

М. В. Ходосовский

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛУПОДВЕСНОЙ ТРЕЛЕВКИ ХЛЫСТОВ ЛЕБЕДКАМИ

Одно из основных требований, предъявляемых к трелевочной установке как транспортному средству на лесосеке, — обеспечение достаточной проходимости груза в условиях бездорожья. В отличие от трелевочных тракторов, транспортирующих хлысты в полупогруженном положении, при трелевке лебедками груз связан со стационарной тяговой машиной стальным канатом большой длины. В этом случае условия проходимости хлыстов в той или иной степени обеспечиваются приподниманием вершин над грунтом под действием подъемной силы, создаваемой тяговым или несущим канатом трелевочной установки. Обеспечение более благоприятных условий проходимости ввоза хлыстов по волокам, достигаемое в результате увеличения подъемной силы, связано с удорожанием трелевочной установки и ростом трудозатрат на монтажно-демонтажные работы.

Условия проходимости ввозов по волокам зависят не только от типа и параметров трелевочной установки, но и от изменяющихся природных и производственных факторов (состава насаждений, заболоченности лесосек, запаса древесины на 1 га, среднего объема хлыста, высоты пней, среднего расстояния трелевки и т. д.).

В связи с этим исследование влияния проходимости ввозов на стоимость трелевки древесины приобретает важное значение для выбора оптимального типа трелевочной установки.

Исходными данными для расчетов по определению количества зацепов ввозов за пни при трелевке установкой без несущего каната служат размеры лесосеки, запас древесины на 1 га, средний объем хлыста, состав насаждений, средняя высота пней, а также параметры трелевочной установки. Средняя высота пней (высота уровня среза растущего дерева) устанавливается на основании натуральных обследований отводимых в рубку лесосек.

При трелевке установкой без несущего каната на лесосеке нами выделены три зоны проходимости (рис. 1): беспрепятственной трелевки, где высота подъема вершин выше средней высоты пней, — *А*; полуподвесной трелевки с высотой подъема вершин, меньшей высоты пней, — *Б*; наземной трелевки — *В*. В качестве пограничного признака, разделяющего зоны *Б* и *В*, принято начало отрыва вершинной части ввоза от грунта, т. е. высота подъема вершин, равная 5—6 см.

Учитывая, что не каждая встреча ввоза с препятствием приведет к зацепу, мы провели наблюдения за количеством беспрепятственных проходов ввозом пней при полуподвесной и наземной трелевке. Наблюдения проводились на заболоченных лесосеках с ольховыми насаждениями. Поскольку беспрепятственные проходы ввозом пней — величина случайная, мы ввели понятие коэффициентов проскальзывания при по-



По величине подъемной силы  $P_1$ , весу воза  $G$  и коэффициенту сопротивления движению  $\mu$  определяется тангенс угла  $\alpha$ , составленного волоком и касательной к тяговому канату.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_1}{\mu(G - P_1)}. \quad (2)$$

Зная угол  $\alpha$ , по полученной нами формуле находим расстояние от мачты, где вершины воза будут подняты на высоту  $y$ :

$$l_1 = \frac{\sqrt{G_{\mu} [G_{\mu} \sin^2 \alpha + 2gh(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)] - G\mu \sin \alpha}}{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3)$$

где  $h$  — высота мачты,  $m$ ;

$g$  — вес 1 пог. м рабочего трелевочного каната.

При трелевке вершиной вперед повал деревьев производится в направлении к головной мачте под некоторым углом к волоку. В результате этого в зону  $A$  и на ее границу попадут вершины деревьев, спиленных в некоторой полосе полукольцевой зоны  $B$ . Это означает, что радиус  $r_1$  должен быть увеличен на ширину этой полосы, т. е.

$$r_1 = l + H \cos \beta, \quad (4)$$

где  $H$  — длина хлыста;

$\beta$  — угол между направлением повала деревьев и волоком.

Величина угла  $\beta$  колеблется от 0 до 45°. На расстоянии от мачты  $l=20-30$  м можно принять  $\beta=0^\circ$ .

Радиус  $r_2$  зоны  $B$  вычисляется аналогичным образом, причем в уравнение (1) подставляется в данном случае  $y=5 \div 6$  см.

По найденным радиусам  $r_1$  и  $r_2$  определяются объемы древесины в зонах  $A$ ,  $B$  и  $B$ :

$$Q_A = \frac{\pi r^2 A}{20\,000}; \quad (5)$$

$$Q_B = \frac{\pi(r_2^2 - r_1^2)A}{20\,000}; \quad (6)$$

$$Q_B = Q_L - (Q_A + Q_B). \quad (7)$$

Для вычисления общей протяженности пути, проходимого возами наземным способом, надо сначала определить среднее расстояние трелевки из зоны  $B$ . Оно находится через грузовую работу:

$$x_1 = \frac{R_L - R_{AB}}{q_b}, \quad (8)$$

где  $R_L$  — грузовая работа трелевки на всей лесосеке;

$R_{AB}$  — грузовая работа трелевки из зон  $A$  и  $B$ , равная

$$R_{AB} = 0,6366 r_2(Q_A + Q_B);$$

$q_b$  — объем воза,  $m^3$ .

Дальнейшие расчеты должны быть направлены на отыскание среднего расстояния между пнями, которые будут встречаться на пути дви-

жения вoза. Это расстояние зависит от ширины головного торца вoза, запаса на 1 га и среднего объема хлыста. Что касается ширины головной части вoза, то она с приемлемой для практики точностью может быть определена на основе предположения, что вершины хлыстов при трелевке собраны в пачку, поперечное сечение которой приближается к форме круга. Тогда диаметр (ширина) переднего торца вoза определится из выражения

$$D = d \sqrt{\frac{n}{\varphi}}, \quad (9)$$

где  $d$  — диаметр вершины хлыста, м;

$n$  — количество хлыстов в вoзе;

$\varphi$  — коэффициент полнодревесности,  $\varphi \approx 0,6-0,7$ .

Среднее расстояние между пнями на полосе движения вoза при ширине его передней части, равной  $D$ , найдется по полученной нами формуле

$$L_{\pi} = \frac{10\,000q_x}{Ad \sqrt{\frac{n}{\varphi}}}, \quad (10)$$

где  $q_x$  — средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;

$A$  — запас на 1 га, м<sup>3</sup>.

Определим сначала количество зацепов хлыстов за пни при формировании вoза. В зоне  $B$  половина средней ширины сектора может быть больше величины  $H \sin \beta$ , тогда вершины хлыстов расположатся на некотором удалении от волока. В этом случае при формировании вoза создаются особенно неблагоприятные условия проходимости хлыстов, потому что каждый из них движется к волоку по отдельному направлению. В результате увеличивается общая ширина торцевой части вoза и возрастает количество зацепов. С уменьшением ширины сектора условия проходимости хлыстов при формировании вoза улучшаются, однако увеличиваются общие затраты на перебазировки трособлочной системы из сектора в сектор.

В зоне  $B$ , расположенной вблизи мачты, вершины спиленных деревьев находятся на волоке или в непосредственной близости от него. Поэтому расчет проходимости хлыстов при формировании вoза целесообразно проводить только для зоны  $B$ . Располагая методикой расчета количества зацепов во время сбора вoзов в зоне  $B$ , можно в случае большой ширины сектора включить в расчеты и зону  $B$ .

Для определения среднего расстояния, которое проходят хлысты при формировании вoза от пня до волока, найдем среднюю ширину сектора  $C$  в зоне  $B$ . Ширина основания сектора для всей лесосеки вычисляется по полученной нами формуле

$$C_0 = \frac{4ab}{n(a + \sqrt{a^2 + 0,25b^2})}, \quad (11)$$

где  $a$  — ширина лесосеки, м;

$b$  — длина лесосеки, м;

$n$  — количество секторов на лесосеке.

Тогда средняя ширина сектора для всей лесосеки составит  $0,5C_0$ , а в зоне  $B$  найдется из пропорции

$$\frac{C_0}{2C} = \frac{l_{cp}}{x_1}; C = \frac{C_0 x_1}{2l_{cp}}, \quad (12)$$

где  $l_{cp}$  — среднее расстояние трелевки на всей лесосеке.

Если рабочий трелевочный канат проходит по середине сектора, то среднее расстояние подтрелевки хлыстов к волоку, как это видно из рис. 1, б, составит

$$x_2 = \frac{C - 2H \sin \beta}{4 \sin \beta}. \quad (13)$$

Общая длина пути, проходимого хлыстами при подтрелевке их к волоку, найдется из выражения

$$L = \frac{(C - 2H \sin \beta)}{4 \sin \beta} \cdot \frac{Q_b(1 - K_2)}{q_b}. \quad (14)$$

Ввиду того что хлысты подтреливаются к волоку разрозненно, ширина торцевой части всей группы определяется суммой их вершинных срезов:

$$D' = \frac{q_b}{q_x} d. \quad (15)$$

Тогда расстояние между препятствиями на пути движения каждого хлыста составит

$$L_n^1 = \frac{10\,000 q_x^2}{A q_b d}. \quad (16)$$

Количество зацепов при этом определится как частное от деления  $z$  на  $z_n^1$ , т. е.

$$L_0 = \frac{A d Q_b (C - 2H \sin \beta) (1 - K_2)}{40\,000 q_x^2 \sin \beta}. \quad (17)$$

Как и следовало ожидать, количество зацепов  $z_0$  при подтрелевке хлыстов к волоку не зависит от объема воя. Средний объем хлыста, величина которого возводится в квадрат, напротив, оказывает большое влияние на количество зацепов при подтрелевке хлыстов к волоку. С изменением среднего объема хлыста при данном запасе на 1 га изменяется не только количество хлыстов, а следовательно, суммарная ширина торцов, но и количество пней на лесосеке.

Количество зацепов, которое будет наблюдаться при трелевке воя из зоны  $B$ , определится следующим образом.

Как видно из рис. 1, а, воя хлыстов, трелеваемые из зоны  $B$ , перемещаются в пределах этой зоны наземным способом, пересекают зону  $B$  при высоте подъема вершин меньшей высоты препятствий, что опять-таки не обеспечивает полной проходимости, и, наконец, беспрепятственно, без зацепов проходят зону  $A$ .

Общая длина пути, проходимого всеми воями из зоны  $B$  при наземной трелевке, когда каждая встреча с препятствием будет приводить к зацепу, составит

$$L_B = \frac{[x_1 - r_2 - 0,25(C - 2H \sin \beta) \operatorname{ctg} \beta] Q_b (1 - K_2)}{q_b}, \quad (18)$$

где  $0,25(C - H \sin \beta) \operatorname{ctg} \beta$  — проекция на волок среднего расстояния под-трелевки  $x_2$ , которое составляет часть среднего расстояния трелевки в зоне  $B$  и поэтому должно вычитаться из него;

$K_2$  — коэффициент проскальзывания при наземной трелевке.

Аналогичным образом определится протяженность того пути полуподвесной трелевки в пределах зоны  $B$ , на котором каждая встреча с препятствиями будет приводить к зацепам:

$$L_B = \frac{(r_2 - r_1)(Q_B + Q_B) \cdot (1 - K_1)}{q_B} \quad (19)$$

Общее количество зацепов отдельных хлыстов и возов на данной лесосеке находится по формуле

$$L_1 = \frac{Ad}{10\,000q_x} \left\{ \sqrt{\frac{n}{\varphi}} \left[ \frac{[x_1 - r_2 - 0,25(C - 2H \sin \beta) \operatorname{ctg} \beta] \cdot (1 - K_2) Q_B}{q_B} + \frac{(r_2 - r_1) \cdot (1 - K_1) \cdot (Q_B + Q_B)}{q_B} \right] + \frac{(C - 2H \sin \beta) \cdot (1 - K_2) Q_B}{4q_x \sin \beta} \right\} \quad (20)$$

Потери рабочего времени в сменах на высвобождение зацепившихся возов определяются из выражения

$$m_n = \frac{L_1 t}{(T - t_{пз})} \text{ см}, \quad (21)$$

где  $t$  — затраты времени на высвобождение одного воза. На основании хронометражных наблюдений установлено, что  $t = 2,81$  мин.

Количество рабочих смен  $m_p$ , затрачиваемых непосредственно на трелевку без учета потерь времени на высвобождение зацепившихся возов, найдется как частное от деления запаса древесины всей лесосеки на нормативную сменную производительность, установленную по «Единым нормам».

Зная  $m_n$  и  $m_p$ , можно оценить транспортные возможности полуподвесной трелевочной установки в данных производственных условиях. Эта оценка достигается введением коэффициента проходимости  $\omega$ :

$$\omega = \frac{m_p - m_n}{m_p} \quad (22)$$

Величина коэффициента  $\omega$  зависит от всех учтенных выше факторов, в том числе и затрат времени на высвобождение одного воза.

Сумма переменных затрат на трелевку древесины определится из выражения

$$\Sigma C_1 = (m_n + m_m) C_{11} + N C_{12}, \quad (23)$$

где  $m_n$  — количество смен-простоев, связанных с высвобождением зацепившихся возов;

$m_m$  — количество смен на монтажно-демонтажные работы, равное

$$m_m = \frac{M}{n_p} = \frac{N + (n_c - 1)N_1}{n_p}; \quad (24)$$

- $N$  — трудозатраты на монтаж-демонтаж трелевочной установки, чел.-смен;  
 $(n_c - 1)$  — количество переносов трособлочной системы из сектора в сектор;  $n_c$  — количество секторов;  
 $N_1$  — трудозатраты на перенос трособлочной системы, чел.-смен;  
 $n_p$  — количество рабочих в бригаде;  
 $\Pi_1$  — стоимость машино-смены лебедки, руб.;  
 $M$  — количество человеко-смен на все виды монтажно-демонтажных работ;  
 $\Pi_2$  — тарифная ставка рабочего с начислениями на зарплату, руб.

Формула (23) применяется в том случае, если число занятых в бригаде рабочих и типы лебедок одинаковы для обоих видов сравниваемых установок. Если же они различны, то формула примет вид

$$\Sigma C_1 = (m_p + m_n + m_m)\Pi_1 + M\Pi_2 + \Sigma C_0, \quad (25)$$

где  $m_p$  — количество рабочих смен на трелевке, вычисленное по нормативной сменной производительности и объему древесины на всей лесосеке:  $\Sigma C_0 = m_p(n_p \Pi_3 + n'_p \Pi_4 \dots)$  и т. д., где  $n'_p$  — количество рабочих, занятых на трелевке, а также на таких операциях, как разворот и погрузка, если условия выполнения их различны для сравниваемых установок.

Стоимость таких видов работ, которые не зависят от типа трелевочной установки (валка, обрубка сучьев и т. д.) в норму не включаются.

Денежные расходы на 1 м<sup>3</sup> древесины составят

$$S_1 = \frac{\Sigma C_1}{Q_d}. \quad (26)$$

Установки с несущим канатом, обладая большой подъемной силой, могут обеспечивать беспрепятственное прохождение ввозов по волокам. Однако не исключается возможность зацепов отдельных хлыстов во время сбора пачки, т. е. при подтрелевке к волоку. Условия проходимости хлыстов при подтрелевке к волоку зависят, кроме указанных выше общих факторов (запаса древесины на 1 га, среднего объема хлыстов, их гибкости, высоты пней, ширины сектора и т. д.), от высоты крепления несущего каната.

Для определения количества зацепов при подтрелевке хлыстов к несущему канату воспользуемся основными положениями методики, которая применялась для сектора при трелевке установками с одной мачтой. Однако здесь проявляются две существенные особенности.

Во-первых, подтрелевка хлыстов к волоку при ширине сектора 100—120 м и высоте расположения несущего каната 3÷4 м и более ведется полуподвесным способом. В связи с этим в формулу должен войти эмпирический коэффициент проскальзывания  $K_1$ , а не  $K_2$ .

Во-вторых, в средней части сектора (см. рис. 1, в) может появиться полоса беспрепятственной подтрелевки шириной  $2l_0$ , где вершины хлыстов будут проходить над пнями.

Расчеты проходимости хлыстов при подтрелевке их к несущему канату выполняются в такой последовательности.

Пренебрегая ничтожно малой стрелой провеса тягового каната при длине его в несколько метров, вычисляется  $l_0$  по приближенной формуле

$$l_0 = \frac{h_1 - y}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (27)$$

где  $h_1$  — высота расположения загруженного несущего каната в  $1/3$  длины пролета,

$$h_1 = h - f,$$

где  $h$  — высота конечных опор;

$f$  — стрела провеса в  $1/3$  длины пролета, определяемая по известной формуле провесов параболы;

$y$  — высота препятствий на лесосеке, м;

$\alpha$  — угол между канатом и горизонталью, при котором вертикальная составляющая поднимает вершинную часть вала на высоту, равную высоте пней (угол  $\alpha$  определен выше по формуле (2)).

Количество зацепов при формировании вала определится по формуле

$$L_2 = \frac{AdQ_n(C - 2l_0 - 2H \sin \beta)(1 - K_1)}{40\,000q_x^2 \sin \beta}, \quad (28)$$

где  $C$  — средняя ширина сектора на всей лесосеке,  $C = 0,5 C_0$ .

Коэффициент проходимости  $\omega$ , а также  $\Sigma C_2$  и  $S_2$  вычисляются по таким же формулам, как и для установок без несущего каната. В этом случае в формулу (24) подставляются трудозатраты на монтаж установки с несущим канатом и соответственно на перенос трособлочной системы.

Сравнивая  $S_1$  и  $S_2$ , выбираем ту установку, которая обеспечивает в данных условиях меньшую величину затрат на трелевку 1 м<sup>3</sup> древесины.

### В ы в о д ы

1. Изложенный выше метод технико-экономического анализа проходимости хлыстов при полуподвесной трелевке лебедками позволяет решать следующие задачи:

а) осуществлять выбор оптимального типа трелевочной установки для конкретных производственных условий;

б) анализировать влияние на стоимость трелевки древесины каждого в отдельности фактора природных и производственных условий: среднего расстояния трелевки, ширины сектора, высоты пней, запаса древесины на 1 га, среднего объема хлыста, а также параметров трелевочной установки;

в) определять экономическую целесообразность тех или иных работ в области усовершенствования трелевочных установок;

г) находить наиболее выгодную ширину сектора.

2. Наибольшее влияние на условия проходимости при трелевке установками без несущего каната оказывают средний объем хлыста, запас на 1 га, порода древесины и площадь лесосек.

3. Изменение высоты низких пней (15—20 см) на одну и ту же величину, что и высоких (30—50 см), приводит к большим изменениям

условий проходимости, потому что траектория движения вершин вoза становится более пологой по мере удаления от мачты, а это влечет за собой существенное увеличение радиуса зоны беспрепятственной трелевки  $A$ .

4. Повышение среднего объема хлыста в вoзе, так же как и увеличение коэффициента сопротивления движению, приводит к увеличению высоты подъема вершинной части вoза и, следовательно, положительно влияет на условия проходимости. Изменение объема вoза практически не отражается на условиях проходимости.

5. Увеличение высоты мачты особенно существенно влияет на величину относительных изменений прогибов на малых расстояниях трелевки, что приводит к ощутимому увеличению радиуса зоны  $A$  стопроцентной проходимости и, следовательно, к уменьшению среднего расстояния наземного перемещения древесины из зоны  $B$ .

6. Заболоченность лесосек, состав насаждений и связанная с ними форма корневой шейки пня влияют на проходимость хлыстов в зоне наземной трелевки и учитываются коэффициентом проскальзывания  $K_2$ .

7. Правильный выбор типа полуподвесной установки уменьшает стоимость трелевки древесины на заболоченных лесосеках Белоруссии до 6 коп/м<sup>3</sup>.

8. Для заболоченных лесосек Белоруссии площадью 8—12 га с ольховыми насаждениями при объеме хлыста 0,20—0,35 м<sup>3</sup> и запасе на 1 га  $A=180—200$  м<sup>3</sup> наиболее выгодна установка с несущим канатом. На лесосеках площадью 5—7 га при тех же показателях следует применять установку без несущего каната.

9. Ввиду того что на условия проходимости и связанную с ней стоимость трелевки древесины влияет большая совокупность факторов, которые могут находиться в самых различных сочетаниях, выбор оптимального типа трелевочной установки для конкретных производственных условий должен осуществляться на основе технико-экономического анализа проходимости хлыстов.