

УДК 629.113

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИН ЛЕСНОГО
КОМПЛЕКСА**

Кривошапов С.И., канд. техн. наук

(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

Проанализированы показатели эффективности эксплуатации транспортных машин. Указано на необходимость применения энергетического подхода в оценке эффективности машин лесного комплекса. Методом подобия были получены аналитические зависимости расчета коэффициента полезного

действия машин. На примере автомобиля КраЗ-643701 исследовано влияние скоростных и нагрузочных характеристик на изменения КПД автомобиля. Разработаны рекомендации по повышению энергетической эффективности работы машин лесного хозяйства.

Введение. Машины лесного комплекса обеспечивают экономику Украины крайне необходимым ресурсом древесины. Однако для получения этого ресурса необходимо произвести его добычу и доставку потребителям. Зачастую источник и потребители отдалены друг от друга на значительное расстояние, а добыча древесины производится в труднодоступных районах. Поэтому машины лесного комплекса часто эксплуатируются в сложных условиях с пониженными скоростями. С уменьшением скорости движения возрастают эксплуатационные расходы топлива (в л/100 км) и затраты на горюче-смазочные материалы. Работа в сложных условиях эксплуатации требует сокращения периодичности технического обслуживания и приводит к повышению трудоемкости технических воздействий. Следовательно, возрастает стоимость ТО и ремонта, повышаются расходы на запасные части и агрегаты.

Анализ литературных источников. Оценку эффективности эксплуатации машин можно производить по различным критериям. В работе [1] выделяют основные и дополнительные показатели эффективности. Такие показатели, как производительность, себестоимость и безопасность – являются основными, а расход топлива и экологическая безопасность – дополнительными. Однако эти показатели не совсем удобны для машин лесного комплекса. Во-первых, все указанные критерии имеют размерность: производительность измеряется в ткм, себестоимость – коп./ткм; безопасность – чел.; расход топлива – л/100 км; токсичности - в г/км. Во-вторых, машины лесного комплекса не всегда можно считать транспортными машинами, а в первую очередь это специализированный и технологический тип транспорта. В третьих, с понижением скорости некоторые показатели эффективности теряют смысл или возрастают до бесконечности.

Работу машины лесного комплекса можно рассматривать как сложную энергетическую систему. В работе [2] предложен безразмерный критерий эффективности энергетического использования машины – коэффициент полезного действия (КПД).

Значение КПД машины зависит от конструктивных и эксплуатационных параметров, и может быть рассчитано как произведение эффективного КПД двигателя, КПД трансмиссии и КПД колесного механизма. Однако для этого необходимо получить аналитические зависимости изменения КПД в отдельных системах машины, как это было сделано в работе [3]. Другой подход – определить баланс потерь в агрегатах автомобиля через составляющие расхода топлива, которое в работе [4] обозначено индикаторным расходом топлива. В данной статье используя теорию подобия, получим зависимость КПД машины, используя две методики расчета расхода топлива, приведенных в работах [5] и [6].

Цели и задачи исследования. Целью данной работы является количественная оценка изменения коэффициента полезного действия машины в различных условиях эксплуатации.

Математическая модель. Согласно исследованиям [5] предложена следующая зависимость расчета расхода топлива:

$$H_a = \frac{100 \cdot K_u \cdot M_a}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_a}, \quad (1)$$

где H_n – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; ρ_m – плотность топлива, г/см³; K_u – шум ускорения, м/с²; M_a – масса автомобиля, η_a – КПД машины, показатель совершенства конструкции автомобиля.

Из формулы (1) можно получить выражение КПД машины:

$$\eta_a = \frac{100 \cdot K_u \cdot M_a}{H_n \cdot \rho_m \cdot H_a}. \quad (2)$$

Качество дорожных условий или шум ускорения вычисляется по формуле

$$K_u = 0.4 \cdot g \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2 / M_a \quad \text{м/с}^2, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; ψ – суммарное дорожное сопротивление; kF – фактор обтекаемости, Н·с²·м⁻²; V_a – скорость движения автомобиля, км/ч.

Подставив зависимость шума ускорения (3) в формулу (2) получим зависимость КПД машины:

$$\eta_a = \frac{40 \cdot G_a \cdot \psi + 7.7 \cdot kF \cdot V_a^2}{H_n \cdot \rho_m \cdot H_a}. \quad (4)$$

где G_a – вес автомобиля, Н, равный $G_a = M_a \cdot g$.

В работе [6] получена следующая зависимость расчета расхода топлива:

$$H = \frac{1}{\eta_i} [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)] \quad \text{л/100 км}, \quad (5)$$

где η_i – индикаторный КПД двигателя; i_k – передаточное число коробки передач; A , B , C – коэффициенты конструкции автомобиля и качества топлива.

Коэффициенты A , B и C , входящие в формулу (5), определяются так

$$A = \frac{7.95 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_k}, \quad B = \frac{0.69 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_k^2}, \quad C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_{mp}}, \quad (6)$$

где a_m и b_m – коэффициенты механических потерь в двигателе; V_h – рабочий объем цилиндров двигателя, л; i_0 – передаточное число главной передачи; r_k – динамический радиус колеса, м.

Зависимость (1) и (5) касаются одного и того же параметра. Поэтому, подставим формулу расхода топлива (5) в зависимость КПД машины (4). Тогда

$$\eta_a = \frac{(40 \cdot G_a \cdot \psi + 7.7 \cdot kF \cdot V_a^2) \cdot \eta_i}{H_n \cdot \rho_m \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)]}. \quad (7)$$

Произведения $H_n \cdot \rho_m$, которое характеризует качество топлива, присутствует в формулах (6) и (7) в знаменателе, следовательно, их можно сократить. После преобразования формула (7) примет вид

$$\eta_a = \frac{(40 \cdot G_a \cdot \psi + 7.7 \cdot kF \cdot V_a^2) \cdot \eta_i}{A_1 \cdot i_k + B_1 \cdot i_k^2 \cdot V_a + C_1 \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)}, \quad (8)$$

где значение коэффициентов A_1 , B_1 и C_1 рассчитываются по формулам

$$A_1 = \frac{7.95 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0}{r_k}, \quad B_1 = \frac{0.69 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{r_k^2}, \quad C_1 = \frac{100}{\eta_{mp}}, \quad (9)$$

Индикаторный КПД двигателя можно приближенно рассчитать по следующей зависимости:

$$\eta_i = a + b \cdot N_l + c \cdot N_l^2, \quad (10)$$

где a , b и c - коэффициенты, зависящие от типа топливной системы машины; N_l - процент использования мощности двигателя, %.

Для машин с дизельной топливной системой значение коэффициентов можно принять следующими: $a = 0.43$, $b = 0.3 \cdot 10^{-2}$ и $c = -0.3 \cdot 10^{-4}$ [1]. Процент использования мощность рассчитывается по следующей формуле:

$$N_l = \frac{0.0277 \cdot (G_a \cdot \psi \cdot V_a + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{N_{emax} \cdot \eta_{mp}} \text{ кВт}, \quad (11)$$

где N_{emax} - максимальная эффективная мощность двигателя, кВт; η_{mp} - КПД трансмиссии.

Коэффициент суммарного дорожного сопротивления и средневзвешенное передаточное число коробки передач изменяется обратно пропорционально средней технической скорости, т.е.:

$$\psi = \frac{0.01 \cdot V_{max}}{V_a} = \frac{K_1}{V_a}, \quad i_k = \frac{K_c \cdot V_{max} \cdot i_{kn}}{V_a} = \frac{K_2}{V_a}, \quad (12)$$

где V_{max} - максимальная скорость, км/ч; K_c - скоростной коэффициент, i_{kn} - передаточное число повышенной передачи коробки передач.

Коэффициенты K_1 и K_2 - постоянные для каждой марки подвижного состава. Из формул (12) следует, что значения постоянных коэффициентов K_1 и K_2 можно рассчитать по следующим формулам: $K_1 = 0.01 \cdot V_{max}$ и $K_2 = K_c \cdot V_{max} \cdot i_{kn}$.

Окончательно с учетом зависимостей (10), (11) и (12) КПД машины можно определить следующим образом:

$$\eta_a = \frac{(40 \cdot G_a \cdot K_1 + 7.7 \cdot kF \cdot V_a^3)}{A_1 \cdot K_2 + B_1 \cdot K_2^2 + C_1 \cdot (G_a \cdot K_1 + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)} \times \left(a + b \cdot \frac{0.0277 \cdot (G_a \cdot K_1 + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{N_{emax} \cdot \eta_{mp}} + c \cdot \left(\frac{0.0277 \cdot (G_a \cdot K_1 + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{N_{emax} \cdot \eta_{mp}} \right)^2 \right). \quad (13)$$

Выделим в формуле (13) скорость автомобиля и введем обозначения коэффициентов, тогда

$$\eta_a = \frac{(k_3 + k_4 \cdot V_a^3) \cdot (a + b \cdot (k_5 + k_6 \cdot V_a^3) + c \cdot (k_5 + k_6 \cdot V_a^3)^2)}{k_1 + k_2 \cdot V_a^3}. \quad (14)$$

где приняты следующие обозначения: $k_1 = K_2 \cdot (A_1 + B_1 \cdot K_2) + C_1 \cdot G_a \cdot K_1$;
 $k_2 = C_1 \cdot 0.077 \cdot kF$; $k_3 = 40 \cdot G_a \cdot K_1$; $k_4 = 7.7 \cdot kF$; $k_5 = \frac{0.0277 \cdot G_a \cdot K_1}{N_{e\max} \cdot \eta_{mp}}$; $k_6 = \frac{0.021 \cdot kF}{N_{e\max} \cdot \eta_{mp}}$.

Пример расчета. Рассчитаем значение КПД для лесовоза КраЗ-643701. Принимаем для этого автомобиля следующие значения показателей: $V_{\max} = 66$ км/ч; $i_{kn} = 0.87$; $K_c = 0.7$. Тогда $K_1 = 0.01 \cdot V_{\max} = 0.01 \cdot 66 = 0.66$ и $K_2 = 0.7 \cdot 66 \cdot 0.87 = 40$.

Если принять для автомобиля КраЗ-643701 следующие значения параметров: $a_m = 48$ кПа; $V_h = 14.86$ л; $i_o = 7.4$; $r_k = 0.54$ м; $b_m = 16$ кПа·с·м⁻¹; $S_n = 0.14$ м $\eta_{mp} = 0.85$, то значение коэффициентов A_1 , B_1 и C_1 будет следующими:

$$A_1 = \frac{7.95 \cdot 48 \cdot 14.86 \cdot 7.4}{0.54} = 77708; B_1 = \frac{0.69 \cdot 16 \cdot 14.86 \cdot 0.14 \cdot 7.4^2}{0.54^2} = 4313; C_1 = \frac{100}{0.85} = 118.$$

Снаряженная масса автомобиля КраЗ-643701 составляет $M_0 = 12300$ кг, что соответствует весу - 120663 Н. Фактор обтекаемости для данного автомобиля можно принять равным 7.9 Н·с²·м⁻², а максимальная мощность двигателя - $N_{e\max} = 220$ кВт.

При этих условиях значения коэффициентов, входящих в формулу (14), будут следующими:

$$k_1 = 40 \cdot (77708 + 4313 \cdot 40) + 118 \cdot 120663 \cdot 0.66 = 1.94 \cdot 10^7; k_2 = 118 \cdot 0.077 \cdot 7.9 = 0.72;$$

$$k_3 = 40 \cdot 120663 \cdot 0.66 = 3.19 \cdot 10^6; k_4 = 100 \cdot 0.61 = 61;$$

$$k_5 = \frac{0.0277 \cdot 120663 \cdot 0.66}{220 \cdot 0.85} = 11.8; k_6 = \frac{0.021 \cdot 7.9}{220 \cdot 0.85} = 3.26 \cdot 10^{-3}.$$

Тогда КПД автомобиля КраЗ-643701 можно рассчитать по формуле

$$\eta_a = \frac{(3.19 \cdot 10^6 + 61 \cdot V_a^3) \cdot (0.461 + 2.07 \cdot 10^{-7} \cdot V_a^3 - 2.4 \cdot 10^{-13} \cdot V_a^6)}{1.94 \cdot 10^7 + 0.72 \cdot V_a^3}. \quad (15)$$

Анализ результатов. Как видно из общих формул (13) или (14) и зависимости (15), полученной для автомобиля КраЗ-643701, коэффициент полезного действия зависит от скорости движения.

В экстремально сложных условиях эксплуатации, когда автомобиль движется с минимально возможной скоростью, КПД машины не существенно зависит от скоростного режима. Поэтому допустимо в сложных условиях эксплуатации, когда автомобиль движется с малыми скоростями (до 20...25 км/ч), принимать значение этого показателя постоянным, как это было показано в работе [7].

Подставив значение скорости $V_a = 0$ км/ч в формулу (14) получим следующее значение КПД машины: $\eta_a = \frac{3.19 \cdot 10^6 \cdot 3.7}{1.94 \cdot 10^7} = 0.6$. С увеличением нагрузки КПД машины при малых скоростях возрастает. Так, для полностью загруженного автопоезда КраЗ-643701, полная масса которого составляет 47000 кг, КПД машины увеличиться в два раза, достигнув значение $\eta_a = 0.134$.

Как видно на рис. 1 с увеличением скорости КПД машины возрастает. Максимальное значение КПД автомобиля КрАЗ-643701 составит 26 % при скоростях близких к максимальным.

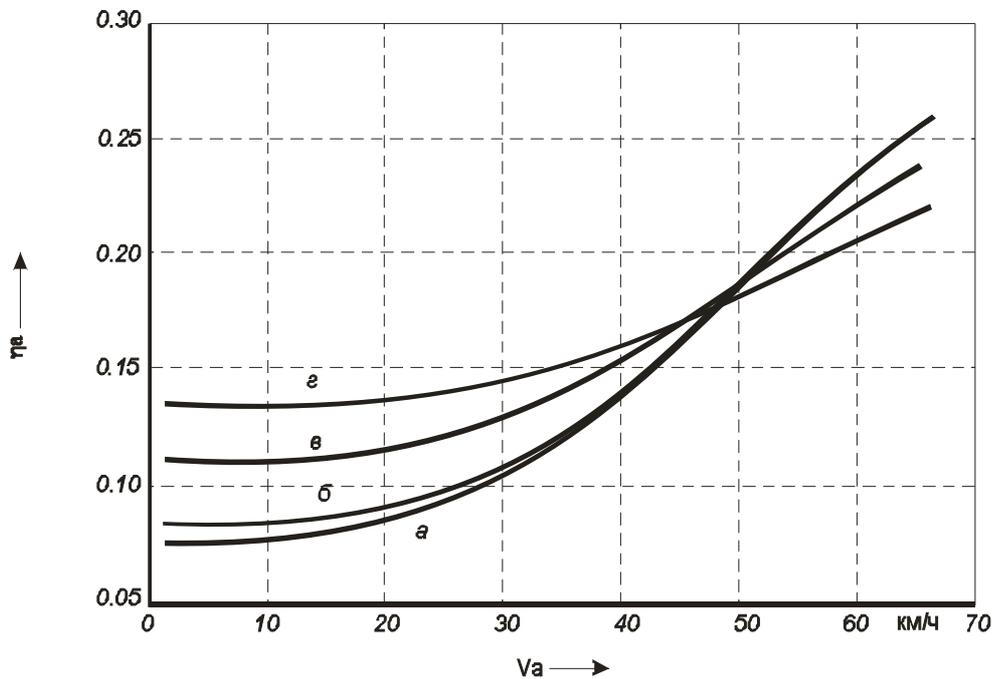


Рисунок 1. Изменение КПД автомобиля от скорости движения при различной степени загрузки лесовоза КрАЗ-643701: *а* – снаряженная масса; *б* – с оборудованием для погрузки и перевозки распуска; *в* – полная масса автомобиля; *г* – допустимая полная масса автопоезда

С увеличением веса автомобиля интенсивность возрастания КПД машины снижается. Если при малых и средних скоростных режимов эффективно эксплуатировать загруженный автомобиль, то при скоростях более 50 км/ч КПД порожнего автомобиля выше груженого. Это объясняется повышенным расходом топлива, затраченное на перемещение груза и преодоления аэродинамическое сопротивление. В то время как в плохих условиях эксплуатации при движении по неровностям дороги груженный автомобиль меньше рассеивает энергию в подвески автомобиля.

Выводы. Коэффициент полезного действия машины изменяется в различных условиях эксплуатации в диапазоне от 7 до 26 %. С увеличением скорости КПД автомобиля возрастает. Принимать значения этого коэффициента как постоянную величину при скоростях более 20 км/ч не правомерно. Эффективность груженого автомобиля выше порожнего при скоростях менее 50 км/ч.

Список литературы

1. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.

2. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) [текст] // Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Автомобильный транспорт : Сб. науч. тр. - Харьков: ХНАДУ. - 2004. - № 15. - С. 31-34.
3. Кривошапов С.И. Разработка методики и алгоритма общего диагностирования автомобилей по изменению коэффициента полезного действия : дис. ... канд. техн. наук; 05.22.10 / С.И. Кривошапов. – Харьков: ХГАДТУ, 1999. – 216 с.
4. Говорущенко Н.Я. Алгоритм диагностирования автомобиля по индикаторному расходу топлива в агрегатах / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик, С.И. Кривошапов. // Вісник СевНТУ : Зб. наукових праць. - Севастополь, СевНТУ, 2011. - С. 26-29. - (Серія: Машиноприладобудування та транспорт).
5. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобільного транспорту (расчетные методы исследования) : монографія / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 292 с.
6. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
7. Кривошапов С.И. Особенности нормирования расхода топлива транспортных машин, работающих в сложных дорожных условиях / С.И. Кривошапов // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенко. - Вип. 155. - 2014. - С. 82-89.

Abstract

DETERMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF FOREST COMPLEX MACHINES

Krivoshapov S.

The efficiency factors of exploitation vehicles. Indicated the need for an energy approach in assessing the effectiveness of forest complex machines. Method of similarity were obtained by analytical calculation depending on the efficiency of the machines. On the example of KrAZ-643 701 studied the effect of speed and load characteristics to changes in the efficiency of the car. Developed recommendations to improve the energy efficiency of vehicles Forestry.

Анотація

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАШИН ЛІСОВОГО КОМПЛЕКСУ

Кривошапов С.І.

Проаналізовано показники ефективності експлуатації транспортних машин. Вказано на необхідність застосування енергетичного підходу в оцінці

ефективності машин лісового комплексу. Методом подібності були отримані аналітичні залежності розрахунку коефіцієнта корисної дії машин. На прикладі автомобіля КрАЗ-643701 досліджено вплив швидкісних і навантажувальних характеристик на зміни ККД автомобіля. Розроблено рекомендації щодо підвищення енергетичної ефективності роботи машин лісового господарства.

Рецензент: д.т.н., професор Мигаль В.Д.