

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630.311, 630.375.4

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.37

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОХОДОВ ФОРВАРДЕРА И ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТРЕЛЁВОЧНЫХ ВОЛОКОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

М. А. Пискунов

Петрозаводский государственный университет,
Российская Федерация, 185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33
E-mail: piskunov_mp@list.ru

Представлены результаты расчёта оптимальных схем волоков для лесосек на основе управления распределением проходами трелёвочного трактора. Выполнено сравнение рассчитанных оптимальных схем с типовыми схемами. Показано, что оптимальные схемы существенно отличаются от типовых, а применение специального программного обеспечения позволяет внедрить в практику лесосечных работ инструмент поддержки принятия решений для анализа и моделирования транспортной сети лесосеки.

Ключевые слова: трелёвочный волок; проходы трактора; трелёвка; форвардер; оптимизация; программное обеспечение.

Введение. Развитие лесозаготовительных технологий неразрывно связано с увеличением грузоподъёмности трелёвочных тракторов. Трелёвочные трактора, обладающие большой грузоподъёмностью, работают в сложных природно-производственных условиях, когда машины совершают многократные проходы по неподготовленным или слабо подготовленным транспортным путям на лесосеках.

Движение трелёвочных тракторов по неподготовленным волокам в безморозный период заготовки древесины связано с разрушением ездových поверхностей волоков и образованием колеи. Исследования, посвящённые последствиям проходов лесозаготовительных машин на лесные почвы, имеют давнюю историю, не

потеряли они актуальность и в текущий период, что подтверждается многими работами.

В частности, в работе [1] рассматриваются вопросы снижения вредных последствий за счёт укрепления волоков лесосечными отходами. Рассматривается влияние количества лесосечных отходов, используемых для укрепления, и проходов лесозаготовительных машин на образование колеи и уплотнение суглинистых почв с разной степенью влажности. В работе [2] в качестве способа для снижения глубины колеи и уплотнения почвы предлагается устанавливать в местах прохода форвардера деревянные мостовые секции.

Исследование влияния проходов тракторов с колёсным и гусеничным дви-

© Пискунов М. А., 2017.

Для цитирования: Пискунов М. А. Распределение проходов форвардера и построение оптимальных схем расположения трелёвочных волоков на лесосеке // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 2 (34). С. 37–48. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.37

жителем на образование колеи и уплотнение почвы представлено в работе [3]. Как влияет движение форвардера, оборудованного гусеницами, и без гусениц, но с разным давлением воздуха в шинах колёс, на свойства почвы и образование колеи, представлено в работе [4], в работе [5] также исследуется влияние аналогичных факторов, но используются шины разной ширины и разная степень загрузки форвардера.

Значительное количество экспериментальных данных о влиянии проходов лесозаготовительных машин на плотность разных типов лесной почвы на различной глубине систематизировано и обобщено в работе [6].

На основе проведённых экспериментов автор в публикации [7] указывает на то, что уже после четвёртого прохода трактора наблюдается значимое увеличение глубины колеи. Эксперименты проводились на почвах с влажностью 15 – 16 %.

Влияние уклона на образование колеи и уплотнение почвы при проходах трактора исследовано в работе [8], показано, что на уклонах свыше 20 % наблюдается более интенсивное образование колеи и плотность почвы также повышается при прочих равных условиях. В работе [9] отмечается, что негативные последствия проходов трактора на почву при работе на склонах наблюдались на расстоянии 2 м от волока.

Как долго сохраняются повреждения почвы, вызванные проходами трактора в процессе трелёвки на крутых склонах в условиях горных лесосек, исследовано в работе [10]. Сделаны выводы, что срок в 20 лет недостаточен, чтобы плотность и пористость почвы вернулись к уровню не повреждённых участков, в то время как по критериям: влажность почвы и колея произошло полное восстановление.

В работе [11] сделан упор на исследование последствий многократных проходов лесозаготовительных машин по участкам с разной структурой грунта.

Для уменьшения глубины колеи в процессе проходов трактора по торфяникам авторы в [12] предлагают увеличивать ширину волока. В данной работе проведены исследования образования колеи при многократных проходах по волокам шириной 4,5; 6 и 10 м.

Использование систем машин с трелёвкой сортиментов и деревьев и их влияние на основные параметры почвы в местах прохода трелёвочных тракторов проанализировано в работе [13]. В работе представлены модели для прогнозирования увеличения плотности почвы и сопротивления вдавливанию штампа в почву при влиянии следующих факторов: количество проходов трактора, первоначальная плотность почвы и сопротивление вдавливанию, количество лесосечных отходов, используемых для укрепления волоков, расстояние до погрузочной площадки.

В работе [14] также представлено сравнение воздействий на почву систем машин с трелёвкой сортиментов и деревьев. В соответствии с этой работой трелёвка сортиментов вызывает менее интенсивное образование колеи на волоках, чем трелёвка деревьев, но площадь волоков при трелёвке сортиментов несколько больше.

С увеличением мощностных и скоростных характеристик лесозаготовительных машин задачи подготовительных работ, связанных с планированием лесотранспортной сети лесосеки, усложняются и возникают новые требования к качеству этого планирования.

Традиционные подходы к построению схем волоков основываются на экспертном решении данной задачи. Специалист-эксперт на основании своего личного опыта осуществляет планирование транспортной схемы в границах лесосеки. Для схемы размещения волоков применяется набор типовых схем: параллельная, с широким фронтом погрузки, перпендикулярная, диагональная, радиальная, веерная.

Общая схема размещения волоков на лесосеке может представлять как одну из этих типовых схем, так и комбинацию, состоящую из нескольких типовых схем.

На выбор схемы волоков оказывают влияние различные природно-производственные факторы: рельеф, свойства грунта, размеры лесосек, тип трелёвочных тракторов, запас древесины и др.

Типовые схемы, лежащие в основе применяемых на практике схем волоков, в основном опираются на то, что трелёвочный трактор должен совершать грузовые проходы с минимальным количеством поворотов. Это связано с доминированием в течение длительного времени на лесозаготовках трелёвки хлыстов или деревьев. В процессе трелёвки лесоматериалов длиной 20 – 25 м возникают ограничения, связанные с увеличенным участком лесосеки, который требуется для поворота трактора.

Развитие лесозаготовительных технологий в сторону распространения лесозаготовок с трелёвкой сортиментов в полностью погруженном состоянии предоставляет возможность смягчить требования на количество поворотов. Трактора для трелёвки сортиментов – форвардеры – более маневренны при движении в полностью погруженном состоянии и могут осуществлять повороты на значительно меньшем радиусе.

Схема волоков должна обеспечивать эффективную трелёвку как по экономическим, так и по экологическим и лесоводственным показателям.

Набор типовых схем не позволяет учесть всё многообразие факторов, влияющих на экономические и экологические показатели трелёвки. Каждая лесосека характеризуется своим индивидуальным набором природно-производственных факторов, которые необходимо учитывать при планировании схемы волоков.

Основная цель работы – сравнить типовые схемы размещения волоков по характеру распределения проходов с опти-

мальными схемами, построенными с помощью специального программного обеспечения, разработанного специалистами Петрозаводского государственного университета. Оптимальные схемы строятся из условия минимизации повреждения грунта, связанного с многочисленными проходами трелёвочного трактора.

Основные исходные положения для проектирования схем волоков. Основными факторами, которые влияют на образование колеи, являются свойства грунта и количество проходов трактора по одному следу.

Свойства грунта на лесосеках неоднородны. Лесосеки характеризуются мозаичным распределением почвенно-грунтовых условий: существуют участки с низкой несущей способностью, например, участки с повышенной влажностью грунта; существуют участки с более высокой несущей способностью.

Проходы трактора по длине волоков также обладают некоторым распределением. Для технологий заготовки с трелёвкой сортиментов, когда трактор начинает трелевать древесину вначале с наиболее приближенных к местам складирования участков лесосеки, а затем с удалённых участков, на участках волоков, примыкающих к погрузочной площадке, количество проходов значительно больше по сравнению с участками, располагающимися в конце волока.

В связи с этим целесообразно связать между собой неоднородность свойств грунта в границах лесосеки с картиной распределения проходов трактора по волокам.

Количество проходов форвардера и их распределение по волокам подчиняется закономерностям и рассчитывается. В качестве базовых при расчёте проходов выступают следующие положения:

- волок разбивается на участки, длина которых совпадает с длиной участка набора пачки трелёвочного трактора – $l_{п}$. Длина участка набора пачки – длина во-

лока, двигаясь по которой трелёвочный трактор формирует полную загрузку;

- при длине пасечного волокна $L_{тр}$ число участков набора пачки, помещающихся по длине волокна, $n = L_{тр}/l_{п}$. Трелёвочный трактор должен совершить два прохода для перемещения пачки на погрузочную площадку (порожний и грузовой проходы);

- количество проходов для самого нагруженного участка волокна: $N_1 = 2 \cdot n$. Самым нагруженным участком пасечного волокна будет участок, который примыкает к магистральному волоку.

Если разница в количестве проходов для соседних участков равна 2, то количество проходов для произвольного участка волокна представим: $N_i = 2n - 2 \cdot ((L_i/l_{п}) - 1)$, где L_i – расстояние от начала волокна до i -го участка включительно, м; $L_i = L_{i-1} + l_{п}$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Распределение проходов по длине пасечного волокна складывается из проходов трелёвочного трактора, приходящихся на участок пасечного волокна определённой длины. Общая схема распределения проходов по пасечному волоку представлена на рис. 1.

Распределение проходов по магистральному волоку складывается из проходов трелёвочного трактора, приходящихся на участки магистрального волокна, длина которых определяется расстоянием

между пасечными волоками (ширина пасеки) или расстоянием между точками примыкания пасечных волоков к магистральному, например, при диагональной планировке лесосеки.

Количество проходов, приходящееся на участок магистрального волокна, и разница в количестве проходов между соседними участками определяется количеством проходов, которые осуществляются трелёвочными тракторами по пасечным волокам.

Выделим два типичных варианта при построении распределения проходов по магистральному волоку.

Вариант № 1. Количество проходов трелёвочного трактора, по каждому из примыкающих к данному участку магистрального волокна пасечных волоков, одинаково, расстояние между волоками не изменяется.

Количество проходов для первого участка магистрального волокна – самого ближнего к погрузочной площадке: $N_{м1} = k \cdot N_1$, где k – количество пасечных волоков, примыкающих к магистральному волоку.

Количество проходов для произвольного участка магистрального волокна:

$N_{mj} = k \cdot N_1 - (j - 1) \cdot N_1$, где j – порядковый номер участка при расчёте в сторону от погрузочной площадки.

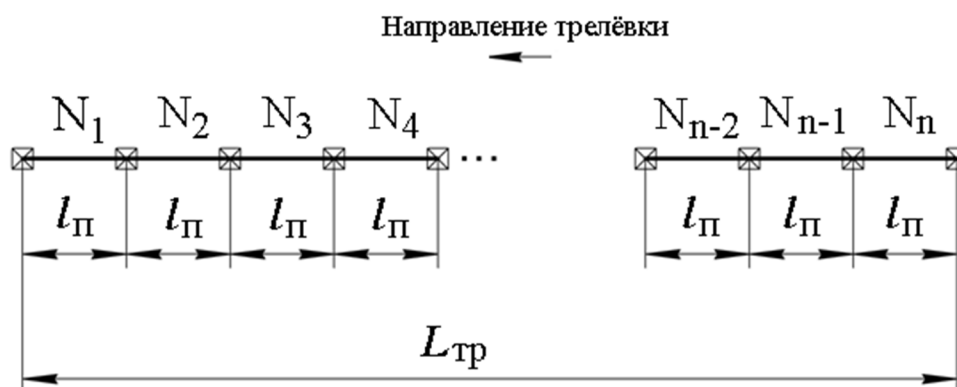


Рис. 1. Общая схема распределения проходов по длине пасечного волокна

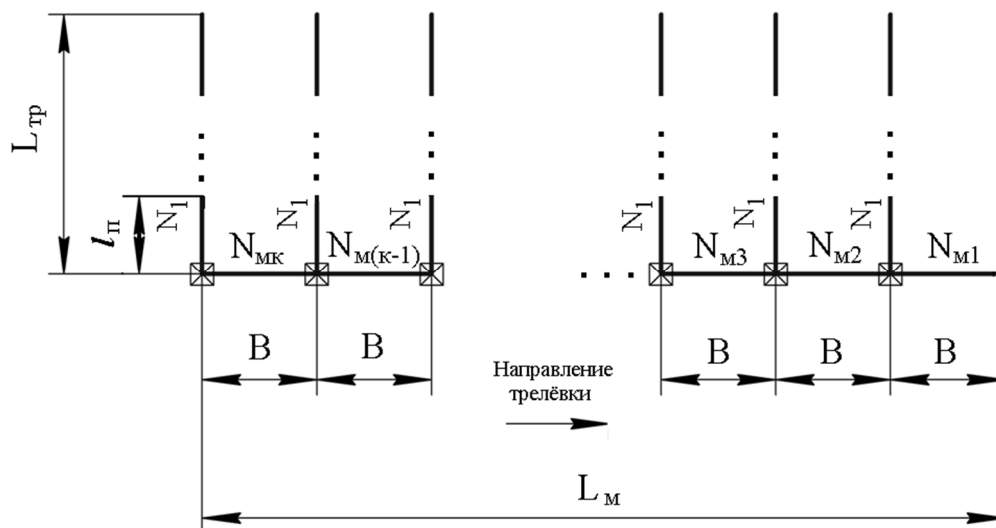


Рис. 2. Общая схема распределения проходов по длине магистрального волокна при одинаковой длине примыкающих пасечных волоков

Общая схема распределения проходов по пасечному волоку представлена на рис. 2.

На рис. 2 размер B – расстояние между пасечными волоками или точками примыкания пасечных волоков к магистральному волоку при диагональной схеме планировки лесосеки, m ; L_M – длина магистрального волокна, m .

Вариант № 2. Количество проходов по каждому пасечному волоку отличается, например, разная длина пасечных волоков.

Количество проходов для первого участка магистрального волокна:

$$N_{M1} = \sum_{i=1}^k N_{1_i}.$$

Количество проходов для произвольного участка магистрального волокна:

$$N_{Mj} = \sum_{i=j}^k N_{1_i}.$$

Общая схема распределения проходов по пасечному волоку представлена на рис. 3.

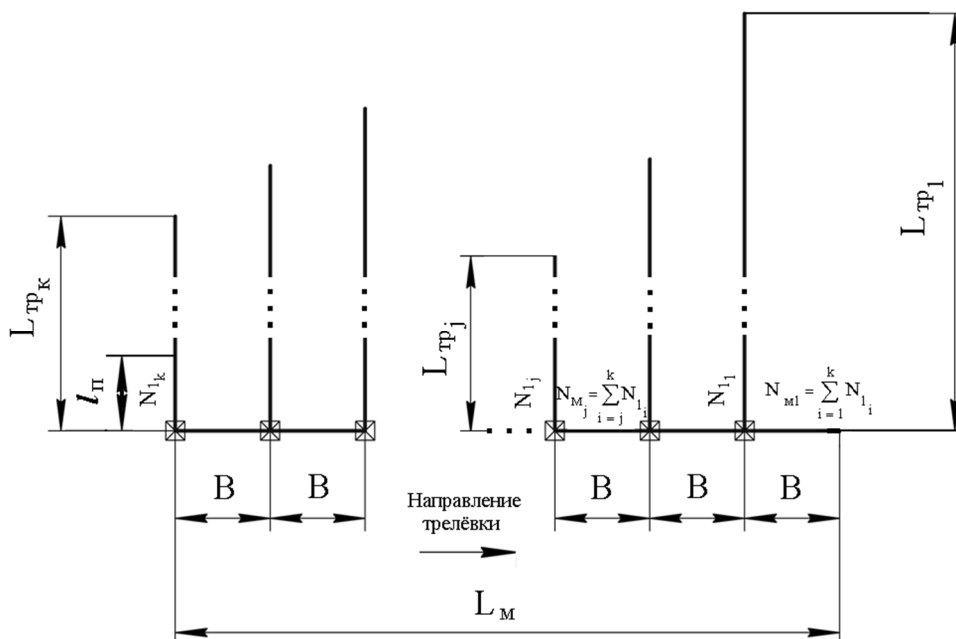


Рис. 3. Общая схема распределения проходов по длине магистрального волокна при разной длине примыкающих пасечных волоков

На основе приведённых базовых закономерностей и положений осуществляется построение картины распределения проходов по волокам. Поиск схемы волоков, которая учитывает индивидуальные особенности лесосеки, осуществляется с помощью алгоритма, который разбивает площадь лесосеки на участки набора пачки трелёвочного трактора – участки лесосеки с объёмом древесины, достаточным для полной загрузки трелёвочного трактора при выполнении одного грузового прохода. Эти участки формируются из нескольких ячеек сетки, в виде которой представляется лесосека. Поиск схемы волоков осуществляется для некоторых условий, которые задаются в качестве исходных данных.

Алгоритм реализован в среде Microsoft Visual Studio.Net на языке C# [15].

Рассмотрим некоторые показательные примеры образования схем волоков.

Результаты исследований. Рассмотрим построение схемы волоков для одной из лесосек, которая разрабатывалась лесозаготовительным предприятием, расположенным в Республике Карелия.

На рис. 4 показана карта лесосеки, на которой выделены зоны с разными свойствами грунта. На лесосеке мозаичность свойств сгруппирована по четырём основным преобладающим категориям свойств грунта и определены зоны с доминированием тех или иных свойств. Выделены участки с наилучшими свойствами, те участки, которые могут выдерживать многократные проходы машин без их дополнительного укрепления – участки с высокой несущей способностью грунтов (зона 4). Участки с наихудшими свойствами выдерживают всего несколько проходов и требуют дополнительного укрепления поперечным настилом или лесосечными отходами – участки с низкой несущей способностью грунта (зона 1). Участки с промежуточными свойствами разделены на две категории, в зависимо-

сти от интенсивности разрушения при многократных проходах: с более интенсивным образованием колеи (зона 2) и менее интенсивным (зона 3). Карта изображена в масштабе. Масштаб определяется в привязке к максимальной ширине лесосеки 320 м.

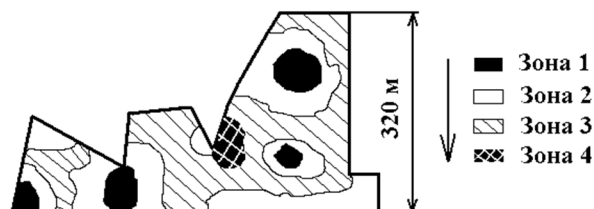


Рис. 4. Мозаичность свойств грунта в границах лесосеки

Лесосека характеризовалась достаточно равномерной плотностью произрастания леса, значительных перепадов высот рельефа не обнаружено. Древесина трелевалась к лесовозной дороге, проходившей по границе лесосеки. Отдельная погрузочная площадка на лесосеке не применялась. Заготовка древесины осуществлялась по сортиментной технологии с использованием харвестера и форвардера.

На рис. 5 показаны схемы волоков, построенные для данной лесосеки. На рис. 5, а приведена типовая схема волоков – схема волоков с широким фронтом погрузки (схема 1) для данной лесосеки, которая не учитывает особенностей свойств грунта лесосеки. Построение данной схемы опирается на набор типовых схем, которые широко известны и применяются в практике лесозаготовительных работ уже длительное время.

На рис. 5, б приведена модифицированная схема волоков (схема 2) для данной лесосеки. Эта схема построена инженером после обхода лесосеки. Модифицированная схема построена на основе учёта свойств грунта лесосеки, однако представляет собой комбинацию различных типовых схем и обладает ограничениями, связанными с использованием типовых схем.

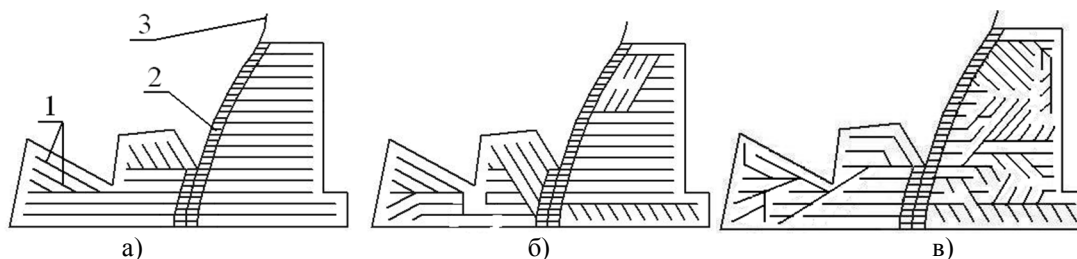


Рис. 5. Схемы волоков для лесосеки:

1 – волока; 2 – штабеля древесины; 3 – лесовозная дорога

На рис. 5, в приведена оптимальная схема волоков (схема 3) для рассматриваемой лесосеки. Схема рассчитана с помощью разработанного алгоритма. Оптимальная схема учитывает особенности распределения свойств грунта лесосеки и построена при условии, что на участки с низкой несущей способностью приходится минимальное количество проходов. Конфигурация волоков для оптимальной схемы заметно отличается от конфигурации волоков для типовой и модифицированной схем.

Приведём сравнение полученных схем волоков по критерию повреждения почвы после окончания лесозаготовительных работ. В табл. 1 показано количество проходов трелёвочного трактора по волокам с различными свойствами грунта для всех трёх схем волоков.

Таблица 1

**Количество проходов по волокам
с различными свойствами грунта**

Зоны лесосеки, отличающиеся свойствами грунта	Схема 1	Схема 2	Схема 3
Зона 1	123	155	45
Зона 2	314	275	132
Зона 3	457	539	609
Зона 4	48	48	139

Табл. 1 показывает, что для оптимальной схемы волоков (схема 3), в отличие от двух других схем волоков, по участкам с низкой несущей способностью совершается наименьшее количество проходов трактора и наибольшее количество проходов совершается по участкам с высокой несущей способностью грунта. Для схемы, построенной мастером при осмотре лесосеки (схема 2), по сравнению со стандартной

схемой (схема 1), наблюдается незначительное уменьшение количества проходов по участкам со свойствами грунта, отнесёнными к зоне 2, и небольшое увеличение количества проходов по участкам зоны 3. По участкам с грунтами, характеризующимися низкой несущей способностью, количество проходов даже несколько увеличилось по сравнению с типовой схемой.

Применение типовой схемы волоков (схема 1) и модифицированной схемы волоков (схема 2) оказывает более вредное воздействие на грунты лесосеки. Применение оптимальной схемы волоков (схема 3) смягчает негативное воздействие трелёвочных операций.

Далее рассмотрим набор типовых схем волоков, который распространён на лесозаготовках в России. Сравним между собой типовые схемы по характеру распределения проходов трактора, рассчитаем количество проходов по волокам с помощью разработанного алгоритма. Расчёт выполним для некоторых базовых условий: лес растёт равномерно по всей площади лесосеки (густота насаждений не меняется в пределах всей площади лесосеки), свойства грунта одинаковые на всей площади (нет болотистых участков, нет участков с относительно прочными грунтами).

Размер лесосеки примем в относительных единицах через участок набора пачки трелёвочного трактора. Рассмотрим лесосеку квадратной формы с размерами, в которой по ширине и длине помещается по 11 участков набора пачки. Погрузочную площадку поместим в центре лесосеки.

Рассматриваемые типовые схемы представлены на рис. 6.

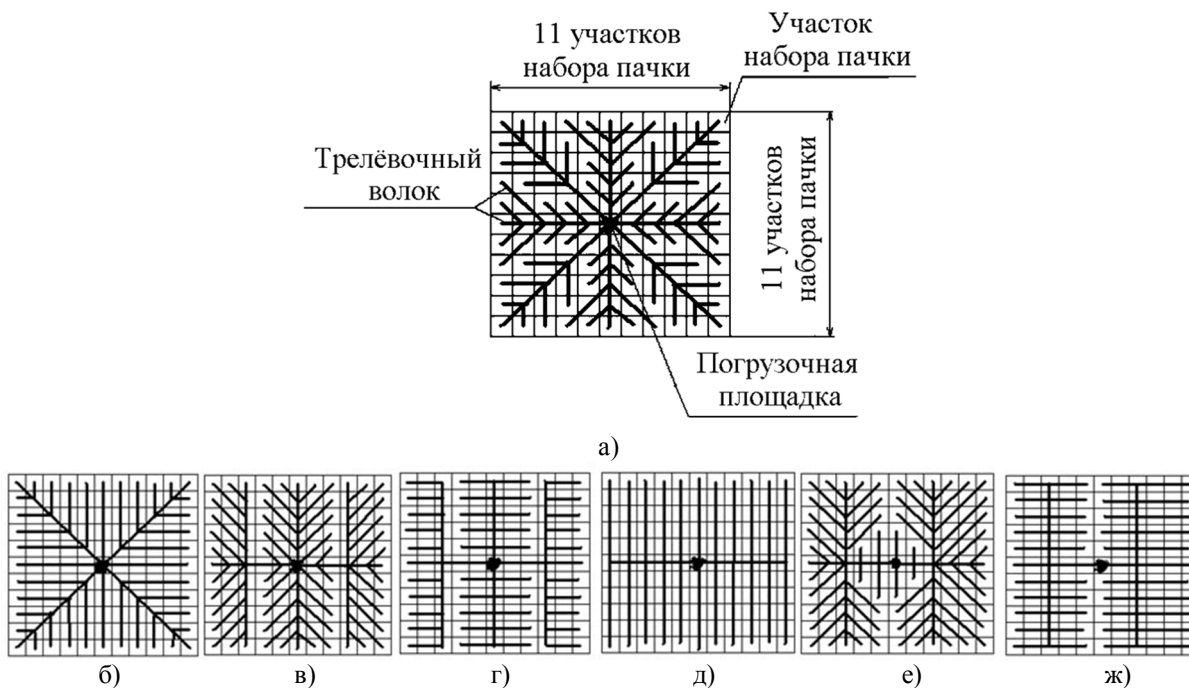


Рис. 6. Типовые схемы:

а) схема № 1; б) схема № 2; в) схема № 3; г) схема № 4; д) схема № 5; е) схема № 6; ж) схема № 7

Сделаем расчёт оптимальной схемы. В качестве целевой функции выступает следующее: на транспортной сети лесосеки должно быть минимальное количество участков с максимальным количеством проходов; расстояние, пройденное трактором, должно быть минимальным. По самому нагруженному участку должно быть совершенно минимальное количество проходов трактора и количество таких участков должно быть минимальным. Вид оптимальной схемы представлен на рис. 7.

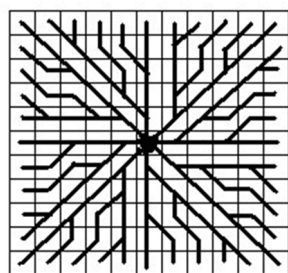


Рис. 7. Оптимальная схема

Сравнивая типовые схемы и вид оптимальной схемы, заметим, что конфигурация волоков для оптимальной схемы существенно отличается от типовых.

Рассчитаем для типовых и оптимальной схемы количество проходов для каждого участка транспортной сети лесосеки, участки сгруппируем по количеству общих проходов: участки, на которые приходится от 1 до 5 проходов трелёвочного трактора; от 6 до 10; от 11 до 15 и т. д. Рассчитаем общее количество участков, которые попадают в каждый диапазон проходов для рассматриваемых схем. Также рассчитаем общую длину волоков и пройденное расстояние трелёвочным трактором для типовых схем. Данные расчётов представлены в табл. 2.

В табл. 2 общая длина волоков и пройденное расстояние заданы не в единицах длины, а в участках набора пачки трактора, то есть, если для оптимальной схемы общая длина волоков составляет 145, то это означает, что по суммарной длине всех волоков укладывается 145 участков набора пачки. В связи с этим введено понятие условной единицы. Одна условная единица равна длине одного участка набора пачки.

В табл. 2 представлены данные, позволяющие определить разницу между оптимальной и типовыми схемами по количественным показателям.

Таблица 2

Распределение проходов по схемам

	Номер схемы							
	Оптимальная схема	1	2	3	4	5	6	7
Общая длина волоков	145	145	128	153	120	120	157	120
%, Δ от min	21	21	7	28	0	0	31	0
Пройденное расстояние	531	531	531	594	660	660	676	780
%, Δ от min	0	0	0	12	24	24	27	47
Количество проходов	Количество участков							
2 – 10	96	96	108	96	90	110	102	97
12 – 20	16	8	4	10	10	0	5	4
22 – 30	8	16	0	6	10	2	4	4
32 – 40			4	2	2	0	2	4
42 – 50			4	0	2	2	2	4
52 – 60				0	0	0	0	2
62 – 70				4	6	2	0	0
72 – 80				2		0	0	0
82 – 90						2	0	0
92 – 100						0	2	0
102 – 110						2	1	3
112 – 120							1	0
122 – 130							1	2

Оптимальная схема заметно отличается от типовых схем. Для этой схемы имеется 96 участков с количеством проходов от 2 до 10, 16 участков с количеством проходов от 12 до 20 и восемь участков с количеством проходов от 22 до 30. Пройденное расстояние составляет 531 условную единицу.

Оптимальная схема волоков позволяет заготавливать лес в заданных условиях, когда максимальное количество проходов по одному следу составит не более 30. Если сравнить с другими схемами (см. рис. 6, табл. 2) то, например, для схемы 7 имеется два участка с количеством проходов от 122 до 130, кроме этого есть участки с количеством проходов 102 – 110, 52 – 60, 42 – 50, 32 – 40, 22 – 30, 12 – 20, 2 – 10. Для этой схемы будет 15 участков, где трактор совершит более 30 проходов по одному следу, причём пять участков с количеством проходов свыше 100. Аналогичные сравнения можно сделать и для других схем.

Если сравнить оптимальную схему со схемами 4 и 5, то общая протяжённость волоков меньше для этих схем, чем в оптимальной схеме, соответственно на 21 %, но увеличивается расстояние, которое должен пройти трелёвочный трактор, чтобы стреловать всю древесину, и возникают сильно нагруженные по количеству проходов участки: по схеме 4 – 10 участков с проходами от 32 до 70, по схеме 5 – 8 участков с проходами от 42 до 110 по одному месту.

Наиболее близкая к оптимальной схеме типовая схема под номером 1. Отличие заключается в том, что для этой схемы по сравнению с оптимальной увеличивается количество участков с большим количеством проходов по одному месту, так количество участков с количеством проездов свыше 22 увеличивается до 16, для оптимальной схемы таких участков всего восемь.

Схемы 3–7 кроме участков с большим количеством проходов увеличивают рассто-

яние, которое должен пройти трактор при разработке всей лесосеки. По сравнению с оптимальной схемой увеличение составляет 12, 24, 24, 30, 47 % соответственно.

Основные выводы. Результаты данной работы показывают, что имеется резерв совершенствования процессов заготовки древесины за счёт правильного выбора транспортной сети лесосеки.

Программное обеспечение для составления схем волоков на основе управления распределением проходов трактора по волокам может выступать в качестве инстру-

мента поддержки принятия решений в области проектирования первичной транспортной сети и включать не только решение задач пространственного размещения волоков, но и выполнять функции аналитического инструмента при анализе расходов различных ресурсов при выполнении трелёвочных операций, в частности выполнять анализ потребления топлива и производительности трелёвочных тракторов; выполнять анализ и оптимизацию расходов строительного материала в виде лесосечных отходов при укреплении волоков и др.

Список литературы

1. Effects of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length harvesting / Han-Sup Han, Debbie Page-Dumroese, Sang-Kyun Han, Joanne Tirocke // International Journal of Forest Engineering. 2006. No 2. Vol.17. Pp. 11-24.
2. Nordfjell T., Östlund A. Forwarding on soft soils, comparison of rutting with and without wooden bridge sections // Proceedings of the 48-th FORMEC Symposium. 2015. P. 462.
3. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical properties in a mixed conifer stand / M. Cambi, G. Certini, F. Fabiano et al. // iForest. 2015. No 9. Pp. 89-94. doi: 10.3832/ifor1382-008.
4. Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate / H. Sakai, T. Nordfjell, K. Suadicani et al. // Croatian Journal of Forest Engineering. 2008. No 1, Vol. 29. Pp. 15-27.
5. Francesco N., Spinelli R., Lyons J. Ground pressure forwarder trials: assess benefits in reducing wheel rutting // Proceedings of Austro 2007 – FORMEC'07 «Meeting the Needs of Tomorrows. Forests: New Developments in Forest Engineering». URL: <https://www.formec.org/proceedings/30-austria-2007-proceedings.html>. (Date of access: 10.04.2017).
6. Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis / E. Ampoorter, A. de Schrijver, L. van Nevel et al. // Annals of Forest Science. 2012. No 69. Pp. 533-542. doi: 10.1007/s13595-012-0199-y.
7. Ozturk T. The effects on soil compaction of timber skidding by tractor on skid road in plantation forest in northern Turkey // Šumarski List. 2016. No 9-10. Pp. 485-491.
8. Agherkakli B., Najafi A., Sadeghi S.H. Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest // Journal of Forest Science. 2010. No 6 (56). Pp. 278-284.
9. Impact of skidding operations on soil physical properties in southern Italy / A. R. Proto, G. Macri, A. Sorgona et al. // Contemporary Engineering Sciences. 2016. No 23. Vol. 9. Pp. 1095-1104.
10. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran / S. Ezzati, A. Najafi, M. A. Rab et al. // Silva Fennica. 2012. No 4 (46). Pp. 521-538.
11. Assessments of the soil compaction of two ultisols caused by logging operation / M. de S. D. Junior, S. R. Silva, N. S. dos Santos et al. // Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2008. No 32. Pp. 2245-2253.
12. Uusitalo J., Salomäki M., Ala-Ilomäki J. The effect of wider logging trails on rut formations in the harvesting of peatland forests // Croatian Journal of Forest Engineering. 2015. No 1. Vol. 36. Pp. 125-130.
13. Impacts on soils from cut-to-length and whole tree harvesting / S.-K. Han, H.-S. Han, L. R. Johnson et al. // Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: «Working Globally – Sharing Forest Engineering Challenges and Technologies Around the World». 2006. URL: http://web1.cnre.vt.edu/forestry/cofe/documents/2006/COFE_2006_Han_et_al.pdf (Date of access: 09.04.2017).
14. Damage to soil and residual trees caused by different logging systems applied to late thinning / A. Cudzik, M. Brennenstul, W. Bialczyk et al. // Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. No 1. Vol. 38. Pp. 83-95.
15. Воронова А. М., Воронов Р. В., Пискунов М. А. Задача покрытия гиперсети взвешенным корневым деревом и её приложение для оптимального проектирования схем волоков на лесосеке // Информатика и системы управления. 2012. №1 (31). С. 56 – 64.

Статья поступила в редакцию 03.02.17.

Информация об авторе

ПИСКУНОВ Максим Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин, Институт лесных, горных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет. Область научных интересов – прикладные задачи совершенствования технологий лесопромышленного комплекса. Автор 70 публикаций.

UDC 630.311, 630.375.4

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.37

DISTRIBUTION OF FORWARDER PASSAGES AND CONSTRUCTION OF OPTIMAL SCHEMES OF SKIDDING TRAILS LOCATION AT A CUTTING AREA

M. A. Piskunov

Institute of Timber, Mining and Construction Sciences,
Petrozavodsk State University,
33, Lenina Av., Petrozavodsk, 185910, Russian Federation
E-mail: piskunov_mp@list.ru

Keywords: *skidding trail; tractor passages; skidding; forwarder; optimization; software.*

ABSTRACT

Introduction. Multiple passes of a skidding tractor along one and the same trace lead to a trail destruction, track pit formation in the place of passages, and as a result, to efficiency loss of tractor. Traditional approaches to the designing of transport network of a cutting area are related to the choice of a typical scheme of skidding and use of it at a certain cutting area. **The goal** of the research is to elaborate the optimal schemes of trail location and to compare them with the typical schemes by the type of the passages allocation of a skidder. **Point of departure.** To achieve the goal, it is necessary to elaborate the mathematical algorithms of planning of transport network at a cutting area and to use an automated analysis. Construction of schemes of trails which give a significant effect when simple computation algorithms, are based on the following condition: 1) Skidding trail in cutting strip is the complex of the compartments, difference in the passages between neighbor compartments is two passages, number of passages at the compartments grows in the direction of skidding; 2) Compartments with different soil type are grouped by four property categories, location of the compartments is designed at a cutting area; 3) Skidding tracks with maximum number of passages should be designed along the compartments of a cutting area with maximum ground bearing capacity; maximum number of passages for a certain compartment shall be minimized. Compartments with poor load bearing capacity are either excluded or number of passages of tractor should be minimized; 4) Loading point location is designated; distance between the skidding trails is not changed; distribution of stand at the cutting area is equal. Software to develop schemes of skids on the basis of management of distribution of tractor passages along the skids can play a role of a device to support decision-making in designing of a primary transport network. **Conclusion.** In such conditions, it was registered a significant dissimilarity of calculated schemes from the typical ones (an automated analysis was used). There is a critical redistribution of the passages from the compartments with low-load-bearing capacity soil to the compartments with high-load-bearing capacity soil. Radial scheme is the closest typical scheme to the calculated one. Difference in the number of passages between the most loaded compartment and the compartment with the minimum number of passages is decreased (for the considered examples: calculated scheme – difference is 15 times; typical schemes – 25 - 65 times).

REFERENCES

1. Han-Sup Han, Debbie Page-Dumroese, Sang-Kyun Han, Joanne Tirocke. Effects of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length harvesting. *International Journal of Forest Engineering*. 2006. No 2. Vol. 17. Pp. 11-24.
2. Nordfjell T., Östlund A. Forwarding on soft soils, comparison of rutting with and without wooden bridge sections // *Proceedings of the 48-th FORMEC Symposium*. 2015. P. 462.
3. Cambi M., Certini G., Fabiano F. et al. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical prop-

- erties in a mixed conifer stand. *iForest*. 2015. No 9. Pp. 89-94. doi: 10.3832/ifer1382-008.
4. Sakai H., Nordfjell T., Suadicani K. et al. Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2008. No 1, Vol. 29. Pp. 15-27.
5. Francesco N., Spinelli R., Lyons J. Ground pressure forwarder trials: assess benefits in reducing wheel rutting. *Proceedings of Austro 2007 – FORMEC'07 «Meeting the Needs of Tomorrows. Forests: New Developments in Forest Engineering»*. URL: <https://www.formec.org/proceedings/30-austria-2007-proceedings.html>. (Date of access: 10.04.2017).
6. Ampoorter E., A. de Schrijver, L. van Nevel et al. Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis. *Annals of Forest Science*. 2012. No 69. Pp. 533-542. doi: 10.1007/s13595-012-0199-y.
7. Ozturk T. The effects on soil compaction of timber skidding by tractor on skid road in plantation forest in northern Turkey. *Şumarski List*. 2016. No 9-10. Pp. 485-491.
8. Agherkakli B., Najafi A., Sadeghi S.H. Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest // *Journal of Forest Science*. 2010. No 6 (56). Pp. 278-284.
9. Proto A. R., Macri G., Sorgona A. et al. Impact of skidding operations on soil physical properties in southern Italy. *Contemporary Engineering Sciences*. 2016. No 23. Vol. 9. Pp. 1095-1104.
10. Ezzati S., Najafi A., Rab M. A. et al. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. *Silva Fennica*. 2012. No 4 (46). Pp. 521-538.
11. M. de S. D. Junior, S. R. Silva, N. S. dos Santos et al. Assessments of the soil compaction of two ultisols caused by logging operation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2008. No 32. Pp. 2245-2253.
12. Uusitalo J., Salomäki M., Ala-Ilomäki J. The effect of wider logging trails on rut formations in the harvesting of peatland forests. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2015. No 1. Vol. 36. Pp. 125-130.
13. Han S.-K., Han H.-S., Johnson L. R. et al. Impacts on soils from cut-to-length and whole tree harvesting. *Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: «Working Globally – Sharing Forest Engineering Challenges and Technologies Around the World»*. 2006. URL: http://web1.cnre.vt.edu/forestry/cofe/documents/2006/COFE_2006_Han_et_al.pdf (Date of access: 09.04.2017).
14. Cudzik A., Brennensthal M., Bialczyk W. et al. Damage to soil and residual trees caused by different logging systems applied to late thinning. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2017. No 1. Vol. 38. Pp. 83-95.
15. Voronova A. M., Voronov R. V., Piskunov M. A. Zadacha pokrytiya giperseti vzveshennym kornevym derevom i ee prilozhenie dlya optimalnogo proektirovaniya skhem volokov na lesoseke [The Goal of Hyper-Net Cover by Weighted Root Tree and Its Application for Optimal Designing of Charts of Skids at a Cutting Area]. *Informatika i sistemy upravleniya [Informatics and Management Systems]*. 2012. No 1. (31). Pp. 56 – 64.

The article was received 03.02.17.

For citation: Piskunov M. A. Distribution of Forwarder Passages and Construction of Optimal Schemes of Skidding Trails Location at a Cutting Area. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2017. No 2(34). Pp. 37–48. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.37

Information about the author

PISKUNOV Maksim Anatolyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Chair of Basic Disciplines, Institute of Timber, Mining and Construction Sciences, Petrozavodsk State University. Research interests– applied tasks to improve the technologies of forest-industrial complex. The author of 70 publications.