

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ С НЕРАЗРАБАТЫВАЕМЫМ УЧАСТКОМ

А.В. Макаренко

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

Рассмотрен метод проектирования схем трелевочных волоков на лесосеках с наличием неразрабатываемых участков (площади молодняков, болота, территории природных объектов и т. д.) при варьировании параметров углов наклона магистральных и пасечных волоков и места расположения погрузочного пункта. Представлен разработанный алгоритм выделения однородных участков, на которых пасечные волока параллельны и примыкают к одному магистральному волоку. Для оценки эффективности вариантов схем волоков применены показатели среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы, которые рассчитаны непосредственно на основании геометрических характеристик каждого из вариантов схем волоков. Расчет значений параметров эффективности и проектирование схем волоков произведен на разработанной компьютерной программе при последовательном изменении варьируемых параметров. Представлены графики результатов расчетов среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы в зависимости от углов наклона магистральных волоков и некоторых значений координат положения погрузочного пункта. Определены диапазоны варьирования параметров эффективности и условия, при которых они принимают минимальные значения.

Ключевые слова: лесосека, пасечный волок, магистральный волок, сеть трелевочных волоков, среднее расстояние трелевки

Ссылка для цитирования: Макаренко А.В. Проектирование схем трелевочных волоков на лесосеке с неразрабатываемым участком // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 126–134.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-126-134

Проектирование лесосечных работ часто требует разработки сети трелевочных волоков для лесосек произвольной формы и с наличием неразрабатываемых участков. Такими неразрабатываемыми участками являются площади молодняков и средневозрастных насаждений, территории у рек и ручьев, болота, прогалины, участки природных объектов, имеющих природоохранное значение и др. [1]. Сеть трелевочных волоков для таких лесосек отличается многовариантностью и часто запутанностью, что затрудняет работу операторов лесозаготовительных машин [2–6].

Существуют различные подходы по проектированию и совершенствованию прокладки сети трелевочных волоков на лесосеке, учитывающие неоднородность лесорастительных условий и плотность древостоя. В работе [7] предлагается разбивать лесосеку на определенные части, имеющие примерно однородную плотность и породный состав древостоя, определять центр тяжести этих участков, после чего проектировать прокладку магистральных или пасечных волоков, по возможности, ближе к рассчитанным центрам тяжести участков. При наличии на лесосеке неразрабатываемых территорий или территорий с низкой несущей способностью грунтов в проектируемую сеть волоков рекомендуют вносить соответствующие поправки.

Автоматизированное проектирование сети трелевочных волоков на основании неоднородности несущей способности грунтов лесосеки рассмотрено в работах [8–10]. Исходными данными для проектирования в этих работах является контур лесосеки, который разбивается на участки, площадью, примерно равной территории набора трелевочной пачки, и каждому участку присваивается условный номер, соответствующий значению несущей способности грунта. Разработка схемы волоков на лесосеке выполняется с помощью компьютерной программы на основании методов динамического программирования и теории графов, гиперграфов и гиперсетей [11, 12].

Методы численного программирования и оптимизации кроме проектирования схем трелевочных волоков на лесосеке находят широкое применение при разработке сети лесовозных дорог для вывозки древесины с лесосек к месту складирования и переработки. В работе [13] рассмотрено несколько методов численного программирования, дана оценка их сложности и результативности.

Эффективное применение трелевочных машин и снижение их отрицательного воздействия на грунт находится в прямой зависимости от конфигурации схемы волоков. В работах [14, 15] рассматривается воздействие ходовой части трелевочных машин на грунты лесосеки на поворотах трелевочных волоков, наличие и месторасположение которых является важной характеристикой

трелевочной сети, показано существенное увеличение плотности и снижение пористости грунта с увеличением кривизны поворота машины для различных уклонов местности.

В работах [16–18] представлены методики проектирования сети трелевочных волоков, основывающиеся на оптимизации затрат на трелевку древесины с учетом рельефа и экологических особенностей местности. Для решения сформулированной таким образом задачи использовались жадный эвристический и метаэвристический алгоритмы, принцип Парето-оптимальных решений.

Для оценки эффективности разработанной сети волоков принято использовать набор различных критериев [4, 19–21], в частности: среднее расстояние трелевки; общий объем грузовой работы; количество проходов техники по одному месту трелевочного волока при известной несущей способности грунта; удобство передвижения машин по волокам (отсутствие тупиковых волоков, минимальное количество разворотов и др.). Для определения перечисленных критериев на практике и в научных исследованиях применяются различные подходы и методы.

Методика расчета среднего расстояния трелевки и величины грузовой работы способом интегрального суммирования элементарных грузовых работ для прямоугольных лесосек и стандартных схем расположения волоков представлена в работе [19]. В работах [22, 23] рассматривается расширение данной методики для лесосек произвольной формы путем разбиения территории на однородные треугольные и четырехугольные участки.

Рассматривая в целом используемые методы и подходы к проектированию сети трелевочных волоков и расчету критериев эффективности, следует отметить, что с их помощью решаются, хотя и принципиальные, но отдельные и частные задачи, что не позволяет отследить последовательную трансформацию сети волоков в зависимости от совокупности природно-производственных условий. Некоторые методы расчета оказываются достаточно сложными и неоднозначными, что затрудняет их программирование. Кроме того, для некоторых подходов к проектированию сети волоков свойственна существенная диспропорция в максимизации одних критериев эффективности за счет других.

Цель работы

Цель работы — разработка алгоритма и программы построения сети трелевочных волоков для лесосеки произвольной формы и с наличием неразрабатываемых участков при возможности трансформирования сети последовательным изменением параметров ориентации волоков.

Материалы и методы исследования

Проектирование схемы трелевочных волоков для разработки лесосеки начинается с выбора базовой стороны, на которой располагается погрузочный пункт, и направления основных магистральных волоков [24–26]. При наличии на лесосеке нескольких погрузочных пунктов, проектирование схемы волоков проводится для делянок, на которые разбивается лесосека по числу погрузочных пунктов. Количество применяемых магистральных волоков для разработки лесосеки (делянки), отходящих от погрузочного пункта, является важным классификационным признаком схемы разработки. Нами введено ограничение: схема волоков проектируется при двух основных магистральных волоках. Несмотря на это, общий алгоритм построения сети волоков оказывается одинаковым при любом их количестве.

Основными варьируемыми параметрами, позволяющими последовательно изменять сеть волоков, приняты направляющие углы магистральных волоков относительно базовой стороны лесосеки и место расположения погрузочного пункта, которое определяется условной точкой схождения магистральных волоков на базовой стороне. В исследовании также присутствуют следующие дополнительные (необязательные) варьируемые параметры: углы наклона групп пасечных волоков по выделенным участкам лесосеки и угол наклона линии, разделяющей площадь лесосеки на участки, с которых трелевка древесины ведется по одному из магистральных волоков.

Ориентировочная схема лесосеки с одним неразрабатываемым участком и указанием варьируемых параметров сети волоков представлена на рис. 1. На лесосеке кроме неразрабатываемых участков могут также быть расположены участки с ограничениями, например, по количеству проходов техники.

Основой алгоритма проектирования сети трелевочных волоков по рис. 1 является выделение и построение контуров однородных участков, на которые разбивается лесосека. Однородный участок представляет собой обособленную территорию лесосеки, примыкающую одной стороной (в некоторых случаях и более) к магистральному волоку, на котором пасечные волокна располагаются однотипно и параллельно. Расположение и форма однородных участков определяются исходными параметрами лесосеки (ее формой и природно-производственными условиями) и текущим положением основных магистральных волоков, которое зависит от варьируемых параметров — это углы наклона волоков и координаты начала волоков на погрузочном пункте.

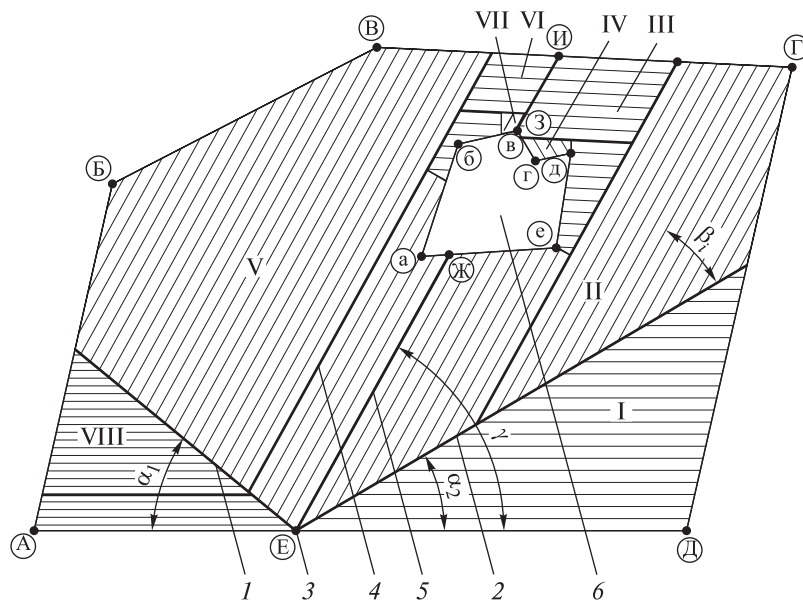


Рис. 1. Сеть волоков для разработки лесосеки с неразрабатываемым участком: 1, 2 — основные магистральные волоки; 3 — дополнительные магистральные волоки; 4 — точка пересечения основных магистральных волоков на погрузочном пункте; 5 — разделительная линия; 6 — неразрабатываемый участок; I–VIII — номера однородных участков; А–И — номера узловых точек контура лесосеки; а–е — номера узловых точек контура неразрабатываемого участка

Fig. 1. The network of skidding trails for the development of a cutting area with an undeveloped site: 1, 2 — basic main skidding trails; 3 — additional main skidding trails; 4 — the intersection point of the basic main skidding trails on the loading point; 5 — dividing line; 6 — undeveloped area; I–VIII — numbers of homogeneous plots; А–И — numbers of nodal points of the cutting area contour; а–е — numbers of nodal points of the undeveloped plot contour

Если однородные участки примыкают к основным магистральным волокам, то такие участки условно называются участками первого уровня. При построении пасек и пасечных волоков для участков первого уровня иногда возникает ситуация, когда границы очередной пасеки упираются в вогнутую границу лесосеки или границы неразрабатываемого участка. В результате может образоваться территория на лесосеке, недоступная сети пасечных волоков текущего однородного участка. В этом случае пасечный волок данной пасеки преобразуется в дополнительный магистральный волок, а на недоступной территории образуется новый однородный участок второго уровня. Если при построении пасек и прокладке пасечных волоков однородного участка второго уровня рассматриваемая ситуация повторяется, то выделяется участок третьего уровня с новым дополнительным магистральным волоком. Это продолжается до тех пор, пока в данном месте лесосеки не остается недоступных территорий. Способы выделения уровней магистральных волоков и их классификация предложены в работе [27].

Алгоритм построения сети трелевочных волоков с выделением однородных участков представ-

лен на рис. 2. Данный алгоритм использует метод рекурсии, при котором подпрограммы вызывают сами себя для построения и расчета однородных участков более высокого уровня, образуя определенную замкнутую цепочку действий. Прямой рекурсивный ход начинается при невозможности достроить очередную пасеку однородного участка текущего уровня. В этом случае построение пасеки прерывается, и программа начинает работать с участком более высокого уровня. Повышение уровня участка и циклический вызов связанным набором подпрограмм самих себя заканчивается с завершением разработки однородного участка наибольшего уровня. После этого начинается обратный рекурсивный ход, при котором понижается уровень однородных участков с одновременным их достраиванием. Следует отметить, что при выполнении обратного рекурсивного хода вследствие особенностей прокладки пасечных волоков для данных исходных условий рассматриваемой лесосеки цикл прямого рекурсивного хода может быть возобновлен.

Ключевыми процедурами алгоритма, определяющими логику работы программы (см. рис. 2), являются блоки, в которых анализируется

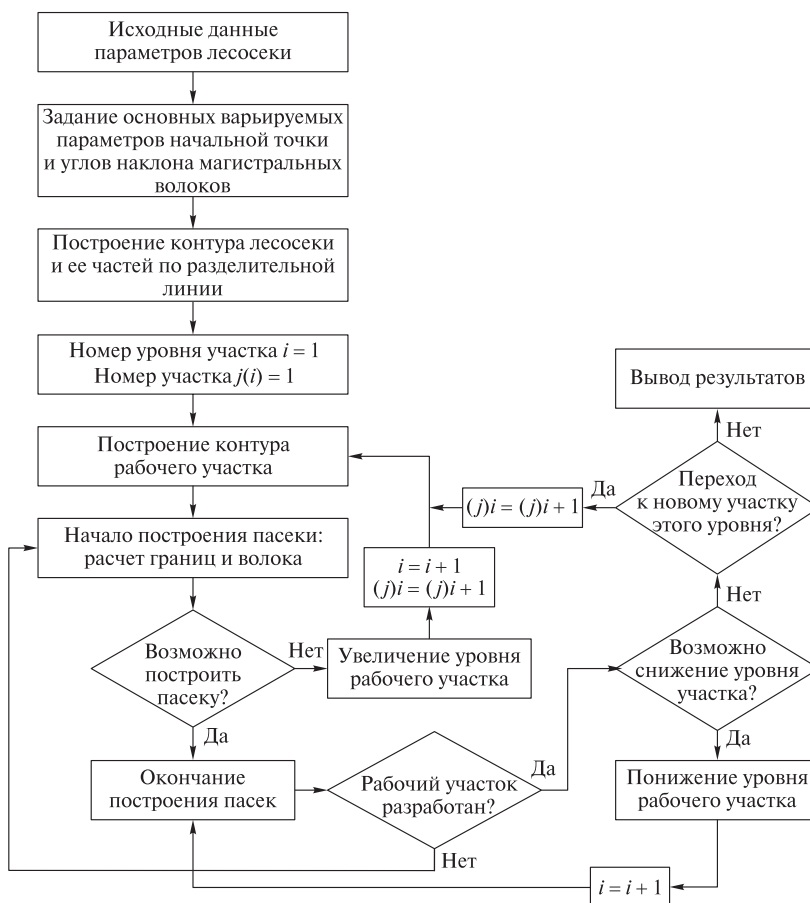


Рис. 2. Алгоритм построения сети пасечных волоков на лесосеке
 Fig. 2. Algorithm for building a network of strip cutting trail in a cutting area

возможность и выполняется построение контура очередной пасеки при известных координатах боковых границ и волока. Возможные варианты пересечения боковых границ пасек и пасечных волоков с границами контура разрабатываемого участка, представлены на рис. 3.

Анализ возможности построения пасеки основывается на сравнении длин боковых сторон пасеки и волока и номеров граничных линий участка, с которыми они пересекаются. Варианты 1–4, 10 (см. рис. 3) демонстрируют случаи построения границ пасек без образования недоступных зон лесосеки и необходимости выделения участков более высокого уровня. Для остальных вариантов построения пасек такая необходимость выделения участков следующего уровня появляется. На основании алгоритма (см. рис. 2) это означает, что построение текущей пасеки прерывается, работа программы переходит на более высокий уровень, на котором строится новый участок и пасеки этого участка.

Варианты 5–9 (см. рис. 3) показывают случаи, когда при построении контура пасеки одна из ее границ пересекается с границами неразрабатываемого участка и оказывается значительно

меньше или значительно больше пасечного волока. Обнаружение части территории данного участка, которая недоступна для машины с волока текущей пасеки, проводится на основании расчета расстояния между точками участка, которые находятся между окончаниями правой и левой границ пасеки по контуру и пасечным волоком. Если некоторые из этих расстояний оказываются больше половины ширины пасеки, то можно сделать вывод о необходимости построения нового участка более высокого уровня в составе участка текущего уровня.

Варианты 10–12 (см. рис. 3) представляют случаи построения пасек, при которых правая и левая их границы пересекаются с разными неразрабатываемыми территориями лесосеки, а пасечный волок проходит между этими территориями. Выделение участков нового более высокого уровня проводится по тому же алгоритму, что и для вариантов 5–9, но при отличии — проверка на необходимость построения новых участков проводится для обеих сторон от пасечного волока. Варианты 11 и 12 — это случаи обнаружения только одного нового участка более высокого уровня.

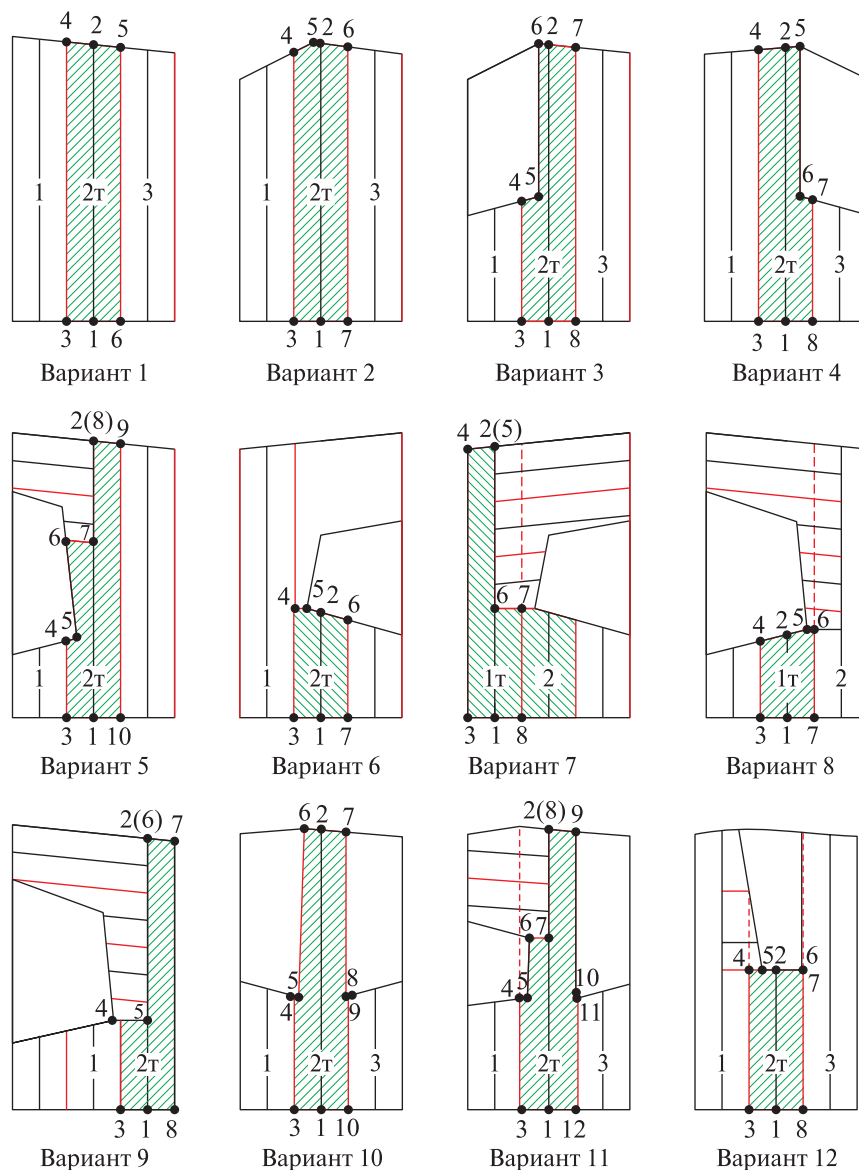


Рис. 3. Варианты построения пасек: 1–3 — номера пасек; 1Г, 2Г — номера текущих пасек построения; 1–12 — точки контура пасек с координатами $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$
Fig. 3. Variants for building the cutting strip: 1–3 — numbers of the cutting strip; 1Г, 2Г — numbers of the current cutting strips of building; 1–12 — the cutting strip points with coordinates $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$

После построения сети трелевочных волоков при определенных значениях переменных параметров проводится расчет критериев эффективности — среднего расстояния трелевки, грузовой работы и др.

Результаты и обсуждение

Результатом построения сети трелевочных волоков на территории лесосеки (делянке) является массив координат точек, определяющих границы пасек, на которые разбита лесосека, и расположение пасечных и магистральных волоков. На основании этих данных рассчитать грузovou работу Gr и среднее расстояние трелевки L_{cp} можно непосредственно по формулам

$$Gr = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \left[S_{j,i} \frac{q_{j,i}}{10000} (L_{ц,j,i} + Lm_{j,i}) \right],$$

$$L_{cp} = \frac{Gr}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} S_{j,i} \frac{q_{j,i}}{10000}},$$

где $S_{j,i}$ — площадь i -й пасеки j -го однородного участка, m^2 ;
 $q_{j,i}$ — средний запас древесины на 1 га для i -й пасеки j -го однородного участка, m^3 ;
 $L_{ц,j,i}$ — расстояние от центра тяжести пасеки до начала пасечного волока для i -й пасеки j -го однородного участка, m ;

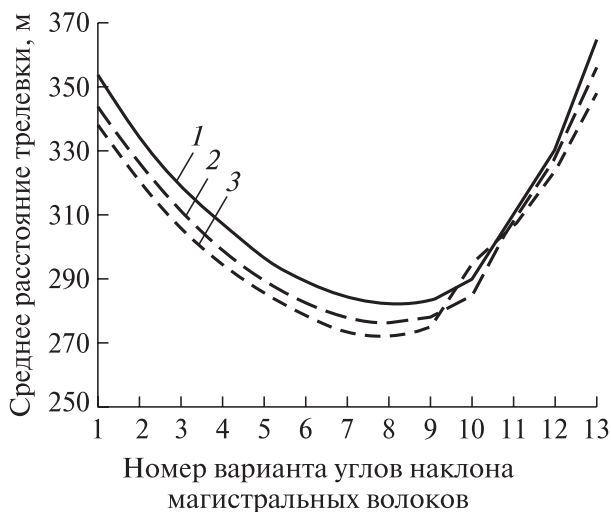


Рис. 4. Зависимость среднего расстояния трелевки от углов наклона магистральных волоков и величины смещения центра погрузочного пункта от середины базовой стороны лесосеки: 1 — при смещении центра на 10 % длины базовой стороны; 2 — при смещении центра на 6 % длины базовой стороны; 3 — при смещении центра на 2 % длины базовой стороны

Fig. 4. The dependence of the average skidding distance on the slope angles of the main skidding trails and the value of the displacement of the center of the loading point from the middle of the base side of the cutting area: 1 — when the center is shifted by 10 % of the length of the base side; 2 — when the center is shifted by 6 % of the length of the base side; 3 — when the center is shifted by 2 % of the length of the base side

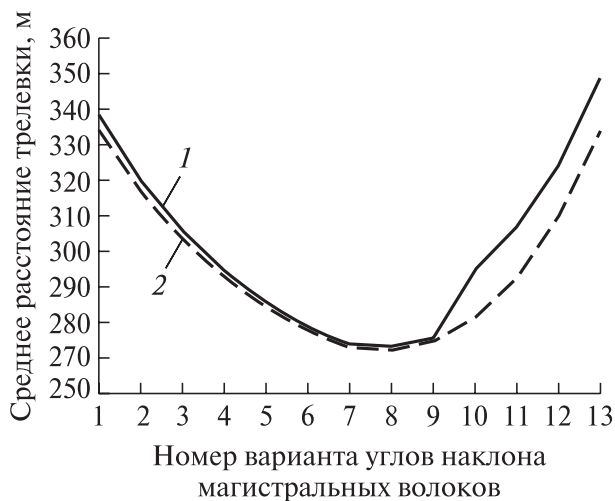


Рис. 5. Зависимость среднего расстояния трелевки от углов наклона магистральных волоков при расположении центра погрузочного пункта около середины базовой стороны лесосеки: 1 — для лесосеки с неразрабатываемым участком; 2 — для лесосеки без неразрабатываемого участка

Fig. 5. The dependence of the average skidding distance on the slope angles of the main skidding trails when the center of the loading point is located near the middle of the base side of the cutting area: 1 — for the cutting area with an undeveloped plot; 2 — for the cutting area without an undeveloped plot

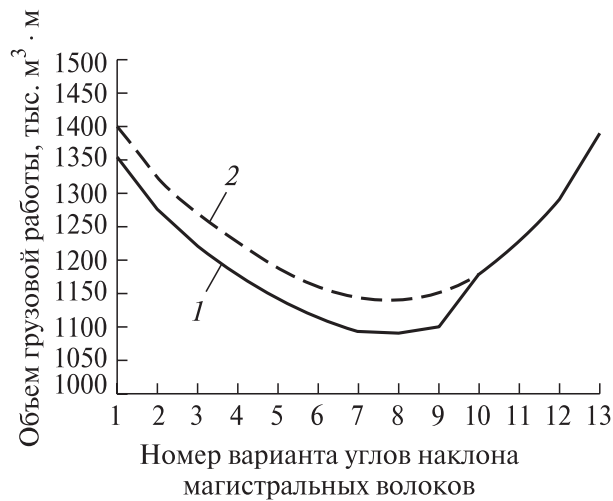


Рис. 6. Зависимость объема грузовой работы от углов наклона магистральных волоков при расположении центра погрузочного пункта около середины базовой стороны лесосеки: 1 — для лесосеки с неразрабатываемым участком; 2 — для лесосеки без неразрабатываемого участка

Fig. 6. The dependence of the volume of cargo work on the slope angles of the main skidding trails when the center of the loading point is located near the middle of the base side of the cutting area: 1 — for the cutting area with an undeveloped plot; 2 — for the cutting area without an undeveloped plot

$L_{m_{j,i}}$ — расстояние трелевки по магистральным волокам для i -й пасеки j -го однородного участка, м.

На основании разработанной математической модели и компьютерной программы рассматриваемые критерии Gr и L_{cp} были определены для нескольких вариантов схем трелевочных волоков, которые отличались значениями углов наклона магистральных волоков и центром расположения погрузочного пункта на заданные дискретные значения. Углы наклона левого и правого магистральных волоков изменялись синхронно, на 1/12 от значений углов с левой и правой стороны

от разделительной линии (см. рис. 1, 5) до базовой стороны лесосеки. Таким образом, было образовано 13 вариантов схем трелевочных волоков в зависимости от наклона магистральных волоков от начального значения, при котором волокни параллельны базовой стороне лесосеки до соединения магистральных волоков вдоль разделительной линии. Центру погрузочного пункта как месту пересечения магистральных волоков на базовой стороне лесосеки придавалось последовательно несколько положений, начиная от середины базовой стороны и далее вправо с шагом, равным 5 % относительно длины базовой стороны (рис. 4–6).

На рис. 4 приведены зависимости среднего расстояния трелевки для схемы лесосеки (см. рис. 1) от синхронизированных значений углов наклона магистральных волоков при трех вариантах положения погрузочного пункта. Как видно из рисунков, диапазон значений среднего расстояния трелевки достигает 22 %, а минимум соответствует варианту 8 расположения магистральных волоков (кривая 3), при котором правый и левый волоки имеют углы наклона $42,1^\circ$ и $62,9^\circ$ соответственно.

На рис. 5 и 6 представлены зависимости среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы от значений углов наклона магистральных волоков для варианта лесосеки (см. рис. 1) с наличием неразрабатываемого участка и для варианта той же лесосеки, но без неразрабатываемого участка. Расположение центра погрузочного пункта для обоих случаев принято вблизи середины базовой стороны лесосеки.

Как видно из рис. 5 и 6, среднее расстояние трелевки для лесосеки без неразрабатываемого участка меньше на 1...4 % по сравнению с той же лесосекой, но на которой расположен такой участок. Для величины объема грузовой работы для вариантов 1–9 результат сравнения имеет обратное значение. Данный параметр на 3...4 % больше для лесосеки без неразрабатываемого участка. Для вариантов 10–13 объем грузовой работы примерно одинаков для обеих лесосек.

Выводы

1. Предлагаемая методика и математическая модель построения сети трелевочных волоков на лесосеках неправильной формы с наличием неразрабатываемых участков позволяет последовательно трансформировать сеть трелевочных волоков с постоянным отслеживанием значений выбранных критериев эффективности. Рекурсивный способ разбиения лесосеки на однородные участки с набором параллельных пазов для каждого магистрального волока предоставляет возможность сети волоков огибать неразрабатываемые участки лесосеки, причем варианты выделения однородных участков могут быть разные, но при заранее разработанных программных процедурах.

2. Значения критериев среднего расстояния трелевки и объема грузовой работы в зависимости от углов наклона магистральных волоков и выбранного варианта разбиения лесосеки на неразрабатываемые участки могут изменяться в пределах 20...25 %, что позволяет оптимизировать расположение трелевочных волоков по данным параметрам.

3. Рассматриваемый вариант размещения неразрабатываемого участка (группа молодняков, заболоченный участок и др.) на лесосеке

приводит к некоторому увеличению среднего расстояния трелевки и уменьшению грузовой работы. При иных вариантах размещения одного или нескольких неразрабатываемых участков на лесосеке и применению других процедур для проектирования сети трелевочных волоков, значения критериев эффективности могут быть иными. На основании анализа полученных результатов можно сделать заключение, что наличие неразрабатываемых участков на лесосеке существенным образом влияет на среднее расстояние трелевки и объем грузовой работы для различных схем трелевочных волоков.

Список литературы

- [1] Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573123735> (дата обращения 02.03.2021).
- [2] Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: Изд-во УГЛТА, 1998. 99 с.
- [3] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2003. 120 с.
- [4] Виногоров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная промышленность, 1981. 272 с.
- [5] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная промышленность, 1977. 248 с.
- [6] Дербин В.М., Дербин М.В. Технология заготовки древесины с сохранением подроста // Лесотехнический журнал, 2015. Т.5. № 1 (17). С. 136–143.
- [7] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации. СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2008. 174 с.
- [8] Пискунов М.А. Использование метода динамического программирования для построения схем трелевочных волоков с учетом распределения несущей способности свойств грунта по площади лесосеки // Науковедение, 2014. Вып. 2 (21). 9 с.
- [9] Салминен Э. О., Гуров С.В., Большаков Б.М. Размещение волоков на заболоченных лесосеках // Лесная промышленность, 1988. № 3. С. 32–33.
- [10] Воронова А.М., Пискунов М.А. Моделирование параметров лесосеки для тестирования алгоритма построения системы транспортных путей // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета. Сер. Технические науки, 2014. № 6 (143). С. 88–92.
- [11] Есипов Б.А. Методы исследования операций. СПб.: Лань, 2021. 304 с.
- [12] Палий И.А. Дискретная математика. М.: Эксмо, 2008. 352 с.
- [13] Picard N., Gazull L., Freycon V. Finding Optimal Routes for Harvesting Tree Access // International J. of Forest Engineering, 2006, v. 17, pp. 35–50.
- [14] Solgi A., Naghdi R., Zenner E.K., Tsioras P.A., Hemmati V. Effects of ground-based skidding on soil physical properties in skid trail switchbacks // Croatian J. of Forest Engineering, 2019, no. 2, v. 40, pp. 341–350.
- [15] Григорьев И.В., Былев А.Б., Хахина А.М., Никифорова А.И. Математическая модель уплотняющего воздействия динамики поворота лесозаготовительной машины на боковые полосы трелевочного волока // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета, 2012. № 8–1 (129). С. 72–77.

- [16] Hosseini A., Lindroos O., Wadbro E. A holistic optimization framework for forest machine trail network design accounting for multiple objectives and machines // *Canadian J. of Forest Research*, 2019, no. 2, v. 49, pp. 111–120.
- [17] Søvde N.E., Løkketangen A., Talbot B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout // *Forest Science and Technology*, 2013, v. 9, iss. 4, pp. 187–194.
- [18] Абрамов В.В. Обоснование оптимальных параметров работы трелевочных средств на несплошных вырубках // *Лесотехнический журнал*, 2011. № 1. С. 78–83.
- [19] Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 392 с.
- [20] Кочнев А.М., Юшков А.Н. Методология выбора трелевочных волоков лесосеки // *Лесной журнал*, 2013. № 3. С. 65–70.
- [21] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу, Финляндия: Изд-во НИИлеса Финляндии (Metla), 2008. 126 с.
- [22] Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Роженцова Н.И., Ширнин А.Ю. Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2009. 172 с.
- [23] Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2017. № 4. С. 95–105.
- [24] Макаренко А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // *Лесозаготовительное производство: проблемы и решения*, Минск, 26–28 апреля 2017 г. Минск: Изд-во БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [25] Макаренко А.В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 6. С. 70–78.
- [26] Makarenko A.V., Redkin A.K., Bykovsky M.A., Shadrin A.A. Using space images of forest territories for their statistical analysis // *AIP Conference Proceedings*, 2019, v. 2171, iss. 1, pp. 158–169.
- [27] 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.

Сведения об авторе

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

Поступила в редакцию 01.07.2021.

Одобрено после рецензирования 23.09.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

DESIGN OF SKIDDING TRAILS AT UNTAPPED CUTTING AREA

A.V. Makarenko

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

makarenko@mgul.ac.ru

The method of designing variants of skidding trails nets is considered for cutting areas which has undeveloped areas (areas of young trees, swamps, territories of natural objects, etc.) when parameters are changed for slope angles of main and strip skid trails and the location of the loading point. An algorithm is developed and presented for allocation homogeneous areas where strip skidding trails are located parallel to each other and adjacent to one main skidding trail. To assess the effectiveness of variants of trail nets, the indicators were used by the average skidding distance and volume of cargo work, which are calculated directly on the basis of geometric characteristics for each of variants of trail nets. The calculation of the values of the efficiency indicators and the design of the trail nets is carried out by a developed computer program with a sequential change in the variable parameters. Graphs of the results are presented calculations of the average skidding distance and the volume of cargo work which depend on slope angles of the main skid trails and some values of the coordinates of the loading point. It was determined the ranges of variation of the efficiency parameters and the conditions under which they take the minimum values.

Keywords: cutting area, strip skidding trail, main skidding trail, network of skidding trails, average skidding distance

Suggested citation: Makarenko A.V. *Proektirovanie skhem trelevochnykh volokov na lesoseke s nerazrabatyvaemym uchastkom* [Design of skidding trails at untapped cutting area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 126–134. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-126-134

References

- [1] *Pravila zagotovki drevesiny i osobennosti zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, ukazannykh v stat'e 23 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii* [The rules of timber harvesting and the specifics of timber harvesting in the forest districts specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573123735> (accessed 02.03.2021).
- [2] Azarenok V.A. *Ekologizirovannyye rubki lesa* [Eco-friendly forest felling]. Yekaterinburg: UGLTA, 1998, 99 p.

- [3] Gerts E.F. *Otsenka tekhnologii lesopol'zovaniya na lesosechnykh rabotakh* [Assessment of the technology of forest use in logging operations]. Yekaterinburg: Uralsky GLTU, 2003, 120 p.
- [4] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging works]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1981, 272 p.
- [5] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Forestry machine systems]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1977, 248 p.
- [6] Derbin V.M., Derbin M.V. *Tekhnologiya zagotovki drevesiny s sokhraneniem podrosta* [Wood harvesting technology with preservation of undergrowth]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2015, v. 5, no. 1 (17), pp. 136–143.
- [7] 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* [Medium-sparing technologies for the development of cutting areas in the north-western region of the Russian Federation]. St. Petersburg: SPbLTA, 2008, 174 p.
- [8] Piskunov M.A. *Ispol'zovanie metoda dinamicheskogo programmirovaniya dlya postroeniya skhem trelevochnykh volokov s uchetom raspredeleniya nesushchey sposobnosti svoystv grunta po ploshchadi lesoseki* [Using the dynamic programming method for constructing skidding trails schemes taking into account the distribution of the bearing capacity of soil properties over the area of the cutting area]. *Naukovedenie*, 2014, no. 2 (21), 9 p.
- [9] Salminen E. O., Gurov S.V., Bol'shakov B.M. *Razmeshchenie volokov na zabolochennykh lesosekakh* [Placement of trails on boggy logging areas]. *Lesnaya promyshlennost'* [Timber industry], 1988, no. 3, pp. 32–33.
- [10] Voronova A.M., Piskunov M.A. *Modelirovanie parametrov lesoseki dlya testirovaniya algoritma postroeniya sistemy transportnykh putey* [Modeling of cutting area parameters for testing the algorithm for constructing a system of transport routes]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Scientific notes of Petrozavodsk State University. Ser. Technical Sciences], 2014, no. 6 (143), pp. 88–92.
- [11] Esipov B.A. *Metody issledovaniya operatsiy* [Operations research methods]. St. Petersburg: Lan', 2021, 304 p.
- [12] Paliy I.A. *Diskretnaya matematika* [Discrete Math]. Moscow: Eksmo, 2008, 352 p.
- [13] Picard N., Gazull L., Freycon V. Finding Optimal Routes for Harvesting Tree Access. *International J. of Forest Engineering*, 2006, v. 17, pp. 35–50.
- [14] Solgi A., Naghdi R., Zenner E.K., Tsiaras P.A., Hemmati V. Effects of ground-based skidding on soil physical properties in skid trail switchbacks. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2019, no. 2, v. 40, pp. 341–350.
- [15] Grigor'ev I.V., Bylev A.B., Khakhina A.M., Nikiforova A.I. *Matematicheskaya model' uplotnyayushchego vozdeystviya dinamiki povorota lesozagotovitel'noy mashiny na bokovye polosy trelevochnogo voloka* [Mathematical model of the compacting effect of the dynamics of the turn of the logging machine on the side strips of the skidding trail]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 8–1 (129), pp. 72–77.
- [16] Hosseini A., Lindroos O., Wadbro E. A holistic optimization framework for forest machine trail network design accounting for multiple objectives and machines. *Canadian J. of Forest Research*, 2019, no. 2, v. 49, pp. 111–120.
- [17] Søvde N.E., Løkketangen A., Talbot B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. *Forest Science and Technology*, 2013, v. 9, iss. 4, pp. 187–194.
- [18] Abramov V.V. *Obosnovanie optimal'nykh parametrov raboty trelevochnykh sredstv na nesploshnykh vyrubkakh* [Substantiation of optimal parameters of operation of skidders in non-continuous felling areas]. *Lesotekhnicheskii Zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 1, pp. 78–83.
- [19] Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Logging technology and machines]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1990, 392 p.
- [20] Kochnev A.M., Yushkov A.N. *Metodologiya vybora trelevochnykh volokov lesoseki* [Methodology for the selection of logging trails of the cutting area]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2013, no. 3, pp. 65–70.
- [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: Finland: Research Institute of Finnish Forests (Metla), 2008, 126 p.
- [22] 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 operating modes of harvesting machines]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009, 172 p.
- [23] Rukomoynikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Obosnovanie srednego rasstoyaniya trelevki lesomaterialov pri kompleksnom osvoenii lesnykh uchastkov* [Substantiation of the average distance of skidding timber in the complex development of forest areas]. *IVUZ Lesnoy Zhurnal*, 2017, no. 4, pp. 95–105.
- [24] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimization of the placement of a network of skid trails in the logging area]. *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya* [Logging production: problems and solutions], Minsk, BSTU, April 26–28, 2017. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [25] Makarenko A.V. *Modelirovanie i otsenka effektivnosti prokladki trelevochnykh volokov na lesoseke* [Modeling and Evaluation of the Efficiency of Laying Skid Trails in the Cutting Area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, v. 22, no. 6, pp. 70–78.
- [26] Makarenko A.V., Redkin A.K., Bykovskiy M.A., Shadrin A.A. Using space images of forest territories for their statistical analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2019, v. 2171, iss. 1, pp. 158–169.
- [27] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forvardera i postroenie optimal'nykh skhem raspolozheniya trelevochnykh volokov na lesoseke* [Distribution of forwarder passes and construction of optimal layouts of skid trails in the logging area]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.

Author's information

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

Received 01.07.2021.

Approved after review 23.09.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.