

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

С.П. Карпачев, М.А. Быковский, А.В. Лаптев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

karpachevs@mail.ru

Изложены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию выбора харвестерной головки. Разработана математическая модель работы харвестера на основе учета природных и производственно-технологических факторов. Полученные в результате экспериментов результаты позволили обосновать размеры харвестерной головки для лесов Центрального федерального округа, в частности, максимальную ширину раскрытия захватных рычагов харвестерной головки. При выборе размеров харвестерной головки даны рекомендации исходить из того, что некоторая часть крупномерных деревьев остается на лесосеке. Валку таких деревьев можно проводить бензопилами. Для лесов Центрального федерального округа рекомендуется харвестерная головка с максимальной шириной раскрытия захватных рычагов 750 мм. В этом случае заготовленное количества деревьев без учета тонкомера составит 99,8 % от общего количества деревьев на лесосеке, а объем заготовленной древесины — 98,6 %.

Ключевые слова: харвестерная головка, математическая модель, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Быковский М.А., Лаптев А.В. К вопросу выбора харвестерной головки для лесов Центральной России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 113–118.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-113-118

Харвестер относится к многооперационным машинам, которая выполняет несколько технологических операций: валку деревьев, очистку деревьев от сучьев, раскряжевку на сортименты, их учет. Все эти операции выполняются с использованием харвестерной головки.

При выборе харвестерной головки, одним из главных критериев является достижение максимальной производительности харвестера.

Анализ рабочего цикла харвестерной головки позволил выделить две группы факторов, влияющие на производительность харвестера:

1) природные, определяемые эксплуатационными показателями древостоя в целом и отдельных деревьев;

2) производственно-технологические, определяемые циклами времени обработки одного дерева харвестерной головкой.

Следует отметить, что число спиленных деревьев на одной рабочей стоянке харвестера не обязательно совпадает с общим числом деревьев, расположенных в зоне действия его технологического оборудования. Это относится не только к выборочным рубкам, когда, согласно технологии, предполагается изъятие только части деревьев, но и к сплошным рубкам. Во-первых, будут оставлены тонкомерные деревья, в том числе в качестве подростка, во-вторых — крупномерные деревья, которые нельзя спилить и обработать харвестерной головкой из-за того, что диаметр дерева в месте спиливания превышает максимальную ширину раскрытия ее захватных рычагов.

Отсюда возникает проблема выбора харвестерной головки: какой должен быть максималь-

ный размер харвестерной головки, чтобы число и объем оставленной на лесосеке крупномерной древесины не превышал заданный?

Цель работы

Цель работы — выбор харвестерной головки по критерию достижения максимальной производительности харвестера на основе учета природных и производственно-технологических факторов.

Объекты и методика исследований

Исследования проводились методами имитационного моделирования на математических моделях [1–8].

В работе технологический процесс функционирования харвестера с харвестерной головкой определялся для лесов Центрального Федерального округа (ЦФО) с учетом следующих факторов [9, 10]:

природных

– запаса леса на 1 га,

– диаметра ствола дерева в месте спиливания;

– высоты дерева и объем хлыста;

производственно-технологических

– циклов времени обработки одного дерева;

– максимального размера харвестерной головки, который определяет максимальный диаметр заготавливаемого дерева (максимальный диаметр обрабатываемого харвестерной головкой дерева).

В качестве основных выходных величин приняты следующие:

1) количественные показатели, шт./ч:

– общее число деревьев до рубки на участке лесосеки, обработанном харвестером;

- число деревьев, заготовленных харвестером;
- оставленные на участке лесосеки деревья;
- 2) объемные показатели, м³/ч:
 - общий объем древесины на участке лесосеки, обработанном харвестером;
 - заготовленный харвестером объем древесины;
 - оставленный на участке лесосеке объем древесины.

Эти величины позволяют оценить эффективность работы харвестера с исследуемой харвестерной головкой [11].

Средние значения таксационных показателей лесов по ЦФО:

- Объем хлыста, м³ 0,41;
- Диаметр ствола на высоте 1,3 м 23,4;
- Высота дерева, м 20,2;
- Запас леса на 1 га, м³ 192;
- Число деревьев на 1 га, шт. 468.

При моделировании древостоев учитывались не только средние таксационные показатели лесов по ЦФО, но и распределение числа и объема деревьев по диаметрам стволов на высоте 1,3 м и диаметрам стволов в месте спиливания [12–24].

Диаметр ствола дерева в месте спиливания определялся как случайное непрерывное число. Для получения диаметра ствола использовался метод преобразования равномерного распределения в заданное.

В моделях при генерации диаметров стволов использовалось *beta*-распределение с диапазоном варьирования диаметров, которые были установлены экспериментально (рис. 1).

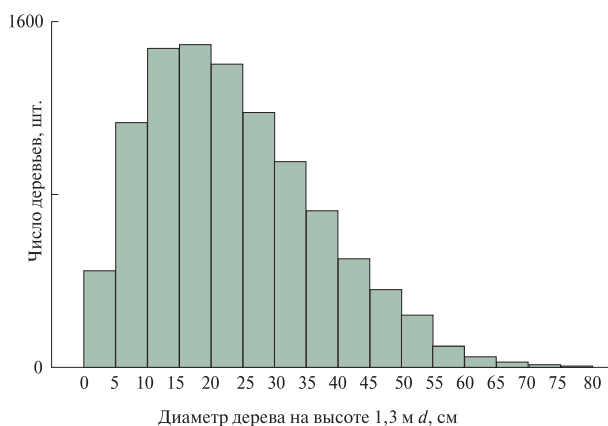


Рис. 1. Гистограмма генерации деревьев по диаметрам стволов на высоте 1,3 м, распределенных по *beta*-распределению для лесов Центрального Федерального округа (средний диаметр 23,482 см)

Fig. 1. Histogram of tree generation by diameter at a height of 1,3 m, distributed by *beta*-distribution for forest plantations of the Central Federal District (average diameter 23,482 cm)

Производительность харвестера за 1 ч в модели определялась как объем всех спиленных, раскряжеванных на сортименты и уложенных в пачки сортиментов:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{x,r}} T_{ij} = 3600 \Rightarrow P_{\text{час}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{x,r}} \sum_{k=1}^{n_c} V_{cijk}, \quad (1)$$

где T_{ij} — время i -го цикла обработки дерева на j -й стоянке, с;

V_{cijk} — объем k -го сортимента во время i -го цикла обработки дерева на j -й стоянке, м³;

N — число стоянок;

$n_{x,r}$ — число деревьев на j -й стоянке, которые могут быть обработаны харвестерной головкой;

n_c — число сортиментов на j -й стоянке при обработке i -го дерева;

$P_{\text{час}}$ — часовая производительность харвестера, м³/ч.

Время валки и раскряжевки каждого дерева соответствует времени цикла работы харвестера и является случайной величиной. Распределение времени цикла работы принято по экспоненциальному закону.

Время цикла рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (2)$$

где t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 — соответственно циклы времени на доставку харвестерной головки к дереву, зажим рычагов, валку дерева (включает в себя спиливание, сталкивание и перемещение дерева к месту обработки), обрезку сучьев и на раскряжевку.

Время переезда от одной рабочей стоянки к другой не учитывалось.

Проведено исследование влияния на выходные показатели работы харвестера максимального размера харвестерной головки, который определяет максимальный диаметр обрабатываемого дерева.

Всего было запланировано пять серий опытов, в каждой серии поставлено также по пять опытов с варьированием выделенных факторов на пяти уровнях. Продолжительность моделирования в каждом опыте — 10 000 ч или 36 000 000 с.

Результаты и обсуждение

Анализ эффективности работы харвестера проводился по изменениям объемов и количества деревьев для разного максимального размера харвестерной головки. В частности, по изменению объемов всей древесины на участке лесосеке, пройденной харвестером за 1 ч, по объему заготовленной древесины за 1 ч и по объему оставленной крупномерной древесины за 1 ч (рис. 2). Соответствующие изменения количества деревьев представлены на рис. 3. Зависимости объема и числа заготовленных деревьев от максимального размера харвестерной головки, выраженные в процентах, приведены на рис. 4.

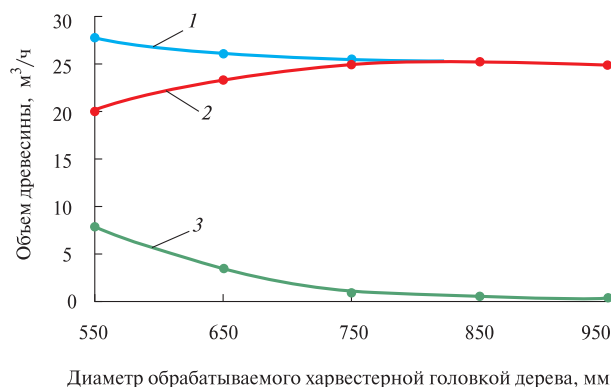


Рис. 2. Зависимость объема древесины от максимального размера харвестерной головки (максимального диаметра обрабатываемого дерева): 1 — объем всей древесины, м³/ч; 2 — объем заготовленной харвестером древесины, м³/ч; 3 — объем оставленной крупномерной древесины, м³/ч

Fig. 2. The dependence of the volume of wood of the maximum head size (maximum diameter of tree): 1 — the total volume of timber, m³/h; 2 — the volume harvested by the harvester of the timber, m³/h; 3 — large amount of abandoned wood, m³/h

Из рис. 2 видно, что объем переработанной древесины с увеличением максимального размера харвестерной головки увеличивается, а объем оставленных на лесосеке деревьев уменьшается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм объем заготовленной древесины составляет 19,762 м³/ч, объем оставленной — 7,603 м³/ч. При максимальном размере харвестерной головки 950 мм соответствующие объемы будут составлять 25,428 и менее 0,001 м³/ч.

Интересно отметить характер зависимости общего объема деревьев, которые произрастают на участке лесосеки: общий объем древесины снижается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм объем всей древесины на лесосеке, которую за 1 ч обрабатывает харвестер, составляет 27,365 м³/ч. При максимальном размере харвестерной головки 950 мм общий объем древесины уменьшился до 25,428 м³/ч, поскольку с увеличением максимального размера харвестерной головки харвестер заготавливает больше крупномерных деревьев с единицы площади лесосеки и поэтому осваиваемая харвестером за 1 ч площадь лесосеки с увеличением максимального размера харвестерной головки уменьшается и, соответственно, на меньшей площади будет находиться меньше деревьев.

График зависимости числа деревьев от максимального размера харвестерной головки (см. рис. 3) повторяет основные тенденции графика зависимости объема древесины от максимального диаметра обрабатываемого дерева (см. рис. 2).

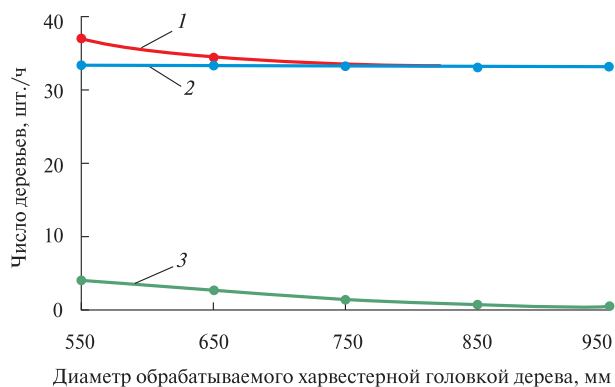


Рис. 3. Зависимость числа деревьев от максимального размера харвестерной головки (максимального диаметра обрабатываемого дерева): 1 — общее число деревьев, шт./ч; 2 — число заготовленных деревьев, шт./ч; 3 — число оставленных крупномерных деревьев, шт./ч

Fig. 3. The dependence of the number of trees of the maximum size of the head (maximum diameter of tree): 1 — the total number of trees, pieces/h; 2 — number of harvested trees, pieces/h; 3 — the number of retained large trees, pieces/h

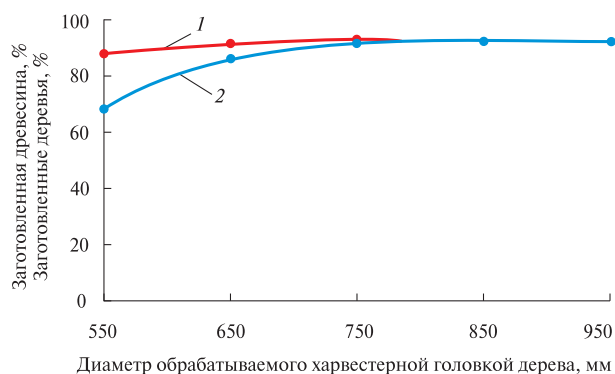


Рис. 4. Зависимость объема и числа заготовленных деревьев от максимального размера харвестерной головки (максимального диаметра обрабатываемого дерева): 1 — заготовленное число деревьев без учета тонкомера, %; 2 — заготовленный объем древесины без учета тонкомера, %

Fig. 4. Dependence of the volume and number of harvested trees on the maximum size of the harvester head (maximum diameter of the processed tree): 1 — the harvested number of trees without a thin gauge, %; 2 — the harvested volume of wood without a thin gauge, %

Теми же причинами объясняется уменьшение числа всех деревьев на лесосеке с увеличением максимального размера харвестерной головки.

Отметим, что число заготовленных деревьев мало изменяется с увеличением максимального размера харвестерной головки и остается равным 35 шт./ч, поскольку время на заготовку крупных и средних деревьев остается примерно одинаковым. Увеличение времени на выпиливание дополнительных сортиментов из крупных деревьев в среднем незначительно, что следует из загрузки харвестера на этих операциях.

Также примечательно, что число оставляемых на лесосеке деревьев уменьшается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм число оставляемых деревьев составляет около 2,377 шт./ч, а при диаметре 950 мм — менее 0,001 шт./ч, т. е. в последнем случае заготавливаются практически все деревья.

Анализ зависимостей (см. рис. 2–4) позволяет понять увеличение объема и количества деревьев с увеличением максимального размера харвестерной головки. Эти данные высчитывались без учета тонкомерной древесины, которая не заготавливается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм объем заготовленной древесины относительно всей древесины на лесосеке равен 72,216 %. При максимальном размере харвестерной головки 950 мм — 100 %. Если анализировать число деревьев, то увеличение составляет от 93,656 % до 100 %, т. е. в последнем случае заготавливается вся крупномерная древесина.

Выводы

Полученные в ходе экспериментов данные позволяют обосновать размеры харвестерной головки для ЦФО, в частности, максимальный размер харвестерной головки.

При выборе размеров харвестерной головки следует понимать, что она рассчитана на заготовку всех деревьев и может оказаться неприемлемой по размерам и массе, что повлияет на величину вылета стрелы манипулятора (она уменьшится) [9], а это в свою очередь приведет к уменьшению зоны обработки с одной рабочей стоянки и снижению производительности вследствие увеличения количества переездов харвестера от одной рабочей стоянки к другой. При выборе харвестерной головки следует исходить из того, что некоторая часть крупномерных деревьев может быть оставлена на лесосеке. Тем более что крупномерные деревья, согласно современным международным требованиям по устойчивому лесопользованию, должны оставаться на лесосеке в качестве семенных деревьев или для сохранения биологического разнообразия (до 20 шт./га). При необходимости, заготовка крупномерных деревьев может производиться бензопилами после разработки лесосеки [25].

Если исходить из числа и объема заготовленных деревьев, то максимальный размер харвестерной головки для лесов ЦФО можно рекомендовать равным 750 мм. Тогда объем заготовленного количества деревьев без учета тонкомера составит 99,8 %. Что касается объема заготавливаемой древесины, то он также при этом достаточно высокий и составляет 98,6 %.

Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2019-030 от 22 ноября 2019 г.

Список литературы

- [1] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations // *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [2] Magagnotti N., Spinelli R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [3] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [4] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [5] Mihelic M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [6] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [7] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation Studies on Line Intersect Sampling of Residues Left After Cut-to-Length Logging // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, v. 41 (1), pp. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.531>
- [8] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel? // *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (дата обращения 01.02.2020).
- [9] Салминен Э.О., Гуров С.В., Большаков Б.М. Размещение волоков на заболоченных участках // *Лесная промышленность*, 1988, № 3. С. 32–33.
- [10] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная пром-ть, 1977. 248 с.
- [11] Виногооров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 272 с.
- [12] Рыжков А.Е., Проказин Н.Е. Система добровольной лесной сертификации PEFC-FCR, оценка лесопользования, лесопользования и цепочки поставок лесопродукции на соответствие международным требованиям. М.: PEFC-FCR, 1916. 254 с.
- [13] Шелгунов Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства. М.: Лесная пром-сть, 1982. 520 с.
- [14] Ширнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Ч. 1. Лесосечные работы. М.: МГУЛ, 2004. 445 с.
- [15] Григорьев И.В., Жукова А.И. Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2004. № 4. С. 40–44.
- [16] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.
- [17] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 120 с.

- [18] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 174 с.
- [19] Макаренко А.В., Быковский М.А., Лаптев А.В. Эффективность выполнения технологических операций при проведении выборочных рубок леса // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф., 01–02 декабря 2015 г. Вологодский государственный университет. Вологда: ВГУ, 2016. С. 32–37.
- [20] Макаренко А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [21] Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 236 с.
- [22] Пискунов М.А. Распределение проходов форвардера и построение оптимальных схем расположения трелевочных волоков на лесосеке // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2017. № 2 (34). С. 37–48.
- [23] Кузнецов В.И. Представляем фирму «Лестехком» – новое качество лесозаготовительной техники // Лесная промышленность, 2006. № 1. С. 12–14.
- [24] Галактионов О.Н. Технологический процесс лесозаготовок и ресурсы лесосечных отходов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 95 с.
- [25] Дербин В.М., Дербин М.В. Технология работы харвестера при выборочных рубках // Лесотехнический журнал, 2016. № 2. С. 69–75. DOI: 10.12737/19956

Сведения об авторах

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karpachevs@mail.ru

Быковский Максим Анатольевич — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Лаптев Александр Валентинович — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), laptev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 31.08.2020.

Принята к публикации 10.10.2020.

CHOOSING HARVESTER HEAD FOR FORESTS OF CENTRAL RUSSIA

S.P. Karpachev, M.A. Bykovskiy, A.V. Laptev

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

karpachevs@mail.ru

Theoretical and experimental studies to substantiate the choice of a harvester head are presented. A mathematical model of the harvester's work has been developed based on natural and production-technological factors. The results obtained make it possible to justify the dimensions of the harvester head for the Central Federal District, in particular, the maximum width of the opening of the gripping levers harvester head. When choosing the size of the harvester head, it is recommended to proceed from the fact that some of the large trees can be left in the cutting area. Felling of such trees can be done with chainsaws. If we proceed from the number and volume of harvested trees, then the width of the opening of the gripping levers harvester head for the Central Federal District can be recommended equal to 750 mm. In this case, the percentage of the harvested number of trees without taking into account the small size will be 99,8%. As for the volume of harvested wood, it is also quite high and amounts to 98,6%.

Keywords: harvester head, mathematical model, simulation

Suggested citation: Karpachev S.P., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. *K voprosu vybora kharvesternoy golovki dlya lesov Tsentral'noy Rossii* [Choosing harvester head for forests of Central Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 113–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-113-118

References

- [1] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [2] Magagnotti N., Spinelli R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [3] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [4] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [5] Mihelic M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [6] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia. *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.

- [7] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation Studies on Line Intersect Sampling of Residues Left After Cut-to-Length Logging. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, v. 41 (1), pp. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.531>
- [8] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel?. *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (дата обращения 01.02.2020).
- [9] Salminen E.O., Gurov S.V., Bol'shakov B.M. *Razmeshchenie volokov na zabolochennykh uchastkakh* [Placement of portages on wetlands]. *Lesnaya promyshlennost'* [Forestry], 1988, no. 3, pp. 32–33.
- [10] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Systems of machines for logging]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1977, 248 p.
- [11] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging work]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1981, 272 p.
- [12] Ryzhkov A.E., Prokazin N.E. *Sistema dobrovol'noy lesnoy sertifikatsii PEFC-FCR, otsenka lesoupravleniya, lesopol'zovaniya i tepochki postavok lesoproductsii na sootvetstvie mezhdunarodnym trebovaniyam* [PEFC-FCR voluntary forest certification system/assessment of forest management, forest use and supply chain of forest products for compliance with international requirements]. Moscow: PEFC-FCR, 1916, 254p.
- [13] Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogokhozyaystva* [Machines and equipment of logging, timber rafting and forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 520 p.
- [14] Shirin Yu.A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennykh proizvodstv. Ch. 1. Lesosechnye raboty* [Technology and equipment of forest industry. Part 1. Logging work]. Moscow: MGUL, 2004, 445 p.
- [15] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. *Koordinatno-ob'emnaya metodika trassirovaniya pri osvoenii lesosek trelevkoy* [Coordinate volumetric tracing technique in the development of skidding sites]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2004, no. 4, pp. 40–44.
- [16] Syuney V.S. *Sravnienie tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyakh Respubliki Kareliya* [Comparison of logging technologies in logging companies of the Republic of Karelia]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2008, 126 p.
- [17] Gerts E.F. *Otsenka tekhnologii lesopol'zovaniya na lesosechnykh rabotakh* [Evaluation of forest technology in logging work]. Ekaterinburg: USFU, 2003, 120 p.
- [18] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh severo-zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Mediating technologies for the development of cutting areas in the northwestern region of the Russian Federation]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2008, 174 p.
- [19] Makarenko A.V., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. *Effektivnost' vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy pri provedenii vyborochnykh rubok lesa* [The efficiency of technological operations during selective logging] Aktual'nye problem razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy 13-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 01–02 dekabrya 2015 g. Vologodskiy gosudarstvennyy universitet [Actual problems of the development of the forest complex. Materials of the 13th International Scientific and Technical Conference, December 01–02, 2015 Vologda State University]. Vologda: VSU, 2016, pp. 32–37.
- [20] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimizing the placement of a network of skidding trails in the cutting area. Logging production: problems and solutions]. *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Minsk, BGUTU, 26–28 aprelya 2017g. [Materials of the international scientific and technical conference, Minsk, BSTU, April 26–28, 2017]. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [21] Grigor'ev I.V. *Snizhenie otritsatel'nogo vozdeystviya na pochvu kolesnykh traktorov obosnovaniem rezhimov ikh dvizheniya i tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Reducing the negative impact on the soil of wheeled tractors by justifying the modes of their movement and technological equipment]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2006, 236 p.
- [22] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forvardera i postroenie optimal'nykh skhem raspolozheniya trelevochnykh volokov na lesoseke* [Distribution of forwarder passes and the construction of optimal layouts of skidding tracks in the cutting area]. *Vestnik Volga State University of Technology. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Forest. Ecology. Nature use], 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.
- [23] Kuznetsov V.I. *Predstavlyaem firmu «Lestekkom» — novoe kachestvo lesozagotovitel'noy tekhniki* [We represent Lestekkom, a new quality of logging equipment] *Lesnaya promyshlennost'* [Forest Industry], 2006, no. 1, pp. 12–14.
- [24] Galaktionov O.N. *Tekhnologicheskyy protsess lesozagotovok i resursy lesosechnykh otkhodov* [Technological process of logging and resources of logging waste]. Petrozavodsk: PetrSU, 2007, 95 p.
- [25] Derbin V.M., Derbin M.V. *Tekhnologiya raboty kharvestera pri vyborochnykh rubkakh* [The technology of the harvester's work in selective felling]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2016, no. 2, pp. 69–75. DOI: 10.12737/19956

Authors' information

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

Bykovskiy Maksim Anatol'evich — Cand. Sci. (Tech.) Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Laptev Aleksandr Valentinovich — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), laptev@mgul.ac.ru

Received 31.08.2020.

Accepted for publication 10.10.2020.