

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТРЕЛЕВКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Описано техническое решение для выполнения комбинированного способа трелевки, представляющее собой энергетический модуль и два сменных технологических для трелевки хлыстов лебедкой к магистральному волоку и сортиментов на лесопогрузочный пункт. Получена формула производительности и графики ее зависимости от параметров машины и лесосеки. Даются рекомендации по режимам работы трелевочной машины с технологическими модулями.

Введение. В связи с истощением лесного фонда, особенно в Европейской части территории Российской Федерации, возникает необходимость вовлечения в эксплуатацию заболоченных лесных массивов с ограниченными возможностями использования на этих площадях колесных и гусеничных движителей. Одним из возможных вариантов освоения заболоченных лесосек может быть применение на трелевке канатных установок. Подобные установки могут также эффективно использоваться при разработке лесосек с целью сохранения территорий от разрушений почвы гусеницами и колесами трелевочных машин.

В связи с этим вопросы ограничения перемещений машин в лесной среде за счет использования комбинированного способа трелевки являются актуальными.

Целью настоящей работы является обоснование технологии и режимов работы трелевочной машины со сменными технологическими модулями. Для этого поставлены следующие **задачи**: описать устройство технологических модулей, разработать технологическую схему освоения лесосеки, составить информационно-логическую и математическую модели функционирования модуля, вывести формулу производительности в зависимости от параметров машины и лесосеки, дать рекомендации по целесообразным режимам работы машины со сменными технологическими модулями.

Предложены машина и способ для комбинированной трелевки леса. Машина лесозаготовительная в составе энергетического модуля 1 и двух технологических модулей 5 и 10 (рис. 1, 2). Модуль для трелевки канатом, представляющий собой колесное шасси 4 с лебедкой 6, заезжает по магистральному волоку к очередной пасаке с поваленными деревьями (хлыстами) или с небольшими пачками, приготовленными валочно-пакетирующей машиной. Оператор, управляя манипулятором 2, устанавливает на дереве-мачте отклоняющий блок 3, через который пропущен грузонесущий канат 7, который вручную растаскивается по пасечному волоку до места формирования пачки хлыстов (дереьев). Затем чокерами 8 чокаются хлысты; включается гидропривод установленной на технологическом модуле лебедки на наматывание грузонесущего каната, хлысты формируются в пачки и подтрелевываются к магистральному волоку, где их отцепляют. Далее цикл повторяется до тех пор, пока не будут подтрелеваны все хлысты с пасаки.

После окончания трелевки машина переезжает к другой пасаке, и цикл подтрелевки повторяется вышеописанным способом до тех пор, пока не будет подтрелевана вся дре-

весина с пасек, примыкающих к магистральному волоку. Далее в соответствии с технологическим процессом деревья могут очищаться от сучьев, а хлысты раскряжевываться любым из известных способов. В это время лесозаготовительная машина меняет технологические модули на верхнем складе.

Модуль для трелевки сортиментов работает следующим образом. Сортименты грузятся грейферным захватом в грузовой отсек *11* на колесном шасси *9* и транспортируются на верхний склад (лесопогрузочный пункт). Предлагаемый способ позволяет трелевать деревья (хлысты) без заезда трелевочной машины на пасечные волока.

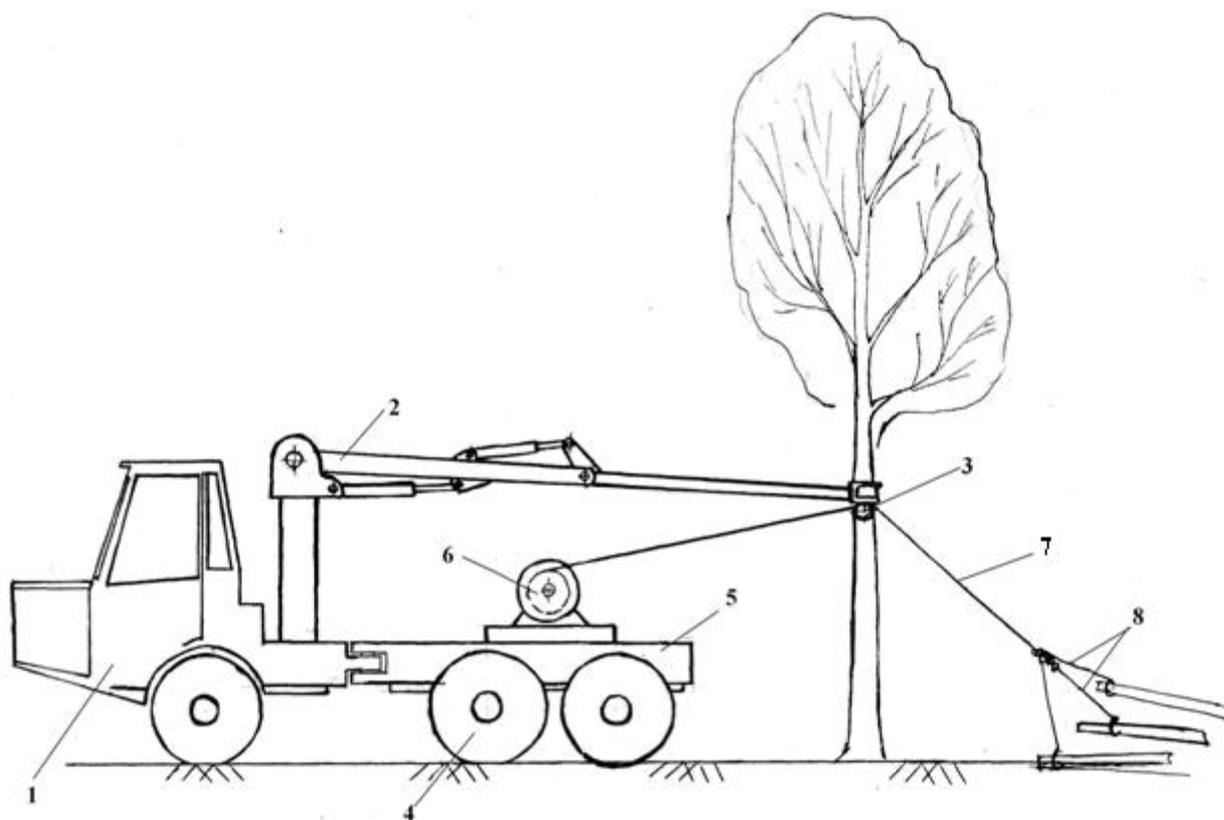


Рис. 1. Машина с модулем, оборудованным лебедкой, для трелевки хлыстов к магистральному волоку

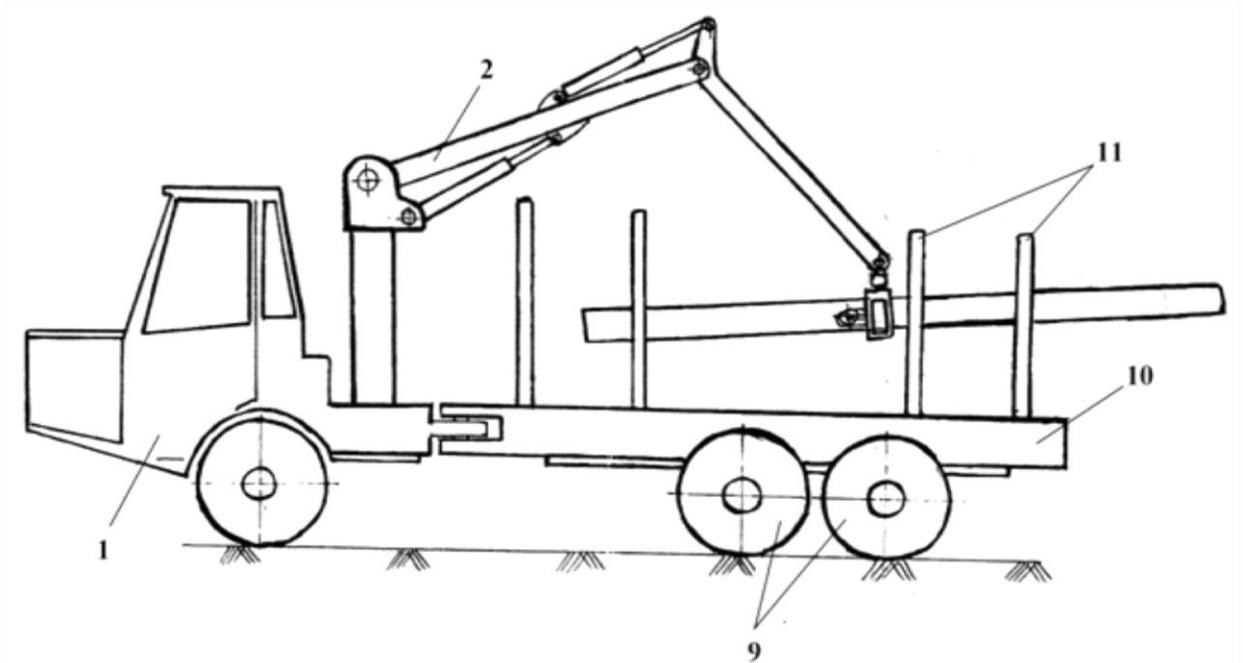


Рис. 2. Машина с модулем, оборудованным грузовым отсеком, для трелевки сортиментов на лесопогрузочный пункт

Схема разработки комбинированной трелевки [1] модульного типа представлена на рис. 3. Лесосека 1 разбивается на делянки с границей 2. В данном случае под делянкой понимается часть лесосеки, тяготеющая к одному магистральному волоку. По середине делянки разрубается магистральный волок 3. Делянку в свою очередь разбивают на пасеки 4. По середине пасеки размечают пасечные волоки 5. Валку деревьев проводят обычным способом вершинами к пасечному волоку бензомоторными пилами. Далее у поваленных деревьев обрезают сучья и оставляют хлысты 7. Во время валки, обрезки сучьев и трелевки на делянках сохраняют подрост, либо не подлежащие валке деревья 8 (при сплошных и выборочных рубках). Зачокерованные деревья (хлысты), образуя пачку 10, подтрелевываются к машине 9 лебедкой.

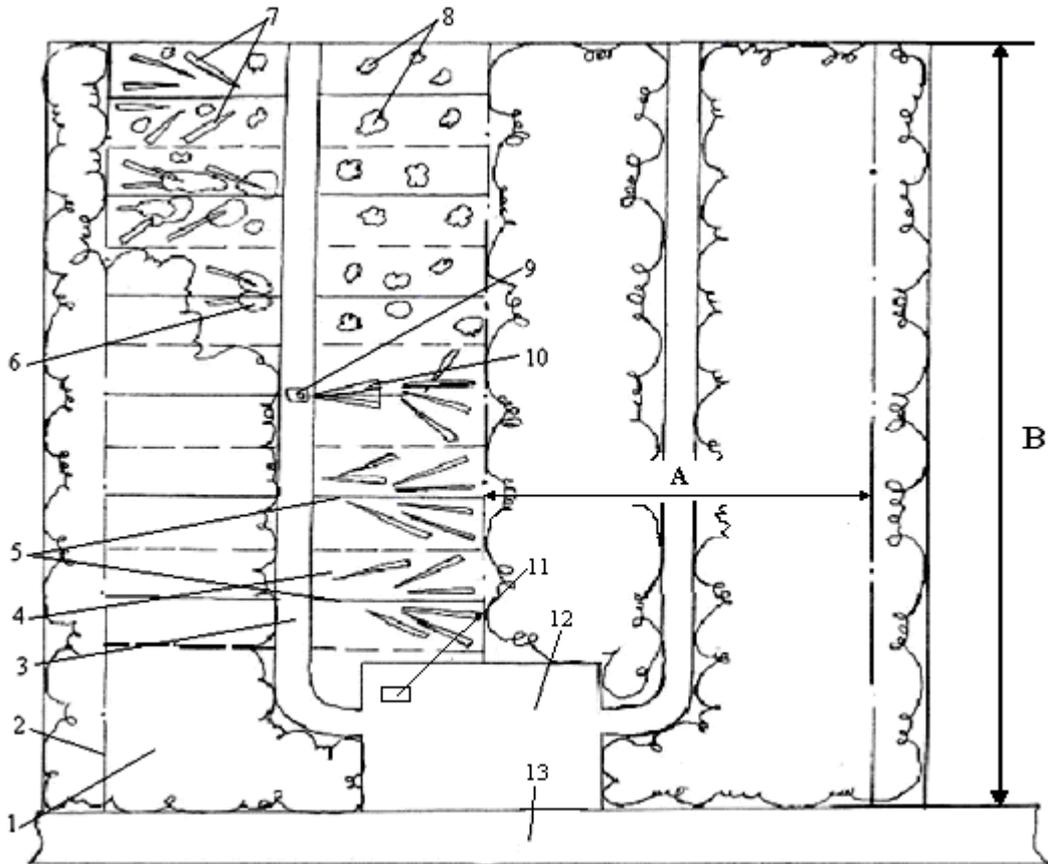


Рис. 3. Схема разработки лесосеки при трелевке комбинированным способом:
 1 – лесосека; 2 – граница делянки; 3 – магистральный волок; 4 – пасека; 5 – пасечный волок;
 6 – поваленные деревья; 7 – хлысты; 8 – деревья, не подлежащие валке; 9 – первый технологический
 модуль; 10 – пачка; 11 – второй технологический модуль; 12 – верхний склад; 13 – лесовозный ус

Математическое моделирование. В соответствии с методикой, изложенной в работе [2], выполнены последовательно информационно-логическое (рис. 4) и математическое (рис. 5) моделирование процесса трелевки хлыстов при помощи машины с технологическим модулем, оборудованном лебедкой.

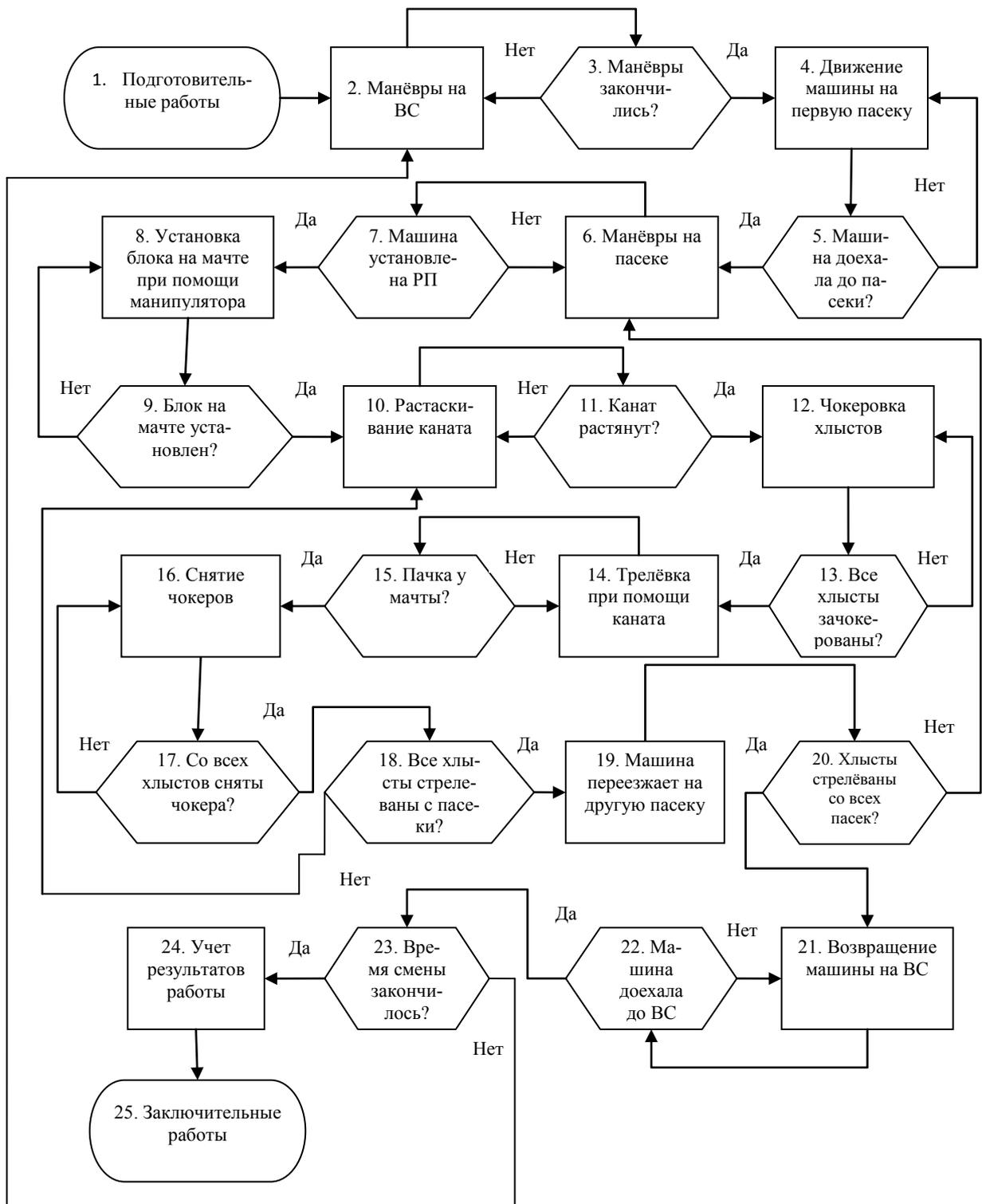


Рис. 4. Информационно-логическая модель трелёвки хлыстов к магистральному волоку машиной с модулем, оборудованным лебедкой: РП – рабочая позиция; ВС – верхний склад

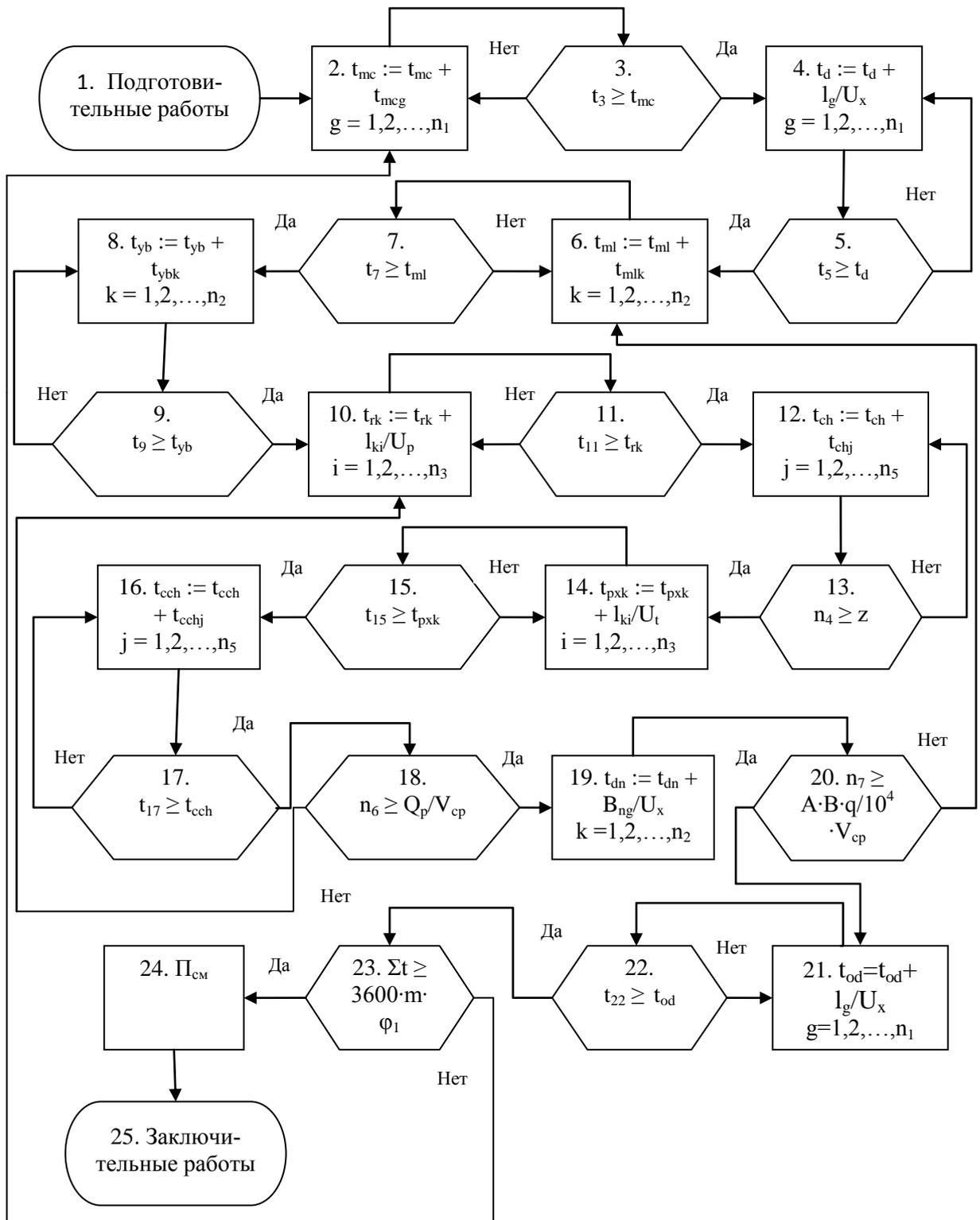


Рис. 5. Математическая модель трелевки хлыстов к магистральному волоку машиной с модулем, оборудованным лебедкой

На основе информационно-логической модели разрабатывается блок-схема математической модели. Число блоков математической модели равно числу блоков информационно-логической модели. Для ее создания выполняются дополнительная символизация параметров: t_{mc} – время маневров на верхнем складе, с; t_d – время на движение машины на первую пасаку, с; t_{ml} – время маневров на лесосеки, с; t_{yb} – время на установку блока на мачте при помощи манипулятора, с; t_{rk} – время на растаскивание каната, с; t_{ch} – время чокеровки хлыстов, с; t_{pxk} – время на трелевку при помощи каната, с; t_{cch} – время снятия чокеров, с; t_{dn} – время на переезд на другую пасаку, с; t_{od} – время на возвращение машины на верхний склад, с; U_x – средняя скорость трелевочной машины без груза, м/с; U_p – средняя скорость движения трелевочного каната без груза, м/с; U_t – средняя скорость движения каната с грузом, м/с; l – расстояние от верхнего склада до первой пасаки, м ($l = b/2 + c$, b – ширина пасаки, м; c – расстояние от верхнего склада до пасаки, м); l_k – средняя длина растаскивания каната на пасаке, м; B_{Π} – ширина пасаки, м; B – ширина делянки, м; A – длина делянки (протяженность вдоль уса), м; V_{cp} – средний объем хлыста, м³; q – средний запас леса на 1 га, м³; n_1 – количество обработанных в течение смены делянок; n_2 – число пасаек, обработанных в течение смены; n_3 – количество пачек хлыстов, стрелеванных в течение смены; $n_4 = z$ – количество чокеров (при условии, что одним чокером чокуруется один хлыст); n_5 – количество хлыстов, стрелеванных в течение смены.

$$n_1 = \frac{\Pi_{cm}}{Q_d} = \frac{\Pi_{cm}}{M \cdot n_8}, \quad (1)$$

где Π_{cm} – сменная производительность машины, м³/с; Q_d – объем хлыстов, стрелеванных с одной делянки, м³ ($Q_d = \frac{A \cdot B \cdot q}{10^4}$); M – объем пачки, трелеваемой машиной, м³ ($M = V_{cp} \cdot z$); n_8 – число стрелеванных пачек на одной делянке ($n_8 = \frac{A \cdot B \cdot q}{10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}$).

$$n_2 = \frac{\Pi_{cm}}{Q_p} = \frac{\Pi_{cm}}{M \cdot n_9}, \quad (2)$$

где Q_p – объем хлыстов, стрелеванных с одной пасаки, м³ ($Q_p = \frac{A \cdot B_{\Pi} \cdot q}{2 \cdot 10^4}$); n_9 – число пачек, стрелеванных с одной пасаки ($n_9 = \frac{A \cdot B_{\Pi} \cdot q}{2 \cdot 10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}$).

$$n_3 = \frac{\Pi_{cm}}{z \cdot V_{cp}}, \quad (3)$$

$$n_5 = \frac{\Pi_{cm}}{V_{cp}}. \quad (4)$$

Время, затрачиваемое в течение смены на выполнение всех действий, суммируется и сравнивается в блоке 23 со временем смены ($3600 \cdot m \cdot \varphi_1$). Взаимосвязь затрата времени и количество стрелеванных пачек дает возможность определить производительность машины. В момент окончания смены выражение (блок 23) можно записать в виде

$$\begin{aligned} n_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot l}{U_x} + t_{mc} \right) + n_2 \cdot \left(t_{ml} + t_{yb} + \frac{B_{\Pi}}{U_x} \right) + n_3 \cdot \left(\frac{l_k}{U_p} + \frac{l_k}{U_t} \right) + n_5 \cdot (t_{ch} + t_{cch}) = \\ = 3600 \cdot m \cdot \varphi_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив значение n_1 , n_2 , n_3 , n_5 с учетом n_8 , n_9 соответственно из формул (1), (2), (3), (4) в выражение (5), получим

$$\begin{aligned} \frac{\Pi_{cm}}{M} \cdot \frac{10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}{A \cdot B \cdot q} \cdot \left(\frac{2 \cdot l}{U_x} + t_{mc} \right) + \frac{\Pi_{cm}}{M} \cdot \frac{2 \cdot 10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}{A \cdot B_{\Pi} \cdot q} \cdot \left(t_{ml} + t_{yb} + \frac{B_{\Pi}}{U_x} \right) + \\ \frac{\Pi_{cm}}{M} \cdot \left(\frac{l_k}{U_p} + \frac{l_k}{U_t} \right) + \frac{\Pi_{cm} \cdot z}{M} \cdot (t_{ch} + t_{cch}) = 3600 \cdot m \cdot \varphi_1. \end{aligned} \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно $\Pi_{см}$, находим выражение для определения производительности трелевочной машины.

$$\Pi_{см} = \frac{3600 \cdot \varphi_1 \cdot m \cdot M}{\frac{10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}{A \cdot B \cdot q} \cdot \left(\frac{2 \cdot l}{U_x} + t_{mc} \right) + \frac{2 \cdot 10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}{A \cdot B_{п} \cdot q} \cdot \left(t_{ml} + t_{yb} + \frac{B_{п}}{U_x} \right) + \frac{l_k}{U_p} + \frac{l_k}{U_t} + z \cdot (t_{ch} + t_{cch})} \quad (7)$$

Зависимость сменной производительности трелевочной машины от средней длины растаскивания каната на пасеке и ширины делянки при ее работе по схеме рис. 3, рассчитанная по формуле (7), представлена на рис. 6, 7. Расчет выполнен при следующих исходных данных: $t_{cch} = 20$ с; $t_{ch} = 15$ с; $t_{ml} = 90$ с; $t_{yb} = 20$ с; $t_{mc} = 60$ с; $z = 8$; $U_t = 2$ м/с; $U_p = 0,5$ м/с; $U_x = 0,8$ м/с; $B_{п} = 40$ м; $\alpha = 30^\circ$; $q = 200$ м³; $V_{cp} = 0,4$ м³; $l = 35$ м; $B = 400$ м; $H = 18$ м; $\varphi_1 = 0,8$; $m = 8$ час; $M = 3,3$ м³.

Анализ графика рис. 6 и уравнение (7) показывают, что производительность трелевочной машины сначала возрастает, достигает максимального значения, а потом медленно уменьшается при увеличении средней длины растаскивания каната на пасеке. При небольших длинах растаскивания каната значительным является удельный вес времени на перемещения машины между пасеками, поэтому увеличение этой длины приводит к резкому росту производительности. При дальнейшем росте l_k увеличивается доля времени на растаскивание каната и трелевку хлыстов, а производительность падает. Производительность также увеличивается при росте объема хлыста (рис. 6, а и рис. 6, б).

Из графика рис. 7 видно, что при увеличении ширины делянки, то есть увеличении числа пасек, производительность на трелевке хлыстов практически не меняется при $B > 50$ м.

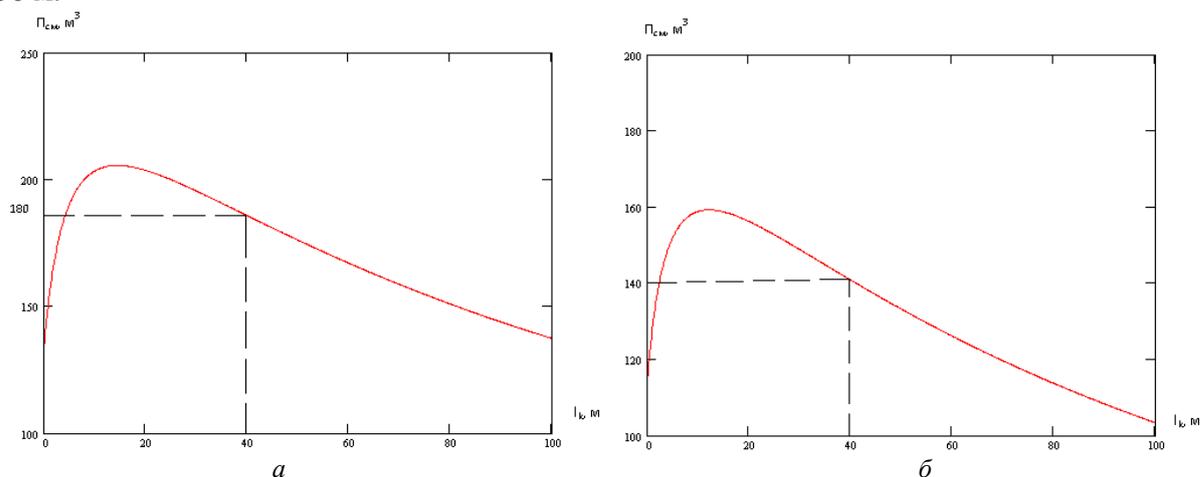


Рис. 6. Графики сменной производительности ($\Pi_{см}$) трелевочной машины с модулем, оборудованным лебедкой, в зависимости от средней длины растаскивания каната на пасеке l_k (м): а – $V_{cp} = 0,4$ м³; б – $V_{cp} = 0,3$ м³

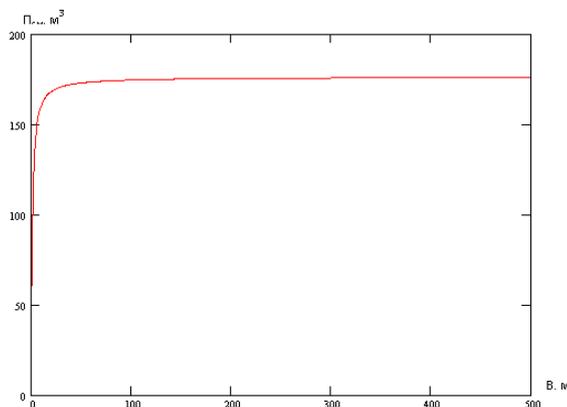


Рис. 7. График сменной производительности ($\Pi_{см}$) трелевочной машины с модулем, оборудованным лебедкой, в зависимости от ширины делянки B (м)

Второй технологический модуль, оборудованный устройством для удержания пачки сортиментов, работает как форвадер. При работе форвадера за харвестером или после валки деревьев, обрезки сучьев и раскряжевки хлыстов бензопилой сбор пачки сортиментов осуществляется с нескольких рабочих позиций. В данном случае с одной пачки трелюется к магистральному волоку такое количество древесины, которое обеспечивает погрузку нескольких пачек сортиментов. Поэтому погрузка пачки осуществляется грейферным захватом форвадера с одной рабочей позиции. В связи с этим преобразуем формулу 4.12 [3] и время цикла трелевки одной пачки форвадером определится из выражения

$$T_{\Phi} = \frac{l_{ср}}{U_x} + t_{ml} + t_{рт} + \frac{M}{Q_{пачки}} \cdot t_{дзу} + \frac{l_{ср}}{U_{г}}, \quad (8)$$

где $t_{рт}$ – время на приведение технологического оборудования из транспортного в рабочее состояние, и наоборот, с; $t_{дзу}$ – время доставки грейферного захвата к сортиментам, их захват и укладка в формировочное устройство, с; $U_{г}$ – скорость трелевочной машины с грузом, м/с; $l_{ср}$ – среднее расстояние трелевки, м (можно принять $l_{ср} = B/2$); $Q_{пачки}$ – объем древесины, захватываемой и погружаемой в грузовой отсек с помощью манипулятора за один прием, м³.

В данном случае формула сменной производительности форвадера примет вид

$$\Pi_{см} = \frac{3600 \cdot \varphi_1 \cdot m \cdot M}{\frac{l_{ср}}{U_x} + t_{ml} + t_{рт} + \frac{M}{Q_{пачки}} \cdot t_{дзу} + \frac{l_{ср}}{U_{г}}}. \quad (9)$$

Зависимость сменной производительности трелевочного форвадера от ширины делянки, рассчитанная по формуле (9), представлена на рис. 8. Расчет выполнен при следующих исходных данных: $U_{г} = 0,5$ м/с; $t_{дзу} = 200$ с; $Q_{пачки} = 0,8$ м³; $M = 5$ м³; $t_{рт} = 30$ с.

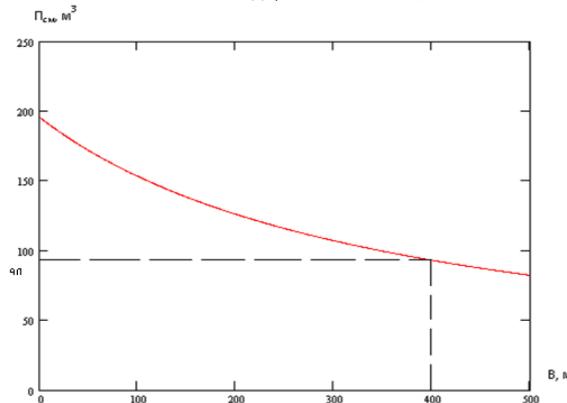


Рис. 8. График сменной производительности ($\Pi_{см}$) форвадера в зависимости от ширины делянки B (м)

Анализ графика рис. 8 и уравнение (9) показывают, что производительность форвадера уменьшается с увеличением ширины делянки, то есть с ростом среднего расстояния трелевки.

Графики рис. 6 и рис. 8 следует использовать для определения рационального режима работы трелевочной машины с двумя технологическими модулями. Например, из графиков рис. 6 видно, что при максимальной длине растаскивания каната на пачке $l_k = 40$ м сменная производительность трелевочной машины с модулем, оборудованным лебедкой, равна $\Pi_{см} = 180$ м³. При ширине делянки 400 м сменная производительность форвадера $\Pi_{см} = 90$ м³. Возможны два варианта рациональных режимов работы маши-

ны: первый – модуль с лебедкой работает целую смену на трелевке хлыстов, следующие две смены работает модуль с грузовым отсеком; второй – одну треть смены трелюются хлысты к магистральному волоку, две трети смены форвадер трелюет сортаменты на верхний склад.

Выводы.

1. Одним из путей сохранения лесной среды и возможностей освоения лесосек на переувлажненных (заболоченных) грунтах и для сохранения лесной среды является комбинированный способ трелевки.

2. Всесторонний анализ комбинированного способа трелевки может быть выполнен путем последовательного информационно-логического и математического моделирования процессов.

3. Полученные формулы и графики зависимости производительности от параметров машины и лесосеки дают возможность прогнозировать результаты работы модулей на двух стадиях комбинированной трелевки и обосновывать рациональный режим работы трелевочной машины.

Список литературы

1. *Ширнин, А. Ю.* Исследование технологии комбинированной трелевки древесины / А. Ю. Ширнин // Лесной вестник. – 2005. – №6. – С. 90 – 98.
2. *Ширнин, Ю. А.* Моделирование процессов заготовки сортированных деревьев и хлыстов / Ю. А. Ширнин: Монография. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 204 с.
3. *Ширнин, Ю. А.* Технология и оборудование лесопромышленных производств. Часть 1. Лесосечные работы: Учебное пособие / Ю. А. Ширнин. – М.: МГУЛ, 2004. – 446 с.

Статья поступила в редакцию 14.07.08.

Yu. A. Shirnin, A. Yu. Shirnin

TECHNIQUE OF THE SUBSTANTIATION OF OPERATING MODES FOR TECHNOLOGICAL MODULES AT COMBINED WOOD HAULING

The technical decision for performing combined hauling representing the power module and two replaceable technological ones for hauling switches with a winch to the main run and assortments to the place of timber-loading is described. The formula of productivity and graphs of its dependence on the parameters of the machine and the cutting area is received. Recommendations on operating modes of the hauling machine with technological modules are given.

ШИРНИН Юрий Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства МарГТУ. Область научных интересов – моделирование и оптимизация технологических параметров лесозаготовок, эффективность технологического процесса рубок леса. Автор более 200 научных работ.

ШИРНИН Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности МарГТУ. Область научных интересов – моделирование и оптимизация технологических параметров лесозаготовок, эффективность технологического процесса рубок леса. Автор 10 научных публикаций.