

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 140–144.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 140–144.

Научная статья

УДК 630.323

DOI: 10.51318/FRET.2026.97.2.014

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Алина Флоритовна Уразова

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

urazovaaf@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Аннотация. Большинство технологических процессов, связанных с заготовкой древесины в России, осуществляют, применяя системы машин. Технологические параметры работы полноповоротной лесозаготовительной машины (ЛЗМ), используемой на лесосечных работах, оказывают значительное влияние на экологическую и эксплуатационную эффективность. Ширина разрубаемой ленты леса, число деревьев, доступное для манипулятора, и расстояние между рабочими стоянками определяются габаритами ЛЗМ, максимальным и минимальным вылетом манипулятора и густотой древостоя. Ограничение ширины разрубаемой ленты снижает ряд технологических показателей работы машины: уменьшается участок, разработанный с одной стоянки, и, соответственно, снижается общий объем заготовленной древесины. Поэтому актуальным является расчет технологических параметров работы ЛЗМ. Цель работы – определение недосигаемой площади на ленте при увеличении расстояния переезда между рабочими позициями манипуляторной широкозахватной ЛЗМ. В работе получены выражения для расчета площадей, достигаемых для манипулятора ЛЗМ, исходя из расстояния дополнительного переезда и ширины разрабатываемой ленты.

Ключевые слова: полноповоротная лесозаготовительная машина, ширина ленты, расстояние переезда, площадь участка, недосигаемого для лесозаготовительной машины

Для цитирования: Уразова А. Ф. Определение технологических параметров работы лесозаготовительной машины // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 140–144.

Original article

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FORESTRY MACHINE OPERATION

Alina F. Urazova

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

urazovaaf@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Abstract. Most of the technological processes related to wood harvesting in Russia are carried out using machine systems. The technological parameters of the full-rotation wood harvesting

machine (WHM) used in cutting operations have a significant impact on environmental and operational efficiency. The width of the cut up forest ribbon, the number of trees available for the manipulator and the distance between the working parking lots are determined by the dimensions of the WHM, the maximum and minimum reach of the manipulator and the density of the forest stand. Limiting the width of the cut up forest ribbon reduces a number of technological indicators of the machine's operation: the site developed from one parking lot decreases and, accordingly, the total volume of harvested wood decreases. Therefore, the calculation of technological parameters of WHM operation is relevant. The purpose of the research is to determine the inaccessible area on the ribbon, with an increase in the moving distance, between the working positions of the manipulating wide-reach LZM. In the paper, expressions are obtained to calculate the areas reached for the WHM manipulator, based on the distance of the additional crossing and the width of the developed ribbon.

Keywords: full rotation harvesting machine, ribbon width, crossing distance, area of the site inaccessible to the harvesting wood machine

For citation: Urazova A. F. Determination of technological parameters of forestry machine operation // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 140–144.

Введение

Уровень развития лесопромышленного производства зависит от техники, ее технического совершенства и применяемых технологий. Сегодня в составе систем лесозаготовительных машин преобладают технологии и манипуляторные машины, предполагающие разрубку волоков. При этом такие технологические параметры процесса, как ширина разрубаемой ленты леса, определяются конструкцией ходовой части базовой машины, характеристиками манипулятора и захватно-срезающим устройством (Лагереv и др., 2024; Лаптеv, Матросов, 2018; Сортиментная заготовка..., 2021), а расстояние между рабочими стоянками – габаритами лесозаготовительной машины ЛЗМ, вылетом манипулятора и густотой древостоя (Рациональные параметры..., 2018). В свою очередь, эти параметры технологического процесса оказывают существенное влияние не только на производительность, но и на степень повреждения компонентов леса в границах делянки и последующий процесс лесовосстановления. При реализации всех видов выборочных рубок с равномерным изреживанием древостоя манипуляторными ЛЗМ при расчете ширины пасаки необходимо учитывать возможность заготовки дерева на всей площади пасаки. При этом возможность заготовки дерева, отведенного в рубку, определяется не только его досягаемостью, но и его доступностью (Вероятность заготовки..., 2014).

Цель, методика

и объекты исследования

При движении ЛЗМ возможны две схемы работы, определяющиеся досягаемостью и доступностью деревьев, подлежащих рубке.

1. Передвижение ЛЗМ по ленте к следующей рабочей позиции, исключающей наличие недосягаемых участков между смежными лентами. Она предполагает визуальный контроль и оценку возможности заготовки всех деревьев в зоне максимального вылета манипулятора справа и слева от ЛЗМ. Такая стратегия предусматривает высокий уровень концентрации внимания оператора и частое расположение рабочих стоянок.

2. Перемещение ЛЗМ на большее расстояние, чем гарантированное, при котором будут возникать участки, недосягаемые для манипулятора ЛЗМ в результате переезда машиной рабочей точки стоянки. Это позволит формировать большие пакеты сортиментов или деревьев, тем самым создавая предпосылки для увеличения производительности трелевочных машин, однако создает риски оставления на лесосеке не вырубленными деревьев, назначенных в рубку.

Целью работы является расчет недосягаемой площади на ленте при увеличении расстояния переезда между рабочими позициями манипуляторной широкозахватной ЛЗМ.

Результаты и их обсуждение

Перемещение ЛЗМ на большее расстояние L , чем гарантированное l_g , при котором будут возникать участки S_i , недосягаемые для манипулятора ЛЗМ в результате переезда машиной рабочей точки стоянки, показано на рис. 1.

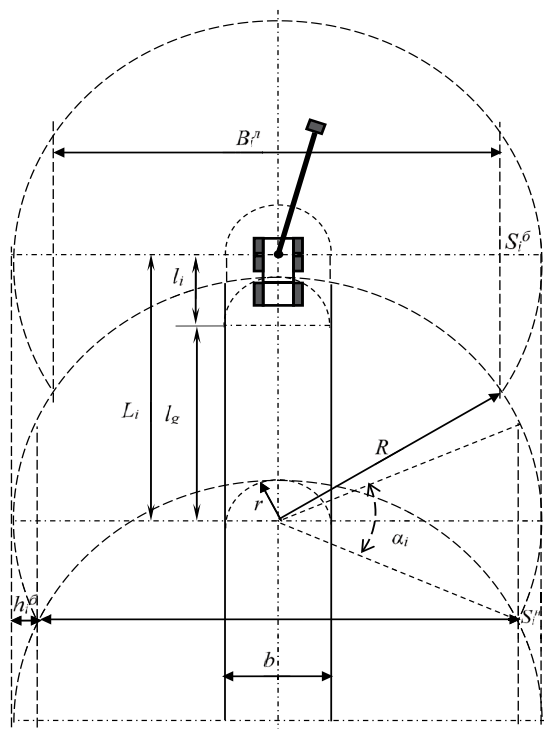


Рис. 1. Схема передвижения манипуляторной лесозаготовительной машины на большее расстояние, чем гарантированное

Fig. 1. Scheme of movement of a manipulator wood harvesting machine over a greater distance than the guaranteed distance

На расстоянии максимального вылета манипулятора R от исходного положения дерева спилены, и появление новых деревьев на рабочей площадке в зоне досягаемости манипулятора возможно только при передвижении машины на новую рабочую позицию. При движении ЛЗМ может произойти переезд позиции на дополнительное расстояние l_i , а значит, и перенос рабочей стоянки. При таком перемещении появляются недоступные участки S_i на ленте для манипулятора ЛЗМ.

Расстояние переезда между рабочими стоянками определится с учетом густоты древостоя и габаритов ЛЗМ, определяющих ширину волока.

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

$$B_i^n = 2\sqrt{R^2 - l_g^2 - 2l_g l_i - l_i^2}, \quad (1)$$

где R – максимальный вылет манипулятора, м;

l_g – гарантированное расстояние переезда ЛЗМ, м;

l_i – дополнительное расстояние переезда ЛЗМ за счет пустот (промежутков) между деревьями, м.

Вероятность переезда на каждый очередной отрезок дополнительного расстояния переезда является событием, зависимым от выполнения предыдущих событий, рассчитанных по условию

$$P(l_{\Delta}) = P(l_i) - P(l_i + 0,5). \quad (2)$$

Шаг дополнительного расстояния переезда, превышающего гарантированное, принят при расчетах равным 0,5 м.

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

$$P(L) = \sum_{i=1}^n P(l_i)P(L | l_i). \quad (3)$$

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

Вероятность оставления дерева невырубленным на недосягаемых участках $P(D_c)$ при работе на стоянке определится как совместная вероятность двух независимых событий оставления дерева на каждом из них:

$$P(D_c) = e^{-\frac{S_i}{S_d}} + e^{-\frac{S_i}{S_d}} - e^{-\frac{S_i}{S_d}} e^{-\frac{S_i}{S_d}}, \quad (4)$$

где S_i – площадь одного недосягаемого участка, м²;

S_d – площадь, занимаемая одним деревом, м².

Вероятность совместного появления хотя бы одного из двух зависимых событий оставления дерева на одном из недосягаемых участков в результате реализации вероятности переезда на дополнительное расстояние равна произведению вероятности дополнительного переезда на условную

вероятность оставления дерева на одном из двух недосягаемых участков:

$$P(D_{c1}) = e^{-l_i b / S_d} (2e^{-\frac{S_i}{S_d}} - e^{-\frac{S_i}{S_d}} e^{-\frac{S_i}{S_d}}). \quad (5)$$

При сплошных рубках спелых и перестойных древостоев с наличием жизнеспособного подроста целесообразно устанавливать ширину ленты, обеспечивающую максимальное сохранение подроста и живого напочвенного покрова, сокращая при этом долю волоков и риски оставления невырубленных деревьев. Схема для расчета площади участков, недосягаемых для манипулятора со смежных стоянок, приведена на рис. 2.

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

$$S_i^H = L_i h_i^{\delta} - S_i^{\delta}, \quad (6)$$

где S_i^{δ} – площадь бокового сегмента, м²;
 h_i^{δ} – высота сектора ($h_i^{\delta} = R - \sqrt{R^2 - L_i^2/4}$).

При этом

$$S_i^{\delta} = 1/2 R (l_i^{d\delta} - L_i) + L_i h_i^{\delta}, \quad (7)$$

где $l_i^{d\delta}$ – длина дуги бокового сегмента, $l_i^{d\delta} = \frac{\pi \alpha_i}{180} R$;

$\alpha_i = 2 \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 - L_i^2/4}}{R}\right) \frac{180}{\pi}$ – величина угла бокового сегмента.

Тогда после подстановки и преобразований получим:

$$S_i^{\delta} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 - L_i^2/4}}{R}\right) R^2 + R L_i / 2 + L_i \sqrt{R^2 - L_i^2/4}. \quad (8)$$

Таким образом, площадь одного недосягаемого участка (8) примет вид:

$$S_i^H = L_i h_i^{\delta} - \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 - L_i^2/4}}{R}\right) R^2 + R L_i / 2 + L_i \sqrt{R^2 - L_i^2/4}. \quad (9)$$

Поскольку реализация переезда на значительное дополнительное расстояние приводит к увеличению площадей недосягаемых участков, то возникает необходимость ограничения ширины ленты величиной B_i^o до уровня приемлемого риска

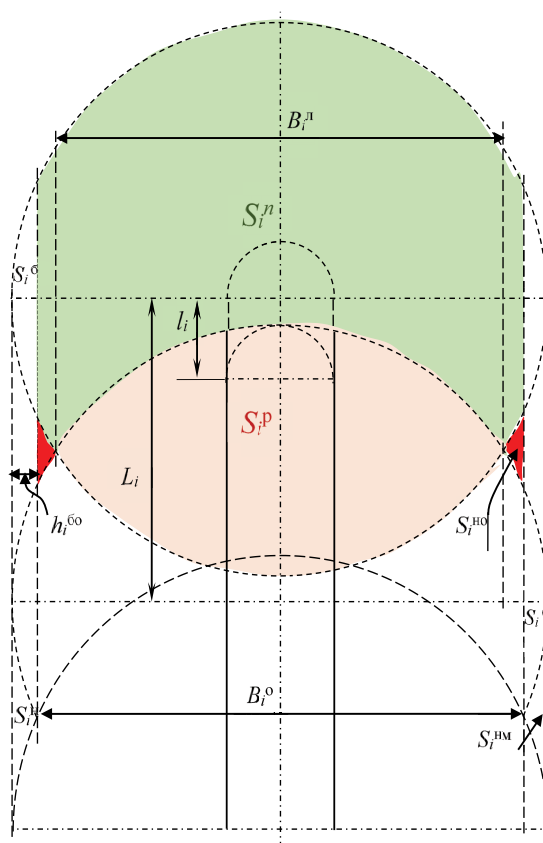


Рис. 2. Схема для расчета вырубаемой площади со стоянки с учетом допустимых размеров недосягаемых для манипулятора участков
 Fig. 2. Diagram for calculating the cut up area from a parking lot, taking into account the allowable sizes of the sites inaccessible to the manipulator

оставления невырубленного дерева, величина которого определяется площадью недосягаемых участков и густотой древостоя. Тогда площадь одного недосягаемого участка с учетом $R > B_i^o > B_i$ составит (см. рис. 2)

$$S_i^{HO} = S_i^{\delta} - S_i^{\delta} + L_i h_i^{\delta} - L_i h_i^{\delta o}. \quad (10)$$

Площадь рабочей зоны манипуляторной ЛЗМ со стоянки S_i^H с учетом расстояния между смежными стоянками и величиной недосягаемых участков по краям ленты составит (см. рис. 2)

$$S_i^H = \pi R^2 / 4 - S_i^P - 2 S_i^{\delta o}. \quad (11)$$

Площадь круга, вырубленная с предыдущей стоянки, составит:

$$S_i^P = R^2 / 2 (\pi \alpha_i / 180 - \sin \alpha_i), \quad (12)$$

$$\alpha_i = 2 \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 - B_i^2/4}}{R}\right) \frac{180}{\pi}.$$

Выводы

Предложенные формулы для расчета площадей, недоступных для манипуляторной ЛЗМ с учетом расстояния переезда, могут использоваться для принятия решения в различных условиях лесоводственных и технологических ограничений при определении ширины пасаки, разрабатываемой

многооперационной машиной. В качестве возможных ограничений могут использоваться отсутствие недостижимых для манипулятора участков, максимальная рабочая площадь на рабочей стоянке или максимальный объем пакетов древесины, формируемых на рабочей стоянке.

Список источников

- Вероятность заготовки деревьев при выборочных рубках манипуляторной машиной / Э. Ф. Герц, Ю. Н. Безгина, В. В. Иванов, В. И. Крюк // Леса России и хозяйство в них. 2014. № 2 (49). С. 40–42.
- Лагерев А. В., Макулина А. В., Лагерев И. А. Влияние конструктивных характеристик манипулятора харвестера на оптимальные размеры рабочей зоны // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2024. Т. 10, № 2. С. 111–123.
- Лаптев А. В., Матросов А. В. Обоснование конфигурации и геометрических размеров рабочей зоны колесного харвестера // Лесной вестник / Forestry bulletin. 2018. Т. 22, № 5. С. 77–85.
- Рациональные параметры технических элементов пасаки для манипуляторных лесозаготовительных машин / Ю. Н. Безгина, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 4. С. 338–343.
- Сортиментная заготовка древесины / А. В. Мехренцев, В. А. Азаренок, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов. М., 2021. 140 с.

References

- Assortment Harvesting of Wood / A. V. Mekhrentsev, V. A. Azarenok, E. F. Herts, S. V. Zalesov. Moscow, 2021. 140 p.
- Lagerev A. V., Makulina A. V., Lagerev I. A. Influence of the Design Characteristics of the Harvester Manipulator on the Optimal Dimensions of the Working Area // Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2024. Vol. 10, № 2. P. 111–123. (In Russ.)
- Laptev A. V., Matrosov A. V. Justification of the Configuration and Geometric Dimensions of the Working Area of a Wheeled Harvester // Forestry Bulletin. 2018. Vol. 22, № 5. P. 77–85. (In Russ.)
- Probability of Tree Harvesting during Selective Felling with a Manipulator Machine / E. F. Herts, Yu. N. Bezgina, V. V. Ivanov, V. I. Kryuk // Forests of Russia and economy in them. 2014. № 2 (49). P. 40–42. (In Russ.)
- Rational Parameters of Technical Elements of an Apiary for Manipulator Logging Machines / Yu. N. Bezgina, E. F. Herts, S. V. Zalesov [et al.] // Conifers of the Boreal Zone. 2018. Vol. 36, № 4. P. 338–343. (In Russ.)

Информация об авторах

А. Ф. Уразова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

A. F. Urazova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; принята к публикации 02.03.2026.

The article was submitted 05.02.2026; accepted for publication 02.03.2026.