

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОКЛАДКИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

**А.В. Макаренко**

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

Рассмотрены принципы разработки имитационной модели проектирования сети трелевочных волоков и выполнения трелевки древесины при определении критериев эффективности рассматриваемых и рассчитываемых вариантов. В модели используются следующие критерии эффективности: объем грузовой работы, среднее расстояние трелевки, количество собираемых трелевочных групп (пачек) с одной пасеки, количество проходов техники по одному волоку и по одному месту. Исследованы основные элементы предлагаемой имитационной модели, позволяющие детально характеризовать распределение древостоя по лесосеке, задавать и определять координаты границ лесосеки и располагаемых на ней магистральных и пасечных волоков, выполнять перебор вариантов расположения сети волоков, производить последовательный расчет сбора трелевочных групп (пачек), рассчитывать выбранный набор критериев эффективности. В качестве результатов работы имитационной модели, построенной по изложенной методике, приведены некоторые полученные зависимости в виде графиков. Представлена зависимость значения грузовой работы на трелевке от последовательно изменяемого угла наклона магистральных волоков для четырех рассматриваемых лесосек, различных по форме и площади. Далее для одной из лесосек дана зависимость грузовой работы от схемы прокладки волоков и запаса древесины на единицу площади. Рассмотрены графики распределения числа пасек по количеству собираемых с них пачек в зависимости от варианта прокладки трелевочных волоков (угла наклона магистральных волоков). Для каждого варианта распределения числа пасек определены статистические характеристики: среднее значение и среднее квадратическое отклонение, которые также представлены в виде графиков. Сделаны выводы и даны рекомендации по применению разработанных методик и модели для проектирования рациональных технологических схем разработки лесосек на основании особенностей распределения древостоя по ее территории.

**Ключевые слова:** трелевочный волок, пасека, лесосека, распределение древостоя, грузовая работа, сеть волоков

**Ссылка для цитирования:** Макаренко А.В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78

Для оценки эффективности прокладки сети трелевочных волоков на лесосеке используются различные наборы критериев, отражающих производственно-экономические показатели технологического процесса, степень лесохозяйственного и экологического воздействия. Такими критериями являются: грузовая работа по трелевке лесоматериалов, среднее расстояние трелевки, площадь лесосеки, занимаемая трелевочными волоками, нагрузка на пасечные и магистральные волоки в зависимости от количества проходов техники по одному месту [1–8]. Следует отметить, что некоторые критерии могут иметь противоречия друг с другом. Например, увеличение ширины пасек, приводящее к уменьшению доли площади лесосеки занятой волоками, повышает нагрузку на каждый волок и воздействие на почво-грунты лесосеки.

### Цель работы

При постановке задачи оптимального проектирования сети трелевочных волоков по территории лесосеки с учетом перечисленных критериев возникает необходимость разработки различных математических моделей, описывающих кон-

кретные элементы технологического процесса лесосечных работ и исходные данные природно-производственных условий лесосеки. Такими моделями являются: математическое описание распределения древостоя на лесосеке [3], распределение параметров деревьев древостоя [9, 10], структурированные данные координат границ лесосеки, трелевочных волоков и пасек, запрограммированные методы расчета этих координат [5], имитационные модели выполнения технологических операций и др.

Комплекс таких моделей и методов расчета образует общую математическую модель сложной динамической системы технологического процесса разработки лесосеки, которая позволяет выполнить поиск оптимальной сети трелевочных волоков для конкретной лесосеки и системы машин.

Цель статьи — разработка имитационной математической модели расположения трелевочных волоков на лесосеке, на которой задано распределение древостоя по ее территории, и определение зависимостей отдельных указанных критериев эффективности проектируемой сети трелевочных волоков от варьируемых параметров условий выполнения технологических операций лесосечных работ.

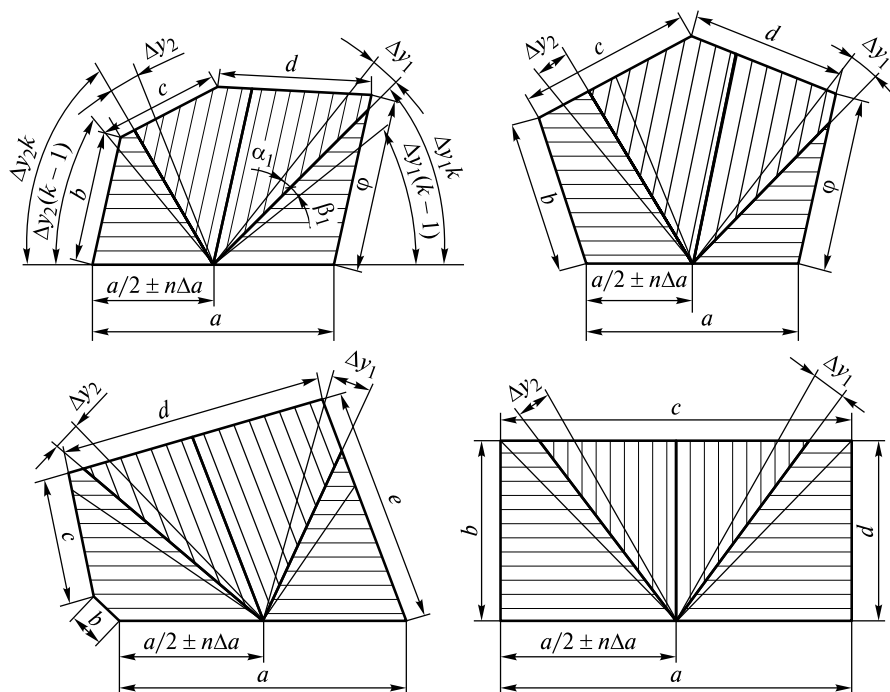


Рис. 1. Основные геометрические параметры трелевочной сети на примерах лесосек различной конфигурации

Fig. 1. The main geometrical parameters of the logging network using examples of logging sites of various configurations

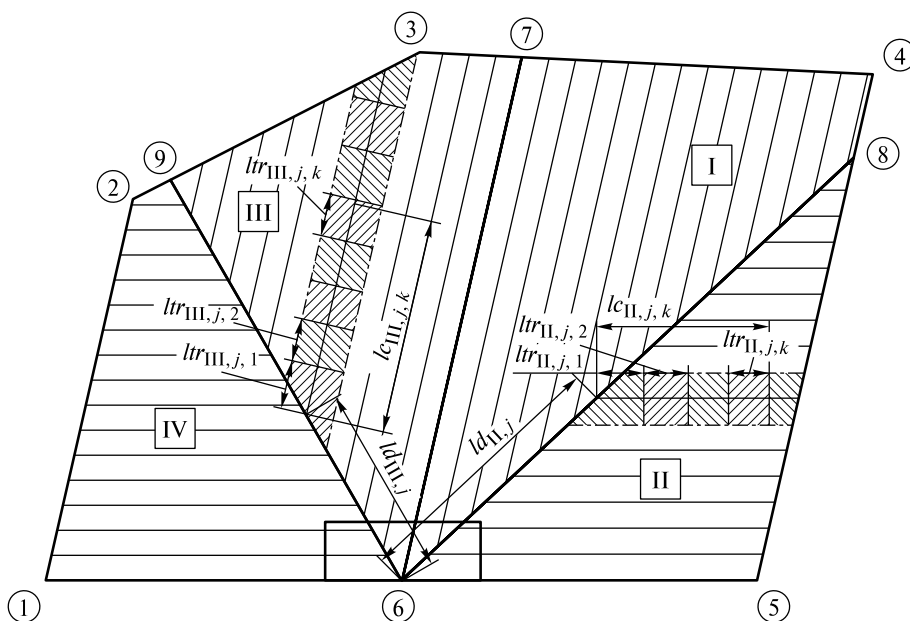


Рис. 2. Схема лесосеки для определения критериев эффективности прокладки сети трелевочных волоков: I-IV — номера участков лесосеки; 1-9 — номера точек пересечения границ лесосеки и магистральных волоков;  $i, j, k$  — номера участка, пасеки и трелевочной группы (пачки) соответственно;  $lc$  — расстояние трелевки по  $j$ -му пасечному волоку  $i$ -го участка для  $k$ -й трелевочной группы;  $ld$  — расстояние трелевки для  $j$ -й пасеки по магистральному волоку  $i$ -го участка;  $ltr$  — расстояние сбора  $k$ -й трелевочной группы по  $j$ -й пасеке для  $i$ -го участка

Fig. 2. The cutting area diagram to determine the criteria for the effectiveness of laying a network of logging trails: I-IV — the numbers of sections of the cutting area; 1-9 — numbers of points of intersection of the boundaries of the cutting area and main portages;  $i, j, k$  — numbers of the site, apiary and skidding group (pack), respectively;  $lc$  — is the distance of skidding along the  $j$ -th beehive fiber of the  $i$ -th site for the  $k$ -th skidding group;  $ld$  — is the skidding distance for the  $j$ -th apiary along the trunk fiber of the  $i$ -th segment;  $ltr$  — collection distance of the  $k$ -th skidder along the  $j$ -th apiary for the  $i$ -th leg

## Материалы и методы

Проектирование сети трелевочных волоков на лесосеке [9–14] производится на основании неизменных геометрических параметров самой лесосеки и переменных геометрических параметров, определяющих расположение волоков. Последовательное изменение переменных геометрических параметров расположения волоков позволяет преобразовывать всю сеть волоков и на основании используемых критериев эффективности определять наиболее оптимальный или компромиссный вариант прокладки для данной лесосеки. Такими переменными параметрами могут являться расположение погрузочного пункта на лесосеке как место начала магистральных трелевочных волоков, углы наклона магистральных волоков относительно базовой стороны лесосеки (стороны, где находится погрузочный пункт), углы примыкания пасечных волоков к магистральным, ширина пасек, места и углы искривления магистральных волоков, если такие есть [6, 8, 10, 11]. Примеры прокладки сети трелевочных волоков с указанием изменяемых геометрических параметров представлены на рис. 1 для нескольких вариантов конфигураций лесосек.

Определение значений критериев эффективности сети трелевочных волоков при известных геометрических параметрах сети, параметрах лесосеки и распределения древостоя по территории лесосеки требует детального рассмотрения технологических операций по трелевке древесины, что возможно при использовании имитационного моделирования. Данный подход предусматривает выделение отдельных площадей лесосеки для сбора каждой трелевочной группы (трелеваемой пачки лесоматериалов) и определение расстояния трелевки для этой группы. Общий объем грузовой работы и среднее расстояние трелевки на лесосеке [15] определяется на основании суммирования грузовой работы и расстояния трелевки каждой трелевочной группы. Пример использования изложенного подхода для определения применяемых критериев эффективности сети трелевочных волоков показан на рис. 2 применительно к первой лесосеке (см. рис. 1) с задаваемыми размерами длин ее сторон.

При компьютерной программной реализации имитационного моделирования трелевки с рассмотрением выполнения данной операции по каждой трелевочной группе (пачки) выражения для определения общей грузовой работы на лесосеке и среднего расстояния трелевки выглядят следующим образом:

$$R = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}} \left[ q_{i,j,k} \left( ltr_{i,j,k} + \sum_{n=1}^{k-1} ltr_{i,j,n} - lmcpr + ld_{i,j} \right) \right];$$

$$L_{ср} = \frac{R}{Q_i},$$

где  $M$  — количество однородных участков лесосеки с параллельным набором пасек, стыкующихся с одним магистральным волоком;

$N_i$  — количество пасек на  $i$ -м однородном участке;

$K_{ij}$  — количество формируемых трелевочных групп (пачек) на  $j$ -й пасеке  $i$ -го участка;

$q_{i,j,k}$  — объем  $k$ -й трелевочной группы, собранной на  $j$ -й пасеке  $i$ -го участка;

$ltr$  — расстояние сбора  $k$ -й трелевочной группы по  $j$ -й пасеке для  $i$ -го участка;

$lmcpr$  — расстояние от места крайней стоянки трелевочного трактора при наборе пачки до места окончания набора этой пачки;

$ld$  — расстояние трелевки для  $j$ -й пасеки по магистральному волоку  $i$ -го участка;

$Q_i$  — общий запас древесины на лесосеке.

Важной отличительной особенностью определения критериев эффективности прокладки сети трелевочных волоков с применением имитационного моделирования от использования общих аналитических формул [2] является подход к показателям, характеризующим распределение лесонасаждения по территории лесосеки. В аналитических выражениях принято делать допущение, что лесонасаждение распределено по площади лесосеки равномерно, с одинаковой плотностью. Таким образом, среднее расстояние трелевки и объем грузовой работы будут зависеть только от формы территории лесосеки и расположения трелевочных волоков. При имитационном моделировании, когда набор деревьев для формирования трелевочной группы с текущей части пасеки производится индивидуально, существует необходимость учитывать расположение и объем каждого дерева или, в усредненном виде, изменчивость плотности распределения древостоя по территории лесосеки.

Длина участка пасеки, с которого собирается полная трелевочная группа (пачка) при известных исходных данных — расположения деревьев на лесосеке, их диаметре и объеме, породе, классе товарности, а также используемого способа рубки (выборочная рубка или сплошная), определяется из выражения

$$ltr_{i,j,k} = Yd_{i,j,ii} - (lc_{i,j,k-1} + lmcpr),$$

$$ii = \max \left\{ ii \geq 0 : \sum_{ii=(k-1)_i+1}^{k_{ii}} q_{ii} \leq Q_T \right\},$$

где  $Yd_{i,j,ii}$  — расстояние до последнего дерева  $k$ -й трелевочной группы от начала пасеки до перпендикуляра от дерева к пасечному волоку;

$lc_{i,j,k}$  — расстояние по пасечному волоку от окончания сбора  $k$ -й трелевочной группы для  $j$ -й пасеки  $i$ -го участка лесосеки до места примыкания пасеки к магистральному волоку;

$ii$  — порядковый номер дерева на пасеке;

$k_{ii}$  — последний номер дерева для  $k$ -й трелевочной группы;

$q_{ii}$  — объем  $ii$ -го дерева;

$Q_T$  — максимальный объем трелевочной пачки для данного типа трактора.

Отражение индивидуальных особенностей распределения лесонасаждения по территории конкретной лесосеки в имитационной модели возможно либо при использовании аэрофото-съемки, космической съемки или непосредственного перечета деревьев, либо в исследовательских целях, при разыгрывании расположения деревьев и их качественных характеристик. Параллельное использование двух этих способов в имитационной модели требует разработки двух различных процедур для обработки по-разному заданной информации и подготовки к дальнейшему ее использованию в расчетах. В результате данные о распределении лесонасаждения по территории лесосеки должны представлять собой общий массив, элементами которого являются записи о размерно-качественных характеристиках конкретных деревьев и их координат относительно какой-либо стороны лесосеки.

На следующем этапе, когда данные о лесонасаждении подготовлены и собраны в общий массив, задается исследуемая схема прокладки трелевочных волоков [16–19], выделяются границы пасек и производится разбивка общего массива на подмассивы, элементами которых являются характеристики деревьев, расположенных в пределах одной пасеки. Совмещенные схемы разработки лесосеки с нанесением рассматриваемой сети трелевочных волоков и особенностей распределения лесонасаждения по территории лесосеки представлены на рис. 3.

Для отражения распределения лесонасаждения на представленных схемах территория лесосеки разбита на квадраты с длиной стороны 10 м. В зависимости от количества попавших деревьев цвет квадрата меняется от белого к темно-зеленому. Белый цвет показывает отсутствие деревьев в данном квадрате. Для окрашенных квадратов тональность зеленого цвета усиливается с приращением количества попавших деревьев в квадрат на одно дерево. Квадраты темно-зеленого цвета соответствуют попаданию в них более 9 деревьев.

При известном распределении лесонасаждения по лесосеке и заданной схеме расположения трелевочных волоков может быть определено количество проходов трелевочных машин по одному месту трелевочного волока в зависимости от текущего расстояния от начала волока. При использовании имитационного моделирования [20] и поштучном комплектовании каждой трелевочной группы (пачки) количество проходов техники по одному месту волока определяется из формулы

$$N_{ip}(l) = 2(K_{ip} - k + 1):$$

$$: l \in [lc_{k-1}, lc_{k-1} + ltr_k - lmc_p],$$

где  $l$  — текущее расстояние по пасечному волоку;

$K_{ip}$  — количество трелевочных групп (пачек лесоматериалов), собираемых с рассматриваемой пасеки и определенных ранее;

$k$  — номер трелевочной группы (участка пасеки, с которой собирается полная пачка для трелевки);

$lc_{k-1}$  — расстояние по пасечному волоку от его начала до места окончания сбора  $(k - 1)$ -й трелевочной группы;

$ltr_k$  — длина пасеки, на которой собирается трелевочная группа.

В последней формуле у переменных  $lc$  и  $ltr$  приведено только одно значение индекса —  $k$  (номер трелевочной группы), так как расчет количества проходов техники  $N_{ip}$  производится для конкретного участка лесосеки и конкретной пасеки.

Количество трелевочных групп  $K_{ip}$ , значение которых используется в предыдущей формуле, можно определить двумя способами. При первом способе значение  $K_{ip}$  определяется как частное от деления запаса ликвидной древесины на пасеке на средний объем трелевочной пачки. Однако в этом случае возникновение даже небольшой ошибки может привести к неправильной работе всей имитационной модели.

Второй способ предусматривает непосредственный подсчет трелевочных групп (пачек) при их последовательном комплектовании спиленными деревьями или полученными сортаментами на конкретной пасеке при имитации производственного процесса на разработанной модели. Данный способ выражается формулой

$$K_{ip} = \max \{ K_{ip} \geq 0 : \sum \max \{ k_i \geq 0 :$$

$$: \sum q_j \leq Q_T \} \sum = K_P \},$$

где  $K_P$  — количество деревьев на пасеке, определяемое на основании данных по конкретной лесосеке или разыгранное при помощи имитационного моделирования.

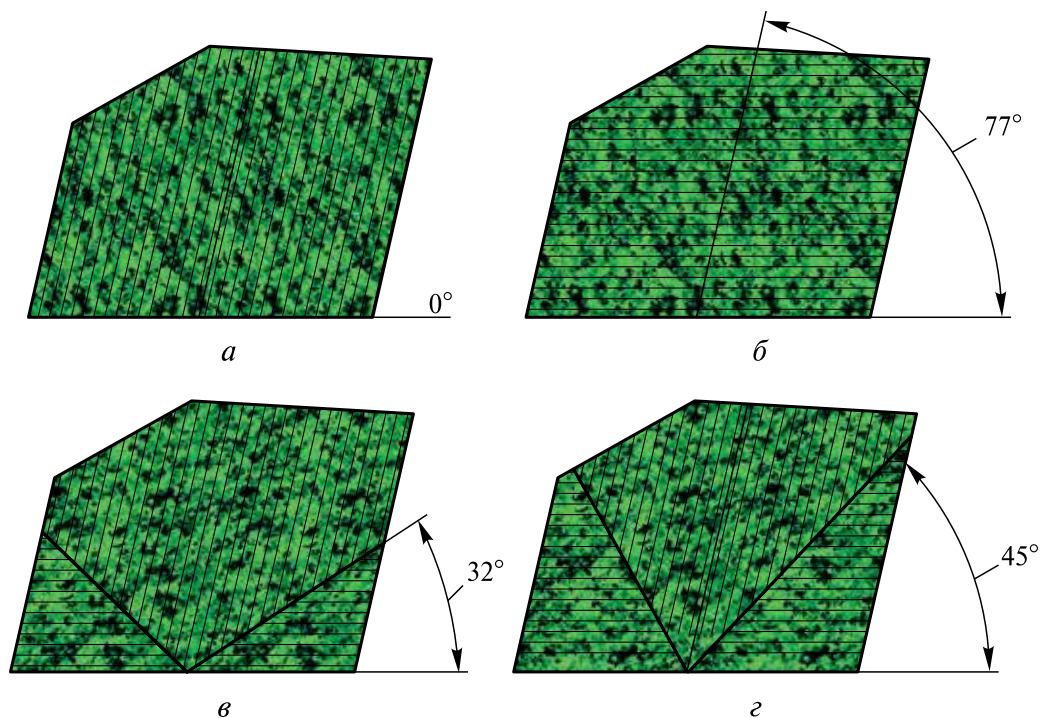


Рис. 3. Варианты схем прокладки трелевочных волоков при обозначении распределения лесонасаждения по территории лесосеки: а — шаг 1; б — шаг 13; в — шаг 6; г — шаг 8

Fig. 3. Options for the construction of skidding dies for designating the distribution of afforestation throughout the cutting area: а — step 1; б — step 13; в — step 6; г — step 8

## Результаты и обсуждение

Определение рассматриваемых параметров эффективности схем прокладки трелевочных волоков по представленным выражениям (грузовой работы, среднего расстояния трелевки, количества проходов техники по волоку) выполнялось с помощью разработанной имитационной модели [8, 20]. Исходные условия моделирования приняты следующие: запас на гектаре изменялся в диапазоне от 180 до 250 м<sup>3</sup> с шагом 10 м<sup>3</sup>, ширина пасеки — от 16 до 21 м с шагом 0,5 м, средний диаметр деревьев — 26 см при среднем квадратическом отклонении 4,5. Объем дерева определялся для сосны первого разряда высот. В модели были произведены расчеты для четырех типов лесосек, представленных на рис. 1, и для 13 вариантов прокладки трелевочных волоков по схемам на рис. 3.

Некоторые результаты расчета параметров эффективности сети трелевочных волоков на имитационной модели представлены на рис. 4–6.

На рис. 4 показано изменение грузовой работы для четырех рассмотренных типов лесосек в зависимости от вариантов прокладки трелевочных волоков при ширине пасеки 20 м, среднем запасе на гектаре 200 м<sup>3</sup> и максимальной зоне собираемых лесоматериалов перед машиной до 4 м. Значение грузовой работы представлено в виде относительной величины в долях от среднего значения. Как

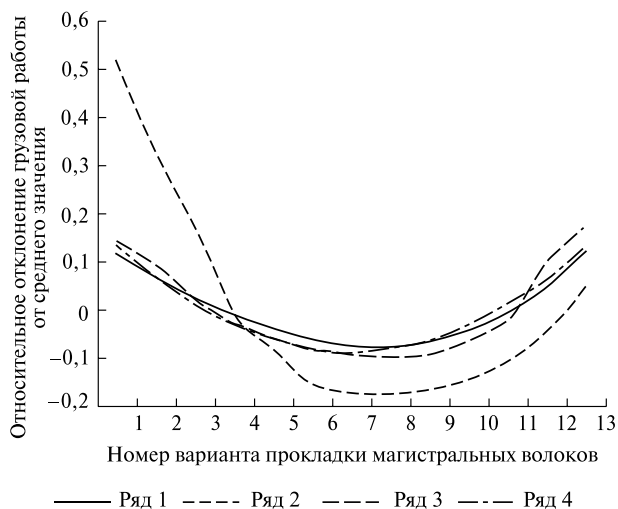
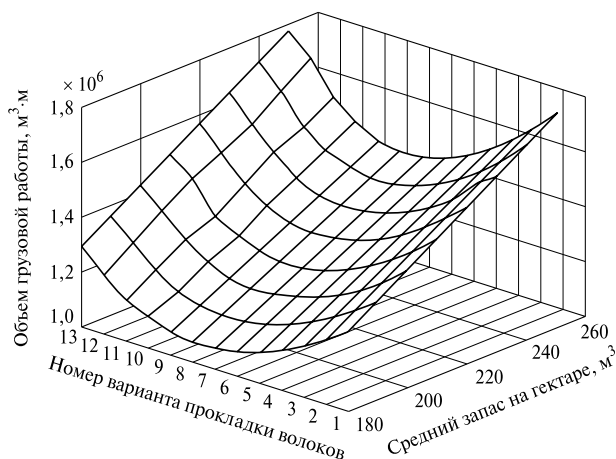


Рис. 4. Отклонение значений грузовой работы от среднего значения

Fig. 4. The deviation of the values of freight work from the average

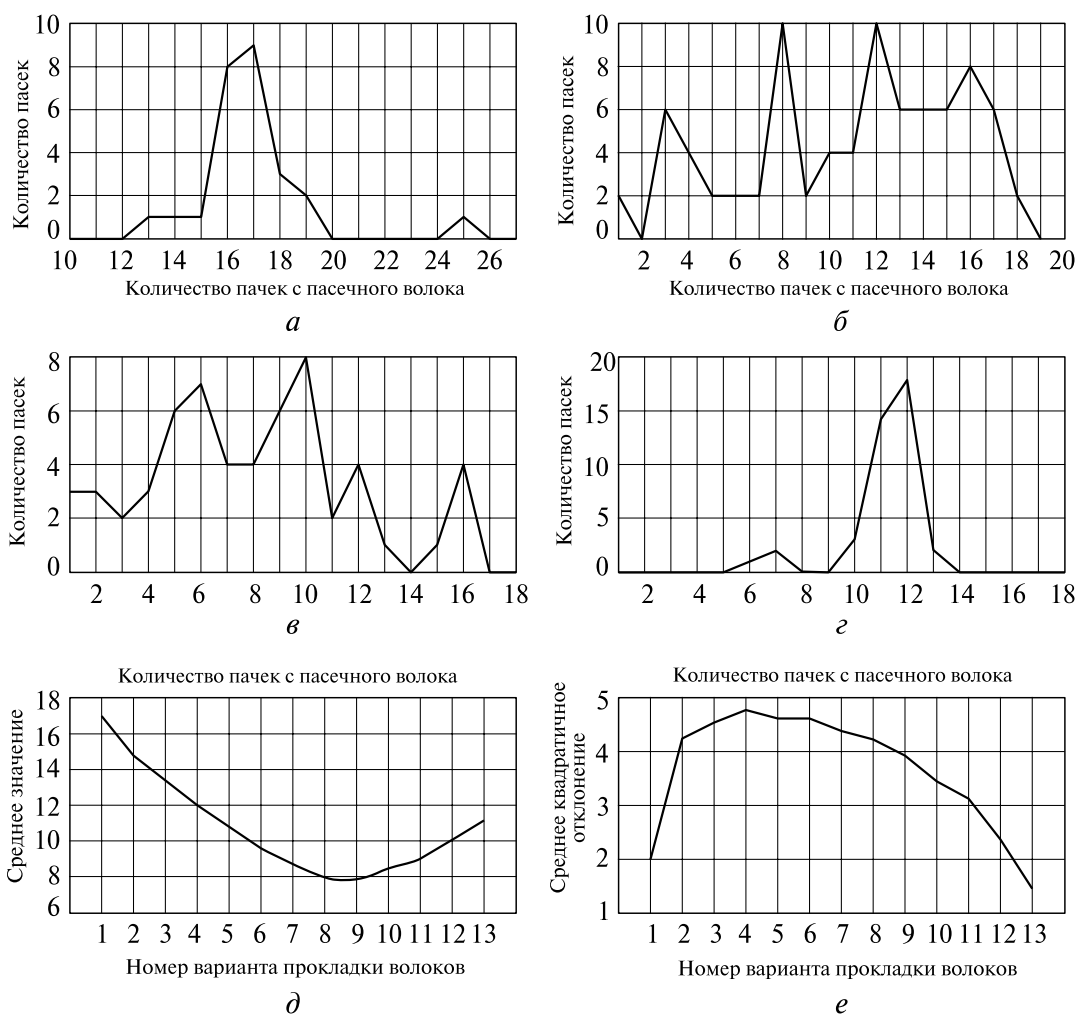
видно из графиков, параметр грузовой работы достигает минимума при прокладке магистрального трелевочного волока по диагонали к дальней части лесосеки, причем конкретное значение угла наклона магистрального волока определяется индивидуально для каждой лесосеки. В среднем, отклонение значения грузовой работы от среднего значения составляет от +15...18 % до -8...10 %. Наиболее сильные отклонения значения грузовой



**Рис. 5.** Объем грузовой работы для первой лесосеки  
**Fig. 5.** The amount of freight work for the first cutting area

работы характерны для лесосек неправильной формы и вытянутых в глубину от базовой стороны лесосеки, на которой расположен погрузочный пункт (рис. 4, ряд 2).

На рис. 5 представлен трехмерный график изменения грузовой работы на трелевке древесины для первой лесосеки (см. рис. 1) в зависимости от двух параметров: варианта прокладки сети трелевочных волоков и среднего запаса на гектаре. Каждое сечение графика при фиксированном запасе на гектаре близко по форме к графику той же лесосеки на рис. 4. Изменение значения грузовой работы по вариантам прокладки волоков приблизительно пропорционально изменению запаса на гектаре при условии, что характер распределения древостоя по территории лесосеки не имеет существенных отличий.



**Рис. 6.** Графики распределения количества пасек по максимальному числу собираемых с них трелевочных групп (пачек) для нескольких вариантов прокладки трелевочных волоков (а, б, в, г), среднего (д) и среднего квадратического отклонений (е) количества трелевочных групп по пасекам в зависимости от варианта прокладки трелевочных волоков

**Fig. 6.** Graphs of the distribution of the number of apiaries by the maximum number of skidding groups (packs) collected from them for several options for laying skidding dies (а, б, в, г), average (д) and standard deviation (е) depending on the option of laying skidding tracks

На рис. 6 представлены графики распределения количества пасек по максимальному числу собираемых с них трелевочных групп (пачек) для нескольких вариантов прокладки трелевочных волоков (*a*, *b*, *в*, *г*), среднего (*д*) и среднего квадратического отклонений (*е*) количества трелевочных групп по пасекам в зависимости от варианта прокладки трелевочных волоков. Графики на рис. 6, *a*, *г* построены для 1-го и 13-го вариантов прокладки трелевочных волоков, при которых все пасечные волока располагаются параллельно одной из сторон лесосеки. Графики *b* и *в* построены для промежуточных вариантов прокладки трелевочных волоков 5 и 9.

Заметные отличия между графиками *a*, *г* и *b*, *в* на рис. 6 объясняются особенностями распределения длин пасечных волоков для разных вариантов их прокладки. Для вариантов 1 и 13 длины пасечных волоков имеют небольшой разброс значений, что хорошо видно из рис. 3, и количество формируемых на этих пасеках трелевочных групп примерно одинаково. У промежуточных вариантов прокладки трелевочных волоков 5 и 9 магистральные волока находятся вблизи диагоналей фигуры лесосеки, соединяющих погрузочный пункт и дальние углы сторон лесосеки. Это приводит к тому, что длины пасечных волоков имеют существенный разброс значений и, поэтому, количество собираемых с них трелевочных групп также различно.

По графикам (см. рис. 6, *д*, *е*) видно, что среднее количество трелевочных групп, собираемых с пасек, а значит и количество двойных проходов трелевочных машин, приближается к минимуму для промежуточных вариантов прокладки трелевочных волоков по диагональной схеме, но разброс количества трелевочных групп, напротив, увеличивается. Наименьшее среднее количество трелевочных групп с пасек приходится на 8-й и 9-й варианты схем прокладки трелевочных волоков, для которых среднее квадратическое отклонение приблизительно на 20 % меньше максимального.

## Выводы

Разработанная имитационная модель процесса трелевки древесины с детальным рассмотрением распределения древостоя по территории лесосеки, прокладки сети трелевочных волоков и последовательного сбора трелевочных групп (пачек) позволяет комплексно и достоверно оценить спроектированный технологический процесс на основании набора расчетных критериев эффективности. При этом выбранный набор критериев может быть расширен для лучшего отражения экологического и лесоводственного воздействия технологии лесосечных работ на лесную среду и

оценки производственно-экономических показателей. В результате значения расчетного набора критериев эффективности позволяют выбрать лучшие комбинации вариантов организации технологического процесса лесосечных работ при их большом разнообразии.

## Список литературы

- [1] 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.
- [2] Ширнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Ч. 1. Лесосечные работы. М.: МГУЛ, 2004. 445 с.
- [3] Григорьев И.В., Жукова А.И. Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой // Лесной журнал, 2004. № 4. С. 40–44.
- [4] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.
- [5] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Уральский гос. лесотех. ун-т, 2003. 120 с.
- [6] Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 174 с.
- [7] Макаренко А.В., Быковский М.А., Лаптев А.В. Эффективность выполнения технологических операций при проведении выборочных рубок леса // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы 13-й Международной научно-технической конференции, 01–02 декабря 2015 г. Вологодский государственный университет. Вологда: ВГТУ, 2016. С. 32–37.
- [8] Макаренко, А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Материалы международной научно-технической конференции, Минск, БГТУ, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [9] Салминен Э.О., Гуров С.В., Большаков Б.М. Размещение волоков на заболоченных участках // Лесная промышленность, 1988. № 3. С. 32–33.
- [10] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная пром-ть, 1977. 248 с.
- [11] Виногоров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 272 с.
- [12] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbacov E.N. Quantitative estimation of logging residues by line-intersectmethod // Croatian journal of forest engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [13] Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 236 с.
- [14] 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.
- [15] Кузнецов В.И. Представляем фирму «Лестехком» — новое качество лесозаготовительной техники // Лесная промышленность, 2006. № 1. С. 12–14.
- [16] Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 99 с.

- [17] Скурихин В.И., Корпачев В.П. Техника и технология лесозаготовок скандинавских стран. Красноярск: СГТУ, 2001. 148 с.
- [18] Галактионов О.Н. Технологический процесс лесозаготовок и ресурсы лесосечных отходов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 95 с.
- [19] 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.
- [20] Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 719 с.

## Сведения об авторе

**Макаренко Андрей Владимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), makarenko@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 10.02.2018.

Принята к публикации 08.08.2018.

## MODELING AND EVALUATION OF LAYING SKIDDING TRAILS EFFICIENCY IN CUTTING AREA

**A.V. Makarenko**

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

makarenko@mgul.ac.ru

The article considers the principles of a simulation model development for the design of a network of skidding trails and the performance of wood skidding at definition of criteria of efficiency options of the considered and calculated options. The model uses the following efficiency criteria: the volume of cargo work, the average distance of skidding, the number of skidding groups (packs) collected from one cutting strip, the number of passes of equipment for one skid and one place. The basic elements of the proposed simulation model are considered, which allows to characterize in detail the distribution of the stand on the cutting area, to set and determine the coordinates of the boundaries of the cutting area and the main and skidding trails located on it, to perform a search of the options for the location of the trails network, to make a sequential calculation of the collection of skidding groups (packs), to calculate the selected set of efficiency criteria. As the results of the simulation model, built on the above method, the article presents some of the obtained dependencies in the form of graphs. The dependence of the value of the load work on the skidding on the consistently changing angle of inclination of the main trails for the four cutting areas under consideration, different in shape and area, is shown. Further, for one of the cutting areas, the dependence of the cargo work on the scheme of laying the trails and wood stock per unit area is presented. Also, there are the graphs of distribution of the number of cutting strips by the number of packs collected from them, depending on the option of laying skidding trails (the angle of inclination of the main trails). For each variant of the distribution of the number of cutting strips, statistical characteristics are determined: the mean and the standard deviation, which are also presented in the form of graphs. In the end, the article draws conclusions and provides recommendations on the application of the developed methods and models for the design of rational technological schemes of development of cutting areas on the basis of the features of the distribution of forest stand on its territory.

**Keywords:** skidding trail, cutting strip, cutting area, distribution of the stand, volume of cargo work, network of skidding trails

**Suggested citation:** Makarenko A.V. *Modelirovanie i otsenka effektivnosti prokladki trelevochnykh volokov na lesoseke* [Modeling and evaluation of laying skidding trails efficiency in cutting area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78

## References

- [1] Rukomoynikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Obosnovanie srednego rasstoyaniya trelevki lesomaterialov pri kompleksnom osvoenii lesnykh uchastkov* [Justification of the average distance of timber logging in the integrated development of forest areas] *Lesnoy zhurnal [Forest Journal]*, 2017, no. 4, pp. 95–105.
- [2] Shirnin Yu.A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennykh proizvodstv. Ch. 1. Lesosechnye raboty* [Technology and equipment of forest industry. Part 1. Logging work]. Moscow: MGUL, 2004, 445 p.
- [3] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. *Koordinatno-ob'emnaya metodika trassirovaniya pri osvoenii lesosek trelevkoy* [Coordinate-volumetric tracing technique in the development of skidding sites] *Lesnoy zhurnal [Forest Journal]*, 2004, no. 4, pp. 40–44.
- [4] Syuney V.S. *Sravnenie tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyakh Respubliki Kareliya* [Comparison of logging technologies in logging companies of the Republic of Karelia]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2008, 126 p.
- [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] 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* [Mediating technologies for the development of cutting areas in the north-western region of the Russian Federation]. SPb.: SPbGLTA, 2008, 174 p.
- [7] Makarenko A.V., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. *Effektivnost' vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy pri provedenii vyborochnykh rubok lesa* [The efficiency of technological operations during selective logging] Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy 13-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 01–02 dekabrya 2015 g. Vologodskiy gosudarstvennyy universitet [Actual problems of the development of the forest complex. Materials of the 13th International Scientific and Technical Conference, December 01–02, 2015 Vologda State University]. Vologda: VSTU, 2016, pp. 32–37.
- [8] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimizing the placement of a network of skidding trails in the cutting area // Logging production: problems and solutions]. Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Minsk, BGTU, 26–28 aprelya 2017 g. [Materials of the international scientific and technical conference, Minsk, BSTU, April 26–28, 2017]. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [9] Salminen E.O., Gurov S.V., Bol'shakov B.M. *Razmeshchenie volokov na zabolochennykh uchastkakh* [Placement of portages on wetlands] Lesnaya promyshlennost' [Forestry], 1988, no. 3, pp. 32–33.
- [10] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Systems of machines for logging]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1977, 248 p.
- [11] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging work]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1981, 272 p.
- [12] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbacov E.N. *Quantitative estimation of logging residues by line-intersectmethod* [Quantitative estimation of logging residues by line-intersectmethod] Croatian journal of forest engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [13] 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.
- [14] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forvardera 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 Volga State University of Technology. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Forest. Ecology. Nature use], 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.
- [15] Kuznetsov V.I. *Predstavlyaem firmu «Lestekkom» — novoe kachestvo lesozagotovitel'noy tekhniki* [We represent Lestekkom, a new quality of logging equipment] Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 2006, no. 1, pp. 12–14.
- [16] Azarenok V.A. *Ekologizirovannye rubki lesa* [Eco-friendly logging]. Ekaterinburg: UGLTA, 1998, 99 p.
- [17] Skurikhin V.I., Korpachev V.P. *Tekhnika i tekhnologiya lesozagotovok skandinavskikh stran* [Technique and technology logging Scandinavian countries]. Krasnoyarsk: SSTU, 2001, 148 p.
- [18] Galaktionov O.N. *Tekhnologicheskij protsess lesozagotovok i resursy lesosechnykh otkhodov* [Technological process of logging and resources of logging waste]. Petrozavodsk: PetrSU, 2007, 95 p.
- [19] Petkovic V., Potocnic I. *Planning forest road network in natural forest areas: a case study in northern Bosnia and Herzegovina* [Planning a forest road in natural forest areas: Bosnia and Herzegovina] Croatian journal of forest engineering, 2018, v. 39, no. 1, pp. 45–56.
- [20] Skiena S. *Algoritmy. Rukovodstvo po razrabotke* [Algorithms. Development Guide]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2013, 719 p.

## Author's information

**Makarenko Andrey Vladimirovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of Chair of Technology and Equipment of Timber Production of BMSTU (Mytishchi branch), makarenko@mgul.ac.ru

Received 10.02.2018.

Accepted for publication 08.08.2018.