. С. 291–295.
49. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 18–20.
50. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 444 с.

References

1. *Strategicheskiy plan razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi na period do 2030 goda* [Strategic plan for the development of the forestry industry for the period to 2030]. Minsk, Sovet Ministrov Respubliki Belarus' Publ., 2015. 20 p. (In Russian).
2. State program “Belarusian Forest” for 2021–2025: approved Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, 28.01.2022, no. 52. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100052> (accessed 20.09.2022) (In Russian).
3. Vavilov A. V. *Mekhanizatsiya podgotovitel'nykh rabot pri lesovosstanovlenii* [Mechanization of preparatory work during reforestation]. Minsk, Uradzhay Publ., 1985. 47 p. (In Russian).
4. Davydov A. V. *Rubki ukhoda za lesom* [Forest thinning]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 184 p. (In Russian).
5. Baginskiy V. F., Esimchik L. D. *Lesopol'zovaniye v Belarusi* [Forest management in Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1996. 367 p. (In Russian).
6. STB 1361-2002. Sustainable forest management and forest exploitation. Intermediate fellings. Cabins of the main use. Technology requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2003. 20 p. (In Russian).
7. Forest Code of the Republic of Belarus. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=Hk1500332> (accessed 14.10.2022) (In Russian).
8. Chibisov G. A., Nefedova A. I. Ecological efficiency of logging of forest care. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], 2003, no. 5, pp. 11–16 (In Russian).
9. Kotsan V. V. Classification of trees based on spatial structure when assigned to thinning. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 24–27 (In Russian).
10. Rozhkov L. N. Current trends in forest management in Belarus. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2016, no. 3, pp. 16–23 (In Russian).
11. Yushkevich M. V. The effect of logging care on the components of planting. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2003, issue XI, pp. 103–105 (In Russian).

12. Harvesting and processing of wood forest resources. Available at: <https://mlh.by/our-main-activities/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-lesnykh-resursov> (accessed 14.10.2022) (In Russian).
13. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Taxation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p. (In Russian).
14. Rules of logging in the Republic of Belarus: Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 19.12.2016, no. 8. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631584&p1=1> (accessed 14.10.2022) (In Russian).
15. Prosuzhikh A. A. *Povysheniye proizvoditel'nosti kolesnykh forvarderov obosnovaniyem ikh parametrov i rezhimov raboty. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Improving the performance of wheel forwarders by justifying their parameters and operating modes. Dissertation PhD (Engineering)]. Ukhta, 2020. 158 p. (In Russian).
16. Polukarov M. V. Estimation of operating cost reserves of harvester – forwarder wood harvesting machine systems. *Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme “Umnik”* [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: materials of XIII All-Russian scientific and technical conference of students and postgraduates and the competition under the program “Umnik”]. Ekaterinburg, 2017, pp. 23–25 (In Russian).
17. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p. (In Russian).
18. Gerts E. F. Comparative evaluation of the efficiency of technological schemes of the harvester-forwarder machine systems according to the criteria of the area of technological corridors and productivity. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of the Forest – Forestry Bulletin], 2012, no. 4, pp. 63–67 (In Russian).
19. Izotova E. N. About the factors of increasing the efficiency of work on harvesters and forwarders. *Prioritetnyye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya* [Priority directions of development of science and education], 2016, no. 4-2 (11), pp. 67–68 (In Russian).
20. Burmistrova O. N., Prosuzhikh A. A., Rudov S. E. Experimental studies of forwarder performance taking into account its operational characteristics, cutting area parameters, and physical and mechanical properties of the soil. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 94–124. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5583 (In Russian).
21. Matveyko A. P., Protas P. A. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines of logging operations]. Minsk, BGTU Publ., 2008. 116 p. (In Russian).
22. Matveiko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines of logging operations]. Minsk, Technoprint Publ., 2002. 480 p. (In Russian).
23. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging operation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p. (In Russian).
24. Hermanovich A. O., Leonov E. A., Mokhov S. P. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Praktikum* [Equipment for timber industry enterprises. Practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2020. 223 p. (In Russian).
25. Forest Fund. Available at: <https://mlh.by/our-main-activities/forestry/forests/> (accessed 14.10.2022) (In Russian).
26. *Rukovodstvo po organizatsii i provedeniyu rubok v lesakh Respubliki Belarus'* [Guidelines for organizing and conducting cuttings in the forests of the Republic of Belarus]. Minsk, 2006. 81 p. (In Russian).
27. Bozhbov V. E. *Povysheniye effektivnosti protsessa trelevki putem obosnovaniya reysovoy nagruzki forvarderov* [Improving the efficiency of the skidding process by justifying the flight load of forwarders]. St. Petersburg, S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Technical University Publ., 2015. 119 p. (In Russian).
28. Ignatenko V. V., Turlay I. V., Fedorenchik A. S. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov lesozagotovok* [Modeling and optimization of logging processes]. Minsk, BGTU Publ., 2004. 180 p. (In Russian).
29. Kuznetsov A. V. Efficiency of transport operations in difficult natural and industrial conditions. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [Proceedings of the Forest Engineering Faculty of PetrSU], 2005, no. 6, pp. 28–29 (In Russian).
30. Makarenko A. V. Optimization of the placement of a network of skidding hauls in the cutting area. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging production: problems and solution: materials of the International scientific and practical conference]. Minsk, 2017, pp. 233–237 (In Russian).

31. Makarenko A. V. Modeling and evaluation of the efficiency of laying skidding lines in the cutting area. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2018, vol. 22, no. 6, pp. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78 (In Russian).
32. Makarenko A. V. Software design of skidding drags in the cutting area. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of the Forest – Forestry Bulletin], 2013, no. 1, pp. 99–104 (In Russian).
33. *Rukovodstvo po organizatsii i provedeniiu rubok v lesakh Respubliki Belarus'* [Guidelines for organizing and conducting cuttings in the forests of the Republic of Belarus]. Minsk, 2003. 87 p. (In Russian).
34. Vavilov A. V. *Resursosberegayushchiye tekhnicheskiye sredstva dlya toplivoobespecheniya energeticheskikh ustanovok na biomasse* [Resource-saving technical means for fuel supply of biomass power plants]. Minsk, Strinko Publ., 2006. 187 p. (In Russian).
35. Vavilov A. V. Technological aspects and equipment for obtaining energy from bio-fuel. *Vestnik BNTU* [Bulletin of BNTU], 2004, no. 1, pp. 68–73 (In Russian).
36. Leonov E. A., Klovok D. V. *Tekhnologiya lesozagotovok i pererabotki drevesiny* [Logging and wood processing technology]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 231 p. (In Russian).
37. Semenov Yu. P. *Lesnaya bioenergetika* [Forest bioenergetics]. Moscow, MGUL Publ., 2008. 350 p. (In Russian).
38. Fedorenchik A. S., Klovok D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesosechnykh i lesoskladskikh rabot* [Technology and equipment cutting and timber storage works]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 204 p. (In Russian).
39. Vavilov A. V. *Toplivo iz netraditsionnykh energoresursov* [Fuel from non-traditional energy resources]. Minsk, StroyMediaProekt Publ., 2014. 90 p. (In Russian).
40. Vavilov A. V., Zhikhar G. I., Padalko L. P., Arsenov V. V., Garosr M. M. *Malaya energetika na biotoplive* [Small-scale power engineering based on biofuel]. Minsk, Technoprint Publ., 2002. 247 p. (In Russian).
41. Vavilov A. V., Pashkovsky M. N., Sokolovskiy Yu. V. Modern technology and equipment for the production of fuel chips. *Lesopromyshlennik* [Lumberjack], 2008, no. 8, pp. 22–23 (In Russian).
42. Vavilov A. V., Pashkovsky M. N., Sokolovskiy Yu. V. Development of cutting areas and other forested areas with efficient preparation of fuel chips from generated wood waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 139–145 (In Russian).
43. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p. (In Russian).
44. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Innovative logging technology]. Petrozavodsk, Verso Publ., 2016. 134 p. (In Russian).
45. Ariko S. Ye. *Obosnovaniye parametrov valочно-suchkorezno-raskryazhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Substantiation of felling-delimbing-bucking machine characteristics for intermediate forest exploitation cutting. Dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 2012. 225 p. (In Russian).
46. Fedorenchik A. S., Protas P. A., Khotyanovich A. I. Improving the operational efficiency of the harvester – forwarder machine system. *Nauka i innovatsii vuzov – proizvodstvu: vzaimodeystviye, effektivnost', perspektivy: sbornik statey i tezisov nauchno-prakticheskogo seminara* [Science and innovation of universities – production: interaction, efficiency, prospects: a collection of articles and abstracts of a scientific and practical seminar]. Minsk, 2008, pp. 78–80 (In Russian).
47. Mokhov S. P., Khainovskii V. V., Asmolovskiy M. K., Korobkin V. A. Justification of the parameters of the technological equipment of the harvester 4K4 for logging. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 43–46 (In Russian).
48. Ignatenko V. V., Leonov E. A. Establishment of rational parameters of multi-operation machines in the timber industry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 5-4, pp. 291–295 (In Russian).
49. Mokhov S. P., Golyakevich S. A., Pishchov S. N., Ariko S. Ye. Analysis of trends in the development of multioperational forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 18–20 (In Russian).
50. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 444 p. (In Russian).

Информация об авторах

Духовник Алеся Александровна – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alesya.duhovnik@mail.ru

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

Information about the authors

Dukhovnik Alesya Aleksandrovna – PhD student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alesya.duhovnik@mail.ru

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

Поступила 14.10.2022