

УДЕЛЬНОЕ ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА, ОПТИМАЛЬНОЕ ПО ТЯГОВОМУ КПД

В.И. Костюченко

WHEEL TRACTORS DRAWBAR PULL OPTIMUM FOR DRAWBAR EFFICIENCY

V.I. Kostyuchenko

В результате исследования потенциальной тяговой характеристики колесного трактора получено аналитическое выражение удельного тягового усилия, оптимального по тяговому КПД.

Ключевые слова: трактор, потенциальная тяговая характеристика, тяговый КПД, коэффициент сцепления, коэффициент сопротивления передвижению, коэффициент буксования.

A study of the wheel tractors potential drawbar performance, the author obtained an analytic expression of the specific drawbar pull optimum for drawbar efficiency.

Keywords: tractor, the potential drawbar performance, the drawbar efficiency, the coefficient of traction, the coefficient of resistance movement, the coefficient of drive-wheel slippage.

Перечень обозначений и сокращений:

N_E – удельная мощность двигателя;

$N_{КР}$ – удельная тяговая мощность;

N_K – удельная мощность на ведущих колесах;

$\Phi_{КР}$, $\Phi_{КРО}$ – удельное и оптимальное удельное тяговое усилие, соответственно;

Φ_K , $\Phi_{КО}$ – удельное и оптимальное касательное усилие на ведущих колесах, соответственно;

$\Phi_{КР\max}$ – максимальный коэффициент сцепления (максимальное удельное тяговое усилие);

$\Phi_{K\max}$ – максимальное касательное усилие на ведущих колесах;

$\eta_T = \frac{N_{КР}}{N_E}$ – тяговый КПД;

$\eta_{ТР}$ – КПД трансмиссии;

f – коэффициент сопротивления передвижению;

δ – коэффициент буксования;

V – действительная скорость.

Основными критериями эффективности тракторов сельскохозяйственного назначения являются тяговая мощность или тяговый КПД. Поэтому усилие, соответствующее максимальной тяговой мощности или тяговому КПД, является оптимальным, а работа трактора с таким усилием обеспечивает ему максимальную производительность и топливную экономичность. Оптимальное усилие определяется по потенциальной тяговой характеристике трактора для типичных грунтовых фонов [6, 7].

Знание оптимального тягового усилия позволяет напрямую выбирать необходимые для проектируемого трактора рабочие орудия, а затем оценивать оптимальные параметры моторно-трансмиссионной установки.

Расчет и конструирование

В работе [3] автором была исследована на экстремум зависимость тягового КПД гусеничного трактора в функции $\Phi_{\text{КР}}$ при фиксированных значениях $\Phi_{\text{КРмакс}}$ и f :

$$\eta_{\text{T}} = \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{КР}}}{\Phi_{\text{КР}} + f} \right) \left(1 - \frac{\Phi_{\text{КР}}}{\Phi_{\text{КРмакс}}} \right)^{0,05}. \quad (1)$$

В результате было получено прямое аналитическое выражение оптимального удельного тягового усилия гусеничного трактора, оптимального по тяговому КПД:

$$\Phi_{\text{КРО}} = f \left(\sqrt{110,25 + 20 \frac{\Phi_{\text{КРмакс}}}{f}} - 10,5 \right). \quad (2)$$

Решим подобную задачу для колесного трактора.

Зависимости потенциальной тяговой характеристики и тягового КПД колесного трактора

Показатели тяговой характеристики будем рассматривать в удельном виде, т. е. отнеся их к весу трактора, поэтому они будут справедливы для тракторов различных классов.

В классической теории трактора [4–7] потенциальная тяговая характеристика и тяговый КПД как колесного, так и гусеничного трактора описываются следующими известными выражениями:

$$N_{\text{КР}} = N_{\text{Е}} \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{КР}}}{\Phi_{\text{КР}} + f} \right) (1 - \delta), \quad (3)$$

$$\eta_{\text{T}} = \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{КР}}}{\Phi_{\text{КР}} + f} \right) (1 - \delta). \quad (4)$$

В работах [1, 2] в результате обобщения экспериментальных данных в широком диапазоне грунтовых условий для колесных тракторов предложена следующая формула коэффициента буксования:

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{\Phi_{\text{К}}}{\Phi_{\text{Кмакс}}} \right)^{0,1 \left(1 + \frac{\Phi_{\text{К}}}{\Phi_{\text{Кмакс}}} \right)}. \quad (5)$$

Зависимость (5) отражает более крутой характер кривой буксования колесных тракторов, а также наличие буксования при нулевом $\Phi_{\text{КР}}$. С последним связано представление буксования колесного трактора в функции $\Phi_{\text{К}}$, а не $\Phi_{\text{КР}}$. Подставляя (5) в (3) и (4) и учитывая, что $\Phi_{\text{К}} = \Phi_{\text{КР}} + f$ и $\Phi_{\text{Кмакс}} = \Phi_{\text{КРмакс}} + f$, можно получить зависимости потенциальной тяговой характеристики и тягового КПД колесного трактора в функции удельного тягового усилия $\Phi_{\text{КР}}$ или удельного касательного усилия на ведущих колесах $\Phi_{\text{К}}$:

$$N_{\text{КР}} = N_{\text{Е}} \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{КР}}}{\Phi_{\text{КР}} + f} \right) \left(1 - \frac{\Phi_{\text{КР}} + f}{\Phi_{\text{КРмакс}} + f} \right)^{0,1 \left(1 + \frac{\Phi_{\text{КР}} + f}{\Phi_{\text{КРмакс}} + f} \right)}, \quad (6)$$

$$\eta_{\text{T}} = \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{КР}}}{\Phi_{\text{КР}} + f} \right) \left(1 - \frac{\Phi_{\text{КР}} + f}{\Phi_{\text{КРмакс}} + f} \right)^{0,1 \left(1 + \frac{\Phi_{\text{КР}} + f}{\Phi_{\text{КРмакс}} + f} \right)}, \quad (7)$$

$$N_{\text{КР}} = N_{\text{Е}} \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{К}} - f}{\Phi_{\text{К}}} \right) \left(1 - \frac{\Phi_{\text{К}}}{\Phi_{\text{Кмакс}}} \right)^{0,1 \left(1 + \frac{\Phi_{\text{К}}}{\Phi_{\text{Кмакс}}} \right)}, \quad (8)$$

$$\eta_{\text{T}} = \eta_{\text{ТР}} \left(\frac{\Phi_{\text{К}} - f}{\Phi_{\text{К}}} \right) \left(1 - \frac{\Phi_{\text{К}}}{\Phi_{\text{Кмакс}}} \right)^{0,1 \left(1 + \frac{\Phi_{\text{К}}}{\Phi_{\text{Кмакс}}} \right)}. \quad (9)$$

Удельное тяговое усилие, оптимальное по тяговому КПД

Для нахождения $\Phi_{\text{КРО}}$ необходимо исследовать (7) или (9) на экстремум при фиксированных значениях $\Phi_{\text{КРМакс}}$ и f . Использование для исследования любой из этих зависимостей с точки зрения поставленной задачи эквивалентно, поскольку $\Phi_{\text{КРО}} = \Phi_{\text{КО}} + f$, т. е. $\Phi_{\text{КРО}}$ можно определить через $\Phi_{\text{КО}}$ при исследовании более простой зависимости (9).

Следует отметить, что при исследованиях на экстремум зависимостей, подобных (7) и (9), применяется логарифмическое дифференцирование и не удается выявить прямого аналитического решения, аналогичного (2). В результате для колесного трактора были получены следующие нелинейные уравнения, из которых $\Phi_{\text{КО}}$ и $\Phi_{\text{КРО}}$ определяются численными итерационными методами:

$$\Phi_{\text{КО}}^3 + (\Phi_{\text{КМакс}} - f)\Phi_{\text{КО}}^2 + 9f\Phi_{\text{КМакс}}\Phi_{\text{КО}} - 10f\Phi_{\text{КМакс}}^2 = \ln\left(1 - \frac{\Phi_{\text{КО}}}{\Phi_{\text{КМакс}}}\right)^{\left(1 - \frac{\Phi_{\text{КО}}}{\Phi_{\text{КМакс}}}\right)\Phi_{\text{КО}}(\Phi_{\text{КО}} - f)\Phi_{\text{КМакс}}} \quad (10)$$

или

$$\begin{aligned} & (\Phi_{\text{КРО}} + f)^3 + \Phi_{\text{КРМакс}}(\Phi_{\text{КРО}} + f)^2 + 9f(\Phi_{\text{КРМакс}} + f)(\Phi_{\text{КРО}} + f) - 10f(\Phi_{\text{КРМакс}} + f)^2 = \\ & = \ln\left(1 - \frac{\Phi_{\text{КРО}} + f}{\Phi_{\text{КРМакс}} + f}\right)^{\left(1 - \frac{\Phi_{\text{КРО}} + f}{\Phi_{\text{КРМакс}} + f}\right)(\Phi_{\text{КРО}} + f)\Phi_{\text{КРО}}(\Phi_{\text{КРМакс}} + f)} \end{aligned} \quad (11)$$

Значения $\Phi_{\text{КО}}$ и $\Phi_{\text{КРО}}$ колесных сельскохозяйственных тракторов, получаемые при решении уравнений (10) или (11) для практически интересных диапазонов $\Phi_{\text{КРМакс}} = 0,3 \dots 0,7$ и $f = 0,04 \dots 0,16$, представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 1 и 2, соответственно.

Таблица 1

Значения $\Phi_{\text{КО}}$

f	$\Phi_{\text{КРМакс}}$				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,04	0,195	0,232	0,266	0,297	0,327
0,06	0,230	0,271	0,310	0,348	0,381
0,08	0,260	0,306	0,349	0,389	0,427
0,1	0,288	0,337	0,383	0,426	0,467
0,12	0,314	0,366	0,414	0,459	0,503
0,14	0,339	0,393	0,443	0,491	0,536
0,16	0,363	0,419	0,471	0,520	0,567

Таблица 2

Значения $\Phi_{\text{КРО}}$

f	$\Phi_{\text{КРМакс}}$				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,04	0,155	0,192	0,226	0,257	0,287
0,06	0,170	0,211	0,250	0,288	0,321
0,08	0,180	0,226	0,269	0,309	0,347
0,1	0,188	0,237	0,283	0,326	0,367
0,12	0,194	0,246	0,294	0,339	0,383
0,14	0,199	0,253	0,303	0,351	0,396
0,16	0,203	0,259	0,311	0,360	0,407

Значения $\Phi_{\text{КО}}$ и $\Phi_{\text{КРО}}$ не зависят от мощности двигателя, веса трактора, КПД и типа его трансмиссии, а определяются только значениями $\Phi_{\text{КРМакс}}$ и f . $\Phi_{\text{КО}}$ и $\Phi_{\text{КРО}}$ увеличиваются с ростом $\Phi_{\text{КРМакс}}$ и f , т. е. при улучшении тягово-сцепных качеств (увеличении $\Phi_{\text{КРМакс}}$) трактора –

Расчет и конструирование

растут, а при улучшении ходовых качеств (снижении f) трактора – снижаются. Видно, что $\Phi_{КО}$ и $\Phi_{КРО}$ находятся в пределах 0,195...0,567 и 0,155...0,407, а для колесного трактора со средними тягово-сцепными и ходовыми качествами на стерне колосовых при $\Phi_{КР\max} = 0,6$ и $f = 0,08$ $\Phi_{КО}$ и $\Phi_{КРО}$ составляют 0,389 и 0,309, соответственно.

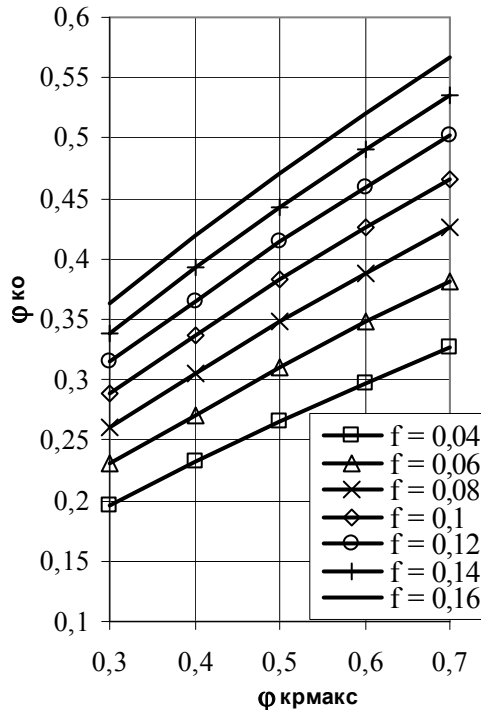


Рис. 1. Зависимость $\Phi_{КО}$ от $\Phi_{КР\max}$ и f

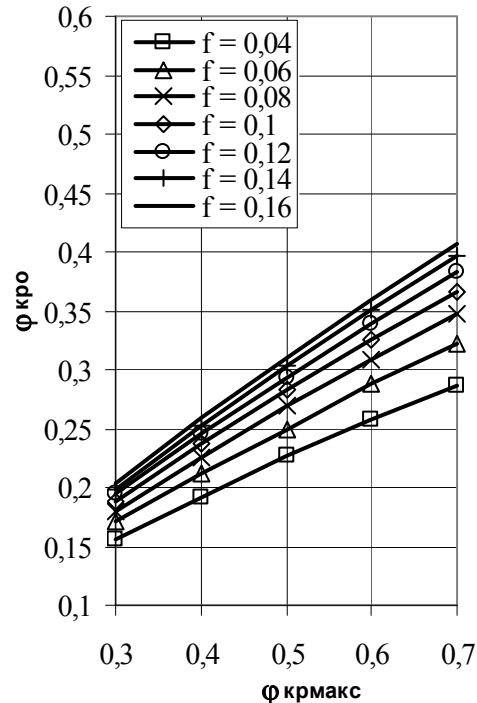


Рис. 2. Зависимость $\Phi_{КРО}$ от $\Phi_{КР\max}$ и f

Для практического использования полученных результатов значения оптимального удельного тягового усилия $\Phi_{КРО}$ были аппроксимированы параболической зависимостью с переменными коэффициентами:

$$\Phi_{КРО} = A\Phi_{КР\max}^2 + B\Phi_{КР\max} + C, \quad (12)$$

где $A = -0,14f - 0,1176$; $B = -6,7619f^2 + 2,966f + 0,3475$; $C = -0,0846f + 0,0351$.

Представленная зависимость позволяет с погрешностью не более 1,4 % оценивать $\Phi_{КРО}$ колесного трактора на этапе его проектирования для любых фонов – от сухой грунтовой дороги до поля, подготовленного под посев. Зная значение $\Phi_{КРО}$, можно напрямую выбрать типичный вид агрегата, обеспечивающий соответствующее тяговое сопротивление. В свою очередь, при известной из агротехнических требований оптимальной скорости $V_{ОПТ}$ обработки почвы этим агрегатом оцениваются требуемые $N_{КР}$, N_E и оптимальное передаточное число трансмиссии трактора.

Литература

1. Гинзбург, Ю.В. Промышленные тракторы / Ю.В. Гинзбург, А.И. Швед, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. – 293 с.
2. Гинзбург, Ю.В. Тяговые характеристики гусеничных и колесных промышленных тракторов / Ю.В. Гинзбург, А.П. Парфенов, А.И. Швед. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1981. – 75 с.
3. Костюченко, В.И. Прямая оценка удельного тягового усилия гусеничного трактора, оптимального по тяговому КПД / В.И. Костюченко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – Вып. 7. – № 14(54). – С. 90–92.

4. Позин, Б.М. *Вопросы методологии в теории тяговой характеристики трактора* / Б.М. Позин. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 2006. – 123 с.
5. Саяпин, В.И. *Удельные параметры гусеничных тракторов* / В.И. Саяпин // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1950. – Вып. 4. – С. 33–59.
6. *Тракторы: Теория* / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
7. Трепененков, И.И. *Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов* / И.И. Трепененков. – М.: Машгиз, 1963. – 271 с.

Поступила в редакцию 20 апреля 2011 г.

Костюченко Валерий Иванович. Кандидат технических наук, начальник испытательного центра Челябинского тракторного завода, профессор кафедры «Автомобили», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – исследования рабочих процессов промышленных тракторов, оптимизация параметров тракторов и их тяговых характеристик. Тел.: 267-94-41.

Valery I. Kostyuchenko. Candidate of engineering science, chief of the test center of the Chelyabinsk Tractor Plant, professor of «Automobiles» chair of the South Urals State University. Area of scientific interests – investigation of industrial tractor operating processes, optimization of tractor parameters and drawbar performances. Phone: 267-94-41.