

ных связей, которые могут выполняться по различным схемам: с силовым управлением, кинематическим управлением и управлением по возмущению.

Принципиальная схема программного управления состоит в сравнении информации о действительном законе движения рабочего органа $x(t)$ с программными движениями $x_n(t)$. Сигнал рассогласования $\delta(t)=x(t)-x_n(t)$ поступает в устройство управления, которое формирует корректирующее воздействие $\Delta U(t)$, т.е. $U(t)=U_0(t)+\Delta U(t)$.

Главной задачей при создании любой машины является обоснование и выбор ее параметров. При этом основополагающим является моделирование с максимальной точностью рабочего процесса машины с учетом всего множества влияющих факторов на основе изложенной общей формализованной схемы.

Основой моделирования рабочего процесса является уравнение движения машины по всем операциям рабочего цикла, включающим как транспортные, так и все другие операции. Как правило, транспортные операции отделяются от операций, связанных с перемещениями предмета труда при его первичной обработке (подтаскивание, погрузка и др.), хотя в общем случае возможно их совмещение.

Уравнение движения машины составляется на основе динамической модели, условное графическое изображение которой называется динамической расчетной схемой. Уравнение движения или математическое описание движения элементов системы должно достаточно полно отражать свойства реальной машины и последовательность прохождения силового потока по всем звеньям кинематической цепи с учетом реальных условий эксплуатации и взаимодействия машины со всеми звеньями лесозаготовительной системы.

УДК 630*377.44

М.К.Асмоловский, асс.;

Д.В.Клоков, асп.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНО-ПОГРУЗОЧНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

The aim of the suggested method is to determine the influence of the working conditions on the operational efficiency of the forwarder.

Лесная транспортно-погрузочная машина (ЛТПМ) предназначена для сбора, погрузки, транспортировки по лесосекам, волокам, усам и лесовозным дорогам сортиментов, а также для их разгрузки, сортировки и складирования при сортиментной технологии заготовки древесины.

Оценить влияние природно-производственных условий на эффективную работу ЛТПМ при заготовке леса возможно лишь при известных параметрах, величины которых носят случайный характер. Получение такой информации входит в задачу написания данной методики.

Сортименты, полученные в результате обработки деревьев бензопилой (или СРП), располагаются по обеим сторонам волока перпендикулярно или под некоторым углом, или параллельно к нему. ЛТПМ, двигаясь по волоку, производит погрузку сортиментов. После того, как коники будут загружены, машина транспортирует сортименты к месту штабелевки. ЛТПМ оборудована грейферным гидроманипулятором с максимальным вылетом 7м. Производительность можно определить по формуле [1]:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot Q}{T_{ц}} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где Q- объем древесины, который будет вывезен ЛТПМ на участке длиной l м и шириной Δ, м; K1, K2- соответственно коэффициенты использования рабочего времени и технической готовности; Tц- время, затраченное на выполнение операций по сбору и транспортировке лесоматериалов объемом Q, с;

$$T_{ц} = t_{пог} + t_{раз} + t_{гх1} + t_{хх1} + t_{гх2} + t_{хх2} + t_{п.пер} + t_{р.пер},$$

где $t_{пог}$, $t_{раз}$ - затраты времени на погрузку и разгрузку сортиментов, с; $t_{гх1}$, $t_{хх1}$ - затраты времени на движение машины в грузовом и порожнем направлениях в пределах участка, с; $t_{гх2}$, $t_{хх2}$ - те же при движении по магистральному волоку до лесовозной дороги, с; $t_{п.пер}$, $t_{р.пер}$ - время, затраченное на переезды машины во время набора пачек лесоматериалов при погрузке и разгрузке, с.

Затраты времени на погрузку и разгрузку находятся из выражений

$$t_{пог} = t_{п.пак} \cdot \frac{Q}{V_{р.пак}}; \quad t_{раз} = t_{р.пак} \cdot \frac{Q}{V_{р.пак}},$$

где $t_{п.пак}$, $t_{р.пак}$ - затраты времени на погрузку и разгрузку одной пачки, с; $V_{п.пак}$, $V_{р.пак}$ - объем пачки при погрузке и разгрузке, м³;

$$V_{п.пак} = V_c \cdot n_{п.с}; \quad V_{р.пак} = V_c \cdot n_{р.с}, \quad (1)$$

где V_c - средний объем одного сортимента, м³; $n_{п.с}$, $n_{р.с}$ -число сортиментов в одной пачке на погрузке и разгрузке, шт.

Число сортиментов в одной пачке является дискретной случайной величиной, вид функции γ плотности распределения определяются на основании экспериментальных исследований в реальных условиях.

Продолжительность погрузки и разгрузки одной пачки является непрерывной случайной величиной, предполагается, что она подчиняется нормальному закону распределения.

Затраты времени на транспортировку круглых лесных материалов определяется следующим образом. Путь, совершаемый ЛТПМ при перевозке пачки сортиментов объемом M до магистрального волока по ленте длиной L , в общем виде выражается арифметической прогрессией $1+2+\dots+n_m=n_m(n_m+1)/2$. С учетом этого путь, пройденный ЛТПМ в грузовом направлении находится по уравнению

$$l_{гх1} = \frac{L \cdot k_0}{2} (n_m - 1), \quad (2)$$

где $(n_m - 1)$ - количество пачек объемом M , перевозимых ЛТПМ на ленте длиной L и шириной Δ с запасом q на 1 га

$$n_m = \frac{L \cdot \Delta \cdot q}{10^4 \cdot M}; \text{ или } n_m = \frac{Q}{M},$$

для холостого хода находим

$$l_{хх1} = \frac{L \cdot k_0 \cdot k_1}{2} (n_m + 1), \quad (3)$$

где k_0, k_1 - коэффициенты, учитывающие увеличение пройденного пути за счет непрямолинейности при движении по волоку и увеличение пути при развороте машины.

Объем пачки M можно найти из соотношений

$$M = V_{п,пач} \cdot \Gamma_{п,пач} = V_{р,пач} \cdot n_{р,пач},$$

где $n_{п,пач}, n_{р,пач}$ - количество пачек при погрузке и разгрузке объема M . Объемы пачек находятся по формуле 1.

Используя формулы 2 и 3, затраты времени в грузовом и порожнем направлениях в пределах разрабатываемой ленты определяются

$$t_{гх1} = l_{гх1} / v_{гх1}; \quad t_{хх1} = l_{хх1} / v_{хх1}.$$

С учетом $n_m, l_{гх1}, l_{хх1}$

$$t_{гх1} = \frac{L \cdot k_0}{2 \cdot v_{гх1}} (Q/M - 1) \quad t_{хх1} = \frac{L \cdot k_0 \cdot k_1}{2 \cdot v_{хх1}} (Q/M + 1)$$

где $v_{гх1}, v_{хх1}$ - скорости в грузовом и порожнем направлениях, м/с.

Затраты времени в грузовом и порожнем направлениях по магистральному волоку можно определить по формулам

$$t_{гх2} = l_{гх2} / v_{гх2}; \quad t_{хх2} = l_{гх2} \cdot k_1 / v_{хх2}.$$

С учетом размеров лесосеки

$$t_{гх2} = \frac{A \cdot L \cdot q \cdot k_0}{10^4 \cdot M} (A/2 + XM),$$

где $A = \Delta \cdot m$ - ширина лесосеки, состоящая из m лент шириной Δ , м; XM - расстояние до погрузочного пункта, м.

Общие затраты времени на переезды ЛТПМ при сборе пачки объемом M

$$t_{п,пф} = \frac{A \cdot L \cdot k_0}{2 \cdot \Delta \cdot v_{пф}} n_m,$$

где $v_{пф}$ - средняя скорость движения машины при сборе пачки.

Аналогично определяются затраты времени на переезд машины при разгрузке сортиментов

$$t_{р,пер} = l_{р,пер} / v_{пер} \cdot n_m,$$

где $l_{р,пер}$ - путь, проходимый машиной при разгрузке, м (зависящий от размеров штабелей и частоты переезда при сортировке лесоматериалов).

Одним из критериев оценки эффективности работы машины в конкретных природно-производственных условиях являются затраты энергии (кВт·ч/га).

Выражения для затрат энергии могут использоваться для сравнительного анализа машин, анализа и определения влияния различных факторов на рабочий процесс машины.

Затраты энергии на вывозку древесины определяются как (с учетом сбора пакета и его загрузкой разгрузкой)

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{тр} + \mathcal{E}_{п.р.},$$

где $\mathcal{E}_{тр}$ - затраты энергии на выполнение транспортной работы; $\mathcal{E}_{п.р.}$ - затраты энергии на погрузку и разгрузку пакета сортиментов.

$$\mathcal{E}_{п.р.} = c \cdot g \cdot m_{п} \cdot \Delta \cdot k_{01} \cdot v_m \cdot n_{п} / a_2 \cdot \eta_{г} \cdot \eta_m,$$

где c - коэффициент (1/3600); g - ускорение свободного падения, м/с²; $m_{п}$ - масса пачки, т; Δ - ширина разрабатываемой ленты леса; k_{01} - коэффициент увеличения пути укладки сортиментов в пакетирующее устройство по отношению к расчетному ($k_0 = 1,05 \dots 1,2$); v_m - коэффициент, учитывающий увеличение затрат энергии за счет непроизводительных движений рабочих

устройств машины ($v_M=1, 1...1,3$); n_{II} - число пачек на 1 га площади лесосеки; a_2 - коэффициент, учитывающий расположение ленты леса относительно продольной оси машины (при расположении ленты с одной стороны $a_2=1$; при расположении ленты с двух сторон $a_2=2$); η_T, η_M - КПД устройств, передающих энергию от двигателя машины к приводу технологического оборудования и соответствующего технологического оборудования.

Выражение для затрат энергии на выполнение транспортной работы имеет вид:

$$\mathcal{E}_{тр} = \mathcal{E}_{п.ф.} + \mathcal{E}_{п.п.} + \mathcal{E}_{с.п.},$$

где $\mathcal{E}_{п.ф.}$ - затраты на самопередвижение машины (холостой и рабочий пробоги); $\mathcal{E}_{п.п.}$ - затраты энергии на перемещение пачки; $\mathcal{E}_{с.п.}$ - затраты энергии на сбор пакета.

$$\mathcal{E}_{п.ф.} = c \cdot g \cdot m_M \cdot \varphi_M \cdot k_o \cdot v_o \cdot l_{ср} \cdot n_{II} / \eta_{тр}, \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_{п.п.} = c \cdot g \cdot m_{II} \cdot \varphi_M \cdot k_o \cdot v_o \cdot (l_{ср} - l_{п.пер}) \cdot n_{II} / \eta_{тр}, \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_{с.п.} = c \cdot g \cdot 0,5 \cdot m_{II} \cdot \varphi_M \cdot k_o \cdot v_o \cdot l_{п.пер} \cdot n_{II} / \eta_{тр},$$

где m_{II} - масса пачки, т; m_M - масса машины, т; $l_{ср}$ - расстояние трелевки, м; φ_M - коэффициент сопротивления движению машины; $l_{п.пер}$ - расстояние, которое проходит машина, чтобы загрузить пачку, м; k_o - коэффициент увеличения пути движения машины по отношению к расчетному ($k_o=1,05...1,2$); v_o - коэффициент увеличения затрат энергии за счет непроизводительных движений и трогания с места ($v_o=1, 1...1,3$); $\eta_{тр}$ - КПД трансмиссии машины; n_{II} - число пачек на 1 га площади лесосеки.

Выражение для суммарных затрат энергии имеет вид

$$\mathcal{E} = c \cdot g \cdot n_{II} \cdot \left[\varphi_M \frac{k_o \cdot v_o}{\eta_{тр}} \cdot (2 \cdot m_M \cdot l_{ср} + m_{II} \cdot l_{ср} - 0,5 \cdot m_{II} \cdot l_{п.пер}) + m_{II} \cdot \Delta \cdot \frac{k_{oi} \cdot v_M}{a_2 \cdot \eta_T \cdot \eta_M} \right]$$

На рис. представлена графическая зависимость энергоемкости процесса вывозки древесины, включающего операции: холостой пробег, сбор пакета, грузовой пробег, разгрузка пакета от величины рейсовой нагрузки, с использованием транспортно-погрузочной машины для расстояний трелевки 300, 500 и 700 м.

Э, кВт·ч/га

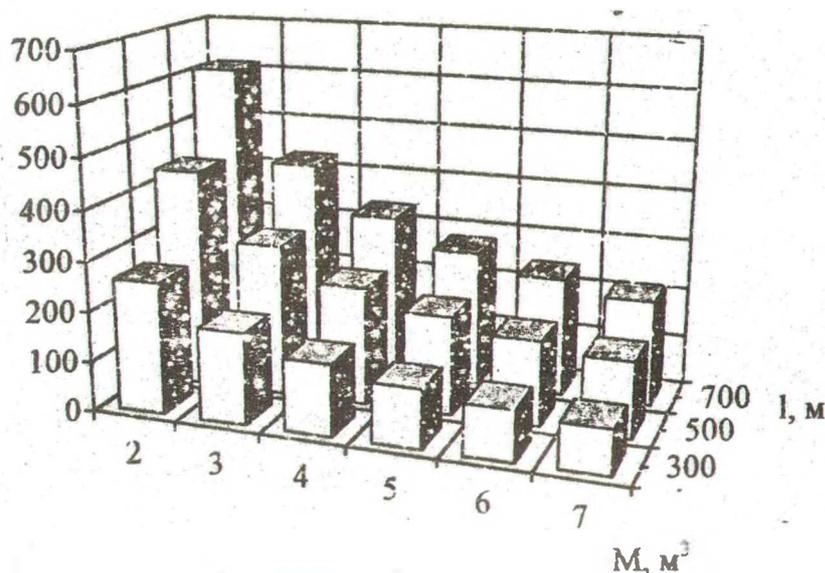


Рис. Зависимость энергоёмкости процесса вывозки древесины с использованием ЛТТМ от величины рейсовой нагрузки и расстояния вывозки

Из графика видно, что интенсивность изменения энергоёмкости неравномерная. При уменьшении величины рейсовой нагрузки от 7 до 5 м³ увеличение составляет 31%, при дальнейшем уменьшении рейсовой нагрузки до 2 м³ энергозатраты резко возрастают на 85%.

Затраты на передвижение являются основной составляющей при расчете энергоёмкости. Для возможности более глубокого анализа транспортный процесс рассмотрим отдельно от погрузки и разгрузки пачек. Используя выражение (4, 5) и данные экспериментальных исследований, определим удельные затраты энергии [кВт·ч/м³·км] на выполнение транспортной работы тракторами МЛПТ-354 и ТДТ-55 (запас леса на гектаре 230 м³, средний объем хлыста 0,23 м³, среднее значение рейсовой нагрузки соответственно 6 и 5 м³).

Формула для определения удельных затрат имеет вид

$$g_{\text{тр}} = c \cdot 10^3 \cdot g \cdot m_1 \cdot k_0 \cdot v_0 \cdot (\varphi_m + 2 \cdot a_3 \cdot \varphi_m) / \eta_{\text{тр}}$$

где m_1 - масса 1 м³ леса с учетом наличия коры, т; $a_3 = \pi m / \pi l$.

Затраты энергии соответственно составляют 1,47 и 5,27 [кВт·ч/м³·км].

Одним из показателей эффективности работы машины является расход топлива. Его значение во многом зависит от условий эксплуатации, характера выполняемых операций. Параметр оказывает значительное влияние на стоимость работ и удобен для проведения сравнительного анализа.

Ниже представлена методика для расчета часового (кг/ч) и удельного (кг/м³·км) расхода топлива при работе транспортно-погрузочной машины.

Формула для часового расхода имеет вид

$$G_T = g_e \cdot N_{\text{обш}} / 1000, \quad (6)$$

где g_e - (г/кВт·ч); $N_{\text{обш}}$ - мощность, затрачиваемая на выполнение операций при вывозке древесины (кВт).

$$N_{\text{обш}} = N_{\text{з.р.}} + N_{\text{тр.}}$$

где $N_{\text{з.р.}}$ - мощность, затрачиваемая при сборе, загрузке пачки, выполнении работ на верхнем складе (кВт); $N_{\text{тр.}}$ - мощность, затрачиваемая на грузовой и холостой пробеги (кВт).

$$N_{\text{з.р.}} = k_o \cdot n_o \cdot (q \cdot n_n \cdot P_{\text{max}}) / \eta_{\text{тр.}}$$

$$N_{\text{тр.}} = g \cdot k_o \cdot n_o \cdot (m_n \cdot \varphi_m \cdot V_{\text{р.х}} + m_m \cdot \varphi_m \cdot (V_{\text{р.х}} + V_{\text{х.х}})) / \eta_{\text{тр.}}$$

где q - рабочий объем насоса (м³); n_n - частота вращения (с⁻¹); P_{max} - максимальное давление в гидросистеме (Па).

Выражение для удельного расхода топлива имеет вид

$$g_T = \frac{g_e \cdot N_{\text{тр.}}}{V_{\text{р.х}} \cdot 3600 \cdot q}$$

Формула (6) использовалась для расчета стоимости трелевки 1 м³ с использованием ЛТПМ-354 и ТДТ-55.

Ниже приведены формулы для расчета стоимости:

$$k_a = C \cdot 0,25 / (N \cdot N_b),$$

где k_a - амортизационные отчисления (\$/ч); C - стоимость машины (\$); N - период эксплуатации в годах (лет); N_b - период эксплуатации ч/год (ч);

$$k_o = C \cdot 0,54 / (N \cdot N_b),$$

где k_o - процентовка капитала (\$/ч);

$$k_T = g_n \cdot C_2,$$

где k_T - стоимость часового расхода топлива (\$/ч); C_2 - цена топлива;

$$k_c = 0,1 \cdot k_T,$$

где k_c - стоимость горюче-смазочных материалов (\$/ч);

$$k_{\text{оп}} = K_{\text{оп}} / (f \cdot 100),$$

где $k_{\text{оп}}$ - затраты на обслуживание и ремонт (\$/ч); $K_{\text{оп}}$ - издержки на обслуживание и ремонт (\$/100 м.ч); f - коэффициент перевода мото-часов в машино-часы, для трелевочных тракторов (1,54);

$$k_p = K_p \cdot (1 + S_0/100),$$

где k_p - затраты на зарплату (\$/ч); K_p - Заработная плата работников (\$/ч).

Общая стоимость равна

$$k = k_a + k_b + k_r + k_c + k_{op} + k_p.$$

Формула для расчета стоимости трелевки 1 м^3 имеет вид

$$k_s = k/P, \quad (7)$$

где P - часовая производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Использование данной методики позволяет произвести оценку эффективности применения транспортно-погрузочных машин для различных природно-производственных условий.

ЛИТЕРАТУРА

Жуков А.В., Федоренчик А.С. и др. Заготовка сортиментов на лесосеке. Технология и машины -М.: Экология, 1993.

УДК 630*32.002.5

А.С.Федоренчик, доцент;

А.В.Жорин, аспирант

СОЗДАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Belarus Republic timber industry modern condition has been analyzed. Results of experimental skidder TTR-401 tests have been given, also the comparative estimation of using of TTR-401 and TDT-55 has been given.

В настоящее время около 80% древесины в Республике Беларусь заготавливается хлыстами, для чего на предприятиях концерна "Беллесбумпром" используется около 500 гусеничных трелевочных тракторов ТДТ-55 и ряд других (около 300 единиц) лесозаготовительных машин на его базе.

К сожалению, вопросы механизации заготовки и переработки древесины в отрасли решаются весьма не просто. За последние пять лет на 13% снизилась выработка на условный трактор. Имеющиеся трелевочные тракторы и другое оборудование практически использовали свои ресурсы, имеет место хроническая нехватка запасных частей, отсутствует налаженно работающая ремонтная база. Изыскания пути выхода из создавшегося положения, лесхозы республики за последние годы приобрели немало дорогостоящей импортной техники: 95 тракторов ЛКТ-81, 9 харвестеров и 12 форвартеров фирмы "Valmet", 5 процессоров, 320 гидравлических манипу-