

1. ЛЕСОЗАГОТОВКИ

УДК 634.0.36

А.А. Федоров

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН, ПРОЦЕССОР ВСП-БТИ И ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Созданные за последние годы новые машины для заготовки леса на ряде работ обеспечивают значительную экономию ручного труда, однако в связи с невысокой производительностью и большой стоимостью применение многих из них не дает необходимого экономического эффекта. Вследствие усложнения конструкций у новых машин (даже в сравнении с обычными тракторами) ухудшены динамика, проходимость, надежность. Существенным их недостатком является также трудность комплектования взаимосогласованной технологической системы.

В целях решения вопросов технологической специализации лесосечных машин проведено аналитическое сопоставление механизации лесосечных работ по первому варианту на базе применения одной многооперационной машины типа ВТМ-4 ЦНИИМЭ, а по второму — системы, включающей две машины, одна из которых валочно-пакетирующая, а вторая — трелевочная, самопогружающая на себя стволы деревьев, сформированные первой машиной в пакеты.

Сопоставление проведено по удельным эксплуатационным затратам по следующей зависимости:

$$q_M = \frac{C_M}{P_M} \approx \sum q_c = \frac{C_B}{P_B} + \frac{C_T}{P_T},$$

где q_M , q_c — удельные эксплуатационные затраты по сравниваемым соответственно многооперационной и специализированной машинам; C_M , C_B , C_T — эксплуатационные затраты, включая зарплату рабочих по многооперационной, валочной и транспортной машинам; P_M , P_B , P_T — производительность сравниваемых машин, определяемая по уравнениям:

$$\Pi_M = \frac{(T_{\text{см}} - t_{\text{пз}}) Q_M}{t_1 \frac{Q_M}{m} + \frac{V_{\text{МГ}} + V_{\text{МХ}}}{V_{\text{МГ}} V_{\text{МХ}}} l_{\text{ср}} + t_{\text{мр}}} ;$$

$$\Pi_B = \frac{(T_{\text{см}} - t_{\text{пз}}) Q_B}{t_1 \frac{Q_B}{m} + t_{\text{вр}}} ;$$

$$\Pi_T = \frac{(T_{\text{см}} - t_{\text{пз}}) Q_T}{t_{\text{тп}} + \frac{V_{\text{ТГ}} + V_{\text{ТХ}}}{V_{\text{ТГ}} V_{\text{ТХ}}} l_{\text{ср}} + t_{\text{тр}}} .$$

Здесь $T_{\text{см}}$ -- время смены, мин; $t_{\text{пз}}$ -- подготовительно-заключительное время, мин; Q_M, Q_B, Q_T -- рейсовые нагрузки; t_1 -- время на спиливание и укладку на машину одного ствола, мин; m -- средний объем ствола, м^3 ; $V_{\text{Г}}, V_{\text{Х}}$ -- грузовые и холостые скорости, $\text{м}/\text{мин}$; $l_{\text{ср}}$ -- среднее расстояние подвозки, м ; $t_{\text{п}}, t_{\text{р}}$ -- время самопогрузки и разгрузки соответствующих машин, мин.

Принимая время смены и подготовительно-заключительное время одинаковыми для всех машин, после подстановок и преобразований найдем величину среднего расстояния трелевки, при котором более выгодно применять раздельную систему машин, чем одну многооперационную:

$$l_{\text{ср}} < \frac{C_B \left(\frac{t_1}{m} + \frac{t_{\text{вр}}}{Q_B} \right) + \frac{G_T}{Q_T} (t_{\text{тп}} + t_{\text{тр}}) - \frac{C_M}{Q_M} \frac{V_{\text{МГ}} + V_{\text{МХ}}}{V_{\text{МГ}} V_{\text{МХ}}}}{x}$$

$$-C_M \left(\frac{t}{m} + \frac{t_{MP}}{Q_M} \right)$$

$$-\frac{C_T}{Q_T} \cdot \frac{V_{TG} + V_{TX}}{V_{TG} V_{TX}}$$

Для расчетов общие веса машин с полезными нагрузками приняты одинаковыми, однако у транспортной машины отношение полезной нагрузки к ее весу принято равным 1,3, а у многооперационной и валочной, как показано на рис. 1, изменяющиеся от 0,5 до 0,95. Скорости движения машин с грузом для всех машин приняты одинаковыми исходя из равенства их весов с полезными нагрузками. Скорости движения машин без груза приняты в обратной зависимости от собственного веса. Вес срезаемых деревьев принят равным 0,4 т, а время их срезания 1 мин.

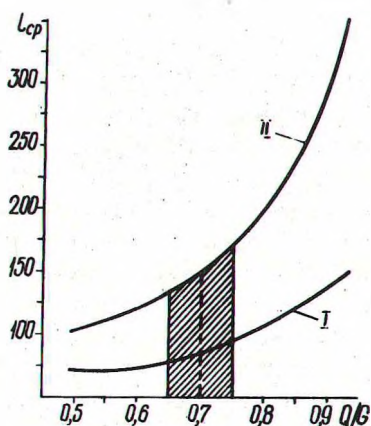


Рис. 1. График зависимости среднего расстояния подвозки ($l_{ср}$) от отношения полезной нагрузки к весу машины (Q/G)

Для всех машин одинаковым принято время разгрузки 2 мин.

Эксплуатационные затраты для первого случая (рис. 1, кривая I) приняты в соотношении

$$C_M : C_B : C_T = 1 : 0,92 : 0,83,$$

а для второго (рис. 1, кривая II)

$$C_M : C_B : C_T = 1 : 0,92 : 0,92.$$

На специализацию машин большое влияние оказывает экономический фактор и соотношения показателя Q/G . Согласно кривой II (рис. 1), применение раздельной системы машин в случае, если у транспортной машины отношение Q/G равно 1,3, становится выгодным при снижении эксплуатационных расходов на каждую из раздельных машин всего на 8% против многооперационной начиная с расстояний, близких к существующей тракторной трелевке. Снижение эксплуатационных затрат на транспортную (или валочную) машину, согласно кривой I, приводит к сокращению расстояния, однако с ростом отношения Q/G_x оно интенсивно увеличивается в обоих случаях (кривые I и II).

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что, принимая во внимание различные условия, существующие в границах обычных лесосек европейской зоны, целесообразно выполнять лесосечные работы по валке и трелевке одной многооперационной машиной, более совершенной, например, чем ВТМ-4.

Раздельная система машин будет эффективна в крупных лесосеках лесозабыточной зоны, а также во всех других случаях, когда строительство автодорог затруднено или имеет высокую стоимость.

Исходя из перспективности раздельной системы, а также учитывая недостатки известных валочно-пакезирующих машин, нами были выполнены разработки по валочно-сучкорезно-пакезирующей машине, совмещающей в себе параллельное выполнение валки, обрубку сучьев и формирование пакета. Машина имеет возможность вести рубку леса на полосе шириной 20 м, что значительно больше, чем это делают другие машины. Важной ее особенностью является принцип работы сбора деревьев в малый пакет сразу же после их срезания в специальном валочном приемнике.

Технологическое рабочее оборудование машины смонтировано на спаренном четырехгусеничном шасси, обеспечивающем последнюю высокую проходимость, устойчивость и в связи с этим возможность широкого применения в самых различных условиях. Кроме того, она обеспечивает наибольшее сохранение подроста, так как до сброса пакета срезанные и обработанные стволы деревьев не контактируются с грунтом, а сами гусеницы воздействуют только на 10% площади лесосеки.

На рис. 2 показан общий вид машины, а на рис. 3 — технологические приемы ее работы.

Подробный анализ экономической эффективности рассматриваемой машины показывает, что ее применение становится целесообразным при сменной производительности свыше 100 м^3 . В лесосеках со средним объемом деревьев $0,4 \text{ м}^3$ ее расчетная производительность равна 250 м^3 ; последняя возрастает до 390 м^3 в лесосеках с объемом деревьев до $1,5 \text{ м}^3$.

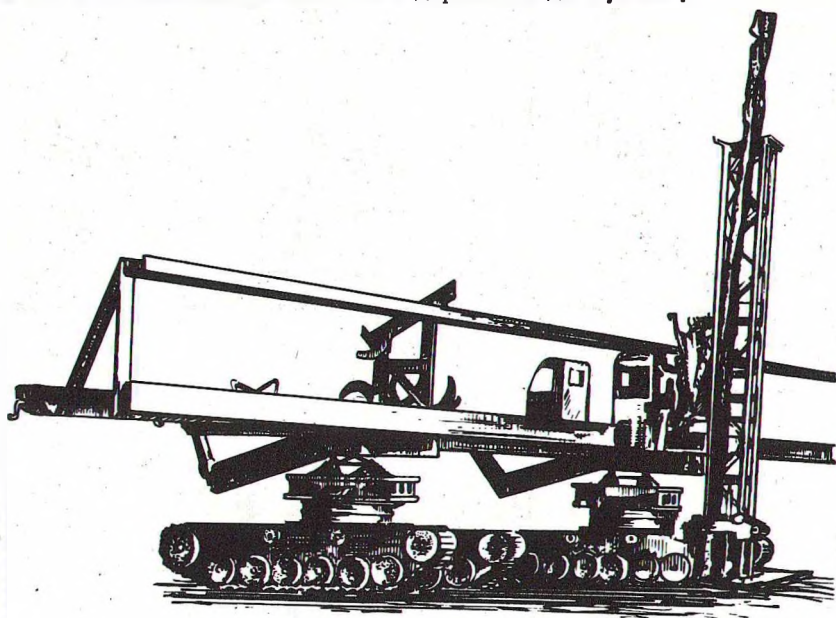
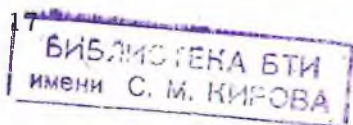


Рис. 2. Общий вид машины.

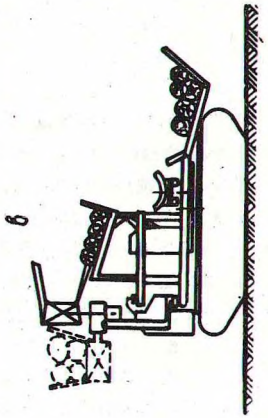
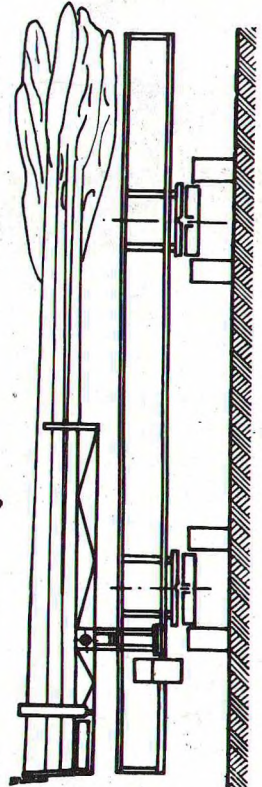
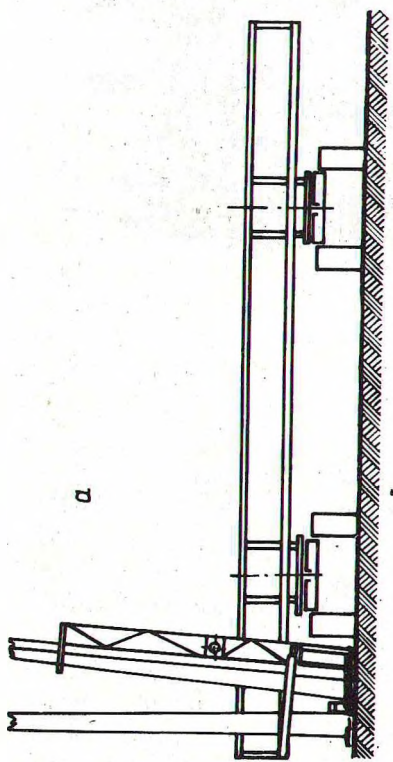
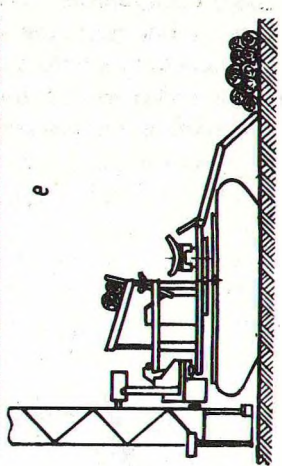
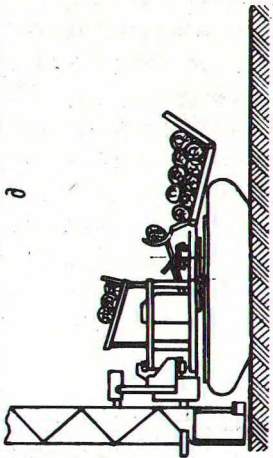
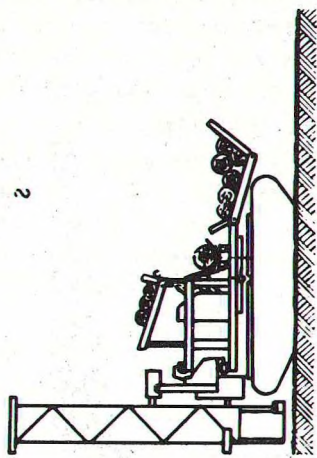
Расчетные данные свидетельствуют о том, что такая ва-
лочной-сучкорезно-пакетирующая машина остается высоко эф-
фективной и при условии ее значительного удорожания против
расчетного уровня при стоимости ее 20--25 тыс.руб.

Новая перспективная система специализированных машин
должна включать более совершенную транспортную машину, чем
существующие трелевочные тракторы. Современная тракторная
трелевка стволов деревьев полупогруженным или полуподвешен-
ным способами как транспортный процесс весьма примитивна.

Главным ее недостатком является большое сопротивление
волочащейся части стволов деревьев, контактирующей с грун-
том. Наряду с обычным трением, указанное сопротивление
обуславливается и более сложным взаимодействием неровнос-
тей стволовой части деревьев, сучьев и веток, вызывающим ак-



554843



тивное разрушение верхних слоев грунта. Высокая энергоемкость этого процесса в свою очередь обуславливает низкие скорости тракторов и в конечном счете низкую их производительность. Кроме того, крупным недостатком существующих способов тракторной трелевки является отрицательное воздействие на ходовой аппарат тракторов внешних сил.

Вызванное силой тяги и опрокидывающим моментом перераспределение давлений опорных элементов ходовой системы на грунт, наряду с другими отрицательными последствиями, вызывает значительное ухудшение проходимости тракторов. Неудовлетворительная проходимость трелевочных тракторов обуславливается, кроме того, недостаточной рациональностью схемы гусеничного обвода.

Технологическими недостатками современных способов тракторной трелевки являются крайне малые расстояния, что вынуждает расходовать огромные средства на строительство разветвленной сети автомобильных или узкоколейных усов и веток. Существенным недостатком является также массовое уничтожение подроста, большие потери древесины и ее загрязнение.

Проведенные нами исследования подтвердили возможность и целесообразность полной замены трелевки транспортировкой стволов новым грузонесущим способом [1].

Экспериментальные исследования на опытной машине, оснащенной простейшим навесным устройством для реализации нового способа подвозки, были в последующем дополнены проверкой в производственных условиях на специально изготовленной для указанных целей машине [2].

Целесообразность грузонесущего способа подвозки стволов деревьев гусеничными машинами впоследствии была подтверждена ОТЗ, МЛТИ и ЦНИИМЭ.

На рис. 4 показана экспериментальная машина, осуществляющая транспортировку стволов деревьев грузонесущим способом.

Новый способ открывает возможности повышения эффективности транспортного процесса за счет значительного увеличения скоростей движения и нагрузок, а также коренной рационализации технологии лесозаготовок путем значительного

Рис. 3. Технологические приемы работы: а — накопление деревьев в приемнике-манипуляторе после срезания; б — разворот пакета срезанных деревьев в горизонтальном положении; в — разгрузка пакета деревьев на буферные балки; г — поштучная подача деревьев на обрубку сучьев; д — сбор стволов деревьев в разгрузочном накопителе; е — сброс пакета на землю.

расширения фронта и дальности подвозки с целью повышения в свою очередь эффективности магистрального транспорта с резким снижением затрат средств на строительство транспортных путей.

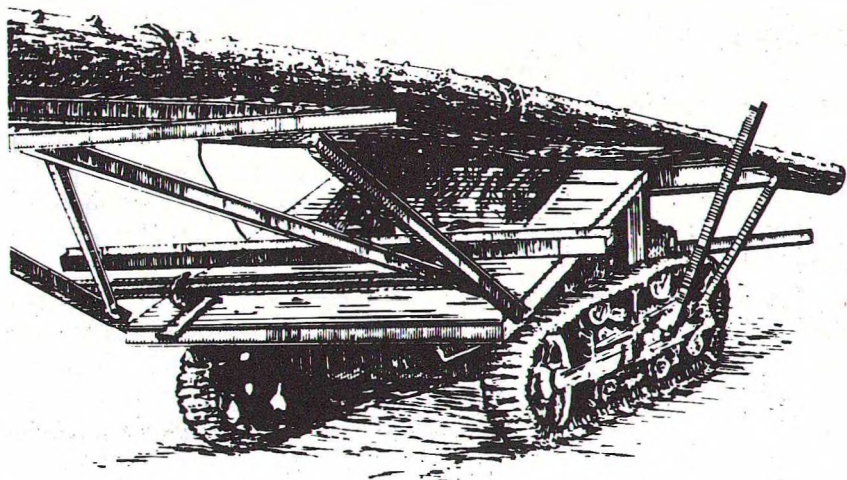


Рис. 4. Вид на движитель с передним ведущим колесом и задним опорно-натяжным катком машины, осуществляющей подвозку леса новым грузонесущим способом.

Очевидно, что эффективность грузонесущего лесосечного транспорта древесины во многом будет определяться совершенством ходовой системы соответствующих машин. В связи с этим нами проведены исследования работы в лесосечных условиях гусеничного движителя, показанного на рис. 4 и 6.

Отличительными его особенностями являются переднее расположение ведущего колеса, резино-металлическая гусеница, эластичная подвеска всех катков, включая задний натяжной, входящий в контакт с грунтом в момент приложения нагрузки к машине.

В процессе исследований схема обвода серийных трелевочных тракторов имитировалась на приведенном движителе (рис. 5) подъемом заднего опорного катка на угол β . Далее исследовались обычная трелевка и подвозка грузонесущим способом (рис. 5, 6). На этих рисунках даны следующие обозначения: a — длина опорной ветви гусениц; a_1, a_2 — расстояние от точки приложения реакций соответственно первой и второй подвесок до линии симметрии опорной части гусениц; $l_{ц.т.}$ — координата центра тяжести машины от середины опорной по-

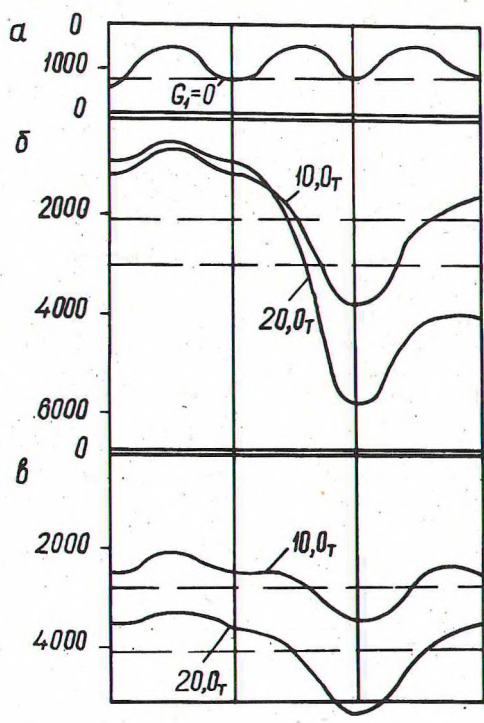
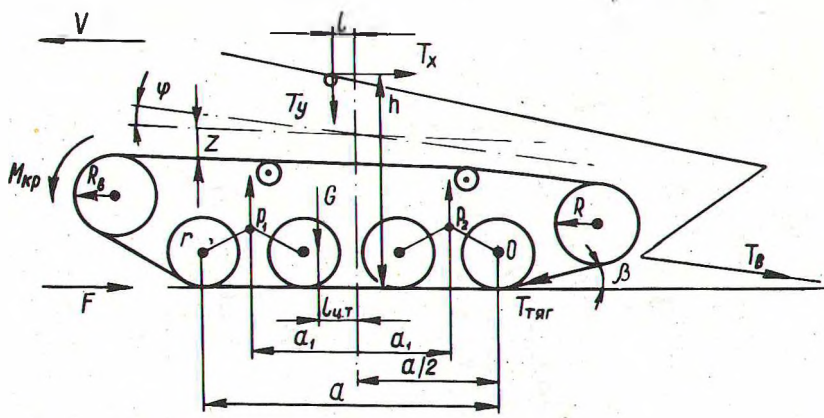


Рис. 5. Эпюры давлений на катки гусеничного обвода с четырьмя опорными катками: а — статическое состояние машины без нагрузки; б — трелевка полупогруженным способом с нагрузкой 10 и 20 т; в — подвозка погруженным способом с нагрузкой 10 и 20 т.

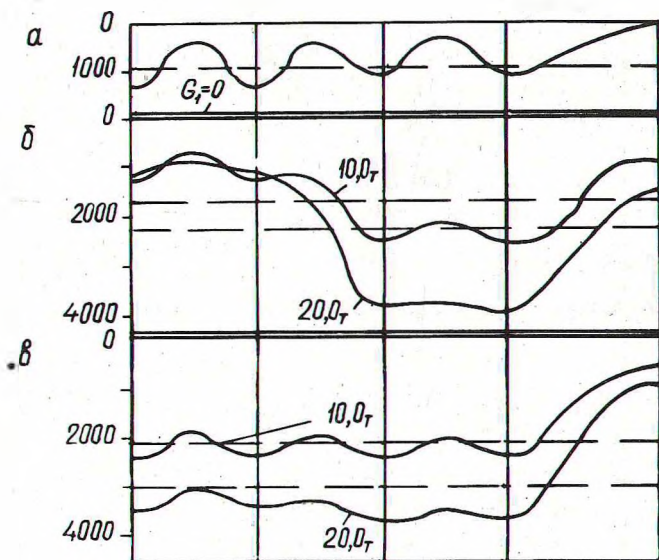
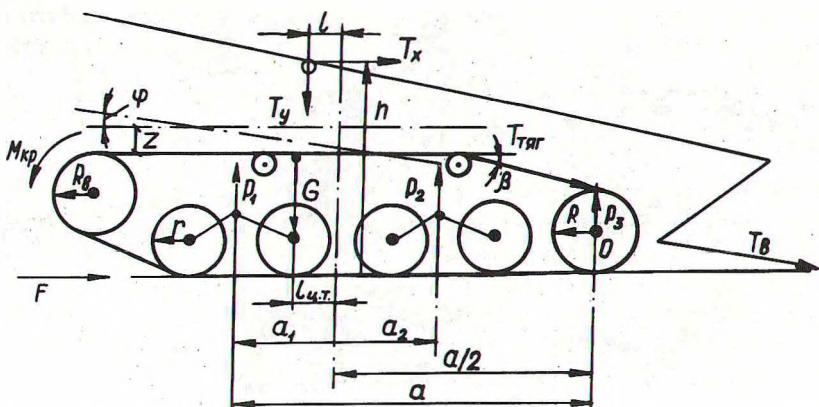


Рис. 6. Эпюры давлений на катки гусеничного обвода с пятью опорными катками: а — статическое состояние машины без нагрузки; б — трелёвка полупогруженным способом с нагрузкой 10 и 20 т; в — подвозка погруженным способом с нагрузкой 10 и 20 т.

верхности; l -- расстояние между вертикальной составляющей нагрузки и осью симметрии опорной части; h -- высота приложения нагрузки; R_B -- радиус ведущего колеса; R -- радиус натяжного колеса; r -- радиус опорных катков; φ -- продольный дифферент машины; G -- вес машины, за вычетом веса частей, находящихся на опорной поверхности грунта; $T_{\text{тяг}}$ -- тяговое усилие гусениц; P_1, P_2, P_3 -- реакции подвесок; $T_{\text{тяг}}$ -- сила сопротивления передвижению машины; $M_{\text{кр}}$ -- крутящий момент на валу ведущей звездочки; T_x и T_y -- горизонтальная и вертикальная составляющие силы тяги, затрачиваемой на движение волочащейся части стволов деревьев; G_1 -- вес пакета стволов; k_1 -- коэффициент распределения веса пакета; f_1 -- коэффициент сопротивления волочению стволов деревьев; μ' -- коэффициент сопротивления передвижению гусеницы, возникающего от первоначальной деформации грунта (коэффициент, рекомендуемый профессором Ф.А. Опейко); μ -- коэффициент сопротивления деформации грунта; k -- коэффициент сопротивления передвижению опорных роликов по гусеничной ленте, возникающего от действия нормальных к опорной поверхности сил; C_1, C_2, C_3 -- жесткости подвесок.

Исходные параметры для схем приводим ниже:

$a = 191,6$ см; $a_1 = 62,85$ см; $l = -8,2$ см; $\beta = 13^\circ$ (рис. 5); $a = 273$ см; $a_1 = 103$ см; $a_2 = 22,5$ см; $l = 30,5$ см; $\beta = 11^\circ$ (рис. 6);

$h = 190$ см (с учетом просадки); $l_{\text{ц.т}} = 43$ см; $G = 10000$ кг; $r = 25$ см; $R = 35,5$ см; $R_B = 0,2975$ м; $C_1 = 500$ кг/см; $C_2 = 530$ кг/см; $C_3 = 6125$ кг/см; $k_1 = 0,575$; $f_x = 0,5$; $\mu' = 0,04$; $\mu = 0,07$; $K = 0,04$; $G_1 = 10$ и 20 т (рис. 5,6).

Согласно расчетным схемам:

$$T_y = G_1 k_1; \quad (1)$$

$$T_x = G_1 f_x (1 - k); \quad (2)$$

$$F = (G + T_y) \mu'; \quad (3)$$

$$T_{\text{тяг}} = 0,5 [T_x + (G + T_y)] (\mu + k). \quad (4)$$

Усилие в подвеске определяется ее жесткостью (С) и перемещением z и $\text{tg } \varphi$ [3]

$$P = C (z \pm a \text{tg } \varphi) \approx C(z \pm a \varphi). \quad (5)$$

Для четырехопорного движителя

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= C_1 (z - a_1 \varphi) = 500z - 31425 \varphi ; \\ P_2 &= 530z + 33310 \varphi . \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Из условия равновесия

$$-0,5 G - 0,5 T_y - T_{\text{тяг}} \cdot \sin \beta + P_1 + P_2 = 0 .$$

Подставляя выражение (6), получим

$$z = -\frac{1}{2060} [-3771 \varphi + G + T_y + 0,45 T_{\text{тяг}}] . \quad (7)$$

Сумма моментов относительно оси последнего катка

$$\begin{aligned} 0,5 Fr + T_{\text{тяг}} r - 0,5 G \left(\frac{a}{2} + 1_{\text{ц.т}} \right) - 0,5 T_y \left(\frac{a}{2} + 1 \right) + \\ + 0,5 T_x (h - r) + P_1 \left(-\frac{a}{2} + a_1 \right) + P_2 \left(-\frac{a}{2} - a_1 \right) = 0 . \end{aligned}$$

После подстановки (3)

$$\begin{aligned} -G \left(\mu' r + \frac{a}{2} + 1_{\text{ц.т}} \right) - T_y \left(\mu' r + \frac{a}{2} + 1 \right) + \\ + 22 T_{\text{тяг}} + T_x (h - r) + P_1 (a + 2a_1) + P_2 (a - 2a_1) = 0 . \end{aligned} \quad (8)$$

Далее получим

$$\begin{aligned} \varphi = \frac{1}{813040} \left[-G (25 \mu' + 1,8306 + 1_{\text{ц.т}}) - \right. \\ \left. - T_y (25 \mu' + 1,8306 + 1) + 92,286 T_{\text{тяг}} + T_x (h - 25) \right] . \quad (9) \end{aligned}$$

(5) Для пятиопорного движителя реакции подвесок по формуле

$$P_1 = C_1 (z - a \varphi) = 500z - 51500 \varphi ;$$

$$P_2 = 530z + 11925 \varphi ;$$

$$P_3 = 6125z + 8360,6 \varphi .$$

По аналогии с первой схемой для определения z и φ составим уравнение проекции всех сил на вертикальную ось OY :

$$-0,5G - 0,5T_y - T_{\text{тяг}} \cdot \sin \beta + P_1 + P_2 + P_3 = 0,$$

которое после подстановки выражения (6) дает

$$z = \frac{1}{2182,5} \left[62429\varphi + G + T_y + 0,3816 T_{\text{тяг}} \right]. \quad (10)$$

Сумма моментов сил относительно оси ленивца:

$$\begin{aligned} & -0,5FR + T_{\text{тяг}} R + 0,5G \left(1_{\text{ц.т}} + \frac{a}{2} \right) + 0,5T_x (h - R) - \\ & - 0,5T_y \left(1 + \frac{a}{2} \right) + P_1 \left(a_1 + \frac{a}{2} \right) + P_2 \left(\frac{a}{2} - a_2 \right) = 0 \end{aligned}$$

или с учетом формулы (3)

$$\begin{aligned} & -G \left(\mu' R + \frac{a}{2} + 1_{\text{ц.т}} \right) + T_y \left(R\mu' + 1 + \frac{a}{2} \right) + 2RT_{\text{тяг}} + \\ & + T_x (h - R) + P_1 (a + 2a) + P_2 (a - 2a_2) = 0. \quad (11) \end{aligned}$$

Подставляя формулу (10) и численные значения, имеем:

$$\begin{aligned} \varphi = \frac{1}{11642000} \left[-G(35,5\mu' - 28,61 + 1_{\text{ц.т}}) - \right. \\ \left. - T_y(35,5\mu' - 28,61 + 1) + 134T_{\text{тяг}} + T_x(h - 35,5) \right]. \end{aligned}$$

По полученным данным на основе машинной обработки построены представленные на рис. 5 и 6 эпюры давлений опорных катков на грунт (без учета веса самих катков и опорной ветви гусениц, не оказывающих влияния на соотношение рассматриваемых величин), а в табл. 1 сопоставлены максимальные, усредненные давления и их отношения.

Из данных табл. 1 следует:

1. В статическом состоянии без нагрузки у пятиопорного движителя усредненное давление примерно на 1/4 меньше, чем у четырехопорного. Значения максимальных давлений почти не различаются. Значения коэффициента ξ_2 второго больше, чем у первого на 31%. Объясняется это тем, что последний натяжной каток в этом случае нагружен незначительно, поэтому велико отношение $P_{\text{max}} : P_{\text{ср}}$.

Таблица 1. Значения давлений опорных катков на грунт для двух схем движителей при трелевке и подвозке грузонесущими способами

Варианты веса транспортного груза в показателе давлений катков на грунт	Четырехопорный обвод			Пятипорный обвод		
	статика без груза	трелевка полуогруженным способом	подвозка грузонесущим способом	статика без груза	трелевка полуогруженным способом	подвозка грузонесущим способом
$G = 0$, статика усредненное значение, кг/%	1270	-	-	865	-	-
	100	-	-	78	-	-
	максимальное значение, кг/%	1366	-	-	1375	-
	100	-	-	101	-	-
значение коэффициента ξ , %	107	-	-	138	-	-
Движение при $G = 10,0$ т	усредненное значение, кг/%	2170	2610	1840	2104	
		100	120	75,6	97,0	
	максимальное значение, кг/%	3920	3460	2617	2428	
		100	88,3	66,7	61,7	
значение коэффициента ξ , %	180	132	159	114		
Движение при $G = 20,0$ т	усредненное значение, кг/%	3025	39,0	2080	3060	
		100	129	69,0	101	
	максимальное значение, кг/%	6050	5326	3815	3715	
		100	88,0	63,0	61,5	
значение коэффициента ξ , %	200	136	183	121		

Примечание. Коэффициент ξ определяется как отношение $P_{\max} : P_{\text{ср}}$.

2. В варианте движения с нагрузкой 10 т у обоих вариантов движителя при переходе от трелевки к подвозке грузонесущим способом усредненные давления возрастают примерно на 20%.

Наибольшие максимальные давления имеют место у четырехопорного движителя при трелевке. Замена трелевки грузонесущим способом, однако, снижает максимальное давление в этом случае на 11,7%. Замена четырех- на пятипорный движитель снижает максимальное давление при трелевке на 33,3%, а при подвозке грузонесущим способом на 38,3%.

Значения коэффициента ξ у четырехопорного движителя при переходе от одного к другому способу транспортировки снижается на 48%, а у пятипорного — на 66%. При трелевке замена одного движителя другим также снижает коэффициент ξ , но существенно меньше (21%).

3. В варианте с нагрузкой 20 т переход от трелевки к подвозке у четырехопорного движителя увеличивает среднее давление на 29%, однако у пятипорного движителя, несмотря на значительное увеличение общей массы агрегата в целом, это давление повышается всего на 1%.

Максимальное давление у четырехопорного движителя при переходе от трелевки к подвозке снижается на 12%. У пятиопорного движителя при трелевке оно снижается на 37% и при подвозке новым способом на 38,5%.

Значение коэффициента ξ при переходе от одного к другому способу транспортировки у четырехопорного движителя снижается на 64%, а у пятиопорного -- на 79%. Имеет место также снижение этого коэффициента и при трелевке с заменой четырех- на пятиопорный движитель (17%).

Резюме

В лесосеках ограниченных размеров, типичных для европейской зоны страны, целесообразно механизировать валку и трелевку на базе одной многооперационной машины.

В крупных лесосеках с увеличенным расстоянием подвозки леса к автодорогам более эффективна система из отдельных машин.

В наибольшей мере требованиям лесозэксплуатации отвечает рассмотренный движитель с передним расположением ведущего колеса и удлиненной опорной ветвью обвода.

Сочетание нового грузонесущего способа подвозки стволов деревьев с предлагаемой конструкцией движителя позволяет решить проблему интенсификации процесса транспортировки древесины в лесосеках на новой качественной основе с одновременным значительным расширением фронта этих работ.

Л и т е р а т у р а

1. Федоров А.А. Совершенствование подвозки леса гусеничными машинами. -- "Изв. вузов. Лесной журнал", 1960, №3.
2. Федоров А.А. Трелевочно-перегрузочная машина, -- "Лесная промышленность", 1961, № 11.
3. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М., 1968.

УДК 625.2

А.В. Жуков (канд.техн.наук)

ОБОБЩЕННЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

Как показала экспериментальная проверка и практика проектирования, большинство расчетных моделей, подробное описание которых содержится в работе [1], имеют достаточную для