МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОХОДОВ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ ПО ВОЛОКАМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ МАШИН НА ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТАХ

М.А. ПИСКУНОВ, *ст. преподаватель каф. технологии и оборудования лесного комплекса ПетрГУ, канд. техн. наук*

Использование трелевочных тракторов на грунтах с низкой несущей способностью часто не позволяет обеспечить максимальную производительность работы при номинальных нагрузках и скоростях движения; иногда трактора простаивают из-за интенсивного разрушения почво-грунта на волоках, когда глубина колеи превышает величину клиренса трактора. Движение в глубокой колее также приводит к увеличению сопротивления движению трактора. Кроме этого возникают негативные последствия экологического характера, связанные с образованием глубокой колеи и переуплотнением почвы, что приводит к нарушению воздушного режима и дренированности почвы, заболачиванию волоков, повреждению корневой системы оставляемых деревьев на несплошных рубках и др.

Обширные исследования в области взаимодействия движителей тракторов с лесным почво-грунтом, проведенные к настоящему периоду ведущими специалистами лесного комплекса [1–4], показывают, что модели, описывающие процессы разрушения почвенного покрова, образования колеи, уплотнения почво-грунтов, включают параметры, характеризующие свойства почво-грунта (несущая способность, модуль деформации) и технические характеристики трактора (давление трактора на грунт, диаметр эквивалентного круга). Особенности работы трелевочных тракторов, выражающиеся в многократном проходе машины по одному следу, в этих моделях представлены в виде связи глубины колеи или уплотнения почвы с количеством проходов трактора, совершенных по одному следу. Связь глубины колеи или плотности почвы с количеством проходов носит в основном логарифмический или линейный характер.

Свойства почво-грунта и технические характеристики тракторов, оказывающие влияние на процессы образования колеи или уплотнение почвы, могут рассматриваться как факторы, которыми лесозаготовителю при организации лесосечных работ достаточно сложно управлять.

Так, управление свойствами почво-грунта носит лишь косвенный характер и ограничивается подбором лесосек с грунтами, обладающими лучшими свойствами, в периоды, наиболее неблагоприятные для лесосечных работ (периоды распутицы), или наоборот, подбором лесосек с грунтами, обладающими худшими свойствами для разработки в зимний период. Либо вводятся специальные меры, связанные с укреплением волоков поперечным настилом из тонкомерной древесины или лесосечными отходами.

Управление техническим характеристиками трелевочных тракторов для уменьшения разрушения почво-грунтов также практически невозможно, поскольку лесозаготовители имеют дело с теми типами машин, которые предлагаются на рынке в текущий момент, созданными на основе уже накопленного опыта в технике, технологии, организации производства. В этой ситуации лесозаготовители могут лишь рекомендовать те или иные решения на перспективный период для новых образцов техники. Тем не менее, при анализе результатов проведенных исследований, а также дополнительных теоретических и экспериментальных исследований автора [5] проходы трелевочного трактора рассматриваются как параметр, посредством которого лесозаготовители получают более широкое поле для влияния на процессы колееобразования или уплотнения почвы при планировании и организации лесосечных работ.

Так как на лесосеке всегда есть участки с разной несущей способностью грунтов [6], то очевидно, что на участках с более высокой несущей способностью имеет смысл сосредотачивать большее количество проходов трелевочного трактора.

В данной работе приводятся результаты теоретических исследований, на основе которых лесозаготовитель способен воздействовать на процессы колееобразования или уплотнения почвы на лесосеке посредством перераспределения проходов лесных машин по лесосеке, а это, в свою очередь, происходит за счет организации лесосечных работ, то есть изменения схемы размещения трелевочных волоков, способов разработки пасек, расположения погрузочного пункта, способов трелевки и др.

При движении трелевочного трактора по пасечному волоку в процессе выполнения лесосечных работ волок представляет собой совокупность участков, длина которых, в общем случае, совпадает с длиной участка набора пачки трелевочного трактора $l_{\text{п}}$. Очевидно, при длине пасечного волока $L_{\text{тр}}$ число участков набора пачки, укладывающихся по длине волока $n = L_{\text{тр}} / l_{\text{п}}$. Трелевочный трактор должен совершить минимум 2 прохода для перемещения пачки на погрузочный пункт (порожний проход и проход непосредственно при трелевке пачки). Как правило, движение трактора с пачкой осуществляется по тому же самому пути, по которому трактор приехал для набора пачки. Тогда количество проходов для самого нагруженного участка волока – $N_{T1} = 2L_{\text{тр}} / l_{\text{п}}$ или $N_{T1} = 2n$. Самым нагруженным участком пасечного волока будет участок, который примыкает к магистральному волоку.

Если разница между количеством проходов, приходящихся на каждый последующий участок, при удалении от магистрального волока и количеством проходов, приходящихся на предыдущий участок, равна 2, то в этом случае распределение проходов по длине волока представляет собой арифметическую прогрессию с разностью прогрессии, равной 2, где n – количество членов прогрессии, N_{T1} – первый член прогрессии.

Если по длине пасечного волока ($L_{\text{тр}}$) укладывается целое число участков набора пачки ($l_{\text{п}}$) и разница в количестве проходов между соседними участками равна 2, то, используя основные формулы арифметической прогрессии, количество проходов для произвольного участка волока представим в виде: $N_{Ti} = (2L_{\text{тр}} / l_{\text{п}}) - 2(L_i / l_{\text{п}} - 1)$, где L_i – расстояние от начала волока до i-го участка, включительно, м; $L_i = L_{i\text{-}1} + l_{\text{п}}$, $i = 1,2,...,n$.

Таким образом, распределение проходов по длине пасечного волока складывается непосредственно из проходов трелевочного трактора, а также участков волока, по которым осуществляются эти проходы, причем каждый член из числового ряда проходов характеризует количество проходов, приходящееся на участок пасечного волока определенной длины. Представим данные выводы в виде

$$F = \begin{cases} N_{T_1}, L \in (0; l_n) \\ N_{T_2}, L \in (l_n; 2 \cdot l_n) \\ \dots \\ N_{T_n}, L \in ((n-1) \cdot l_n; L_{mp}) \end{cases},$$

где $L_{\text{тр}}$ – длина пасечного волока, м.

Магистральный волок, при движении по нему трелевочного трактора в процессе выполнения лесосечных работ, рассматривается как совокупность участков. Длина этих участков 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 волока, и разница в количестве проходов между соседними участками определяется количеством проходов, которые совершаются лесными машинами по пасечным волокам.

При исследовании формирования и распределения проходов по магистральным волокам рассмотрим общий случай, когда пасечные волока располагаются по отношению к магистральному волоку только с одной стороны. Выделим два типичных случая:

1 случай – количество проходов трелевочного трактора по каждому из примыкающих к данному участку магистрального волока пасечных волоков одинаково, то есть длина всех пасечных волоков одинакова. Расстояние между волоками также не изменяется.

2 случай – количество проходов по каждому пасечному волоку отличается, то есть длина пасечных волоков разная.

Рассмотрим 1 случай.

Разбивая магистральный волок на участки по числу примыкающих пасечных волоков, определяем число проходов для первого участка магистрального волока – самого ближнего к погрузочной площадке

$$N_{T1}{}^{м} = k\,N_{T1},$$

где k – количество пасечных волоков, примыкающих к магистральному волоку.

Число проходов для произвольного участка магистрального волока

$$N_{Tj}{}^{м} = k\,N_{T1} - (j-1)N_{T1},$$

где j – порядковый номер участка при расчете в сторону от погрузочной площадки.

Рассмотрим 2 случай.

Количество проходов для первого участка магистрального волока

$$N_{T1}{}^{м} = \sum_{i=1}^{k} N_{T1_i}\ .$$

Количество проходов для произвольного участка магистрального волока

$$N_{Tj}{}^{м} = \sum_{i=j}^{k} N_{T1_i}\ .$$

Представим распределение проходов для обоих случаев в общем виде

$$F^{м} = \begin{cases} N^{м}_{T_1},\ L_{м} \in (0;B) \\ N^{м}_{T_2},\ L_{м} \in (B;2\cdot B) \\ \ldots \\ N^{м}_{T_k},\ L_{м} \in ((k-1)\cdot B;L^{м}_{тр}) \end{cases},$$

где B – расстояние между пасечными волоками или точками примыкания пасечных волоков к магистральному при диагональной схеме планировки лесосеки, м;

$L_{тр}{}^{м}$ – длина магистрального волока, м.

Рассмотрим особенности формирования и распределения проходов трелевочных тракторов по пасечным и магистральным волокам для участка лесосеки при использовании различных систем машин. Рассмотрим следующие системы машин: харвестер + форвардер; валочно-пакетирующая машина (ВПМ) + скиддер (пачкоподборщик); бензопила + трактор с канатно-чокерным оборудованием; бензопила + бесчокерный трактор (трактор с манипулятором).

В качестве общих для всех систем машин принимаем исходные данные: запас леса 200 м^3/га; длина пасечного волока 200 м; пасечные волока одинаковой длины. При построении распределений проходов считаем, что трелевочный трактор при наборе пачки всегда движется по волоку (для некоторых схем разработки лесосек, представленных в данной работе, при наборе пачки трактор может сходить с волока, а после формирования пачки выезжать опять на волок).

Система машин: харвестер + форвардер. Особенности технологии заготовки сортиментов на лесосеке широко представлены в работах специалистов отрасли. Выделим только те особенности, которые будут оказывать влияние на распределение проходов по волокам. При заготовке сортиментов трелевочный трактор – форвардер, последовательно двигаясь по волоку, осуществляет сбор и погрузку сортиментов с обеих полупасек. Сбор и погрузка осуществляется до тех пор, пока полностью не набран воз трактора, ограниченный по объему сортиментов или по грузоподъемности. Ширина полупасеки ограничивается вылетом манипулятора харвестера (8–12,5 м). Определим длину участка набора пачки на пасечном волоке при вылете манипулятора харвестера 12,5 м. Очевидно, что при использовании машин с разными техническими характеристиками (вылет манипулятора, грузоподъемность и др.) вид распределения проходов будет меняться. В данной работе рассматриваются особенности формирования проходов в целом для систем машин при некоторых заданных условиях и грузоподъемности трактора 10 м^3 с использованием рекомендации – [7] $l_{п} = (V_{п}\cdot 10^4) / b_{п}\cdot q = 10\cdot 10^4 / 25\cdot 200 = 20$ м. На каждый участок набора пачки приходится 2 прохода: один порожний, один с грузом. Разница в количестве проходов для соседних участков составляет 2 прохода. Распределения проходов представлены на рис. 1, а.

Как правило, при сортиментной технологии осуществляется сортировка. Рассмотрим особенности распределения проходов при наборе сортиментов, разделенных на две сортировочные группы. Запас сортиментов первой группы составляет 120 м^3/га, запас сортиментов второй группы – 80 м^3/га. Длина участка набора пачки для первой группы

$l_п$ = 50 м, для второй – $l_п$ = 33,3 м. Результирующее распределение проходов по пасечному волоку складывается из двух распределений. Вид результирующего распределения представлен на рис. 1, б.

Система машин: ВПМ + скиддер. Особенности использования данной системы машин заключаются в том, что ширина пасеки, обрабатываемой валочно-пакетирующей машиной за один проход, составляет от 13–15 м [8] до 18 м [9], то есть ширина пасеки получается значительно меньше, чем в предыдущей схеме. Размеры участка набора пачки определяются максимальным вылетом манипулятора ВПМ. Используем рекомендации [7] для определения размеров площадки леса, обрабатываемой с одной рабочей позиции ВПМ круговой зоны без подготовки прохода. Ширина разрабатываемой ленты $\Delta = 2 \cdot l_м \cdot \cos\alpha = 2 \cdot 9{,}4 \cdot \cos 30° \approx 16$ м, здесь $l_м$ = 9,4 м – максимальный вылет манипулятора, принят для ВПМ марки МЛ-135; $\alpha = 30°$ – угол, относительно оси поворота машины, при котором машина работает на максимальном вылете.

Площадь площадки леса $S = 2 \cdot l_м \cdot \cos\alpha \, (l_м - c) = 2 \cdot 9{,}4 \cdot \cos 30° \cdot (9{,}4 - 4) \approx 87$ м^2, здесь c – расстояние от оси поворота манипулятора до ближайшего дерева принято равным минимальному вылету манипулятора ВПМ марки МЛ-135. Объем пачки, формируемой при валке деревьев, находящихся в пределах данной площади, при равномерном распределении древостоя и запасе 200 м^3/га равен 1,7 м^3. Расстояние между соседними стоянками ВПМ принимаем равным 5,4 м, что соответствует разнице между максимальным и минимальным вылетом манипулятора машины. Для таких условий объем формируемой пачки с одной стоянки ВПМ значительно меньше максимального объема пачки трактора по техническим условиям (ТЛК 4-01 – 7 м^3). Если требований по сохранению подроста нет, то с целью полного использования грузоподъемности трактора применяют прием сдваивания пачек – [9]. В рассматриваемом случае построим распределение проходов: средний объем трелюемой пачки, сформированной из 4 пачек, составляет 6,8 м^3. Длина участка набора пачки по пасечному волоку, которая складывается из расстояний между соседними стоянками ВПМ, равна 20 м. Распределение проходов по волокам представлено на рис. 2, а.

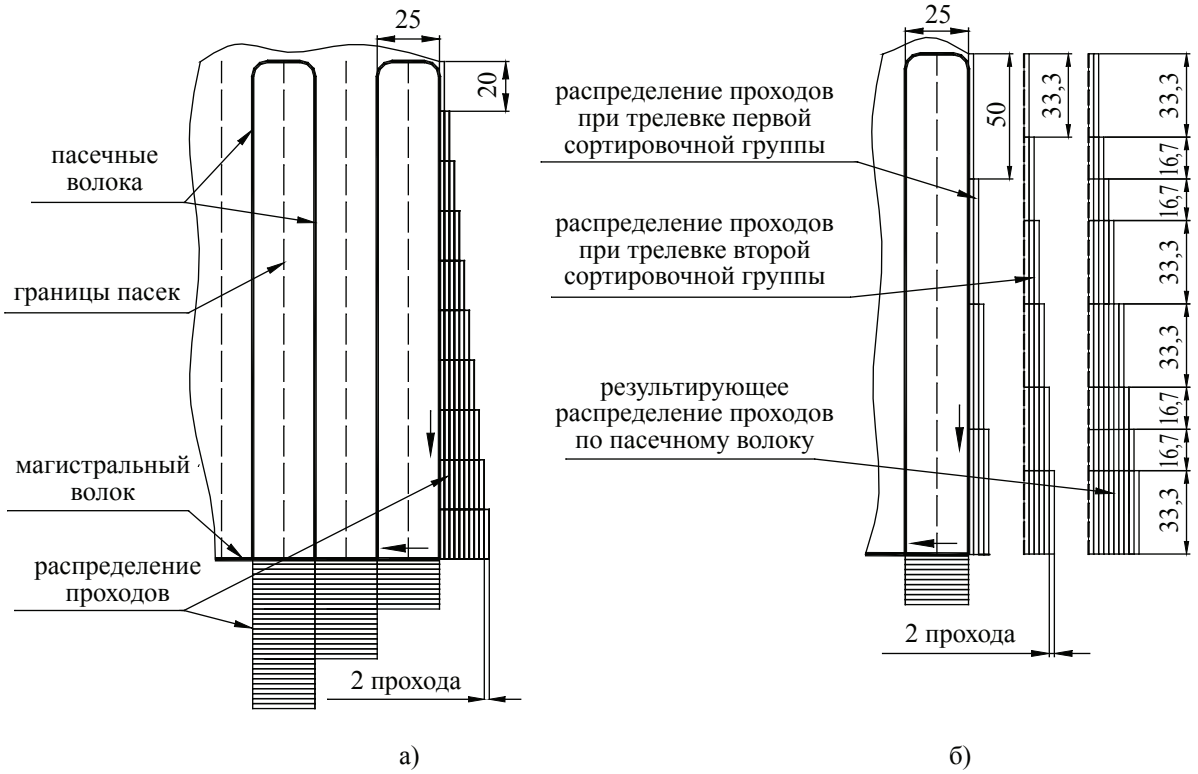


Рис. 1. Пример распределения проходов для системы машин харвестер + форвардер

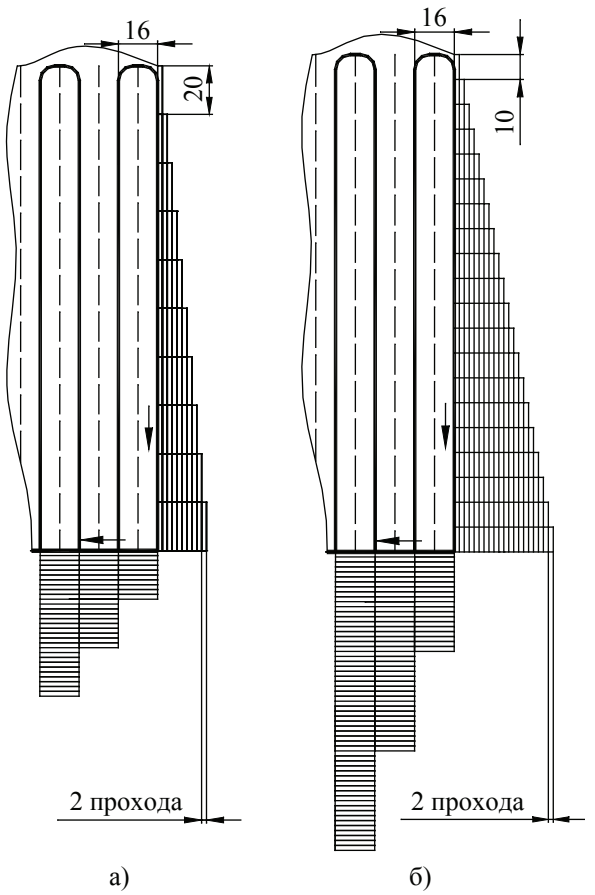


Рис. 2. Пример распределения проходов для системы машин ВПМ + скиддер

Если при работе ВПМ необходимо выполнить требование по сохранению подроста, то пачки формируются сзади по оси волока ВПМ. Маневры трелевочного трактора ограничены требованием сохранности подроста, поэтому трактор преимущественно должен двигаться по следу ВПМ. Средний объем трелюемой пачки трактора здесь меньше, и при формировании пачки с двух стоянок ВПМ будет составлять для рассматриваемых условий 3,4 м^3. Длина участка набора пачки будет равна 10 м. Распределение проходов по волокам при выполнении требования сохранности подроста представлено на рис. 2, б. Если рассматривать формирование проходов при среднем запасе 250 м^3/га, то картина проходов будет аналогична, но средний объем пачки трелевочного трактора, сформированной с двух стоянок ВПМ, будет равен 4,4 м^3.

Система машин: бензопила + трактор с канатно-чокерным оборудованием. Существуют различные схемы разработки пасек. Особенности использования данной системы машин представлены во многих учебных пособиях и монографиях [7, 8, 10]. Рассмотрим наиболее показательные схемы.

Разработка пасек без сохранения подроста с трелевкой деревьев за вершину. Ширина пасек принимается 45–50 м. Полупасеку делят на ленты шириной 8 –10 м. При работе трактора с канатно-чокерным оборудованием расстояние оттаскивания каната ограничивается длиной 25 м – [9], количество чокеров 12–20 [8]. Как показали натурные исследования, при оттаскивании каната на 25 м объем пачки, формируемый с ленты, значительно меньше грузоподъемности трактора. Трактор заходит вглубь волока несколько дальше места расположения первого поваленного хлыста или дерева, на расстояние достаточное, чтобы, двигаясь по волоку в сторону верхнего склада, набрать максимальный объем пачки. В данном случае по отношению к первому поваленному дереву на расстояние 25 м. При небольшом среднем объеме хлыста трактор оснащается дополнительным количеством чокеров. Построим распределение проходов по волокам при ширине пасеки 50 м, ширине ленты 10 м и использовании трелевочного трактора марки ТЛТ-100 с максимальным объемом трелюемой пачки 10 м^3. Длина участка набора пачки при условии набора максимальной пачки составит 50 м. Распределение проходов по пасечному волоку будет результирующим от распределений проходов по волоку при разработке каждой отдельной ленты. Вид распределения представлен на рис. 3, а.

Схема разработки пасеки при наличии жизнеспособного подроста с трелевкой деревьев за вершину. В этом случае ширина пасеки составляет 25–30 м и трелевочный трактор работает только на волоке. Построим распределение проходов по волокам при ширине пасеки 30 м и ширине ленты 10 м. Вид распределения представлен на рис 3, б.

Разработка пасек без сохранения подроста с трелевкой деревьев за комель. Этот способ отличается от способа трелевки за вершины тем, что ширина ленты не должна превышать разбега комлей в 6–8 м. Построим распределение проходов по волокам при ширине пасеки 44 м, ширине первой ленты 8 м, ширине остальных шести лент 6 м.

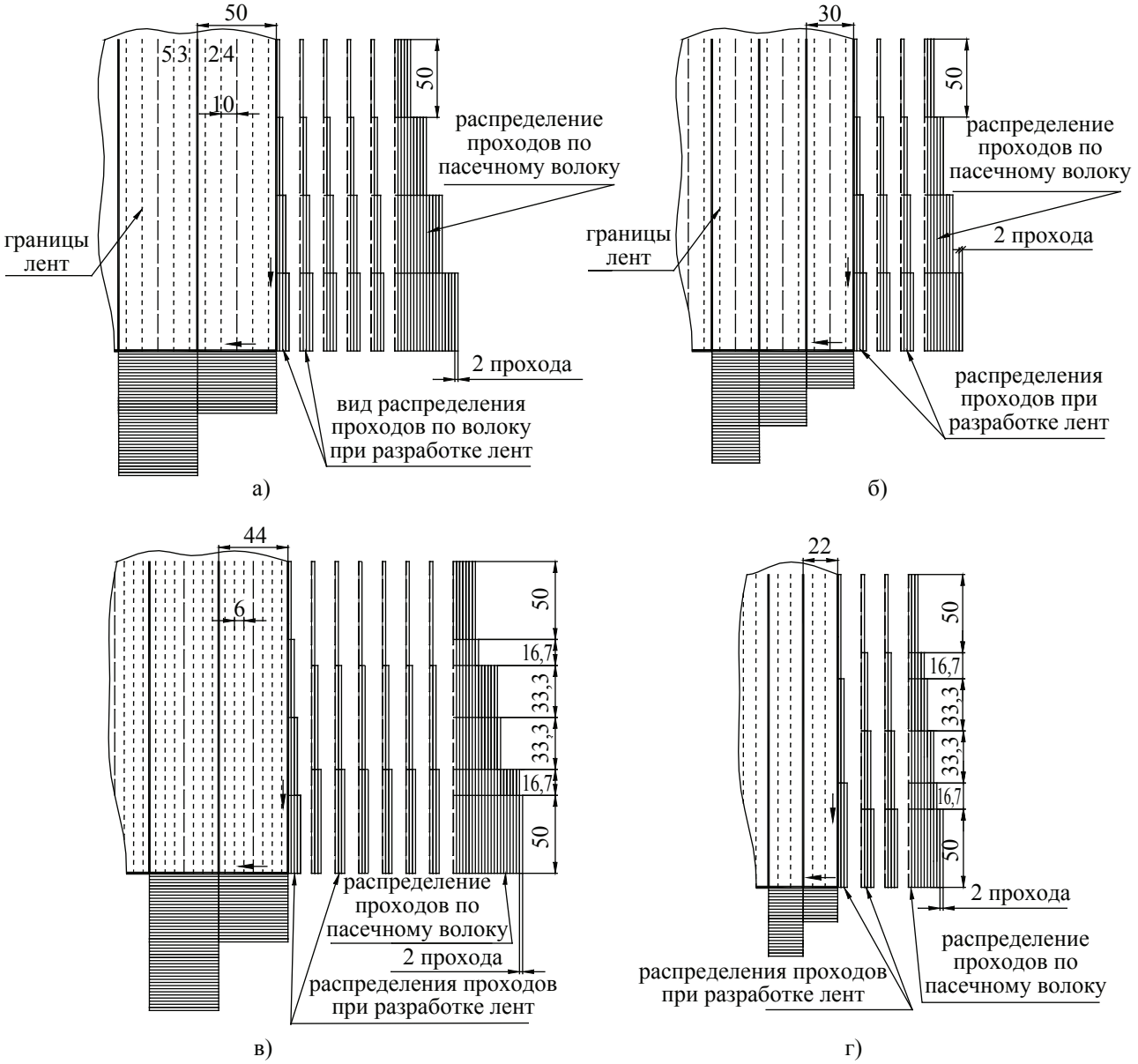


Рис. 3. Пример распределения проходов для систем машин бензопила + трактор с канатно-чокерным оборудованием и бензопила + трактор с манипулятором

Распределение проходов по волокам представлено на рис. 3 в, при условии, что трелевочный трактор набирает максимальный объем пачки (для ТЛТ-100 максимальный объем пачки при трелевке за комли составляет 8 м^3). Длина участка набора пачки для первой ленты 50 м, для второй – 66,7 м.

Система машин: бензопила + трактор с манипулятором. Особенности распределения проходов по волокам для данной системы машин связаны с максимальным вылетом манипулятора. Рассмотрим распределение проходов по волокам при работе трактора ТБ-1М-15. Использование данного типа трактора характеризуется тем, что трактор формирует пачку из деревьев или хлыстов, расположенных в основном слева по ходу движения трактора. Распределение проходов трактора при трелевке деревьев за вершины при ширине пасеки 25–35 м и максимальном объеме пачки 10 м^3 будет иметь такой же вид, как распределение проходов, представленное на рис. 3, б. При трелевке за комли, если пачки формируют манипулятором с одной стороны по ходу движения трактора, ширина пасеки составляет для трактора ТБ-1 10–15 м [8]. Максимальный вылет манипулятора ТБ-1М-15 составляет 8 м. Такой вылет манипулятора

позволяет разрабатывать ленты шириной до 8 м. Построим распределение проходов при ширине пасеки 22 м. Деревья валят лентами: ширина первой ленты 6 м, второй и третьей лент – 8 м. Длина участка набора пачки соответственно 66,7 м и 50 м. Трактор набирает максимальный объем пачки. При трелевке за комли для трактора ТБ-1М-15 максимальный объем равен 8 м^3. Вид распределения представлен на рис. 3, г.

В работе представлены теоретические расчеты распределения проходов трелевочных тракторов по волокам при использовании на лесозаготовках различных систем машин. Эти расчеты показывают, что для каждой системы машин распределение проходов по длине пасечного и магистрального волока обладает особенностями. Эти особенности выражаются в том, что при рассмотрении волока, состоящего из отдельных участков, длина этих участков, как и число проходов, на них приходящихся, отличается для разных систем машин, то есть совокупность этих участков и проходов формирует для каждой системы машин свой вид распределения.

Так как есть связь между количеством проходов и параметрами, которые оценивают разрушение почво-грунта, следовательно, распределение проходов по всем волокам связано с распределением параметров разрушения почво-грунта по лесосеке (уплотнение почвы, образование колеи и др.). Помимо традиционных подходов при моделировании процессов взаимодействия движителя машины с грунтом, необходимо учитывать совокупность факторов, относящихся к технологии лесосечных работ, которая также влияет на процессы деформации почво-грунта, и это влияние распространяется в границах всей лесосеки, а не только отдельно взятого участка транспортного пути.

На основе представленных в данной работе положений ведущие инженеры, специалисты производственных отделов могут осуществлять моделирование распределения проходов по лесосекам, подбирая наиболее приемлемые системы машин или способы организации разработки пасек, схемы волоков, расположение погрузочного пункта, исходя из специфики распределения свойств почво-грунтов по лесосекам. Также совместно с экономистами осуществлять планирование затрат на вспомогательные работы, связанные с укреплением волоков, уточнять нормы выработки на трелевку при изменяющихся в широких пределах свойствах почво-грунта на первичных путях транспорта леса.

Результаты работы также будут полезны для научных сотрудников, которые занимаются проблемами совершенствования лесосечных работ.

Библиографический список

1. Бит, Ю.А. Влияние движителя трактора на почвенно-растительный слой лесосеки / Ю.А. Бит и др. // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз: сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1991. – С. 3–5.
2. Бит, Ю.А. К вопросу о колееобразовании и уплотнении трелевочного волока / Ю.А. Бит, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз: сб. науч. тр. – СПб.: СПбГЛТА, 2002. – С. 38–45.
3. Ильин, Б.А. Прочностные расчеты ездовых поверхностей первичных путей лесотранспорта / Б.А. Ильин // Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса: сб. науч. трудов. – Л.: РИО ЛТА, 1976. – Вып. 5. – С. 49–53.
4. Лапшин, В.А. Улучшение работы машин на грунтах с низкой несущей способностью / В.А. Лапшин // Лесоэксплуатация и лесосплав: экспресс-информация.– М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. – Вып. 19. – С. 2–22.
5. Пискунов, М.А. Повышение эффективности лесосечных работ путем рационального использования образующихся на лесосеке древесных отходов: автореф. канд. … техн. наук / М.А. Пискунов; Петрозаводский гос. ун-т. – Петрозаводск, 2006. – 20 с.
6. Высотин, Н.Е. Определение оптимальных трасс трелевочных волоков при сплошных рубках / Н.Е. Высотин, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз: сб. науч. тр. – СПб.: СПбГЛТА, 2002. – С. 55–61.
7. Кочегаров, В.Г. Технология и машины лесосечных работ: учебник для вузов / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Бит, В.Н. Меньшиков. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 392 с.
8. Шелгунов, Ю.В. Лесоэксплуатация и транспорт леса: учебник для вузов / Ю.В. Шелгунов, А.К. Горюнов, И.В. Ярцев. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 520 с.
9. Шегельман, И.Р. Техника и технология лесосечных работ: учебное пособие / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, О.Н. Галактионов. – Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского гос. ун-та, 2004. – 228 с.
10. Виногоров, Г.К. Лесосечные работы / Г.К. Виногоров. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 272 с.