

Б. Л. Магарилло, Б. М. Позин

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ И УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Как известно, определение оптимального (номинального) значения тягового усилия для сельскохозяйственных тракторов, у которых рабочий ход занимает преобладающую долю в рабочем цикле агрегата, производится исходя из того, что значение коэффициента полезного действия трактора ( $\eta_{тр}$ ) при этом усилие близко к максимальному значению. Для гусеничных тракторов отвечает этому условию номинальное значение удельной силы тяги на крюке  $\varphi_{кр} = 0,55—0,65$  при работе трактора на стерне нормальной влажности [1, 2]. Значения тяговых усилий на других рабочих передачах, как правило, располагаются ниже значения номинальной силы тяги.

Работа землеройного агрегата отличается тем, что процесс обработки грунта во время рабочего хода требует реализации значительных тяговых усилий, при этом в общем цикле работы существенное значение имеют транспортный и холостой ходы агрегата. Естественно, что оптимальные тяговые усилия для землеройного агрегата, работающего в циклическом режиме, должны назначаться с учетом этих характерных особенностей рабочего процесса. Важнейшим условием для определения оптимальных тяговых усилий является обеспечение максимальной производительности агрегата.

В работе [3], исходя из рассмотрения тягового баланса бульдозерного агрегата, показано, что объем призмы грунта (в плотном теле), набранный бульдозером в течение цикла, равен:

$$q_{ц} = \frac{\varphi_a G_a}{\mu \gamma} \left( 1 - e^{-\frac{\mu \gamma L}{k}} \right), \quad (1)$$

где  $\varphi_a$  — удельная сила тяги агрегата, равная  $\rho_{кр}/G_a$ ;  $G_a$  — вес агрегата,  $\kappa\Gamma$ ;  $L$  — длина забоя,  $m$ ;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $\gamma$  — объемный вес грунта в плотном теле,  $\kappa\Gamma/m^3$ ;  $k$  — коэффициент сопротивления грунта резанию,  $\kappa\Gamma/m^2$ ;  $\mu$  — коэффициент пропорциональности, учитывающий свойства грунта и параметры отвала.

Как показали исследования А. И. Брусенцева [4], возникающая при рабочем ходе трактора вертикальная составляющая, которая действует на отвал бульдозера, приводит к изменению коэффициента сопротивления передвижению агрегата в связи с перераспределением нагрузок по длине опорной поверхности трактора. Согласно [4], средневзвешенное значение дополнительного коэффициента сопротивления движению  $f_{\text{доп}} = 0,1-0,12$ . С учетом этого величина призмы волочения:

$$q_{\text{ц}} = \frac{(\varphi_a - f_{\text{доп}})}{\mu\gamma} (1 - e^{-\frac{\mu\gamma L}{k}}) G_a. \quad (2)$$

Анализ этих выражений показывает, что объем призмы растёт с увеличением удельной силы тяги. Этим может быть объяснена имеющаяся устойчивая тенденция в развитии тракторов промышленного назначения, которая заключается в постоянном росте удельной силы тяги. Так, у тракторов американской фирмы «Caterpillar» удельная сила тяги с 1930 г. по настоящее время возросла в 1,5—1,66 раза.

Очевидно, что беспредельный рост удельной силы тяги не может быть достигнут из-за ограничений, которые определяются целым рядом параметров тракторов и в первую очередь сцеплением гусеничного движителя с грунтом. Получение же значений оптимальной величины тягового усилия позволило бы использовать землеройный агрегат с максимальной эффективностью.

Техническая производительность бульдозерного агрегата может быть выражена формулой:

$$П = 3600 \frac{q_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}} \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{ц}}$  — время цикла, сек.

Для ступенчатой механической трансмиссии (без учета времени, затрачиваемого на переключение передач):

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_{\text{н}}}{v_{\text{р}}(1-\delta)c_1} - \frac{l_{\text{тр}}}{v_{\text{р}}(1-\delta)c_1} + \frac{L}{v_{\text{х.х}}c_2}, \quad (4)$$

где  $l_{\text{н}}$  — длина набора грунта, м;  $l_{\text{тр}}$  — путь транспортировки грунта, м;  $L = l_{\text{н}} + l_{\text{тр}}$  — длина забоя, м;  $v_{\text{р}}$  — скорость рабочего хода, м/сек;  $c_1$  — коэффициент потери скорости на рабочем ходе, учитывающий работу двигателя на перегрузочных режимах (выключение муфты сцепления при резком снижении оборотов и т. п.),  $c_1 = 0,85-0,90$ ;  $v_{\text{х.х}}$  — скорость отката, м/сек;  $c_2$  — коэффициент потери скорости движения при откате трактора из-за неустановившегося режима работы и неровностей профиля пути.

Для трактора с полужесткой подвеской и механической трансмиссией при

$$v_{x.x} \leq 9,5 \text{ км/ч}; \quad c_2 = 0,92 - 0,97;$$

$\delta$  — коэффициент буксования, %.

Проведя некоторые преобразования выражения (4), получим:

$$T_{\text{ц}} = \frac{L}{v_p c_1} \left( \frac{v_p c_1}{v_{x.x} c_2} + \frac{1}{1 - \delta} \right). \quad (5)$$

Тогда производительность агрегата

$$\Pi = 3600 \frac{(\varphi_a - f_{\text{дон}}) (1 - e^{-\frac{\mu \gamma L}{k}}) v_p c_1}{L \mu \gamma \left[ \frac{v_p c_1}{v_{x.x} c_2} + \frac{1}{1 - \delta} \right]} G_a. \quad (6)$$

Выделив из формулы (6) члены, зависящие от конструкции и основных параметров трактора, получаем:

$$k'_{\text{пл}} = (\varphi_a - f_{\text{дон}}) k_v G_a \text{ кгм/сек}; \quad (7)$$

$$k_v = \frac{v_p c_1}{\frac{v_p c_1}{v_{x.x} c_2} + \frac{1}{1 - \delta}}. \quad (8)$$

Выражение (7) при сохранении параметров бульдозерного оборудования, длины забоя и при одинаковых грунтовых условиях является коэффициентом пропорциональности, полностью характеризующим производительность агрегата.

Значение коэффициента  $k_v$  определяет производительность агрегата в зависимости от скоростей рабочего и холостого ходов. Назовем этот показатель скоростным коэффициентом производительности.

Удельная производительность агрегата  $\bar{\Pi}_{\text{уд}} = \Pi/G_a$  определяется коэффициентом удельной производительности:

$$k_{\text{пл}} = \frac{(\varphi_a - f_{\text{дон}}) v_p c_1}{\frac{v_p c_1}{v_{x.x} c_2} + \frac{1}{1 - \delta}}. \quad (9)$$

Формула (9) позволяет определить оптимальное значение удельной силы тяги  $\varphi_a$  при известных показателях по сцеплению гусеничного движителя с грунтом и заданных значениях скоростей рабочего хода и отката.

На рис. 1 построены зависимости коэффициента удельной производительности бульдозерного агрегата  $\kappa_{п}$ , на базе промышленного трактора кл. тяги 10 т с полужесткой подвеской при использовании его на различных грунтах.

Как видно из графиков, оптимальное значение удельной силы тяги агрегата  $\varphi_a$  (при максимальных значениях коэффициента удельной производительности) различно для разных грунтов и находится в пределах 0,575—0,825.

Поскольку обычно при проектировании задаются тяговыми усилиями трактора, его оптимальная удельная сила тяги может быть определена из выражения:

$$\varphi_{т} = \frac{\lambda_a}{\lambda_э} (\varphi_a + f_a) - f_{т}, \quad (10)$$

где  $\lambda_a = \frac{G_a}{G_{т}}$  — коэффициент конструктивного веса трактора;

$G_{т}$  — конструктивный вес трактора, кг;  $\lambda_э \cong 1,03 G_{т}$  — коэффициент эксплуатационного веса трактора;  $f_{т}$ ,  $f_a$  — соответственно коэффициенты сопротивления передвижению трактора и агрегата.

Диапазон оптимальных тяговых усилий на рабочих передачах (без учета  $\lambda_э$ )

$$\delta_p = \frac{\varphi_{т \max (опт)}}{\varphi_{т \min (опт)}} = \frac{\lambda_{a \max} (\varphi_{a \max} + f_{a1}) - f_{т}}{\lambda_{a \min} (\varphi_{a \min} + f_{a2}) - f_{т}}. \quad (11)$$

Если принять в качестве наиболее тяжелого агрегата трактор, укомплектованный бульдозером и рыхлителем ( $\lambda_{a \max} = 1,35$ ,  $f_{a1} = f_{т} = 0,1$ ), а наиболее легкого — бульдозер ( $\lambda_{a \min} = 1,24$ ,  $f_{a2} = 0,15$ ) и подставить соответствующие значения в выражения (10) и (11), то оптимальные значения удельной силы тяги трактора будут иметь величину  $\varphi_{т \max (опт)} = 1,15$  и  $\varphi_{т \min (опт)} = 0,80$ , а диапазон оптимальных тяговых усилий  $\delta_p = 1,43$ . Естественно, что полученные значения тягового и скоростного диапазонов, а также оптимальных величин удельной силы тяги и соответствующих им скоростей движения охватывают лишь зону рабочих передач на основных видах землеройных работ. Полный же диапазон скоростей и тяговых усилий назначается обычно шире, исхо-

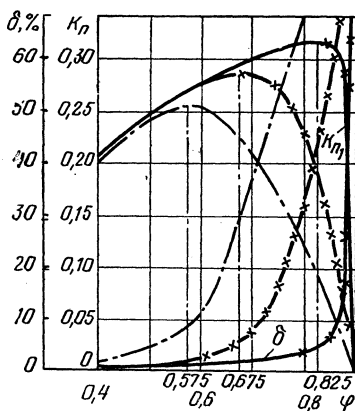


Рис. 1. Зависимость коэффициента удельной производительности для бульдозерного агрегата.

для из необходимости обеспечения возможно более широкой универсальности трактора и использования его на других видах работ (с сельхозорудиями, на транспорте и др.). Обычно максимальная скорость движения для трактора с полужесткой подвеской находится в пределах 10—12 км/ч, а для тракторов, оборудованных эластичной подвеской — в пределах 20—25 км/ч.

Поскольку  $\Phi_T \text{ max (опт)} = 1,1—1,20$ , то

$$v_p \text{ min (опт)} = \frac{0,270 N_{\text{уд}} \eta}{\Phi_T \text{ max (опт)} + f_T} = (0,187 \div 0,203) N_{\text{уд}}, \quad (12)$$

где  $N_{\text{уд}} = \frac{N_e}{G_T}$  — удельная мощность трактора, л. с./т;  $\eta$  — коэффициент полезного действия трансмиссии.

Так как в настоящее время рабочая скорость при максимальной величине тягового усилия установилась в пределах 2,5—3,0 км/ч [5], оптимальное значение удельной мощности при  $\Phi_T \text{ max (опт)} = 1,15$

$$\begin{aligned} N_{\text{уд (опт)}} &= \frac{v_p (\Phi_T + f_T)}{0,270 \eta} = \frac{(2,5 \div 3,0)(1,15 + 0,1)}{0,270 \cdot 0,9} = \\ &= 12,8 \div 15,4 \text{ л. с./т.} \end{aligned} \quad (13)$$

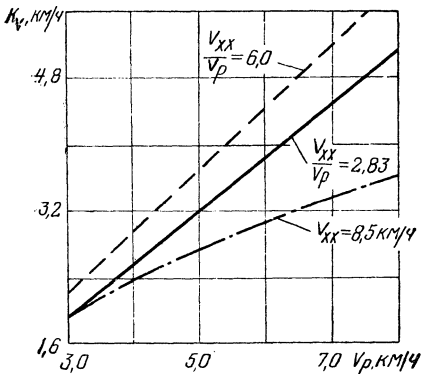


Рис. 2. Зависимость скоростного коэффициента производительности  $K_v$  от соотношения скоростей рабочего хода  $v_{x-x}$  и отката  $v_p$ .

Дальнейшее повышение производительности агрегата при реализации оптимального значения максимальной силы тяги может быть достигнуто за счет увеличения скорости рабочего хода. При этом, как видно из выражения (9) и рис. 2, для наиболее эффективного влияния на производительность увеличения скорости рабочего хода необходимо стремиться к сохранению (или увеличению) диапазона фактических скоростей рабочего хода и отката.

## Выводы

При известных тягово-цепных показателях гусеничного трактора и заданных скоростях движения землеройного агрегата на рабочем и холостом ходах максимальная его производительность

достигается при определенном значении удельной силы тяги, различной для разных грунтов. Для наиболее распространенных грунтов максимальная производительность бульдозерного агрегата на тракторе с полужесткой подвеской будет иметь место при удельной силе тяги трактора на рабочих передачах  $\varphi_T = 0,80—1,15$ . Рабочие передачи должны обеспечить получение этих значений удельной силы тяги.

При установившемся в настоящее время значении низшей рабочей скорости  $v_p = 2,5—3,0$  км/ч оптимальная величина удельной мощности трактора, оснащенного ступенчатой механической трансмиссией и предназначенного для использования в агрегате с землеройными орудиями, находится в пределах 12,8—15,4 л. с./т.

Наиболее эффективное повышение производительности землеройного агрегата за счет увеличения скорости рабочего хода может быть достигнуто в случае сохранения (или увеличения) отношения скорости отката к скорости рабочего хода. В противном случае рост производительности отстает от роста рабочей скорости и мощности трактора.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] *Трепенков И. М.* Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. М., 1963. [2] *Чудаков Д. А.* Основы теории трактора и автомобиля. М., 1962. [3] *Кавьяров И. С. и др.* Зависимость производительности промышленных тракторных агрегатов от удельных параметров тракторов. — «Тракторы и сельхозмашины», 1966, № 10. [4] *Брусенцев А. И.* Исследование тяговой характеристики трактора с бульдозером. — «Тракторы и сельхозмашины», 1966, № 11. [5] *Яркин А. А.* Расчет бульдозера. М., 1963.