

Д. В. Клоков, канд. техн. наук; А. А. Ермалицкий, ассистент

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕСНЫХ КОЛЕСНЫХ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН 4К4

The comparative energy consumption assessment of operation of timber forwarder for Belarus Republic conditions is presented.

Одним из критериев оценки эффективности работы машины в конкретных природно-производственных условиях являются затраты энергии, которые могут использоваться как для сравнительного анализа машин, так и определения влияния различных факторов на рабочий процесс машины.

В основу расчета положена методика, разработанная в Лесотехнической академии г. Санкт-Петербурга. Выражения для энергозатрат на работу форвардера получены на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ [1].

В качестве показателей для анализа использовались затраты энергии, отнесенные к 1 га площади лесосеки (кВт·ч/га), удельные затраты энергии (кВт·ч/м³ заготовленного леса), удельные затраты энергии на выполнение транспортной работы (кВт·ч/м³·км), что позволило учитывать природно-производственные условия эксплуатации машин в республике.

С учетом изложенного рассмотрим энергоемкость процесса работы машин, используемых для подвозки древесины. Энергоемкость процесса раскладывается следующим образом: при холостом пробеге вся энергия затрачивается на самопередвижение машины; при ходе с грузом – на самопередвижение машины и перемещение пакета древесины; при сборе и разгрузке пакета энергия затрачивается на работу технологического оборудования и передвижения машины между стоянками.

На рис. 1 представлена графическая зависимость энергоемкости процесса подвозки древесины, включающего операции: холостой пробег, сбор пакета, грузовой пробег, разгрузка пакета от величины рейсовой нагрузки с использованием погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354М при расстоянии подвозки сортиментов 100...1300 м.

Из графика видно, что интенсивность изменения энергоемкости неравномерная. При уменьшении величины рейсовой нагрузки от 6 до 5 м³ энергозатраты возрастают в 1,2 раза, при дальнейшем уменьшении рейсовой нагрузки до 2 м³ – в 2,3.

Для определения оптимальных значений факторов, влияющих на рабочий процесс машины, решалась задача однокритериальной многопараметрической оптимизации с граничными условиями, которую в общем виде можно записать следующим образом:

$$\Theta = f(L_{\text{тр}}, Q, l_{\text{ман}}) \rightarrow \min \rightarrow \text{ЦФ};$$

$$\left. \begin{array}{l} 100 \leq L_{\text{тр}} \leq 1300, \\ 2 \leq Q \leq 7, \\ 5 \leq l_{\text{ман}} \leq 10 \end{array} \right\} \rightarrow \text{ГРУ},$$

где $L_{\text{тр}}$ – расстояние подвозки сортиментов, м; Q – объем рейсовой нагрузки, м³; $l_{\text{ман}}$ – вылет гидроманипулятора, м.

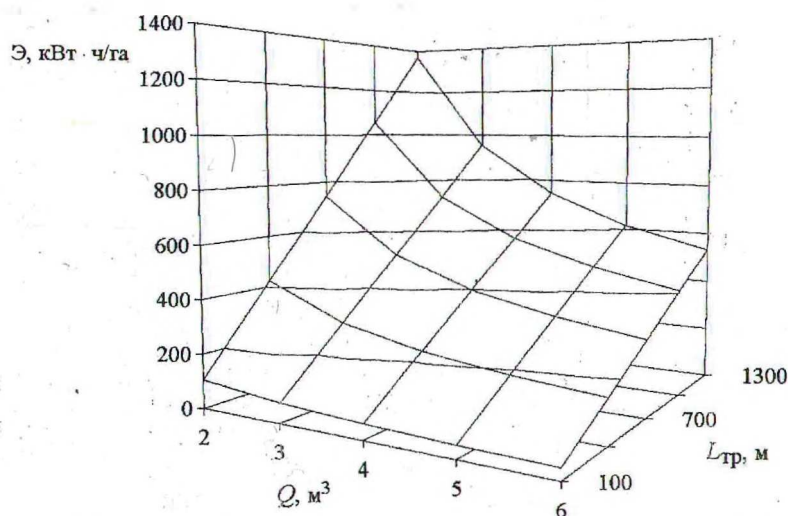


Рис. 1. Зависимость энергоемкости процесса подвозки древесины с использованием погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354М от величины рейсовой нагрузки (Q) и расстояния подвозки сортиментов ($L_{\text{тр}}$)

Оптимизация параметров погрузочно-транспортной машины проводилась для наиболее характерных природно-производственных условий – движение с грузом по пасечному и магистральному волокам с коэффициентом сопротивления движению $f = 0,12 \dots 0,16$.

Установлено, что наиболее приемлемыми методами решения задач оптимизации факторов, влияющих на рабочий процесс технических систем, являются методы нелинейного программирования, в связи с чем для получения статистической зависимости критерия оптимизации от исследуемых факторов выбран В-план второго порядка с проведением опытов на трех уровнях варьирования. Обработка результатов теоретических исследований позволила получить регрессионную зависимость параметра оптимизации от исследуемых факторов в виде

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & 389,056 + 1,076 \cdot L_{\text{тр}} - 229,762 \cdot Q + \\ & + 0,031 \cdot l_{\text{ман}} + 28,265 \cdot Q^2 - 0,002 \cdot l_{\text{ман}}^2 - \\ & - 0,129 \cdot L_{\text{тр}} \cdot Q + 0,029 \cdot Q \cdot l_{\text{ман}}. \end{aligned}$$

Для решения поставленной оптимизационной задачи применялся метод сопряженных градиентов, для реализации указанного метода была разработана специальная программа.

Анализ полученных результатов показывает, что величину $L_{\text{тр}}$ рекомендуется принимать в диапазоне $100 \dots 250$ м, $Q - 5,2 \dots 5,7$ м³, вылет гидроманипулятора $l_{\text{ман}} - 9,3 \dots 10$ м. Применение указанных рекомендуемых оптимальных

параметров позволит снизить показатели затрат энергоемкости процесса подвозки сортиментов и повысить экологическую совместимость машины с лесной экосистемой, что связано с уменьшением числа проходов машины по одному следу.

Затраты на передвижение являются основной составляющей при расчете энергоемкости. Для более глубокого анализа транспортный процесс рассматривался отдельно от погрузки и разгрузки пачек. При использовании выражений энергоемкости и данных экспериментальных исследований определены удельные затраты энергии [кВт · ч/м³ · км] на выполнение транспортной работы МЛПТ-354М, FMG-610 и МЛ-74А (запас леса на гектаре 230 м³, средний объем хлыста 0,23 м³, среднее значение рейсовой нагрузки примерно одинаковы).

Формула для определения удельных затрат имеет вид

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

Результаты расчетов по оценке затрат энергии приведены на рис. 2 и 3.

В качестве сравниваемых погрузочно-транспортных машин рассматривались применяемые в странах СНГ машины: МЛ-74А (РФ); МЛПТ-354М (Беларусь); Timberjack FMG-610 – международного концерна с соответствующим названием, самого крупного производителя лесозаготовительной техники в мире (Финляндия, Швеция, США, Канада и др.). Колесная формула данных машин 4К4.

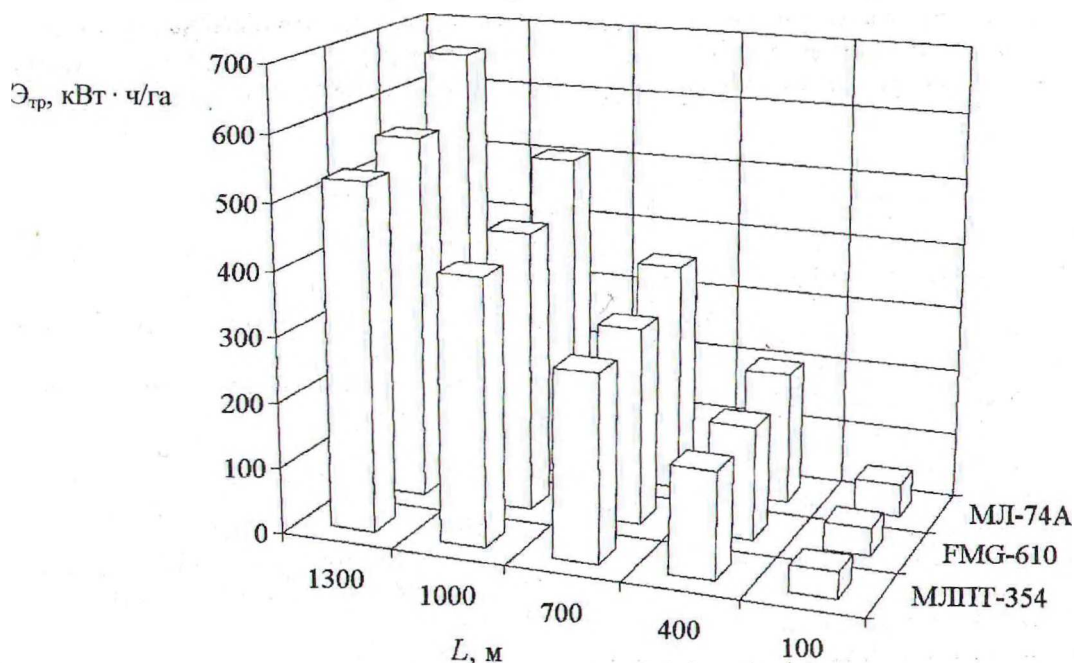


Рис. 2. Энергоемкость процесса подвозки древесины (сплошная рубка, запас 230 м³/га, средний объем хлыста 0,23 м³)

$g, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3 \cdot \text{км}$

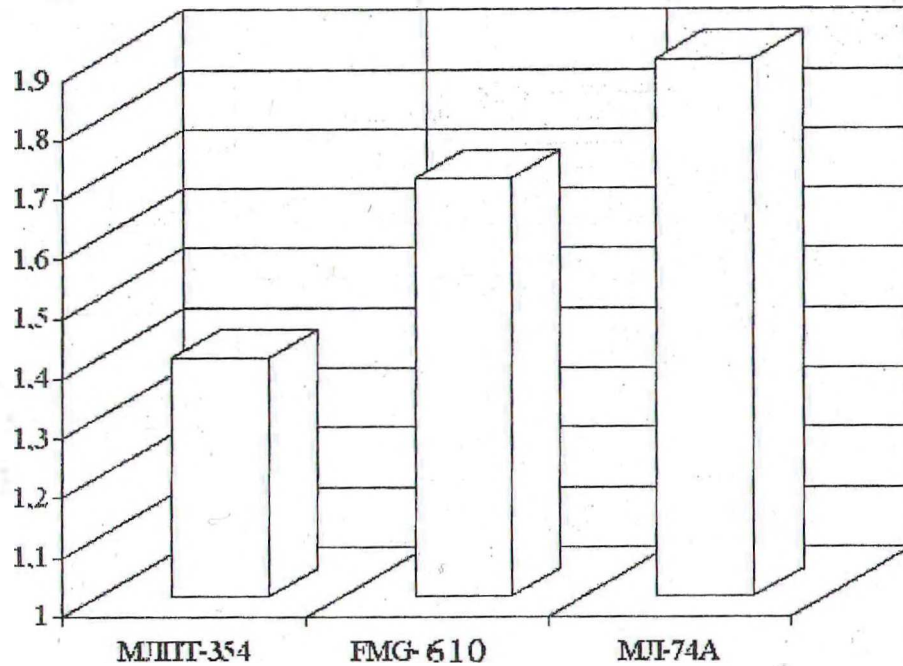


Рис. 3. Удельная энергоёмкость процесса подвозки древесины (сплошная рубка, запас $230 \text{ м}^3/\text{га}$, средний объем хлыста $0,23 \text{ м}^3$)

В результате расчетов установлено, что энергоёмкость процесса подвозки древесины уменьшается с увеличением объема рейсовой нагрузки, пропорциональна расстоянию трелевки, массе машины и зависит от почвенно-грунтовых условий. При этом форвардеры МЛ-74А и FMG-610 имеют худшие показатели энергоёмкости по сравнению с форвардером МЛПТ-354М. Его использование дает снижение энергоёмкости процесса подвозки древесины на 15...40%, что в значительной мере определяется отношением массы машины к массе транспортируемой пачки сортиментов.

Количественные показатели затрат энергии дают возможность установить влияние различных факторов на показатели работы машин с учетом различных природно-производственных условий эксплуатации, однако оценка эффективности применения машин требует комплексного подхода с учетом стоимости машин, затрат на обслуживание и ремонт.

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 расчета часового ($\text{кг}/\text{ч}$) и удельного ($\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{км}$) расхода топлива при работе погрузочно-транспортной машины.

Формула для часового расхода имеет вид

$$G_T = g_e \cdot N_{\text{общ}}/1000,$$

где g_e – удельный расход топлива двигателя, $\text{г}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$; $N_{\text{общ}}$ – мощность, затрачиваемая на выполнение операций при вывозке древесины, кВт.

$$N_{\text{общ}} = N_{з,р} + N_{тр},$$

где $N_{з,р}$ – мощность, затрачиваемая при сборе, загрузке пачки, выполнении работ на верхнем складе, кВт; $N_{тр}$ – мощность, затрачиваемая на грузовой и холостой пробоги, кВт.

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

$N_{тр} = g \cdot k_o \cdot v_o \cdot \phi_m \cdot (m_n \cdot v_{р,х} + m_m \cdot (v_{р,х} + v_{х,х}))/\eta_{тр}$,
где q – рабочий объем насоса, м^3 ; n_n – частота вращения, с^{-1} ; P_{max} – максимальное давление в гидросистеме, Па.

Выражение для удельного расхода топлива имеет вид

$$g_m = \frac{g_e \cdot N_{тр}}{v_{р,х} \cdot 3600 \cdot q},$$

Стоимость подвозки сортиментов погрузочно-транспортными машинами (k).

$$C_h = k/\Pi_{ч},$$

где C_h – общая стоимость подвозки 1 м^3 сортиментов, $\text{у. е.}/\text{м}^3$; $\Pi_{ч}$ – часовая производительность, ($\text{м}^3/\text{ч}$).

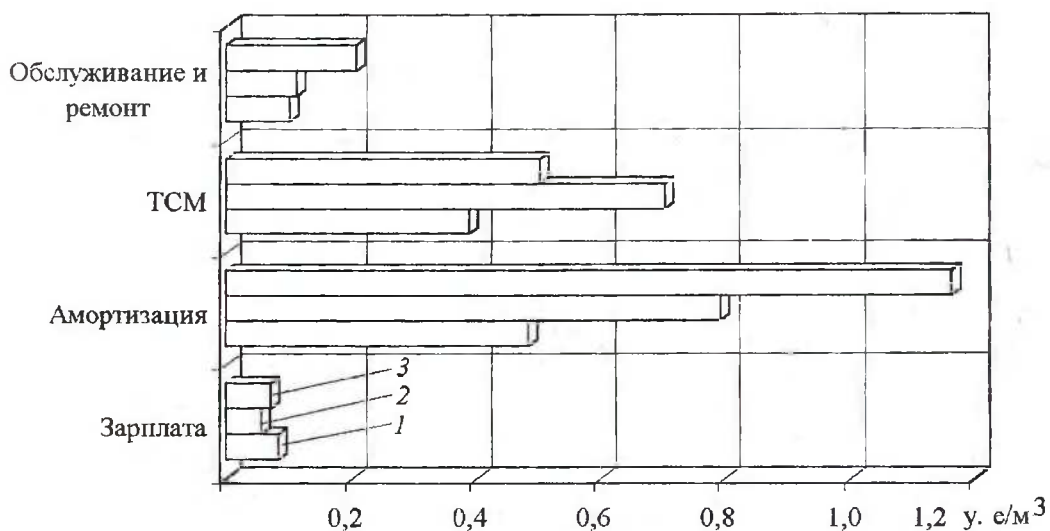


Рис. 4. Распределение удельных эксплуатационных затрат:
1 – МЛПТ-354М; 2 – МЛ-74А; 3 – FMG-610

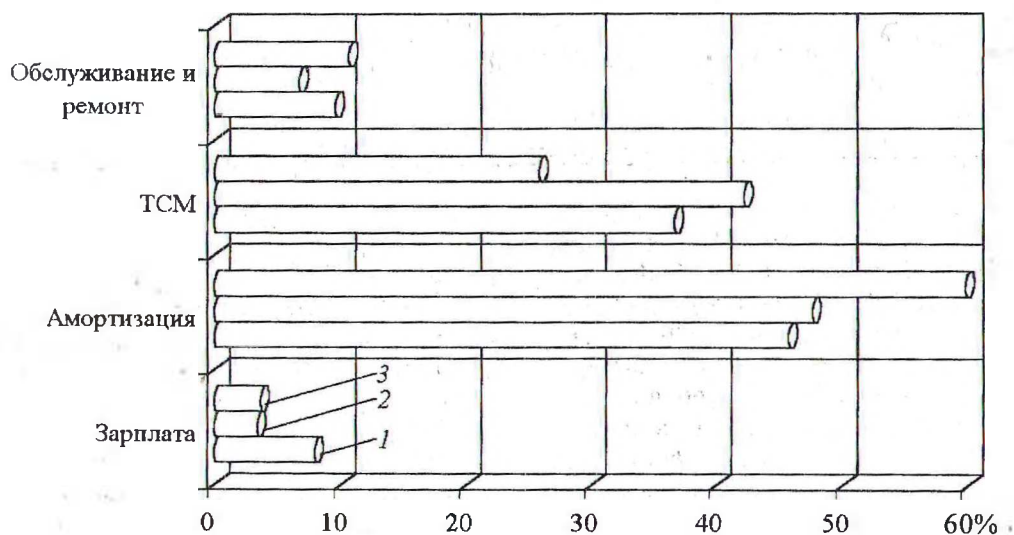


Рис. 5. Структура распределения затрат на подвозку сортиментов:
1 – МЛПТ-354; 2 – МЛ-74А; 3 – FMG-610

С использованием этого выражения и экспериментальных данных по производительности форвардеров получена зависимость стоимости процесса подвозки сортиментов машинами МЛПТ-354М, МЛ-74А и FMG-610. На рис. 4 и 5 приведены распределение и структура удельных затрат на подвозку сортиментов. Из диаграммы видно, что значительное влияние на стоимость подвозки сортиментов с использованием МЛ-74А и FMG-610 оказывают отчисления на амортизацию и ТСМ, что в 1,5...2 раза больше, чем для МЛПТ-354М.

Количественные показатели затрат энергии дают возможность установить влияние

различных факторов на показатели работы машин с учетом различных природно-производственных условий эксплуатации, однако оценка эффективности применения машин требует комплексного подхода с учетом стоимости машин, затрат на обслуживание и ремонт.

Литература

1. Клоков Д. В. Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины: Автореф. дис. ... канд. техн. Наук. – Мн., 2001. – 21 с.