

МИНИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ НА ТРЕЛЕВОЧНЫЕ ВОЛОКИ ПРИ ВЫБОРЕ СХЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЛЕСОСЕКИ

А.В. Макаренко, М.А. Быковский, И.В. Смоленв

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
makarenko@mgul.ac.ru

Рассмотрены методы оценки производственной эффективности вариантов прокладки сети трелевочных волоков на лесосеке и возможное воздействие трелевочных машин на почвогрунты в зависимости от количества проходов техники по трелевочным волокам. Дана оценка степени рациональности вариантов сети трелевочных волоков по среднему расстоянию трелевки. Разработана модель для проведения исследования и выполнения ее программная реализация по разыгрыванию координат расположения деревьев по территории лесосеки с равномерной и неравномерной плотностью древостоя. Представлены результаты расчетов статистических оценок распределения плотности древостоя на основании массива данных длин набора трелевочных пачек тракторами по пасечным волокам для стандартной параллельной схемы разработки лесосеки. По модели распределения плотности древостоя определены зоны лесосеки по количеству проходов техники по пасечным волокам для различных вариантов схем их прокладки. Представлены значения площадей этих зон в виде доли от общей площади лесосеки. Сделаны выводы о значительном влиянии распределения плотности древостоя на эффективность операции трелевки. Предложены рекомендации по проектированию сети трелевочных волоков с возможной минимизацией среднего расстояния трелевки и повреждения почвогрунтов лесосеки на волоках.

Ключевые слова: лесосека, пасечный волок, сеть трелевочных волоков, распределение плотности древостоя

Ссылка для цитирования: Макаренко А.В., Быковский М.А., Смоленв И.В. Минимизация транспортной нагрузки на трелевочные волокна при выборе схемы освоения лесосеки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 6. С. 81–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-81-91

Транспортная сеть трелевочных волоков, используемая для разрабатываемой лесосеки с особыми природно-производственными условиями, существенно определяет производственную эффективность и пагубность воздействия на лесную среду применяемой системы лесосечных машин в процессе лесозаготовок. Трелевку древесины принято характеризовать такими показателями [1–5], как уплотнение почвогрунтов и колееобразование на определенных участках лесосеки, нарушение водного режима почв, повреждение отдельных частей оставляемых деревьев и подроста. Данные показатели зависят от рациональности проектирования сети трелевочных волоков и тщательного учета изменений, происходящих в природно-производственных условиях на территории лесосеки, в частности плотности лесонасаждения, несущей способности почвогрунтов, уровня грунтовых вод, распределения жизнеспособного подроста. Производственную эффективность сети волоков принято оценивать по среднему расстоянию трелевки и объему грузовой работы [1, 4, 6–8], а также по конфигурации волоков, облегчающих сбор пачек, и их трелевке.

Цель работы

Цель работы — установление распределения количества проходов трелевочных машин по дли-

не трелевочного волокна для различных вариантов сети трелевочных волоков для заданной лесосеки, поскольку наибольшее воздействие трелевочных машин на природную лесную среду оказывает количество проходов машин по одному и тому же месту волокна. При этом схемы трелевочных волоков должны обеспечивать минимизацию среднего расстояния трелевки.

Материалы и методы

Количество проходов трелевочных машин по пасечным и магистральным волокам для одинаковых схем трелевочных волоков, применяемых в различных природно-производственных условиях и для разных лесосек [6, 9–11], является случайной величиной и зависит от других случайных и неслучайных величин. Важной случайной величиной, непосредственно влияющей на эффективность трелевки древесины, служит распределение плотности древостоя по территории лесосеки. При проведении выборочных рубок добавляется другая случайная величина — расположение деревьев, предназначенных к рубке. При рассмотрении конкретной лесосеки распределение плотности древостоя перестает быть неслучайной величиной, а уже относится к исходным природно-производственным условиям, которые необходимо учитывать при проектировании схемы трелевочных волоков.

Важный показатель, влияющий на нагруженность волоков, — это расположение и конфигурация неразрабатываемых участков — случайные величины для набора лесосек.

Для определения степени нагруженности по длине трелевочных волоков, приведем такие управляемые параметры, как геометрические характеристики схемы волоков [12–14], в частности расположение базовой стороны лесосеки, где оборудован погрузочный пункт, углы примыкания магистральных и пасечных волоков соответственно к погрузочному пункту и магистральному волоку, ориентация трасс пасечных волоков относительно сторон лесосеки.

Перечисленные случайные и неслучайные величины разрабатываемых лесосек и принятые (управляемые) геометрические характеристики схемы трелевочных волоков использовались при разработке математической модели для определения степени нагруженности волоков и среднего расстояния трелевки, а также для их минимизации. Математическая модель процесса трелевки древесины включает в себя следующие процедуры (блоки): разыгрывание координат расположения деревьев по территории лесосеки с разной степенью изменения плотности древостоя; расчет координат расположения магистральных и пасечных волоков с последовательно изменяемыми значениями углов их наклона; расчет процесса набора трелеваемых пачек по пасекам с учетом расположения деревьев; определение выходных показателей работы модели.

Математическая модель расположения деревьев по территории лесосеки (являющаяся первым блоком общей модели) может основываться как на натурных данных обследования лесосеки, так на вероятностных методах разыгрывания координат деревьев. Выходными данными при любом способе работы модели является массив значений, характеризующий расположение каждого дерева, его породу, размер, класс товарности.

Разработкой и использованием методики разыгрывания координат расположения деревьев занимались В.С. Брейтер, Р.М. Некрасов и др. [11, 12, 16]. Для разыгрывания координат расположения деревьев эти исследователи предложили использовать закон равномерного распределения вероятности — один из используемых способов в разработанной модели определения координат деревьев.

Перед принятием разыгранных значений координат расположения деревьев и их записью в общий массив данных применяются два ограничения. Первое ограничение требует, чтобы точка с разыгранными координатами находилась внутри контура лесосеки, если форма лесосеки отлична от прямоугольной. Второе ограничение

определяет минимальное расстояние между разыгранными координатами, соответствующее минимальному расстоянию между деревьями в спелом или приспевающем лесонасаждении, в котором проводились рубки ухода.

При закладывании лесосеки в разновозрастном древостое на нескольких смежных выделах в целях проведения разных форм рубок [1, 8, 17, 18] распределение деревьев по площади может быть неоднородным, со значительным колебанием плотности древостоя. Для такого случая разыгрывание координат расположения деревьев в разработанной модели проводится в два этапа. На первом этапе разыгрываются координаты расположения центров древостоя с повышенной плотностью (центры куртин) по закону равномерного распределения, на следующем — координаты деревьев от центра расположения куртин. Расстояния от центра куртин до деревьев определяются по круговому закону распределения вероятностей Релея, а направления на деревья — при помощи закона равномерного распределения.

Определение разыгрываний количества деревьев на лесосеке в разработанной модели можно выполнять также двумя способами: параллельно с разыгрыванием координат деревьев разыгрывать их диаметры, после чего определять объемы деревьев [19] и последовательно суммировать полученные данные, а при достижении суммы объемов деревьев значения общего запаса на лесосеке моделирование прекращать (первый способ); использовать дискретный закон распределения вероятностей Пуассона, причем распределение деревьев на лесосеке рассматривать как простейшее независимое поле точек (второй способ).

Результаты работы модели по установлению распределения деревьев на лесосеке с использованием закона равномерного распределения вероятностей при постоянной средней плотности древостоя представлены на рис. 1, а (первый способ), с использованием двухэтапного способа разыгрывания координат деревьев при переменной плотности древостоя — на рис. 1, б, в (второй способ). Для обоих способов использовались следующие таксационные характеристики древостоя: средний запас на 1 га — 200 м³; средний диаметр хлыста в месте спиливания — 26 см, среднее квадратическое отклонение — 4,5 см.

Возможное распределение деревьев по территории лесосеки на основании фотоснимков представлено на рис. 1, г.

На следующем этапе работы модели на территории лесосеки проектируется прокладка нескольких вариантов сети пасечных и магистральных волоков. Для всех вариантов принято следующее:

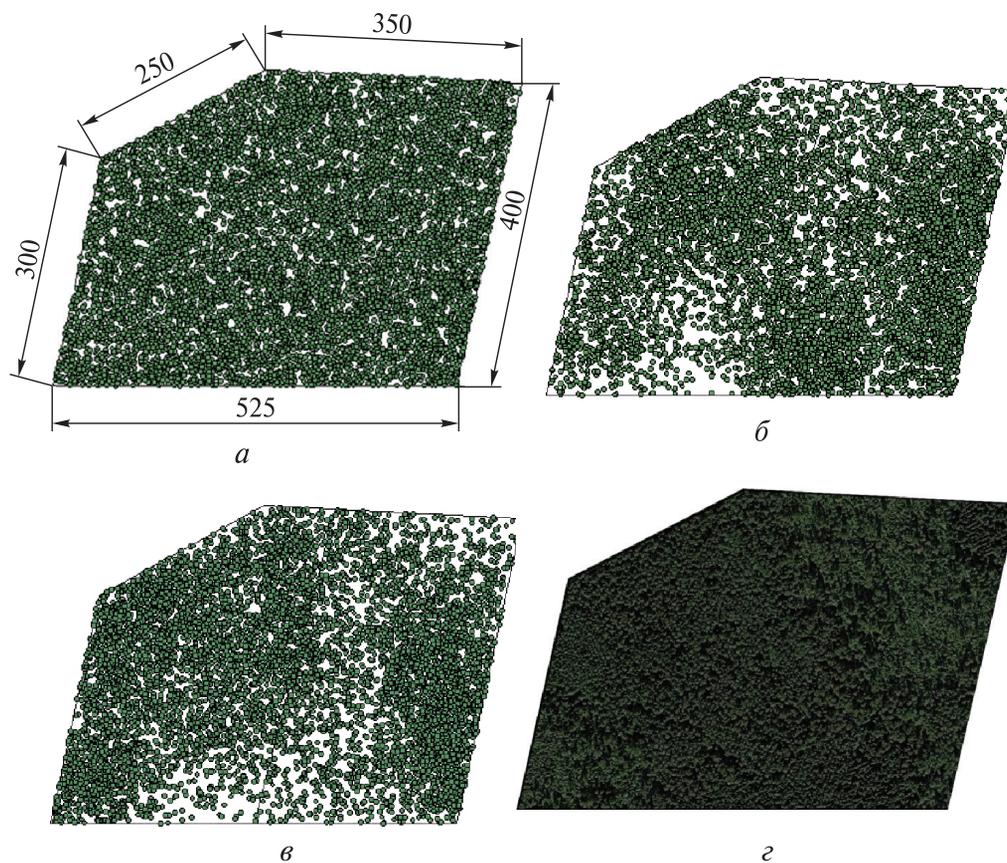


Рис. 1. Распределение деревьев по территории лесосеки: *a* — при разыгрывании координат расположения деревьев по закону равномерного распределения (первый способ); *б, в* — при разыгрывании координат расположения деревьев двумя этапами с выделением отдельных куртин (второй способ); *z* — распределение деревьев на основании фотоснимков

Fig. 1. Distribution of trees throughout the cutting area: *a* — when playing out the coordinates of the location of trees according to the law of uniform distribution (first method); *б, в* — when playing out the coordinates of the location of trees in two stages with the allocation of individual clumps (second method); *z* — distribution of trees based on photographs

– погрузочный пункт находится по центру одной из сторон лесосеки;

– используются два магистральных волока, отходящие в разные стороны от погрузочного пункта;

– деление лесосеки на участки, с которых ведется трелевка по одному из магистральных волоков, выполняется разделительной линией, проходящей через центр погрузочного пункта и центр тяжести лесосеки.

Различие между вариантами сети волоков заключается в выборе базовой стороны лесосеки для определения расположения погрузочного пункта и углов наклона магистральных волоков.

Шаг изменения угла наклона для правого и левого магистральных волоков принят как 1/12 от угла справа и слева от разделительной линии и базовой стороны лесосеки соответственно. Количество вариантов схем трелевочных волоков, в зависимости от углов наклона магистральных волоков, составляет 13 [19–25].

В результате работы этой части модели образуется массив данных, содержащий координаты пазек, их геометрические характеристики и наличие на территории пазек деревьев, предназначенных к рубке. Массив данных по характеристикам пазек структурирован по номеру базовой стороны лесосеки, где расположен погрузочный пункт, номеру варианта прокладки магистральных волоков, номеру участка лесосеки и по порядковому номеру пазеки на участке. В общем виде массив данных выглядит следующим образом:

paseka (*i, ii, iii, iii*)

$x(it), y(it)$ — координаты граничных точек пазеки;

N — количество граничных точек пазеки;

S — площадь пазеки;

Q — запас древесины на пазеке;

nd — количество деревьев на пазеке;

b_1 — первый член линейного уравнения пазечного волока;

b_2 — второй член линейного уравнения пазечного волока,

где i — номер базовой стороны лесосеки;
 ii — вариант прокладки магистральных волоков;
 iii — номер участка лесосеки;
 $iiii$ — последовательный номер пазек участка;
 it — номер граничных точек пазеки;

$tree(id)$

x, y — координаты дерева;

p — порода дерева;

q — объем дерева;

d — диаметр дерева,

где id — номера деревьев, расположенных на пазеке.

На основании представленного массива данных $paseka$ следующим блоком математической модели выполняется последовательный набор трелевочных пачек (групп деревьев) по длине пазеки от начала пазечного волока, которым является место его примыкания к магистральному волоку. Результатом работы данной процедуры является массив значений длин по волоку для сбора полных трелевочных пачек по каждому пазечному волоку и по всем вариантам прокладки сети трелевочных волоков. Объем трелевочной пачки задается по техническим характеристикам применяемого трелевочного трактора, и в модели это значение принято равным 10 м^3 .

Значения длин набора трелевочных пачек по пазечным волокам собраны в общий массив данных $skidding$, структурированный так же, как и массив $paseka$. Каждая ячейка массива $skidding$ содержит два значения. Кроме значения длины набора очередной пачки указывается расстояние трелевки от места окончания набора этой пачки до погрузочного пункта, которое включает длину набора пачки, расстояние по пазеке и расстояние по магистральному волоку от места примыкания к нему данной пазеки до начала магистрального волока.

Собранные данные в массиве $skidding$ позволяют определить выбранные в исследовании критерии для оценки эффективности каждого возможного в модели варианта сети трелевочных волоков. На основании данных массива по значениям длин набора трелевочных пачек определяется нагрузка по протяженности пазечных волоков, характеризующаяся количеством двойных проходов техники (в грузовом и холостом направлении). Данные по расстояниям трелевки для каждой пачки позволяют определить среднее расстояние трелевки и общую грузовую работу трелевочных машин.

Результаты и обсуждение

В качестве предварительного анализа степени влияния распределения плотности древостоя по территории лесосеки на выбранные критерии

эффективности трелевки древесины были рассчитаны статистические характеристики распределения длин (расстояний) набора трелевочных пачек по пазечным волокам для одной из стандартных схем расположения трелевочных волоков. Для этого выбрана параллельная схема расположения пазечных волоков при расположении магистральных волоков вдоль базовой стороны лесосеки.

Последовательность значений длин набора трелевочных пачек (групп) вдоль одной пазеки рассматривалась как случайный процесс с непрерывными значениями состояний (расстоянием вдоль волока для набора пачки) и дискретными моментами смены состояний (номер собираемых пачек в последовательности). Совокупность пазек при таком подходе является набором реализаций случайного процесса, а совокупности значений длин набора пачек одного и того же номера по пазекам являются сечениями случайного процесса [11].

На графиках (рис. 2–4) представлены результаты статистического анализа: среднее значение длин набора трелевочных пачек l по их последовательным номерам n вдоль пазек $m_l(n)$ (рис. 2), среднее квадратическое отклонение длин набора пачек $\sigma_l(n)$ (рис. 3) и коэффициент корреляции (корреляционная функция) между смежными значениями длин набора пачек по их номерам $K_l(n, n + 1)$ (рис. 4). Расчеты проводились по вариантам разыгрывания координат расположения деревьев на лесосеке (см. рис. 1, а–в).



Рис. 2. Среднее значение длин набора трелевочных пачек по пазечным волокам: ряды для лесосек: 1 — с равномерным распределением деревьев; 2 — с куртинным расположением деревьев при первом разыгрывании; 3 — с куртинным расположением деревьев при втором разыгрывании

Fig. 2. The average value of the lengths of log-rollings along apiary fibers: rows for cutting areas: 1 — with a uniform distribution of trees; 2 — with a clump arrangement of trees at the first playing; 3 — with a clump arrangement of trees at the second playing

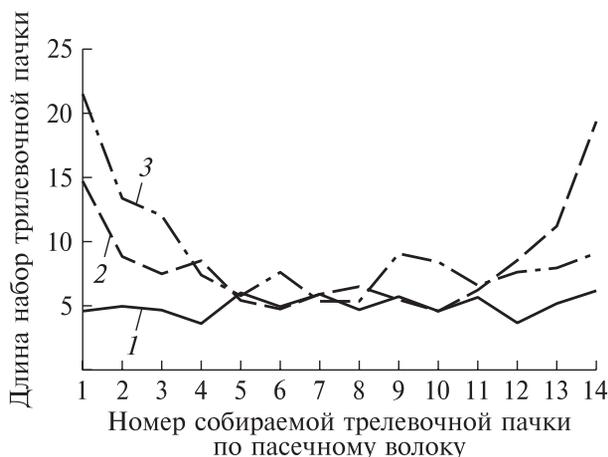


Рис. 3. Среднее квадратическое отклонение значений длин набора трелевочных пачек по пасечным волокам: ряды для лесосек: 1 — с равномерным распределением деревьев; 2 — с кучинным расположением деревьев при первом разыгрывании; 3 — с кучинным расположением деревьев при втором разыгрывании

Fig. 3. The standard deviation of the values of the lengths of log-rollings along apiary fibers: rows for cutting areas: 1 — with a uniform distribution of trees; 2 — with a clump arrangement of trees at the first playing; 3 — with a clump arrangement of trees at the second playing

Из графиков изменения среднего значения и среднего квадратического отклонения длин набора трелевочных пачек по пасечным волокам (см. рис. 2, 3) видно, что эти показатели находятся в зависимости от особенностей распределения плотности древостоя по территории лесосеки. При кучинном расположении деревьев на лесосеке плотность древостоя может изменяться значительно, что приводит к большим изменениям среднего значения и среднего квадратического отклонения длин набора трелевочных пачек на отдельных участках пасек, особенно если эти участки расположены между куртинами. Коэффициент вариации при этом может достигать 50...60 % и более.

При равномерном расположении деревьев по лесосеке (рис. 2, кривая 1 и рис. 3 кривая 1) среднее значение и среднее квадратическое отклонение длин набора трелевочных пачек более стабильны, при коэффициенте вариации, не превышающем 30 %.

Значения коэффициента корреляции между смежными значениями длин набора пачек, представленные на рис. 4, как и в предыдущих случаях, больше для лесосек с неравномерной плотностью древостоя (при кучинном расположении деревьев; см. рис. 4, кривые 2, 3), чем для древостоя с равномерной плотностью (см. рис. 4, кривая 1). Небольшие значения коэффициента корреляции (в пределах 0,2...–0,2) для случая древостоя с равномерной плотностью



Рис. 4. Коэффициент корреляции смежных значений длин набора пачек по пасечным волокам: ряды для лесосек: 1 — с равномерным распределением деревьев; 2 — с кучинным расположением деревьев при первом разыгрывании; 3 — с кучинным расположением деревьев при втором разыгрывании

Fig. 4. The correlation coefficient of adjacent values of the lengths of the rollings along apiary fibers: rows for cutting areas: 1 — with a uniform distribution of trees; 2 — with clump arrangement of trees at the first play; 3 — with a clump arrangement of trees at the second playing

свидетельствуют о небольшом взаимовлиянии смежных значений длин набора трелевочных пачек. Это характерно для закона равномерного распределения вероятностей, так как при этом образуется Пуассоновское поле точек, когда предыдущее событие не влияет или слабо влияет на последующее событие. При кучинном расположении деревьев и двухэтапном разыгрывании координат расположения деревьев коэффициент корреляции чаще всего больше и достигает значений 0,6–0,7. Из этого следует, что зависимость смежных значений длин набора трелевочных пачек между собой достаточно велика. Данный результат объясняется тем, что если в каком-либо месте лесосеки плотность древостоя велика и текущая трелевочная пачка набирается быстро с небольшим перемещением трактора по волоку, то и продолжительность набора следующей пачки не будет значительно отличаться от предыдущей. При равномерном распределении плотности древостоя, напротив, изменения продолжительности набора смежных пачек могут быть значительны.

При дальнейшей работе с представленной моделью по трелевке древесины было установлено распределение степени нагруженности трелевочных волоков проходами техники, в зависимости от заданной схемы волоков и распределения древостоя по территории лесосеки. Схемы лесосек с несколькими промежуточными вариантами расположения трелевочных волоков и выделенными зонами нагруженности волоков представлены на рис. 5.

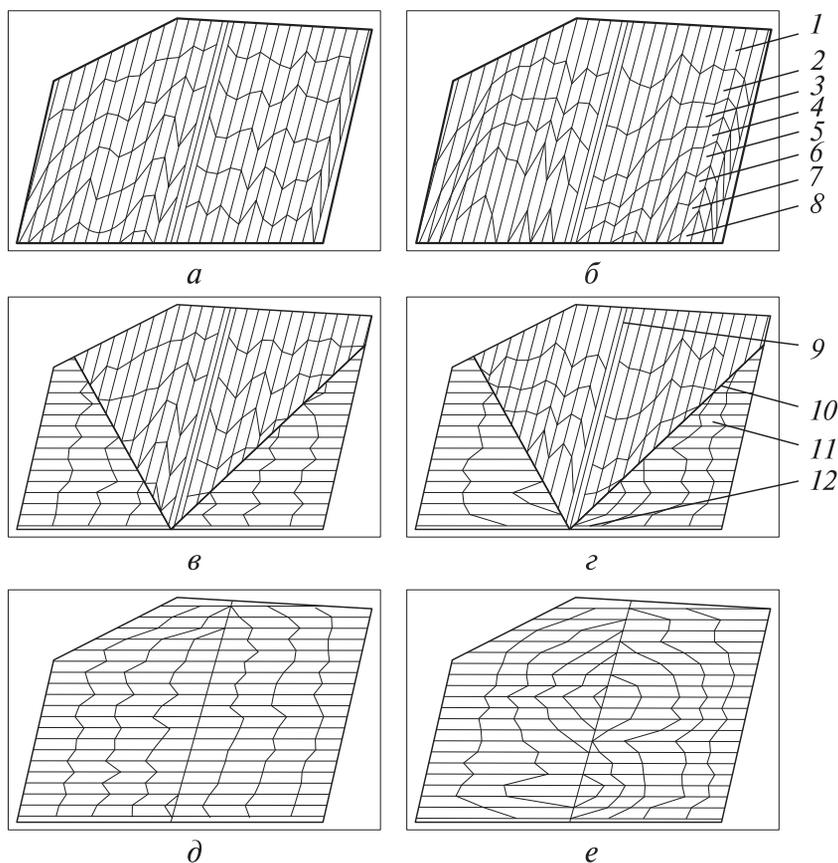


Рис. 5. Зоны нагруженности трелевочных волоков проходами техники: *a, б, в* — лесосека с равномерным распределением древостоя; *з, д, е* — лесосека с неравномерным распределением древостоя; *1-8* — зоны лесосеки с кратными трем парным проходам трелевочных машин; *9* — разделительная линия между участками лесосеки; *10* — магистральный волок; *11* — пасечный волок; *12* — место расположения погрузочного пункта

Fig. 5. Loading zones of skidding dragging passages of equipment: *a, б, в* — cutting area with a uniform distribution of the stand; *з, д, е* — cutting area with uneven distribution of the stand; *1-8* — cutting areas with multiples of three paired walkways of skidders; *9* — separating line between sections of the cutting area; *10* — main drag; *11* — apiary fiber; *12* — location of the loading point

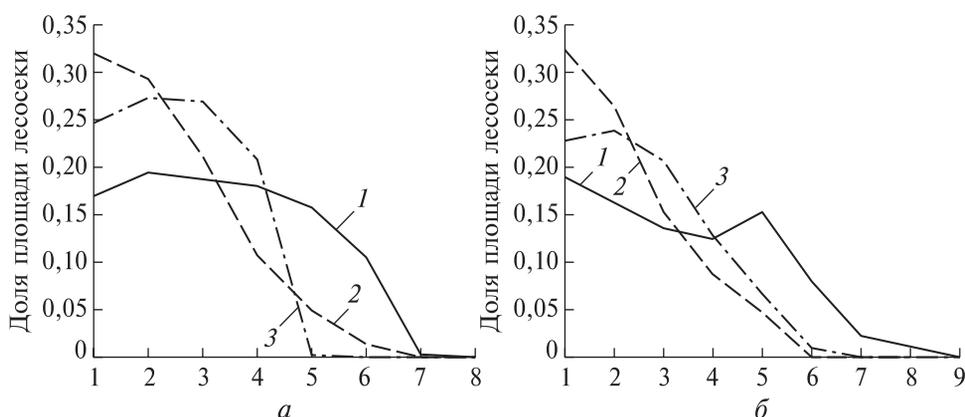


Рис. 6. Распределение площадей лесосеки по количеству трех парных проходов техники при равномерном (*a*) и неравномерном (*б*) расположении древостоя: ряды для схемы волоков на рис. 5: *1* — *a*; *2* — *б*; *3* — *в*

Fig. 6. Distribution of the cutting area by the number of three paired walkways of the equipment with a uniform (*a*) and uneven (*б*) arrangement of the stand: rows for the drawing scheme in Fig. 5: *1* — *a*; *2* — *б*; *3* — *в*

Каждая выделенная зона кратна трем парным проходам техники по волоку, т. е. первая дальняя зона от базовой стороны лесосеки соответствует трем парным проходам техники, вторая — шести парным проходам техники и т. д.

Соотношение площадей лесосеки, занятых разным количеством трех парных проходов трелевочных машин для вариантов рис. 5, представлены на рис. 6. Составлен общий график распределения площадей лесосеки по количеству трех парных проходов техники при равномерном распределении древостоя для 13 вариантов схем трелевочных волоков при запасе на 1 га — 200 м³, ширине пасеки — 20 м и объеме трелевочной пачки — 10 м³ (рис. 7).

Технологическая оценка вариантов схем прокладки трелевочных волоков на представленной модели проведена с помощью показателя среднего расстояния трелевки. Базовой стороной лесосеки (форму и размеры см. рис. 1, 5), поочередно рассматривалась каждая из сторон, где должен быть расположен погрузочный пункт. Как указано ранее, схемы прокладки трелевочных волоков зависят от угла наклона магистральных волоков и составляют всего 13 вариантов. Некоторые из возможных вариантов выбора базовой стороны лесосеки и схем прокладки трелевочных волоков представлены рис. 8.

Проведены расчеты среднего расстояния трелевки при равномерном (рис. 9) и неравномерном

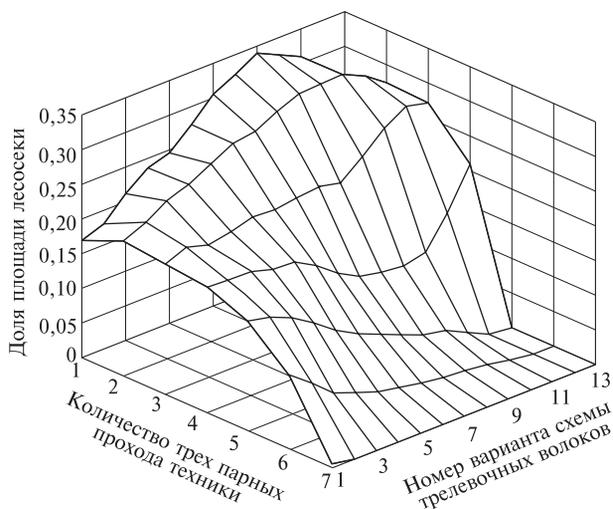


Рис. 7. Распределение площадей лесосеки по количеству трех парных проходов техники для всех рассматриваемых вариантов схем трелевочных волоков и при равномерном распределении древостоя

Fig. 7. The distribution of the cutting area by the number of three paired passes of the equipment for all considered variants of the skidding scheme and with a uniform distribution of the stand

(рис. 10) распределении плотности древостоя для 13 вариантов схем прокладки волоков и пяти вариантов выбора базовой стороны лесосеки для размещения погрузочного пункта.

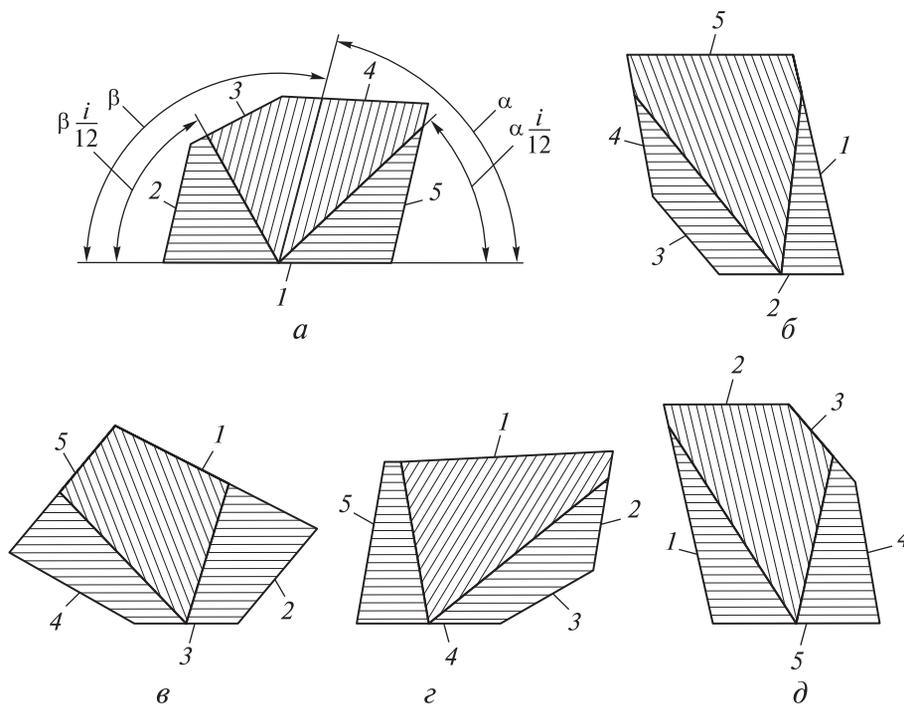


Рис. 8. Варианты схем прокладки трелевочных волоков: 1–5 — базовые стороны; а–д — лесосеки с базовыми сторонами 1–5 — соответственно; α , β — углы наклона магистральных волоков; i — номер варианта расположения магистрального волокна

Fig. 8. Variants of skidding laying schemes: 1–5 — base sides; а–д — cutting areas with basic sides 1–5 — respectively; α , β are the angles of inclination of the ridge tracks; i — the number of options for the location of the ridge track

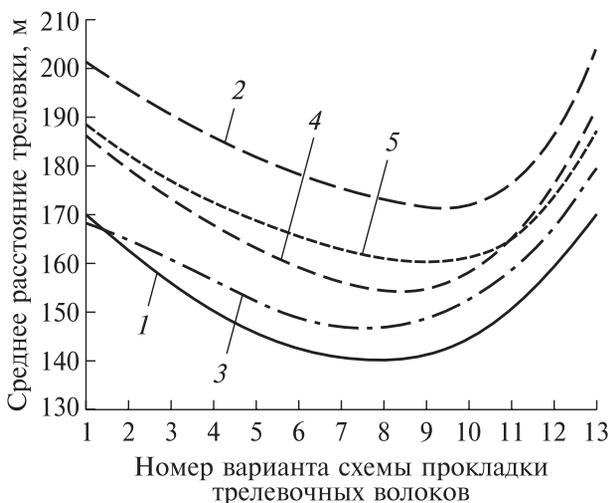


Рис. 9. Среднее расстояние трелевки по вариантам схем прокладки волоков при равномерном распределении плотности древостоя: 1–5 — номера сторон лесосеки, где расположен погрузочный пункт (базовой стороны)

Fig. 9. The average distance of skidding according to the variants of the layouts for laying the skidding trails with a uniform distribution of the density of the stand: 1–5 are the numbers of the sides of the cutting area where the loading point (base side) is located

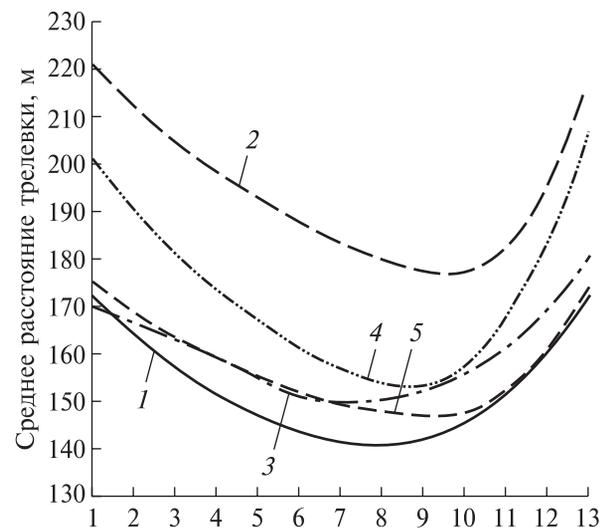


Рис. 10. Среднее расстояние трелевки по вариантам схем прокладки волоков при неравномерном распределении плотности древостоя: 1–5 — номера сторон лесосеки, где расположен погрузочный пункт (базовой стороны)

Fig. 10. The average distance of skidding according to the variants of the skidding layouts with an uneven distribution of the density of the stand: 1–5 — the numbers of the sides of the cutting area where the loading point (base side) is located

Сравнение графиков при равномерном (см. рис. 9) и неравномерном (см. рис. 10) распределении древостоя по территории лесосеки показало, что минимальные значения среднего расстояния трелевки одинаковы для обоих

случаев, но интенсивность их изменения больше при неравномерном распределении древостоя, т. е. возможность выбора схемы расположения волоков для достижения минимального значения расстояния трелевки более ограничена при неравномерном расположении древостоя.

Выводы

Установлена существенная зависимость рассматриваемых критериев технологической эффективности вариантов схем трелевочных волоков от характера распределения плотности древостоя по территории лесосеки.

Наиболее существенным влиянием на распределение площадей по количеству проходов техники и среднего расстояния трелевки, как следует из расчетов, является выбор базовой стороны лесосеки и места расположения погрузочного пункта. При выборе в качестве базовой более длинной стороны лесосеки среднее расстояние трелевки уменьшается на 15...20 % по сравнению с выбором меньшей стороны лесосеки. Для тех же условий сравнения количество парных проходов техники на части лесосеки, прилегающей к погрузочному пункту, уменьшается на 50...70 %.

Выбор угла наклона магистральных волоков, оказывает значительное влияние на исследуемые критерии эффективности процесса трелевки. При одних и тех же условиях и изменении положения магистральных волоков от направления параллельного базовой стороне лесосеки до направления вдоль разделительной линии лесосеки между участками среднее расстояние трелевки может меняться до 30 %.

Проведенное исследование и разработанная модель процесса трелевки древесины показывают, что значительное улучшение критериев данного процесса возможно при использовании подробной информации о природно-производственных условиях на лесосеке и правильно разработанного алгоритма построения схем трелевочных волоков.

Список литературы

- [1] Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Роженцова Н.И., Ширнин А.Ю. Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин. Йошкар-Ола: МГТУ, 2009. 172 с.
- [2] Han H.-S., Page-Dumroese D.S., Han S.-K., Tirocke J. Effects of Slash, Machine Passes, and Soil Moisture on Penetration Resistance in a Cut-to-length Harvesting // International Journal of forest Engineering, 2006, v. 17, no. 2, pp. 11–24.
- [3] Герасимов Ю.Ю., Карвинен С., Сюнев В.С., Катаров В.К. Воздействие лесозаготовительной техники на лесную среду // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск: БГИТУ, 2008. № 21. С. 73–75.
- [4] Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов

- при комплексном освоении лесных участков // Лесной журнал, 2017. № 4. С. 95–105.
- [5] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Уральский гос. лесотех. ун-т., 2003. 120 с.
- [6] Абрамов В.В. Обоснование оптимальных параметров работы трелевочных средств на несплошных вырубках // Лесотехнический журнал, 2011. № 1. С. 78–83.
- [7] Дербин В.М., Дербин М.В. Технология разработки лесосек с учетом сертификационных требований сохранения неэксплуатационных площадей // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 1. С. 50–54.
- [8] 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.
- [9] Хитрова Е.Г., Божбов В.Е., Ильюшенко Д.А. Расчет несущей способности лесных почвогрунтов под воздействием колесных движителей // Системы. Методы. Технологии, 2014. № 4. С. 122–126.
- [10] Пискунов М.А., Щёголева Л.В., Матвеев И.П. Моделирование расположения лесосечных отходов при использовании технологий заготовки древесины с обрезкой сучьев у пня // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2018. № 2 (38). С. 61–73.
- [11] Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.
- [12] Матросов А.В., Лаптев А.В., Савельев С.П. Математическая модель лесосечного фонда, используемая при имитации функционирования систем лесосечных машин // Технология и оборудование лесопромышленного производства. Научные труды. Выпуск 356, 2011. С. 53–56.
- [13] Виногоров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная промышленность, 1981. 272 с.
- [14] Laitila J., Asikainen A., Nuutinen Y. Forwarding of whole trees after manual and mechanized felling bunching in pre-commercial thinning // International journal of forest engineering, 2007, v. 18, no. 2, pp. 29–39.
- [15] Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 236 с.
- [16] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная пром-ть, 1977. 248 с.
- [17] Прядкин В.И., Бартенев И.М. Эколого-экономическая оценка сортиментной технологии заготовки древесины на рубках ухода // Лесотехнический журнал, 2018. № 4. С. 250–259.
- [18] Petkovic V., Potocnic I. Planning forest road network in natural forest areas: a case study in northern Bosnia and Herzegovina // Croatian journal of forest engineering, 2018, v. 39, no. 1, pp. 45–56.
- [19] Макаренко А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, БГТУ, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [20] Shirnin A.Y., Shirnin Y.A. Comparison of systems of cars for extreme conditions logging // Journal of Applied Engineering Science, 2016, t. 14, no. 2, pp. 206–212.
- [21] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу, Финляндия: НИИ леса Финляндии МЕТЛА, 2008. 126 с.
- [22] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптирующие технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации. СПб.: Издательство СПбГЛТА, 2008. 174 с.
- [23] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbacov E.N. Quantitative estimation of logging residues by line-intersect method // Croatian journal of forest engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [24] Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 99 с.
- [25] Галактионов О.Н. Технологический процесс лесозаготовок и ресурсы лесосечных отходов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 95 с.

Сведения об авторах

Макаренко Андрей Владимирович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), makarenko@mgul.ac.ru

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

Смолев Иван Александрович — соискатель кафедры ЛТ4 «Технология и оборудование лесопромышленного производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Поступила в редакцию 04.07.2019.

Принята к публикации 28.08.2019.

MINIMIZATION OF TRANSPORT LOAD ON SKIDDING TRAILS WHEN SELECTING LOGGING SCHEME FOR CUTTING AREA

A.V. Makarenko, M.A. Bykovskiy, I.V. Smolev

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

makarenko@mgul.ac.ru

Methods of estimating the production efficiency of options for laying a network of skidding trails in cutting area and possible effects of skidding machines on soils depending on quantity of passes of equipment on skidding drags are considered. The estimation of degree of rationality of variants of a network of skidding drags on average distance of a skidding is given. A model for the study was developed and its software implementation was performed to play the coordinates of the location of trees on the territory of the cutting area with a uniform and uneven density of the stand. Results of calculations of statistical estimations of distribution of density of a stand on the basis of a data array of lengths of a set of skidding packs by tractors on apiary portages for the standard parallel scheme of development of a cutting area are presented. According to the model of distribution of density of a stand zones of a forest cutting on quantity of passes of equipment on skidding trail for various options of a network of their laying are defined. The values of the areas of these zones are presented as a share of the total area of the cutting area. Conclusions are drawn about the significant influence of the density distribution of the stand on the efficiency of the skidding operation. Recommendations for designing a network of skidding trails with possible minimization of the average distance of skidding and damage to the soils of the cutting area on the trails are proposed.

Keywords: cutting area, skidding trail, cutting strip trail, network of skidding trails, distribution of density of the stand

Suggested citation: Makarenko A.V., Bykovskiy M.A., Smolev I.V. *Minimizatsiya transportnoy nagruzki na trelevochnye voloki pri vybore skhemy osvoeniya lesoseki* [Minimization of transport load on skidding trails when selecting logging scheme for cutting area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 81–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-81-91

References

- [1] Shirnin Yu.A., Rukomoynikov K.P., Rozhentsova N.I., Shirnin A.Yu. *Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov lesosek i rezhimov raboty lesozagotovitel'nykh mashin* [Substantiation of technological parameters of cutting areas and modes of operation of logging machines]. Ioshkar-Ola: MGTU, 2009, 172 p.
- [2] Han H.-S., Page-Dumroese D.S., Han S.-K., Tirocke J. Effects of Slash, Machine Passes, and Soil Moisture on Penetration Resistance in a Cut-to-length Harvesting. *International Journal of forest Engineering*, 2006, v. 17, no. 2, pp. 11–24.
- [3] Gerasimov Yu. Yu., Karvinen S., Syunev V.S., Katarov V.K. *Vozdeystvie lesozagotovitel'noy tekhniki na lesnuyu sredu* [Impact of forest machinery on forest environment] Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]. Briansk: BGTU, 2008, v. 21, pp. 73–75.
- [4] Rukomoynikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Obosnovanie srednego rasstoyaniya trelevki lesomaterialov pri kompleksnom osvoenii lesnykh uchastkov* [Rationale of the average distance of timber skidding in the complex development of forest areas]. *Lesnoy zhurnal [Forest journal]*, 2017, v. 4, pp. 95–105.
- [5] Gerts E.F. *Otsenka tekhnologii lesopol'zovaniya na lesosechnykh rabotakh* [Evaluation of forest technology in logging work]. Ekaterinburg: Ural State. Forestry. Univ., 2003, 120 p.
- [6] Abramov V.V. *Obosnovanie optimal'nykh parametrov raboty trelevochnykh sredstv na nesploshnykh vyrubkakh* [Rationale of optimum parameters working of skidding tools on partial cutting]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal [Forest engineering journal]*, 2011, v. 1, pp. 78–83.
- [7] Derbin V.M., Derbin M.V. *Tekhnologiyarazrabotki lesoseksuchetom sertifikatsionnykh trebovaniy sokhraneniya neekspluatatsionnykh ploschadey* [Technology for the development of cutting areas taking into account the certification requirements for the conservation of non-operating areas]. Moscow state forest university bulletin – *Lesnoy vestnik*, 2013, v. 1, pp. 50–54.
- [8] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forwardera 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 Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State University Technology. Ser.: Forest Ecology. Nature use]*, 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.
- [9] Khitrova E.G., Bozhbov V.E., Il'yushenko D.A. *Raschet nesushchey sposobnosti lesnykh pochvogruntov pod vozdeystviem koleznykh dvizhiteley* [Calculation of bearing capacity of forest soils under influence of wheel propellers]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methodes. Technologies]*, 2017, v. 4, pp. 122–126.
- [10] Piskunov M.A., Shchegoleva L.V., Matveev I.P. *Modelirovanie raspolozheniya lesosechnykh otkhodov pri ispol'zovanii tekhnologiy zagotovki drevesiny s obrezkoy such'ev u pnya* [Modeling the location of logging waste using wood harvesting technologies with pruned branches]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State University Technology. Ser.: Forest Ecology. Nature use]*, 2018, no. 2 (38), pp. 61–73.
- [11] Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of random processes and its engineering applications]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 2000, 383 p.
- [12] Matrosov A.V., Laptev A.V., Savel'ev S.P. *Matematicheskaya model' lesosechnogo fonda, ispol'zuemaya pri imitatsii funkcionirovaniya sistem lesosechnykh mashin* [Mathematical model of cutting fund, used for simulating the operation of the systems of logging machines]. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo proizvodstva [Technology and equipment of timber forest industry production. Scientific works]*. MGUL, 2011, v. 356, pp. 53–56.

- [13] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging work]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1981, 272 p.
- [14] Laitila J., Asikainen A., Nuutinen Y. Forwarding of whole trees after manual and mechanized felling bunching in pre-commercial thinning. International journal of forest engineering, 2007, v. 18, no. 2, pp. 29–39.
- [15] 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.
- [16] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Systems machines for logging]. Moscow: Forest Industry, 1977, 248 p.
- [17] Pryadkin V.I., Bartenev I.M. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka sortimentnoy tekhnologii zagotovki drevesiny na rubkakh ukhoda* [Ecological and economic estimation of cut-to-length harvesting technology at thinning]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forest engineering journal], 2018, v. 4, pp. 250–259.
- [18] Petkovic V., Potocnic I. Planning forest road network in natural forest areas: a case study in northern Bosnia and Herzegovina. Croatian journal of forest engineering, 2018, v. 39, no. 1, pp. 45–56.
- [19] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimizing the placement of a network of skidding trails on the cutting area] *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging production: problems and solutions. Materials of the international scientific and technical conference], Minsk, BSTU, April 26–28, 2017. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [20] Shirnin A.Y., Shirnin Y.A. Comparison of systems of cars for extreme conditions logging. Journal of Applied Engineering Science, 2016, t. 14, no. 2, pp. 206–212.
- [21] 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 Research Institute METLA, 2008, 126 p.
- [22] 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* [Environmental technologies for the development of cutting areas in the North-Western region of the Russian Federation]. SPb.: SPbGLTA, 2008, 174 p.
- [23] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbacov E.N. Quantitative estimation of logging residues by line-intersect method. Croatian journal of forest engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [24] Azarenok V.A. *Ekologizirovannye rubki les* [Eco-friendly logging]. Ekaterinburg: UGLTA, 1998, 99 p.
- [25] Galaktionov O.N. *Tekhnologicheskii protsess lesozagotovok i resursy lesosechnykh otkhodov* [Technological process of logging and resources of logging waste]. Petrozavodsk: PetrSU, 2007, 95 p.

Authors' information

Makarenko Andrey Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), makarenko@mgul.ac.ru

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

Smolev Ivan Aleksandrovich — Applicant of chair of Technology and Equipment of Logging Production of BMSTU (Mytishchi branch)

Received 04.07.2019.

Accepted for publication 28.08.2019.