



Научная статья

УДК 630*3

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-126-138

Обоснование технологических параметров процесса трелевки древесины мини-трактором при проходных рубках

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>

А.В. Мехренцев, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAE-5378-2020](https://orcid.org/0000-0002-2186-0152),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

Н.Н. Теринов, д-р с.-х. наук; *ResearcherID*: [N-2884-2019](https://orcid.org/0000-0001-5936-208X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5936-208X>

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

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

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37,
г. Екатеринбург, Россия, 620100; gerz.e@mail.ru[✉], mehrentsev@yandex.ru,
n_n_terinov@mail.ru, ura-alina@mail.ru

Поступила в редакцию 25.12.21 / Одобрена после рецензирования 27.03.22 / Принята к печати 30.03.22

Аннотация. Рассмотрен метод перемещения мини-трактора при трелевке древесины, заготавливаемой в процессе проходной рубки. При этом анализировали не только горизонтальную структуру древостоя, сформировавшуюся в результате внутривидовой конкуренции, но и партнерские отношения образующих микрогруппы деревьев, расстояние между которыми меньше среднего расстояния между деревьями в древостое. Учтена структура и параметры наиболее характерных микрогрупп, формирующих древостои. Это позволяет выбрать маршрут для мини-трактора и успешно осуществлять его перемещение между микрогруппами, где расстояние между деревьями больше среднего расстояния в древостое. На основе анализа взаимного расположения мини-трактора и деревьев смежных микрогрупп, в которых проезд мини-трактора с прицепным устройством вызывает значительные риски повреждения деревьев, построен алгоритм маневрирования для этой транспортной системы и сформулированы ограничения ее входа в створ. Показано, что вход мини-трактора в створ между деревьями под прямым углом обеспечивает наилучшие условия пересечения створа. Минимальный радиус поворота транспортной системы, включающей мини-трактор с прицепным устройством, при перемещении под пологом древостоя должен быть меньше радиуса большей части микрогрупп, формирующих древостой. Выполнен расчет ширины коридора, необходимого для прохода мини-трактора с прицепным устройством при трелевке сортиментов длиной от 2 до 6 м в случае проведения проходной рубки в древостоях Ia, I, II и III классов бонитета при изреживании до относительной полноты 0,7. Показана возможность обоснования длины сортиментов при проведении проходной рубки в зависимости от



бонитета и возраста древостоя. Установлено соответствие параметров мини-трактора и длины сортиментов густоте формируемого древостоя, обеспечивающее беспрепятственное маневрирование мини-трактора с прицепным устройством при перемещении под пологом древостоя. Приведены рекомендации по коррекции маршрута при ширине требуемого коридора большей, чем среднее расстояние между деревьями в древостое.

Ключевые слова: проходные рубки, мини-трактор, движение мини-трактора, горизонтальная структура древостоя, минимизация повреждений древостоя, трелевка древесины, технологические параметры трелевки, расстояние между деревьями в древостое
Благодарности: Статья подготовлена по результатам работы над темой «Экологические аспекты рационального природопользования» (номер госрегистрации FEUG-2020-0013).

Для цитирования: Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Обоснование технологических параметров процесса трелевки древесины мини-трактором при проходных рубках // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 6. С. 126–138. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-126-138>

Original article

Substantiation of the Technological Process Parameters of Wood Skidding with a Mini Tractor in Increment Thinning

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>

Andrey V. Mekhrentsev, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAE-5378-2020](https://orcid.org/0000-0002-2186-0152), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

Nikolay N. Terinov, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [N-2884-2019](https://orcid.org/0000-0001-5936-208X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5936-208X>

Alina F. Urazova, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334),

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

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; gerz.e@mail.ru[✉], mekhrentsev@yandex.ru, n_n_terinov@mail.ru, ura-alina@mail.ru

Received on December 25, 2021 / Approved after reviewing on March 27, 2022 / Accepted on March 30, 2022

Abstract. The paper considers the method of the mini tractor moving when skidding timber harvested during increment thinning. We analyzed the stand's horizontal structure formed as a result of intraspecific competition, as well as the partnership relations of the trees forming microgroups, the distance between which is less than the average distance between trees in the stand. The structure and parameters of the most typical microgroups that form stands were also observed. This allows choosing a route for a mini tractor and successfully moving it between microgroups, where the distance between trees is larger than the average distance in the stand. The article shows an analysis of the mutual arrangement of the mini tractor and trees of the neighboring microgroups, in which the passage of the mini tractor with a trailed device causes significant damage risks to trees. Based on the analysis, the maneuvering algorithm for this transport system is designed and the restrictions on its entry into the target between the trees are formulated. It is shown that the entry of a mini-tractor into the target between the



trees at a right angle provides the best conditions for crossing this area. The minimum turning radius of the transport system, comprising a mini-tractor with a trailed device, when moving under the stand canopy should be less than the radius of the majority of the microgroups that form the stand. The calculation of the strip width required for the passage of a mini-tractor with a trailed device when skidding logs with length 2–6 m in the case of increment thinning in stands of the Ia, I, II and III quality classes with thinning up to the relative density of 0.7. The paper shows the possibility of substantiating the length of logs when carrying out an increment thinning depending on the quality class and age of the stand. It is found that the mini tractor parameters and the logs length correspond to the formed stand density, ensuring the smooth maneuvering of the mini tractor with a trailed device when moving under the stand canopy. Guidelines for correcting the route when the width of the required strip is larger than the average distance between trees in the resulting stand are given.

Keywords: increment thinning, mini tractor, mini tractor motion, stand horizontal structure, minimizing stand damage, timber skidding, timber skidding technological parameters, distance between trees in the stand

Acknowledgments: The article is based on the results of work on the topic “Ecological Aspects of Sustainable Nature Management” (state registration No. FEUG-2020-0013).

For citation: Gerts E.F., Mekhrentsev A.V., Terinov N.N., Urazova A.F. Substantiation of the Technological Process Parameters of Wood Skidding with a Mini Tractor in Increment Thinning. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 6, pp. 126–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-126-138>

Введение

Одна из основных задач развития лесных предприятий на территориях с истощенными сырьевыми базами – совершенствование лесопользования с позиций производственно-экономической и лесоводственно-экологической эффективности. Важным элементом такого подхода при проведении проходных рубок, оказывающих существенное влияние на размерно-качественные характеристики деревьев к периоду технической спелости, является своевременность этих мероприятий [4, 8, 13, 15, 19, 21, 23, 24]. На фоне их неоспоримой значимости отмечаются некоторые негативные последствия [16, 18, 20, 22, 23]. Лесозаготовительные машины, в том числе и манипуляторные, используемые при проведении рубок ухода, удовлетворяют лесоводственным требованиям по критерию повреждаемости деревьев, оставляемых на доращивание, только при вырубке не менее 50 % древостоя [12]. Кроме того, в зоне технологических коридоров зафиксировано снижение массы корней деревьев в результате их механического повреждения и уплотнения почвы. Время восстановления корневой массы при этом пропорционально степени повреждений [9]. Снижение доли деформированных почвогрунтов (в том числе уплотненных) достигается не только выполнением работ в морозный период времени, но и применением базовых шасси, оказывающих минимальное давление на лесные грунты. Использование мини-тракторов позволяет уменьшить частоту и степень повреждения стволов деревьев, оставляемых на доращивание [6, 23]. Особая актуальность применения мини-тракторов в качестве шасси для лесохозяйственных агрегатов в сочетании с реализуемыми и перспективными технологиями отмечается в условиях проведения широкого комплекса лесохозяйственных работ [11].

Объекты и методы исследования

Для работы под пологом древостоя габариты мини-трактора и его маневренность должны максимально соответствовать горизонтальной структуре древостоя. Проходные рубки проводятся в насаждениях, характеризующихся широким диапазоном таксационных характеристик. Наиболее существенными из них при выборе мини-трактора являются густота произрастания деревьев и их распределение по площади. Сложившееся мнение, что размещение деревьев по территории с возрастом в процессе внутренней конкуренции меняется от первоначального группового или случайного на равномерное, в последнее время подверглось пересмотру. Этой концепции не удовлетворяют в первую очередь разновозрастные и условно-разновозрастные древостои, в которых выделяют такие «парцеллы», как окна без древесной растительности, группы деревьев и участки с подростом. Даже в культурах с изначально равномерным расположением деревьев к возрасту спелости распределение трансформируется в случайное [17]. Внутривидовая конкуренция в древостоях обеспечивает его самоизреживание, однако при этом сохраняется максимальная численность популяции за счет сокращения приростов деревьев [4, 13].

В ряде работ показано, что в древостоях наряду с конкурентными отношениями в микрогруппах действуют партнерские отношения, характеризующиеся разделением между деревьями экологических ниш как во времени, так и в пространстве [2, 3, 5, 10, 14]. При этом индивидуальная площадь питания для роста дерева является малозначимым фактором (менее 10 %). Вместе с тем прирост ствольной древесины коррелирует с площадью доминирования дерева, она должна составлять 30–40 % от площади свободного роста [2]. Тем не менее индивидуальные размеры дерева в большей мере определяются его генотипом, влияние которого в 4 раза выше, чем влияние площади питания [3]. В сосняках возрастом 55–90 лет число деревьев-соседей варьирует в микрогруппах от 4 до 12, 90 % из них имеют от 5 до 8 соседей [3]. Расстояние между деревьями в микрогруппах меньше среднего в древостое. При этом расстояние между соседними деревьями, принадлежащими к смежным микрогруппам, больше среднего. На рис. 1 приведены варианты размещения деревьев-соседей в микрогруппах.

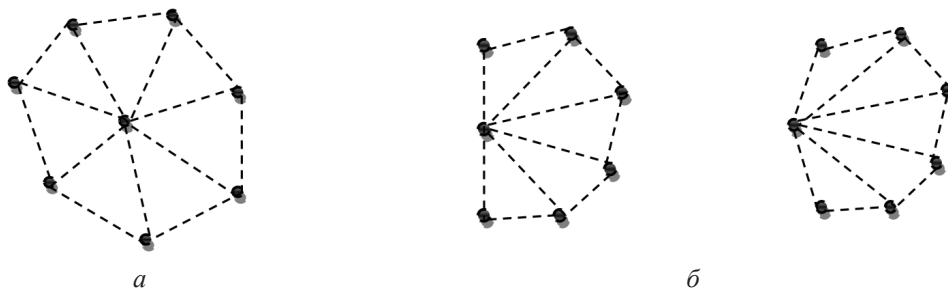


Рис. 1. Размещение деревьев в микрогруппах: *a* – наиболее распространенное; *б* – мало распространенное (периферия древостоя или «окон») [3]

Fig. 1. Trees arrangement in microgroups: *a* – most common; *b* – not common (periphery of the stand or “windows”) [3]

В рубку назначаются деревья, отставшие в росте. Это позволит к возрасту спелости с большей вероятностью получить древостой с меньшей дифференциацией деревьев по ступеням толщины. Из рис. 1, *a* видно, что площадь, занимаемая микрогруппой с центральным деревом, по контурам входящих в нее деревьев близка по форме к окружности с диаметром до двух средних расстояний между деревьями. Контуров включающих 5–7 деревьев микрогрупп без центрального дерева представляют собой многоугольник, больший размер которого в плане составляет до двух минимальных расстояний между деревьями в микрогруппе, ширина – одно среднее расстояние.

Таким образом, прокладывание маршрута мини-трактора между микрогруппами создает более благоприятные условия для его беспрепятственного прохода между деревьями. При этом снижаются риски повреждения деревьев, оставляемых на доращивание, за счет большего расстояния между деревьями смежных микрогрупп и меньшей крутизны маневрирования, чем при объезде отдельных деревьев. Меньшая крутизна маневрирования мини-трактора уменьшает ширину необходимого для перемещения прохода. Ширина прохода определяется шириной мини-трактора и уширением в результате разных траекторий движителей (колес или гусениц) тягача и прицепного устройства. Величина уширения прохода при этом прямо пропорциональна длине мини-трактора с прицепным устройством и обратно пропорциональна радиусу траектории перемещения [1].

Рабочий, управляя мини-трактором, выбирает маршрут, обеспечивающий выполнение заданного объема работ и минимальное повреждение элементов формируемого древостоя, ориентируясь на максимальные по ширине проходы. Однако и в этом случае ширина прохода на разных участках маршрута ограничивается деревьями, расстояние между которыми варьирует, начиная от минимального, близкого к среднему расстоянию в древостое. Прохождение таких минимальных створов между деревьями сопровождается максимальным риском повреждения деревьев. При выборе мини-трактора для выполнения рубок можно рассматривать эти условия как лимитирующие.

Наиболее благоприятные условия для прохождения мини-трактором створа между деревьями соответствуют пересечению этого створа под прямым углом, что показано на рис. 2, *a*, где A_1 – исходная позиция мини-трактора; A_2 – центр створа между деревьями; r – минимальный радиус поворота мини-трактора; B – точка пересечения исходного курса и курса прохождения створа деревьев; α – угол пересечения курсов мини-трактора до начала маневра и при прохождении створа.

Для соблюдения этого условия необходимый маневр (поворот) приходится выполнять на ограниченном пространстве между микрогруппами деревьев. Таким образом, возможность перемещения мини-трактора определяется его габаритами (ширина, длина) и маневренностью (минимальный радиус поворота и уширение необходимого прохода при повороте), а также возрастом и густотой древостоя, параметрами его микрогрупп.

Рабочий выбирает маршрут, ориентируясь визуально на расположение деревьев, расстояние между ними и наличие окон без деревьев и подроста. Анализируя ситуацию, оператор оценивает возможность входа в лимитиру-

ющий створ под минимальным углом и траекторию (маршрут) перемещения мини-трактора. Для входа в створ под прямым углом или близким к нему может понадобиться однократный (левый или правый) или двукратный (левый и правый) поворот.

Условие однократного поворота на угол α для прохода под прямым углом через створ (A_2) двух ближайших деревьев: $Y(B) < Y(A_2)$. При этом необходимый и достаточный для выполнения маневра угол: $\Delta X \geq r - r \cos(\alpha)$, $\Delta Y \geq r \sin(\alpha)$ (рис. 2).

При $Y(B) \geq Y(A_2)$ для прохода между двумя деревьями мини-трактору из позиции A_1 требуется выполнить два поворота: левый и правый. При этом необходимый и достаточный для выполнения маневра угол: $\Delta X \geq 2(r - r \cos(\alpha))$, $\Delta Y \geq 3r \sin(\alpha)$ (рис. 2, б).

Моделирование естественных процессов изреживания древостоев при проведении рубок ухода с учетом взаимодействия деревьев в микрогруппах создает специфическую ситуацию при выборе маршрута перемещения мини-трактора под пологом древостоя. Визуальная оценка ситуации и выбор рационального маршрута перемещения в древостое со случайным типом размещения деревьев усложняются в сравнении с их регулярным размещением. Однако при этом складываются более благоприятные условия для перемещения мини-трактора, что обуславливается меньшей крутизной маневрирования и большими расстояниями между деревьями смежных микрогрупп. Вместе с тем здесь предполагается более тщательный анализ ситуации при поиске альтернативных вариантов маршрута. Дополнительная вариативность при прокладке траектории движения мини-трактора заключается в выборе крутизны маневрирования на тех участках пути, где возможно сочетание радиальных кривых с участками прямолинейного движения как альтернатива повороту с большим радиусом.

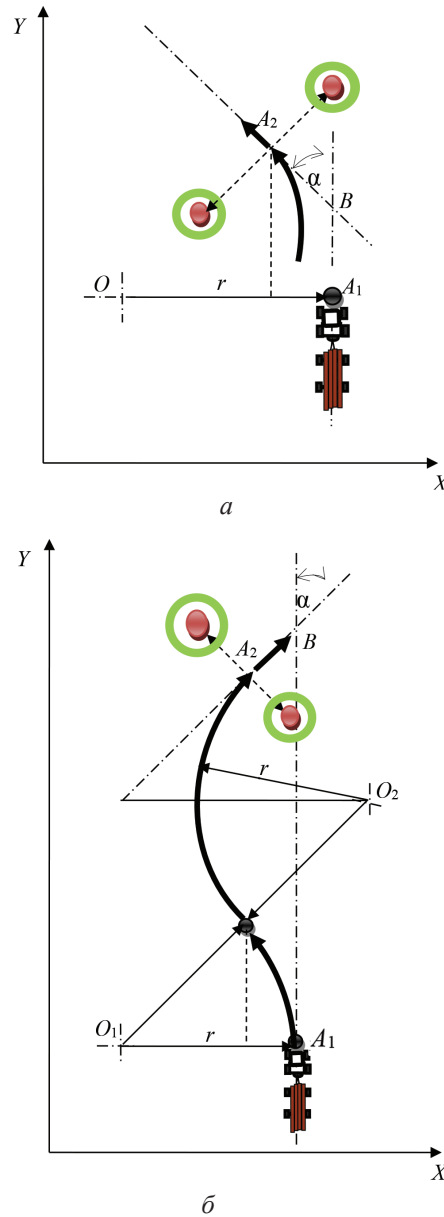


Рис. 2. Маршрут прохождения мини-трактором створа деревьев с поворотом: а – однократным; б – двукратным

Fig. 2. The route of the mini-tractor passing the target between trees with a turn: a – single turn; б – double turn

На рис. 3 показаны альтернативные варианты маршрута мини-трактора при маневрировании между микрогруппами деревьев.

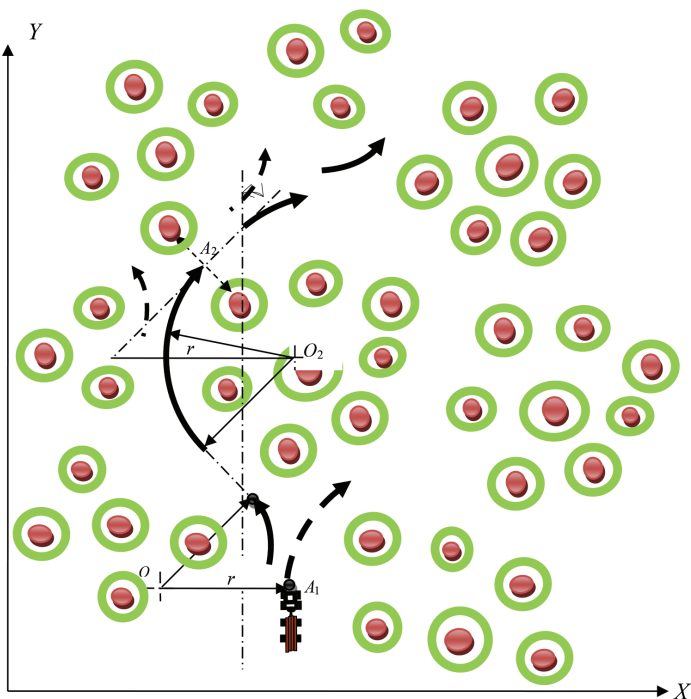


Рис. 3. Выбор маршрута перемещения мини-трактора под пологом древостоя

Fig. 3. Choosing a route for the mini tractor movement under the stand canopy

Схема для определения ширины прохода, необходимого для мини-трактора с полуприцепом, по радиальной кривой, приведенная на рис. 4, составит формулу

$$b_p = R_m - R_{п/п},$$

где R_m – радиус поворота мини-трактора, м; $R_{п/п}$ – радиус поворота внутреннего колеса полуприцепа, м.

Радиус поворота внутреннего колеса полуприцепа рассчитывается из уравнения

$$R_{п/п} = \sqrt{R_{змн}^2 - l_{п/п}^2} - b/2,$$

где $R_{змн}$ – радиус перемещения узла крепления дышла полуприцепа; $l_{п/п}$ – длина полуприцепа, м; b – ширина мини-трактора, м.

Минимальный радиус поворота мини-трактора с полуприцепом вычисляется из условия $R_{п/п} = 0$ и составит:

$$b_p = R_m \text{ или } R_m = \sqrt{l_{п/п}^2 + b^2/4} + b/2.$$

Радиус перемещения узла крепления дышла полуприцепа по отношению к мини-трактору

$$R_{змн} = R_m - b/2.$$

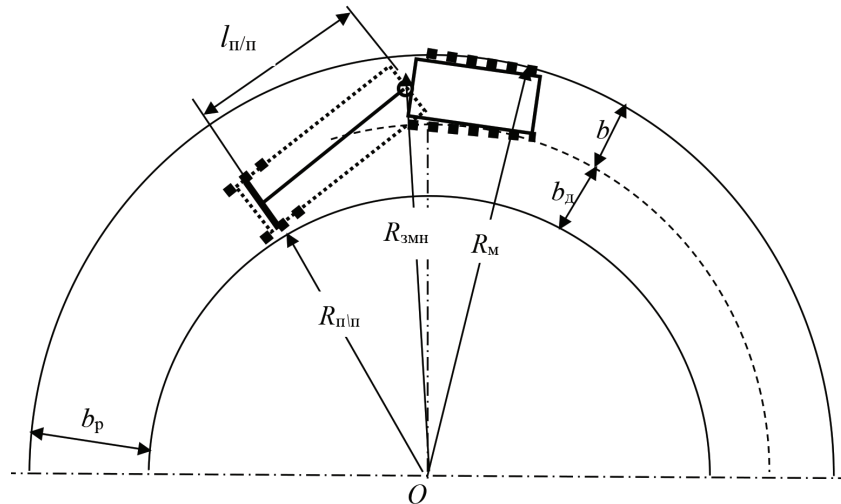


Рис. 4. Схема расчета расстояния между деревьями для прохода мини-трактора при повороте с полуприцепом [1]

Fig. 4. Calculating the distance between trees for the passage of a mini tractor with a semitrailer when turning [1]

Дополнительное уширение коридора для перемещения мини-трактора с полуприцепом по дуге

$$b_d = b_p - b.$$

Расстояние между деревьями, необходимое для беспрепятственного прохода мини-трактора с полуприцепом длиной $l_{п/п}$, лимитирует его ширину, которая определится как:

$$b \leq b_p + b_d + 2b_0, \quad (1)$$

где b_d – средний диаметр деревьев, ограничивающих створ, м; b_0 – расстояние безопасности между мини-трактором и деревьями, ограничивающими створ, $b_0 = 0,5$ м.

При проходе мини-трактором створа между деревьями под прямым углом необходимое расстояние между ними минимально. Возможность входа в створ под прямым углом определяется условиями маневрирования между микрогруппами деревьев, что обусловлено в первую очередь числом деревьев, их формой и занимаемой площадью (т. е. взаимным расположением деревьев). Границы наиболее распространенных микрогрупп деревьев по форме близки к радиальным кривым, радиус которых определяется их площадью (см. рис. 1). Перемещаясь по такому маршруту, мини-трактор, как правило, реализует повороты с радиусом не меньше радиуса кривой, описывающей границы микрогрупп:

$$r_{\text{мг}} \geq R_{п/п},$$

где $r_{\text{мг}}$ – минимальный радиус, описывающий границы микрогруппы, м.

Для расчетов нами были приняты таксационные характеристики нормальных древостоев из таблиц хода роста по В.В. Загрееву [7].

Проходные рубки в насаждениях Ia и II классов бонитета с преобладанием хвойных пород проводятся в возрасте 41–60 лет, в насаждениях III класса

бонитета – в возрасте 61–80 лет. Относительная полнота не может снижаться до уровня $< 0,7$. С учетом этого густота древостоя после рубок принята на 30 % ниже нормальной. Вырубке подлежат угнетенные деревья, отставшие в росте. При этом для деревьев, оставляемых на доразращивание, обеспечивается площадь доминирования не меньше 30–40 % от площади свободного роста. Площадь свободного роста рассчитывается на период времени до следующей рубки [3].

Обеспечение доминирования перспективных деревьев в молодняках осуществляется вырубкой деревьев-конкурентов, находящихся в непосредственной близости от них.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрен гусеничный пешеходно-управляемый мини-трактор с полу-прицепом, длина дышла которого определяется длиной трелюемых сортиментов. Ширина трактора – 1,15 м, ширина зоны безопасности между трактором и деревьями, ограничивающими коридор с каждой стороны, – 0,5 м, длина трелюемых лесоматериалов – от 2 до 6 м.

Результаты выполненных нами расчетов сведены в таблицу.

Расчет минимальной ширины коридора, требуемого при перемещении мини-трактора по дуге вокруг типичных групп, формирующих древостой The minimum strip width required when a mini tractor moves in an arc around typical stand-forming groups

Возраст, лет	Средние		Число стволов, шт./га, при полноте		Среднее расстояние между деревьями, м	Минимальная ширина коридора при длине сортиментов, м (значения ширины коридора, равные радиусу поворота мини-трактора, при $R_{\text{шп}} = 0$)				
	высота, м	диаметр, см	1,0	0,7		2	3	4	5	6
						(3,66)	(4,63)	(5,62)	(6,61)	(7,60)
<i>Ia класс бонитета</i>										
40	19,2	18,5	1483	1038	3,10	3,07	3,61	4,27	5,02	5,83
50	22,7	22,9	1073	751	3,65	3,03	3,52	4,14	4,85	5,63
60	25,5	27,0	822	575	4,17	3,01	3,46	4,04	4,71	5,45
<i>I класс бонитета</i>										
40	16,4	15,7	1773	1241	2,84	3,09	3,65	4,34	5,11	5,94
50	19,6	19,7	1259	881	3,37	3,04	3,55	4,19	4,92	5,72
60	22,2	23,2	969	678	3,84	3,01	3,49	4,09	4,78	5,55
<i>II класс бонитета</i>										
40	13,6	13,2	2161	1513	2,57	3,12	3,70	4,41	5,21	6,05
50	16,4	16,6	1537	1076	3,05	3,06	3,60	4,27	5,02	5,84
60	18,8	19,7	1167	817	3,50	3,02	3,52	4,15	4,87	5,66
<i>III класс бонитета</i>										
40	11,0	10,8	2750	1925	2,28	3,16	3,78	4,51	5,33	6,19
50	13,4	13,7	1939	1357	2,71	3,10	3,67	4,36	5,14	5,98
60	15,5	16,4	1460	1022	3,13	3,05	3,58	4,24	4,99	5,80
70	17,3	18,9	1157	810	3,51	3,01	3,51	4,14	4,86	5,65
80	18,8	21,2	958	671	3,86	2,99	3,46	4,06	4,76	5,52

Сравнение среднего расстояния между деревьями в древостое и ширины коридора, требуемого при объезде микрогруппы, характеризует возможность применения мини-трактора для трелевки сортиментов расчетной длины.

При ширине коридора, необходимого для маневрирования, меньше среднего расстояния между деревьями (l_{cp}) в формируемом древостое, мини-трактор с полуприцепом, выполняя поворот, гарантированно проходит в створы между деревьями, не являющимися частью микрогруппы. При проходе створа дополнительные ограничения на крутизну маневрирования ($l_{cp} \geq R_m$) не требуются.

При ширине коридора меньше среднего расстояния между деревьями объезд групп деревьев мини-трактором при рассматриваемой длине сортиментов возможен в случае выполнения условий:

тщательный выбор точки входа в створ при сокращении расстояния безопасности между мини-трактором и деревьями, лимитирующими створ, до меньшего, чем принято по условию уравнения (1);

увеличение радиуса маневрирования при прохождении створа между деревьями (т. е. уменьшение ширины требуемого для прохода коридора);

сочетание криволинейного движения при объезде микрогруппы и прямолинейного прохождения створа между деревьями.

Выводы

1. Основным фактором, определяющим возможность работы мини-тракторов под пологом древостоя, является густота древостоя.

2. Увеличение длины сортиментов от 2 до 6 м приводит к значительному росту рисков повреждения деревьев формируемого древостоя.

3. Беспрепятственное перемещение трелевочного мини-трактора под пологом древостоя ограничивается его шириной и длиной трелеваемых лесоматериалов.

4. Выбор рационального маршрута трелевочного мини-трактора при трелевке древесины под пологом древостоя осуществляется оператором посредством визуальной оценки альтернативных вариантов, с проходом через лимитирующий створ под прямым или близким к нему углом, что обеспечивает минимальное повреждение стволов деревьев формируемого рубками древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Безгина Ю.Н., Герц Э.Ф., Иванов В.В., Перепечина Т.А., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Условия и возможность работы лесотранспортных систем под пологом древостоя // *Resources and Technology*. 2016. Т. 13, № 2. С. 20–33.

Bezgina Ju.N., Gerz E.F., Ivanov V.V., Perepechina T.A., Terinov N.N., Urazova A.F. Conditions and Ability to Work Forest Transport Systems under the Canopy of the Stand. *Resources and Technology*, 2016, vol. 13, no. 2, pp. 20–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2016.3221>

2. Борисов А.Н., Иванов В.В., Петренко А.Е. Формирование пространственной структуры сосновых древостоев при рубках ухода // *Лесоведение*. 2019. № 1. С. 7–18.

Borisov A.N., Ivanov V.V., Petrenko A.E. Formation of Spatial Structure of Pine Stands Formed by Improvement Cuttings. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 2019, no. 1, pp. 7–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0024114819010042>

3. Бузыкин А.И., Гавриков В.Л., Секретенко О.П., Хлебопрос Р.Г. Анализ структуры древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 1985. 93 с.

Buzykin A.I., Gavrikov V.L., Sekretenko O.P., Khlebopros R.G. *Analysis of the Structure of Forest Community*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 93 p. (In Russ.).

4. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Влияние густоты экспериментальных посадок на радиальный прирост сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 29, № 3-4. С. 188–192.

Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S. Influence of Scots Pine Stands of Different Planting Densities on Radial Growth. *Conifers of the boreal area*, 2011, vol. 29, no. 3-4, pp. 188–192. (In Russ.).

5. Григорьева О.И., Ледяева А.С., Федорова А.Л. Перегруппировка деревьев в процессе роста и под влиянием рубок ухода в сосновых насаждениях // Изв. СПбЛТА. 2008. № 184. С. 28–34.

Grigoreva O.I., Ledyeva A.S., Fedorova A.L. The Process of Different Development Pine Stands of Grow and Influence Thinning. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2008, no. 184, pp. 28–34. (In Russ.).

6. Гусман Б.Л.А. Технологии рубок ухода – как объект оптимального управления лесосечными работами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1994. 23 с.

Gusman B.L.A. *The Thinning Technology as an Object of Optimal Management of Logging Operations*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Voronezh, 1994. 23 p. (In Russ.).

7. Загребев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалева А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справ. / под ред. О.А. Кочетовой. М.: Колос, 1992. 495 с.

Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkaleva A.G. *All-Union Standards for Forest Inventory*: Handbook. Ed. by O.A. Kochetova. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p. (In Russ.).

8. Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е. Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 3. С. 9–16.

Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E. Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2019, no. 3, pp. 9–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.9>

9. Карпечко А.Ю. Влияние несплошной рубки на тонкие корни и микоризные окончания ели обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 2. С. 23–32.

Karpechko A.Yu. The Effect of Partial Cutting on Tender Roots and Mycorrhiza of Norway Spruce. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2018, no. 2, pp. 23–32. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.2.23>

10. Коцан В.В., Севко О.А., Демид Н.П. Проектирование рубок ухода в сосняках мшистых на основании их пространственной структуры // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 44. С. 33–36.

Kotsan W.W., Sevko O.A., Demid N.P. Design Thinning in the Pine Forests of Mossy Based on Their Spatial Structure. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*, 2016, no. 44, pp. 33–36. (In Russ.).

11. Мясищев Д.Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 70–79.

Myasishchev D.G. Potential of Small-Scale Mechanization in Forestry Technological Processes. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2018, no. 1, pp. 70–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.1.70>

12. Пеккоев А.Н., Лукашевич В.М., Селиверстов А.А., Суханов Ю.В. Опыты с рубками ухода разной интенсивности в сосновых древостоях // Уч. зап. ПетрГУ. 2015. № 2(147). С. 56–59.

Pekkoev A.N., Lukashevich V.M., Seliverstov A.A., Suhanov Yu.V. Experiments on Different Intensity Thinning of Pine Stands. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, 2015, no. 2(147), pp. 56–59. (In Russ.).

13. Пшеничникова Л.С. Влияние густоты экспериментальных посадок на радиальный прирост хвойных культур // Строение, свойства и качество древесины – 2018: материалы VI Междунар. симп. им. Б.Н. Уголева, посвящ. 50-летию Регионального Координационного совета по соврем. проблемам древесиноведения (Красноярск, 10–16 сент. 2018 г.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. С. 171–174.

Pshenichnikova L.S. Influence of Density of Experimental Plantings on the Radial Growth of Coniferous Cultures. *Wood Structure, Properties and Quality – 2018: In Honor of B.N. Ugolev. Proceedings of the 6-th RCCWS International Symposium Dedicated to the 50th Anniversary of the Regional Coordinating Council of Wood Science. Krasnoyarsk, September 10–16, 2018*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2018, pp. 171–174. (In Russ.).

14. Рогозин М.В. Площадь питания дерева как фактор его роста // Вестн. Перм. ун-та. Сер.: Биология. 2019. № 2. С. 136–147.

Rogozin M.V. Area for Tree Nutrition as a Factor of Its Growth. *Vestnik Permskogo Universiteta. Seria Biologia = Bulletin of Perm University. Biology*, 2019, no. 2, pp. 136–147. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2019-2-136-147>

15. Рогозин М.В., Разин Г.С. Фактор густоты в моделях ухода за древостоями // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: материалы VIII междунар. форума (Благовещенск, 8–10 июня 2015 г.). Благовещенск: ДальГАУ, 2015. Ч. 1. С. 234–239.

Rogozin M.V., Razin G.S. Factor Density in Models of Care Stands. *Protection and Efficient Usage of Forest Resources: Materials of VIII International Forum (Blagoveshchensk, 8–10 June 2015)*. Blagoveshchensk, Far Eastern SAU Publ., 2015, part 1, pp. 234–239. (In Russ.).

16. Селиверстов А.А., Лукашевич В.М., Суханов Ю.В., Пеккоев А.Н. Оценка воздействия проходных рубок ухода на древостои пробных площадей технопарка ПетрГУ // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-1(13-1). С. 108–112.

Seliverstov A.A., Lukashevich V.M., Suhanov Yu.V., Pekkoev A.N. Assessing the Impact of Commercial Thinning on the Forest Simple Plots of Technopark PetrSU. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoria i praktika = Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice*, 2015, vol. 3, no. 2-1(13-1), pp. 108–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/10090>

17. Товкач Л.Н. Размещение деревьев в 80-летних культурах ели, созданных равномерной посадкой семян // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2004. № 8. С. 60–62.

Tovkach L.N. Tree Arrangement in 80-year Old Spruce Populations Formed by Uniform Seedling Planting. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*, 2004, no. 8, pp. 60–62. (In Russ.).

18. Тюкавина О.Н., Ильинцев А.С., Ершов Р.А. Влияние прореживаний на радиальный прирост сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. С. 34–44.

Tyukavina O.N., Il'intsev A.S., Ershov R.A. The Effect of Thinning on the Radial Increment of Scotch Pine. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2017, no. 4, pp. 34–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.34>

19. Grabarnik P., Särkkä A. Modelling the Spatial Structure of Forest Stands by Multivariate Point Processes with Hierarchical Interactions. *Ecological Modelling*, 2009, vol. 220, iss. 9-10, pp. 1232–1240. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.02.021>
20. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Burmistrova O., Druzyanova V., Dolmatov N., Voronova A., Kotov A. Assessment the Effect of Skidding Techniques on the Ecological Efficiency of the Skidding Tractor. *Diagnostyka*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 67–75. <https://doi.org/10.29354/diag/125311>
21. Ma D., Peng S., Huang W., Cai Z., Xie Z. Rational Design of Mini-Cas9 for Transcriptional Activation. *ACS Synthetic Biology*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 978–985. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00404>
22. Marchi E., Picchio R., Spinelli R., Verani S., Venanzi R., Certini G. Environmental Impact Assessment of Different Logging Methods in Pine Forests Thinning. *Ecological Engineering*, 2014, vol. 70, pp. 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.019>
23. Shabani S., Pourghasemi H.R., Blaschke T. Forest Stand Susceptibility Mapping during Harvesting Using Logistic Regression and Boosted Regression Tree Machine Learning Models. *Global Ecology and Conservation*, 2020, vol. 22, art. e00974. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00974>
24. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Zečić Ž., Spina R., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions. *Ecological Engineering*, 2013, vol. 61, part A, pp. 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.052>

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

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article