



ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Научная статья

УДК 630.323

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-113-123

Математическое моделирование технологических характеристик полноповоротной лесозаготовительной машины

А.Ф. Уразова[✉], канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Э.Ф. Герц, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37,
г. Екатеринбург, Россия, 620100; urazovaaf@m.usfeu.ru[✉], gertsef@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 21.10.25 / Одобрена после рецензирования 10.12.25 / Принята к печати 13.12.25

Аннотация. Технологические параметры работы полноповоротной лесозаготовительной машины оказывают существенное влияние на экологическую и эксплуатационную эффективность лесосечных работ. Требование вырубki при сплошных рубках всего ликвидного запаса древостоя предполагает исключение на ленте недоступных для манипулятора участков, возникающих в результате различия расстояний переезда между рабочими стоянками. Ограничение ширины ленты снижает ряд технологических показателей функционирования лесозаготовительной машины: площадь, освещенную с одной стоянки, и, соответственно, общий объем заготовленной древесины. Цель работы – определение рационального сочетания ширины ленты и расстояния переезда в древостоях различной густоты при ее ограничении и допустимых рисках оставления деревьев. Получены аналитические выражения для расчета доступных манипулятору лесозаготовительной машины площадей исходя из расстояния дополнительного переезда и ширины разрабатываемой ленты, вероятности оставления деревьев на недосягаемых участках в зависимости от густоты древостоя и дополнительного расстояния переезда при различных вариантах ограничения ширины ленты. Рассчитаны технологические параметры для лесозаготовительной машины с максимальным вылетом манипулятора 10 м и минимальным – 2 м и древостоев густотой от 300 до 900 дер./га. Приведены площади рабочей зоны при ограничении ширины ленты, площади, вырубаемые с рабочей стоянки, и дополнительные расстояния переезда лесозаготовительной машины при ограничении ширины ленты и заданной вероятности оставления деревьев при различной густоте древостоев. Установлено, что рассмотренные варианты сочетания ширины разрабатываемой ленты леса и максимальные расстояния между рабочими стоянками с заданными рисками оставления деревьев в древостоях различной густоты при равных условиях обеспечивают размеры рабочей площади, различающиеся не более чем на 3 %.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, ширина ленты, расстояние переезда, доступность деревьев, недоступный для лесозаготовительной машины участок

© Уразова А.Ф., Герц Э.Ф., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Для цитирования: Уразова А.Ф., Герц Э.Ф. Математическое моделирование технологических характеристик полноповоротной лесозаготовительной машины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 113–123. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-113-123>

Original article

On the Rational Parameters of the Operation of a Full-Rotation Timber Harvesting Machine

Alina F. Urazova[✉], *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Eduard F. Gerts, *Doctor of Engineering, Prof.*; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100; urazovaaf@m.usfeu.ru[✉], gertsef@m.usfeu.ru

Received on October 21, 2025 / Approved after reviewing on December 10, 2025 / Accepted on December 13, 2025

Abstract. The technological parameters of the operation of a full-rotation timber harvesting machine have a significant impact on the ecological and operational efficiency of logging operations. The requirement to harvest the entire merchantable stand during clear-cutting implies avoiding areas on the strip that are inaccessible for the manipulator, which arise due to varying distances between work sites. Limiting the felling strip width reduces several technological performance indicators of the timber harvesting machine, specifically decreasing the area harvested per setting and, consequently, the total harvested timber volume. The aim of the study is to determine the optimal combination of felling strip width and travel distance in stands of varying density, considering strip width limitations and acceptable risks of leaving trees uncut. Analytical expressions were derived to calculate areas accessible to the timber harvesting machine manipulator, based on the distance of ancillary travel, the width of the felled strip, and the probability of leaving uncut trees in inaccessible areas, dependent on stand density and ancillary travel distance under various constraints on strip width. Results of calculations regarding technological parameters are presented for a timber harvesting machine with a maximum manipulator reach of 10 m and a minimum of 2 m, operating in stands with densities from 300 to 900 trees/ha. Specific data provided include the working zone area under strip width constraints, the area harvested per working position, and the necessary ancillary travel distances for various stand densities, given a set probability of leaving trees uncut. Based on the results of the conducted studies, it has been established that the considered options for combining the width of the felling strip and the maximum distances between work sites, with given risks of leaving uncut trees in stands of varying density, under equal conditions, ensure working area sizes that differ by no more than 3 %.

Keywords: logging machine, felling strip width, travel distance, tree accessibility, area inaccessible to the logging machine

For citation: Urazova A.F., Gerts E.F. On the Rational Parameters of the Operation of a Full-Rotation Timber Harvesting Machine. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 113–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-113-123>

Введение

Широкозахватные манипуляторные лесозаготовительные машины (ЛЗМ) с конца XX в. стали основой парка лесозаготовительной техники в ряде стран. Возможность навески на манипулятор ЛЗМ различного технологического и грузозахватного оборудования позволяет комбинировать функции технологических и транспортных машин с неодинаковым числом и последовательностью выполняемых операций [2, 8, 14, 15, 18]. Методики работы манипуляторных ЛЗМ предполагают проектирование лент леса с рабочих стоянок, причем объем заготавливаемой древесины определяется площадью ленты, прорубаемой со стоянки. Ширина разрубаемой ленты зависит от конструкции ходовой части базовой машины, ее массы, характеристик технологического оборудования (манипулятора и ЗСУ) [1, 9, 10, 17, 20, 21], а расстояние между рабочими стоянками (позициями) – габаритов ЛЗМ (ширины), вылета манипулятора и густоты древостоя [3, 7, 11]. В свою очередь, эти параметры технологического процесса оказывают существенное влияние не только на производительность, но и на степень повреждения компонентов леса в границах деланки и последующий процесс лесовосстановления [4, 6, 12, 13, 16, 19]. Требование вырубki при сплошных рубках всех деревьев предполагает сочетание ширины разрубаемой ленты и расстояний между рабочими стоянками, исключающее риски оставления деревьев.

Цель исследования – обоснование рационального сочетания ширины ленты и расстояния между рабочими позициями манипуляторной широкозахватной ЛЗМ, обеспечивающего формирование пакетов древесины максимального объема и исключающего риски оставления деревьев при максимальной площади вырубаемого участка с рабочей стоянки.

Объекты и методы исследования

Расстояние переезда между рабочими стоянками устанавливается с учетом густоты древостоя и габаритов ЛЗМ, определяющих ширину волока [5].

Ширина ленты (B_i^n), при которой вся ее площадь досягаема для манипулятора со смежных рабочих стоянок, составит:

$$B_i^n = 2\sqrt{R^2 - l_g^2 - 2l_g l_i - l_i^2},$$

где R – максимальный вылет манипулятора, м; l_g , l_i – гарантированный и дополнительный за счет пустот (промежутков) между деревьями соответственно переезды ЛЗМ, м.

Вероятность перемещения ЛЗМ на каждый отрезок расстояния дополнительного переезда зависит от выполнения предыдущих операций, рассчитанных по условию:

$$P(l_{\Delta}) = P(l_i) - P(l_i + 0,5).$$

При этом шаг дополнительного переезда, превышающего гарантированное, при расчетах принят равным 0,5 м.

Вероятность переезда на дополнительное максимальное расстояние определится из условия полной вероятности:

$$P(L) = \sum_{i=1}^n P(l_i)P(L | l_i).$$

Таким образом, широкий диапазон варьирования густоты древостоев предполагает при сплошных рубках планирование лент разной ширины. Критерием для принятия решения при этом должна быть не только густота древостоя, но и допустимость оставления деревьев в силу их недоступности.

Вероятность оставления дерева на недоступных участках ($P(D_c)$) при работе на стоянке определится как совместная вероятность 2 независимых событий:

$$P(D_c) = e^{-\frac{S_i}{S_d}} + e^{-\frac{S_i}{S_d}} - e^{-\frac{S_i}{S_d}} e^{-\frac{S_i}{S_d}},$$

где S_i – площадь 1 недосягаемого участка, м²; S_d – площадь, занимаемая 1 деревом, м².

Вероятность появления хотя бы 1 из 2 событий, зависимых с событием оставления дерева на недосягаемом участке в результате дополнительного переезда ЛЗМ, равна произведению вероятности дополнительного переезда на условную вероятность оставления дерева на 1 из 2 недосягаемых участков.

$$P(D_{c1}) = e^{-\frac{L_i b}{S_d}} \left(2e^{-\frac{S_i}{S_d}} - e^{-\frac{S_i}{S_d}} e^{-\frac{S_i}{S_d}} \right),$$

где b – ширина волокна, м.

При сплошных рубках манипуляторной ЛЗМ спелых и перестойных древостоев с наличием жизнеспособного подроста целесообразно устанавливать ширину ленты, обеспечивающую максимальное сохранение подроста, живого напочвенного покрова с минимизацией доли волоков и рисков оставления деревьев. Схема для расчета площади участков, недоступных для манипулятора со смежных стоянок, приведена на рис. 1.

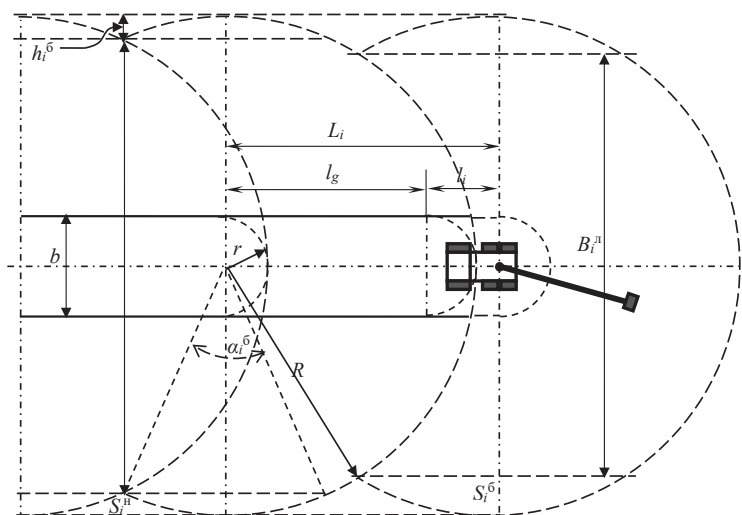


Рис. 1. Расчетная схема площади недоступных для манипулятора отрезков ленты (r – минимальный вылет манипулятора, м)

Fig. 1. Calculation diagram for the area of manipulator-inaccessible belt sections (r is the minimum reach of the manipulator, m)

Площадь недоступного участка при ширине ленты, равной максимальному вылету манипулятора, составит:

$$S_i^H = L_i h_i^δ - S_i^δ,$$

Площадь рабочей зоны манипуляторной ЛЗМ со стоянки (S_i^n) с учетом расстояния между смежными стоянками и величиной недоступных участков по краям ленты составит:

$$S_i^n = \frac{\pi R^2}{4} - S_i^p - 2S_i^{бo}.$$

Площадь, вырубленная с предыдущей стоянки

$$S_i^p = \frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi \alpha_i^{dp}}{180} - \sin \alpha_i^{dp} \right);$$

$$\alpha_i^{dp} = 2 \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - \frac{B_i^2}{4}}}{R} \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчета площадей, достигаемых для манипулятора ЛЗМ при его максимальном и минимальном вылете соответственно 10 и 2 м в зависимости от расстояния дополнительного переезда и ширины ленты, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Площади рабочей зоны при ограничении ширины разрабатываемой ленты Area of operation for a belt of constrained width

$l_i, \text{м}$	$B_i^л, \text{м}$	Площадь рабочей зоны при $B = R$	Ограничение ширины разрабатываемой ленты, м					
			19,0	18,5	18,3	18,0	17,5	17,0
0	18,3	173,9	169,7	166,3	165,0	162,2	157,6	152,5
0,5	18,1	178,3	174,1	170,6	169,4	166,5	161,9	156,9
1,0	17,9	182,6	178,4	175,0	173,7	170,9	166,3	161,2
1,5	17,6	186,9	182,8	179,3	178,1	175,2	170,6	165,6
2,0	17,3	191,3	187,1	183,6	182,4	179,5	174,9	169,9
2,5	17,0	195,6	191,4	188,0	186,7	183,9	179,3	174,2
3,0	16,7	199,9	195,8	192,3	191,0	188,2	183,6	178,6
3,5	16,3	204,3	200,1	196,6	195,4	192,6	188,0	182,9
4,0	16,0	208,6	204,5	201,0	199,8	196,9	192,3	187,3
4,5	15,6	213,0	208,9	205,4	204,1	201,3	196,7	191,6
5,0	15,2	217,4	213,3	209,8	208,6	205,7	201,1	196,1
5,5	14,8	221,9	217,7	214,3	213,0	210,2	205,6	200,5

В табл. 2 приведены вероятности дополнительных переездов с шагом 0,5 м в зависимости от густоты древостоя. По мере возрастания густоты вероятность дополнительного переезда на следующие 0,5 м значительно снижается. С вероятностью выше 0,5 дополнительный переезд 5,5 м для ЛЗМ может быть достигнут только при густоте не выше 300 дер./га. При густоте древостоя 900 дер./га такая вероятность ожидаема только при дополнительном переезде до 1,5 м.

Таблица 2

Зависимость вероятности дополнительного переезда ЛЗМ от густоты древостоя
Dependence of the probability of additional timber harvesting machine relocation
on forest stand density

l_i , м	Количество столов, шт./га						
	300	400	500	600	700	800	900
0,5	0,942	0,923	0,905	0,887	0,870	0,853	0,836
1,0	0,887	0,853	0,819	0,787	0,756	0,727	0,698
1,5	0,836	0,787	0,741	0,698	0,658	0,620	0,584
2,0	0,787	0,727	0,671	0,620	0,572	0,528	0,488
2,5	0,741	0,671	0,607	0,550	0,498	0,450	0,408
3,0	0,698	0,620	0,550	0,488	0,433	0,384	0,341
3,5	0,658	0,572	0,498	0,433	0,376	0,327	0,285
4,0	0,620	0,528	0,450	0,384	0,327	0,279	0,238
4,5	0,584	0,488	0,408	0,341	0,285	0,238	0,199
5,0	0,550	0,450	0,369	0,302	0,248	0,203	0,166
5,5	0,518	0,416	0,334	0,268	0,215	0,173	0,139

Вероятности оставления хотя бы 1 дерева на недоступном с рабочей сто-
янки участке в зависимости от густоты древостоя и дополнительного переезда
при различных вариантах ограничения ширины ленты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вероятность нахождения хотя бы 1 дерева на недосягаемых для ЛЗМ участках
ленты (совместное событие) при ограничении ширины ленты $B_i^0 \leq B_i^1$
Probability of finding trees in areas of the tape that are inaccessible to the timber
harvesting machine (joint event) when the width of the tape is limited $B_i^0 \leq B_i^1$

l_i	Вероятность при ограничении ширины ленты B_i^0 , м															
	18,3				18,0				17,5				17,0			
	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900
0	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5	0,002	0,003	0,004	0,006	0	0,001	0,001	0,001	–	–	–	–	–	–	–	–
1,0	0,007	0,012	0,017	0,022	0,001	0,001	0,001	0,002	–	–	–	–	–	–	–	–
1,5	0,016	0,027	0,038	0,048	0,005	0,008	0,011	0,014	0	0	0,001	0,001	–	–	–	–
2,0	0,029	0,048	0,067	0,085	0,013	0,021	0,030	0,038	0,001	0,001	0,002	0,003	–	–	–	–
2,5	0,046	0,076	0,104	0,132	0,025	0,041	0,057	0,073	0,006	0,010	0,014	0,017	–	–	–	–
3,0	0,067	0,109	0,149	0,188	0,041	0,068	0,094	0,119	0,015	0,025	0,035	0,045	0,002	0,004	0,005	0,006
3,5	0,092	0,148	0,201	0,251	0,062	0,102	0,139	0,175	0,030	0,049	0,067	0,086	0,009	0,015	0,021	0,027
4,0	0,121	0,193	0,259	0,320	0,088	0,142	0,192	0,240	0,049	0,080	0,110	0,139	0,021	0,035	0,049	0,062
4,5	0,154	0,243	0,322	0,394	0,117	0,187	0,252	0,312	0,072	0,118	0,161	0,202	0,039	0,063	0,088	0,111
5,0	0,190	0,296	0,388	0,468	0,151	0,238	0,317	0,387	0,101	0,163	0,220	0,273	0,061	0,100	0,137	0,173
5,5	0,230	0,353	0,456	0,543	0,188	0,294	0,385	0,465	0,134	0,214	0,286	0,351	0,089	0,144	0,196	0,245

Нахождение хотя бы 1 дерева на недоступных для манипулятора участках
ленты (и риски оставления дерева) с вероятностью более 0,05 при различных
сочетаниях расстояния дополнительного переезда, густоты древостоя и шири-
ны ленты в таблице выделены полужирным цветом. Уменьшение ширины лен-

ты позволяет значительно снижать эти риски, причем по мере увеличения густоты древостоя риск возрастает.

Площадь (m^2), осваиваемая с рабочей стоянки при условии ограничения ширины ленты (m), и дополнительные расстояния переезда при заданном риске оставления на ленте деревьев при различных сочетаниях густоты вырубемого древостоя и ширины ленты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Площадь, вырубаемая с рабочей стоянки (числитель), и дополнительное расстояние переезда (знаменатель) ЛЗМ при ограничении ширины ленты и заданной вероятности оставления деревьев при различной густоте древостоев
Area cut from the work site (numerator) and additional travel distance (denominator) for the logging machine, subject to a limited cutting strip width and a specified probability of uncut trees under varying stand densities

$P(D)$, %	Площадь при ограничении ширины ленты B_i^0 , м															
	18,3				18,0				17,5				17,0			
	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900
0	165.0 0	165.0 0	165.0 0	165.0 0	166.3 0,5	162.2 0	162.2 0	162.2 0	169.1 1,5	168.3 1,5	161.3 1,0	164.3 1,0	170.7 2,5	168.8 2,5	165.5 2,5	164.4 2,5
2	176.3 1,5	175.8 1,0	172.1 1,0	168.7 0,5	177.1 2,0	172.9 1,5	170.2 1,5	168.6 1,5	178.8 3,0	172.4 2,5	172.1 2,5	170.7 2,5	176.6 3,5	173.3 3,5	169.0 3,0	167.1 3,0
5	183.2 2,5	178.6 2,0	175.0 2,0	174.3 1,5	183.4 3,0	178.4 2,5	174.6 2,0	173.5 2,0	183.9 4,0	178.4 3,5	174.0 3,0	172.1 3,0	181.9 4,5	175.3 4,0	172.0 4,0	168.3 3,5

Приведенные в табл. 4 данные позволяют выбирать для ЛЗМ с заданными техническими характеристиками величины рабочих площадей при различной густоте древостоя и допустимых рисках оставления деревьев.

Выводы

1. Предложенная методика позволяет рассчитать для работы ЛЗМ рациональное сочетание максимального расстояния между рабочими стоянками и шириной ленты леса в зависимости от густоты древостоя при заданных рисках оставления деревьев.

2. Рассмотренные варианты сочетания ширины ленты леса и максимальных расстояний между рабочими стоянками при заданных рисках оставления деревьев в древостоях различной густоты и равных условиях обеспечивают размеры рабочих площадей, различающиеся не более чем на 3 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Залесов С.В. Сортиментная заготовка древесины. М.: Инфра-М, 2021. 139 с.
Azarenok V.A., Gerts E.F., Mekhrentsev A.V., Zalesov S.V. *Assortment Harvesting of Wood*. 2021. 139 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1141213>
2. Арико С.Е., Мохов С.П., Голякевич С.А., Пищов С.Н. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообраб. пром-сть. 2012. № 2. С. 18–20.
Ariko S.E., Mokhov S.P., Golyakevich S.A., Pishchov S.N. Analysis of Development Trends in the Designs of Multi-operational Logging Machines. *Proceedings of BSTU. Forestry and Woodworking Industry*. Minsk, 2012, no. 2, pp. 18–20. (In Russ.).

3. Безгина Ю.Н., Герц Э.Ф., Залесов С.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Рациональные параметры технических элементов пасаки для манипуляторных лесозаготовительных машин // Хвойные бореал. зоны. 2018. Т. 36, № 4. С. 338–343.

Bezgina Yu.N., Gerts E.F., Zalesov S.V., Terinov N.N., Urazova A.F. Rational Parameters of Technical Elements of an Apiary for Manipulator Logging Machines. *Khvoynye borealnye zony* = Conifers of the Boreal Zone, 2018, vol. 36, no. 4, pp. 338–343. (In Russ.).

4. Герц Э.Ф. Теоретическое обоснование технологий рубок с сохранением лесной среды (на примере Уральского региона): дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2004. 304 с.

Gerts E.F. *Theoretical Justification of Logging Technologies with Preservation of the Forest Environment (Using the Ural Region as an Example)*. Doctoral Thesis (Technical Sciences). Ekaterinburg, 2004. 304 p. (In Russ.).

5. Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехрентцев А.В. Расчет ширины ленты, разрабатываемой манипуляторной полноповоротной лесозаготовительной машиной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2002. № 5. С. 47–51.

Gerts E.F., Azarenok V.A., Livshits N.V., Mekhrentsev A.V. Calculation of the Strip Width Developed by a Manipulator Full-Turn Logging Machine. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2002, no. 5, pp. 47–51. (In Russ.).

6. Заикин А.Н., Сиваков В.В., Шевелева Е.В. Методы снижения повреждаемости стволов деревьев при выборочных и санитарных рубках леса // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 4. С. 200–211.

Zaikin A.N., Sivakov V.V., Sheveleva E.V. Methods for Reducing Damage to Tree Trunks During Selective and Sanitary Logging. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2019, no. 4, pp. 200–211. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.4.200>

7. Карпачев С.П., Быковский М.А., Лаптев А.В. Методика выбора манипулятора харвестера // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 1. С. 123–129.

Karpachev S.P., Bykovsky M.A., Laptev A.V. Methodology for Selecting a Harvester Manipulator. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 123–129. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-1-123-129>

8. Кононович Д.А., Мохов С.П., Арико С.Е., Голякевич С.А. Особенности конструкционного исполнения технологического оборудования лесных погрузочно-транспортных машин // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообработ. пром-сть. 2015. № 2(175). С. 59–62.

Kononovich D.A., Mokhov S.P., Ariko S.E., Golyakevich S.A. Features of the Design of Technological Equipment of Forest Loading and Transport Machines. *Proceedings of BSTU. Forestry and Woodworking Industry*. Minsk, 2015, no. 2(175), pp. 59–62. (In Russ.).

9. Лагерева А.В., Макулина А.В., Лагерева И.А. Влияние конструктивных характеристик манипулятора харвестера на оптимальные размеры рабочей зоны // Науч.-техн. вестн. Брянск. гос. ун-та. 2024. № 2. С. 111–123.

Lagereva A.V., Makulina A.V., Lagereva I.A. Influence of the Design Characteristics of the Harvester Manipulator on the Optimal Dimensions of the Working Area. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* = Scientific and Technical Bulletin, Bryansk, Bryansk State University, 2024, no. 2, pp. 111–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2024-10-02-111-123>

10. Лаптев А.В., Матросов А.В. Обоснование конфигурации и геометрических размеров рабочей зоны колесного харвестера // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22, № 5. С. 77–85.

Laptev A.V., Matrosov A.V. Justification of the Configuration and Geometric Dimensions of the Working Area of a Wheeled Harvester. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 77–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-5-77-85>

11. Макаренко А.В. Эффективность применения лесозаготовительных машин с манипулятором на лесосеке // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 4. С. 120–135.

Makarenko A.V. Efficiency of Using Logging Machines with a Manipulator in a Logging Area. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 120–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-120-135>

12. Обыдёнников В.И., Волков С.Н. Организационно-технические элементы лесоводственных систем и их географические особенности // Глобализация и эколого-экономическое развитие регионов. 2015. С. 32–39.

Obydennikov V.I., Volkov S.N. Organizational and Technical Elements of Forestry Systems and Their Geographical Features. *Globalizatsiya i ehkologo-ehkonomicheskoe razvitie regionov* = Globalization and Ecological and Economic Development of Regions, 2015, pp. 32–39. (In Russ.).

13. Сиваков В.В., Заикин А.Н. К вопросу о снижении повреждаемости стволов деревьев при рубках леса // Подготовка кадров в условиях перехода на инновационный путь развития лесного хозяйства. 2021. С. 261–264.

Sivakov V.V., Zaikin A.N. On the Issue of Reducing Damage to Tree Trunks During Logging. *Podgotovka Kadrov v Usloviyakh Perekhoda na Innovatsionnyi Put Razvitiya lesnogo khozyaistva* = Training of Personnel in the Context of the Transition to an Innovative Path of Forestry Development, 2021, pp. 261–264. (In Russ.).

14. Сюнев В.С. Обоснование выбора систем машин для рубок ухода: дис. ... д-ра техн. наук. Петрозаводск, 2000. 405 с.

Sunev V.S. *Justification of the Choice of Machine Systems for Thinning*: Doc. Techn. Sci. Diss. Petrozavodsk, 2000. 405 p. (In Russ.).

15. Швецов А.С., Кривошеев А.А., Должиков И.С., Григорьев И.В., Курочкин П.А., Григорьева О.И. Рациональные приемы выполнения рубок лесных насаждений универсальной лесозаготовительной машиной // Вестн. АГАТУ. 2024. № 1(13). С. 48–65.

Shvetsov A.S., Krivosheev A.A., Dolzhikov I.S., Grigoriev I.V., Kurochkin P.A., Grigorieva O.I. Rational Methods for Felling Forest Stands with a Universal Logging Machine. *Vestnik AGATU* = AGATU Bulletin, 2024, no. 1(13), pp. 48–65. (In Russ.).

16. Юшкевич М.В., Шиман Д.В., Климчик Г.Я., Бельчина О.Г., Клыш А.С. Некоторые особенности влияния рубок леса на содержание химических элементов в хвойных фитоценозах и почве в условиях Негорельского учебно-опытного и Минского лесхозов // Тр. БГТУ. Сер. 1: Лесн. хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1(240). С. 42–51.

Yushkevich M.V., Shiman D.V., Klimchik G.Ya., Belchina O.G., Klysh A.S. Some Features of the Influence of Logging on the Content of Chemical Elements in Coniferous Phytocenoses and Soil in the Conditions of the Negorelsky Educational-Experimental and Minsk Forestry Enterprises. *Trudy BGTU. Lesnoe khoz-vo, prirodopol'zovanie i pererab. vozobnovlyаемых resursov* = Proceedings of BSTU. Forestry, Nature Management, Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1(240), pp. 42–51. (In Russ.).

17. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Shilin D., Shestov D., Ruzin S. Calculation of the Manipulator's Kinematic Model and Mounting Points of the Drive Equipment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 1072, pp. 339–348.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_34

18. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Tikhonov E., Makuev V., Egipko S., Hertz E., Zorin M. Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 439–447. <https://doi.org/10.5937/jaes0-28528>

19. Hertz E., Guriev A., Druzyanova V., Revyako S., Markov O., Perfiliev P., Grigorev I. Impact Assessment of Different Propulsion Systems in Forestry Machinery on Soil Properties. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2024, vol. 11, no. 1, pp. 133–140.

<https://doi.org/10.18280/mmep.110114>

20. Nesmiyanov I.A., Nikolaev M.E., Sharipov R.V. Justification of Parameters of the Executive Drive of a Robotic Manipulator of a Loading and Transport Unit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science "International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production"*, 2021, p. 012032.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012032>

21. Svoikin F.V., Svoikin V.F., Rossikhin K.V., Borozna A.A., Taraban M.V., Maksimov P.P., Kovtun M.A. Modernization of Skidding and Primary Removal of Wood in the Vologda Region Through the Use of Relevant Domestic Solutions. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 515, p. 03022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451503022>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest