

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОХОДИМОСТИ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

*В статье раскрывается установление связи между показателями эксплуатационной эффективности и проходимости колесного трактора с гидромеханической трансмиссией, дающей возможность на современном уровне проводить оценку указанных эксплуатационных свойств. Приведены результаты исследования влияния рейсовой нагрузки на показатели эксплуатационной эффективности и проходимости колесного трелевочного трактора.*

**Ключевые слова:** колесный трелевочный трактор, гидромеханическая трансмиссия, трелевочный волок, оценка проходимости.

А.М. Kochnev, A.N. Yushkov

**THE OPERATIONAL EFFICIENCY AND PASSABILITY ASSESSMENT OF THE WHEEL SKIDDING TRACTORS WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION**

*The communication establishment between indices of operational efficiency and passability of the wheel tractor with the hydromechanical transmission, giving the opportunity to carry out the specified operational property assessment at modern level, is revealed in the article. The research results on the influence of the trip load on the operational efficiency and passability indices of the wheel skidding tractor are given.*

**Key words:** the wheel skidding tractor, hydromechanical transmission, skidding portage, passability assessment.

**Введение.** В теории движения автомобилей, тракторов и различных мобильных систем, выполняющих полезную работу, проходимость считается сложнейшей проблемой [3, 5, 6]. Проходимость является понятием более емким, чем понятия некоторых других эксплуатационных свойств машин. Г.А. Смирнов [6] считает, что до сих пор нет единого определения этого свойства. По одному из наиболее простых определений под проходимостью колесных машин понимается их способность надежно двигаться по плохим дорогам и бездорожью [6]. Такое определение проходимости совершенно неприемлемо для оценки проходимости трелевочных тракторов, так как машина может «надежно двигаться», но не совершать полезную работу или движение будет сопровождаться недопустимо большими энергозатратами и т.д.

Наиболее четко понятие проходимости трелевочного трактора дано в работах проф. Г.М. Анисимова, которое с некоторыми уточнениями для колесного трелевочного трактора можно сформулировать так: проходимость трелевочного трактора есть совокупность свойств, отражающих способность машины выполнять заданную полезную работу при допустимых энергозатратах и минимальном отрицательном экологическом воздействии на окружающую среду и прежде всего на почво-грунт лесосеки.

Опубликовано несколько математических моделей проходимости автомобилей и сельскохозяйственных тракторов [3, 5], но они не позволяют оценивать проходимость машин количественно или вообще не пригодны для оценки проходимости колесных трелевочных тракторов, так как не учитывают особенности взаимодействия предмета труда с машиной и опорной поверхностью. Так, например, считается, что чем больше энергонасыщенность трактора  $G_N$ , определяемая отношением номинальной мощности двигателя  $N_{en}$  к массе (весу) трактора  $G$ , тем лучше проходимость трелевочной системы. Однако в монографии [2] доказано, что как недоэнергонасыщенность, так и переэнергонасыщенность трактора снижают его эксплуатационную эффективность. При этом под эксплуатационной эффективностью трелевочного трактора понимается максимальное использование его энергетического потенциала при трелевке пачки древесины, позволяющей определить оптимальное соотношение энергонасыщенности трактора и рейсовой нагрузки условиям эксплуатации. Высокая эксплуатационная эффективность достигается оптимальным соотношением свойств трелевочного трактора и пачки древесины для каждой энергонасыщенности трактора.

**Цель исследований.** Установление связи показателей эксплуатационной эффективности и проходимости колесного трелевочного трактора.

**Задачи исследований.** Анализ существующих математических моделей проходимости мобильных машин различного назначения, оценка возможности их использования для колесных трелевочных тракторов, разработка формулы для оценки проходимости колесных трелевочных тракторов и экспериментальная ее апробация.

**Методы исследований.** Проходимость трелевочной системы (трелевочный трактор – пачка древесины) в значительной мере зависит от силы сцепления движителя с опорной поверхностью  $P_\varphi$ , которая определяется по следующему выражению [1]:

$$P_\varphi = \varphi \cdot G_{\text{сц}} = \varphi (G + Q_1), \quad (1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления движителя с опорной поверхностью;  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес;  $G$  – вес трактора;  $Q_1$  – вес части пачки, размещенной на тракторе.

С увеличением сцепного веса от пачки древесины увеличивается необходимая сила тяги для совершения движения трелевочной системы. Значения коэффициента сцепления  $\varphi$  в 2–3 раза больше суммарного значения коэффициента качения  $f$  и скольжения  $f_{\text{п}}$ . Следовательно, и касательная сила тяги  $P_k$  с увеличением веса пачки будет расти медленнее силы сцепления. Эта характерная особенность взаимодействия трелевочной машины с волоком влияет на проходимость системы и характеристики буксования.

Определение и прогнозирование эксплуатационной эффективности трелевочного трактора базируется на тяговом КПД. Для определения тягового КПД колесного трелевочного трактора  $\eta_{\text{ТК}}$  в вероятностном представлении получена следующая формула:

$$\eta_{\text{ТК}} = \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\delta} \left( \frac{1}{\delta_{P_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{(P_{\text{кр}} - M_{P_{\text{кр}}})^2}{2\delta_{P_{\text{кр}}}^2}} \right) / \left( \frac{1}{\delta_{P_k} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{(P_k - M_{P_k})^2}{2\delta_{P_k}^2}} \right), \quad (2)$$

где  $\eta_{\text{тр}}$  – коэффициент, учитывающий все потери в трансмиссии;

$\eta_{\delta}$  – коэффициент, учитывающий потери на буксование ведущих колес;

выражение в скобках учитывает потери на качение трактора:

$P_{\text{кр}}$ ,  $P_k$  – крюковая и касательная сила тяги соответственно;  $M_{P_{\text{кр}}}$ ,  $M_{P_k}$  – математическое ожидание крюковой и касательной силы тяги;  $\delta_{P_{\text{кр}}}$ ,  $\delta_{P_k}$  – среднеквадратические отклонения крюковой и касательной силы тяги соответственно.

В монографиях и учебниках для оценки проходимости автомобилей рекомендуется применять комплексный фактор проходимости –  $\Pi$ , предложенный в НАМИ [1]

$$\Pi = \frac{Q_{\text{Т}} \cdot S_{\text{Т}}}{t_{\text{Т}} \cdot g_{\text{Т}}} : \frac{Q_{\text{ш}} \cdot S_{\text{ш}}}{t_{\text{ш}} \cdot g_{\text{ш}}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{Т}}$ ,  $Q_{\text{ш}}$  – полезная нагрузка при движении машины по труднопроходимому маршруту и шоссе;  $S_{\text{Т}}$ ,  $S_{\text{ш}}$  – длина испытательного участка труднопроходимого маршрута и шоссе;  $t_{\text{Т}}$ ,  $t_{\text{ш}}$  – время движения машины по труднопроходимому маршруту и шоссе;  $g_{\text{Т}}$ ,  $g_{\text{ш}}$  – расход топлива по труднопроходимому маршруту и шоссе.

Для трелевочной системы на базе колесного трелевочного трактора формулу (3) можно записать

$$\Pi = \frac{Q_{\text{Т}} \cdot v_{\text{Т}} \cdot g_3}{Q_3 \cdot v_3 \cdot g_{\text{Т}}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{Т}}$ ,  $Q_3$  – вес пачки при трелевке древесины по тяжелому волоку с большим коэффициентом сопротивления движению и эталонному или типичному для данной местности;  $v_{\text{Т}}$ ,  $v_3$  – средняя скорость движения трелевочной системы по соответствующим волокам;  $g_{\text{Т}}$ ,  $g_3$  – путевой расход топлива при трелевке по соответствующим волокам.

Эксплуатационная эффективность работы трелевочного трактора определяется при трелевке пачки древесины различного объема по конкретному волоку заданной длины. Тогда формулу (3) можно записать

$$\Pi = \frac{Q_T \cdot t_3 \cdot g_3}{Q_3 \cdot t_T \cdot g_T}, \quad (5)$$

где  $t_3, t_T$  – время движения трелевочной системы по эталонному и тяжелому волокам.

Для эталонного и тяжелого волоков равной длины проходимость  $\Pi$  можно выразить через часовую производительность трактора  $W_4$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )

$$\Pi = \frac{W_4^T \cdot g_3}{W_4^3 \cdot g_T}, \quad (6)$$

где  $W_4^T, W_4^3$  – часовая производительность трактора при трелевке пачки по тяжелому и эталонному волокам соответственно. С введением новых показателей  $\eta_{\text{еэ}}$  и  $\psi_{\text{ук}}$  формулу (5) можно записать

$$\Pi = \frac{\eta_{\text{еэ}}^T \cdot \psi_{\text{ук}}^3 \cdot g_3}{\eta_{\text{еэ}}^3 \cdot \psi_{\text{ук}}^T \cdot g_T} = K_{\eta_{\text{еэ}}} \cdot K_{\psi_{\text{ук}}} \cdot K_g, \quad (7)$$

где  $K_{\eta_{\text{еэ}}} = \eta_{\text{еэ}}^T / \eta_{\text{еэ}}^3$ ;  $K_{\psi_{\text{ук}}} = \psi_{\text{ук}}^3 / \psi_{\text{ук}}^T$ ;  $K_g = g_3 / g_T$ ;  $\eta_{\text{еэ}}^T, \eta_{\text{еэ}}^3$  – показатели эксплуатационной эффективности колесного трелевочного трактора при трелевке пачки древесины по тяжелому и эталонному волокам;  $\psi_{\text{ук}}^3, \psi_{\text{ук}}^T$  – условный коэффициент сопротивления движению пачки при трелевке по эталонному и тяжелому волокам.

Путевой расход топлива  $g_T$  и  $g_3$  можно определить по удельному технологическому расходу  $g_y$  и часовому расходу топлива  $G_T$

$$g_T = g_y^T \cdot Q_T \cdot S_T; \quad g_3 = g_y^3 \cdot Q_3 \cdot \delta_3, \quad (8)$$

где  $g_y = \frac{G_T}{\Pi_T}$

В связи с тем, что эффективный удельный расход топлива в большой мере зависит от коэффициента загрузки двигателя по мощности  $K_N$ , установим связь

$$g_y = \frac{\psi_{\text{ук}} \cdot g_k}{\eta_{\text{тк}}}, \quad (9)$$

где  $g_k$  – удельный эффективный расход топлива двигателя в зависимости от  $K_N$ .

Условный коэффициент сопротивления движению пачки может быть определен экспериментальным путем или по формуле, применяемой в исследовании гусеничных трелевочных тракторов [2]

$$\psi_{\text{ук}} = \psi_g \cdot K_G, \quad (10)$$

где  $\psi_g$  – коэффициент сопротивления движению трелевочной системы [1];  $K_G$  – коэффициент условной тяги системы

$$K_G = \eta_{\text{гт}} / \eta_G, \quad (11)$$

где  $\eta_G$  – коэффициент полезного использования веса системы,  $\eta_G = Q / G_C$ ;  $G_C = G + Q$ .

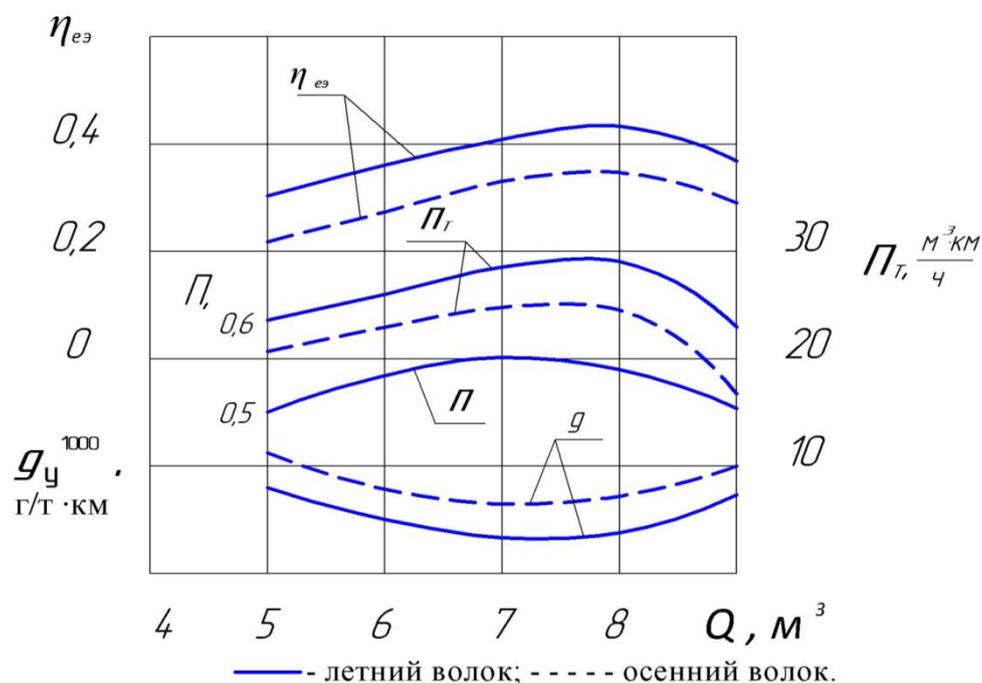
Для оценки влияния рейсовой нагрузки на показатели эксплуатационной эффективности и проходимости колесного трелевочного трактора были проведены исследовательские испытания трелевочных систем на базе трактора ТКЛ-4-01 в производственных условиях Сыктывдинского ЛПК Коми Республики на летнем волоке, который был принят за эталонный, и на этом же волоке осенью при значительном переувлажнении почвогрунтов. Объем пачки трелеваемой древесины по летнему и осеннему волокам был принят 5, 6, 7, 8 и 9  $\text{м}^3$ .

Результаты исследовательских испытаний приведены в таблице

Эксплуатационные показатели колесного трелевочного трактора ТКЛ-4-01 при трелевке древесины по летнему и осеннему волокам

Сезон года	Q, м <sup>3</sup>	$\eta_{\text{еэ}}$	$\psi_{\text{ук}}$	$\Pi_m, \frac{\text{м}^3 \cdot \text{км}}{\text{ч}}$	$g_y, \text{г/Т} \cdot \text{км}$
Лето	5	0,30	0,166	24,0	346
	6	0,35	0,184	26,0	510
	7	0,38	0,196	28,8	397
	8	0,41	0,190	30,6	428
	9	0,37	0,194	22,8	793
Осень	5	0,22	0,216	22,7	1127
	6	0,29	0,223	24,0	823
	7	0,38	0,245	27,0	685
	8	0,32	0,247	28,5	781
	9	0,29	0,253	18,5	1012

На рисунке показана графическая зависимость показателей эксплуатационной эффективности трактора от объема пачки трелеваемой древесины. В зоне экстремального значения показателя эксплуатационной эффективности трактора  $\eta_{\text{еэ}}$  наблюдаются максимальные  $\Pi_m$  и минимальное значение путевого расхода топлива  $g$ .



Зависимость показателей эксплуатационной эффективности и проходимости колесного трелевочного трактора от рейсовой нагрузки

Причем экстремальные значения  $\eta_{\text{еэ}}$  достигаются при трелевке по летнему волоку пачки объемом Q = 8 м<sup>3</sup>, а по осеннему – при трелевке пачки объемом Q = 6 м<sup>3</sup>. Следовательно, при таком сочетании свойств волока, объема пачки и мощности двигателя, т.е. энергонасыщенности трактора, достигается максимальная эксплуатационная эффективность его работы.

По формуле (7) проведена оценка снижения проходимости при трелевке пачек одинакового объема (5, 6, 7, 8, 9 м<sup>3</sup>) по осеннему волоку в сравнении с трелевкой пачек по летнему волоку. На рисунке приведены зависимости  $\Pi$  от объема трелеваемой пачки. Анализ рисунка показывает, что на характер изменения проходимости решающее влияние оказывает показатель эксплуатационной эффективности  $\eta_{\text{еэ}}$ , изменение  $\psi_{\text{ук}}$  и изменение свойств волока.

Наименьшее снижение проходимости с ухудшением свойств трелевочного волока наблюдается в экстремальной зоне. Установлено, что в экстремальной зоне  $\eta_{\text{ез}}$  наблюдаются минимальные потери от буксования, следовательно, минимальное отрицательное воздействие движителя на почво-грунт волока.

### Выводы

1. Получена формула для оценки проходимости колесных трелевочных тракторов, учитывающая специфику работы и позволяющая на современном уровне проводить оценку их проходимости и эксплуатационной эффективности.
2. Проведена экспериментальная апробация предложенной формулы проходимости. Установлено, что на характер изменения проходимости решающее влияние оказывает показатель эксплуатационной эффективности, изменение условного коэффициента сопротивления движению и свойства волока.

### Литература

1. Анисимов Г.М., Жендаев С.Г., Жуков А.В. Лесные машины. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 512 с.
2. Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Основные направления повышения эксплуатационной эффективности трелевочных тракторов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 456 с.
3. Беккер М.Г. Введение в теорию системы «Местность – машина». – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
4. Платонов В.Ф., Чистов М.П., Аксенов А.Н. Оценка проходимости полноприводных автомобилей // Автомобильная промышленность. – 1980. – № 3. – С. 10–13.
5. Скотников В.А., Мащенко А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Агропромиздат, 1986 – 384 с.
6. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.



УДК 630\*371.7

В.В. Побединский, А.И. Попов, Д.А. Василевский

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОТОРНЫХ ОКОРОЧНЫХ СТАНКОВ

Предложены методика и аппаратура для экспериментальных исследований роторных окорочных станков, которые позволяют наиболее точно определить нагрузки на рабочие органы станков в реальных условиях окорки. Получены эмпирические зависимости нагрузок на механизм подачи и коросниматели различного типа от технологических параметров и характеристик лесоматериалов.

**Ключевые слова:** роторные окорочные станки, аппаратура эксперимента, нагрузки на рабочие органы, механизм подачи, коросниматель.

V.V. Pobedinskiy, A.I. Popov, A.D. Vasilevskiy

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF ROTARY DEBARKING MACHINES

The technique and equipment for experimental research of rotary debarking machines that allow to determine in the most accurate way the load on the machine working parts in the real debarking process are suggested. The empirical dependence of advance mechanism load and debarking tool different types on process parameters and timber characteristics is received.

**Key words:** rotary debarking machines, experiment equipment, load on the working parts, the advance mechanism, debarking tool.

**Введение.** Роторные окорочные станки (РОС) в процессе работы подвергаются значительным динамическим нагрузкам со стороны обрабатываемых лесоматериалов. Данные о таких нагрузках являются необходимыми для проектирования станков и окорочного инструмента. Однако получить экспериментальные значения нагрузок, в силу конструктивных особенностей окорочных станков и специфики процесса окорки, чрезвычайно сложно.

Из-за специфики процесса окорки, в первую очередь недоступности наиболее нагруженных и ответственных механизмов во вращающемся с высокой скоростью роторе, известные [1–3] методики и аппаратура экс-