

топлива, попавшего на стенку камеры сгорания, и более равномерным распределением топлива по камере.

Выводы. 1. Определены места встречи топливных факелов серийных распылителей со стенкой камеры сгорания и показано, что серийные распылители не обеспечивают оптимальное расположение топливных факелов в камере сгорания.

2. Определены оптимальные углы трех-, четырех- и пятидырчатых распылителей для двигателей ММЗ с камерой ЦНИДИ.

3. Установлено, что применение опытных четырехдырчатых распылителей взамен серийных улучшает экономичность двигателя. На номинальном режиме это улучшение составляет 3,0 г/кВт·ч.

4. Применение трехдырчатых распылителей ухудшает экономичность работы двигателя. Опытные пятидырчатые распылители улучшают экономичность двигателя на номинальном режиме по сравнению с серийными на 4,0 г/кВт·ч.

#### Л и т е р а т у р а

1. Пинский Д.М., Кухаренок Г.М., Рожанский В.А. Методика расчета расположения сопловых отверстий распылителей форсунки дизелей с камерой сгорания в поршне. - В сб.: Автотракторостроение. Вопросы оптимизации проектирования автомобилей, тракторов и их двигателей. - Минск, 1977, вып. 9.
2. Иванченко Н.Н., Семенов Б.Н., Соколов В.С. Рабочий процесс дизелей с камерой сгорания в поршне. - М., 1972.

УДК 629.114.2.032.1.073

Нгуен Динь Винь

#### К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ И МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ, ВЫЗВАННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ МЕЖДУ ГУСЕНИЦАМИ И ГРУНТОМ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

По литературным источникам известны функции трения, вызванные взаимодействием между опорными поверхностями гусениц и грунтом. Эти формулы были созданы на основании линейной зависимости между напряжением и деформацией грунта. Однако, как показывают исследования, функциональная зависимость между ними нелинейна. В настоящей работе сделана попытка уточнить формулы расчета сил и моментов трения.



для пластичных грунтов

$$\vec{\tau}_{\text{сд}} = f_{\text{ск}} q \operatorname{th} \frac{\vec{\Delta}}{k_{\tau}}, \quad (2)$$

где  $f_{\text{ск}}$  - коэффициент трения скольжения,  $q$  - удельное давление опорной части на грунт,  $f_{\text{пр}}$  - приведенный коэффициент трения,  $\Delta$  - деформация грунта,  $k_{\tau}$  - коэффициент деформации.

Считаем, что конструктивные параметры почвозацепов существенно влияют на условие сдвига. Тогда формула расчета напряжений сдвига, возникающих в плоскости взаимодействия движителя с грунтом, примет следующий вид:  
для плотных грунтов

$$\vec{\tau}_{\text{сд}} = k f_{\text{ск}} q \left( 1 + \frac{f_{\text{пр}}}{\operatorname{ch} \frac{\vec{\Delta}}{k_{\tau}}} \right) \operatorname{th} \frac{\vec{\Delta}}{k_{\tau}}; \quad (3)$$

для пластичных грунтов

$$\tau_{\text{сд}} = k f_{\text{ск}} q \operatorname{th} \frac{\Delta}{k_{\tau}}, \quad (4)$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий влияние конструктивных параметров почвозацепов на усилие сдвига.

С целью упрощения в процессе расчета функций трения используем приведенное напряжение:

$$\tau_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \vec{\tau}_{\text{сд}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{пр}}$  - приведенный коэффициент напряжения, зависящий от значения напряжений среза по границам зацепов, трения поверхностей вершин зацепов и конструктивных параметров зацепов, числа звеньев опорной ветви гусениц.

При этом поперечная и продольная составляющие приведенного напряжения отстающей или забегающей гусениц, возникающие в плоскости взаимодействия гусениц с грунтом, определяются следующими формулами:

для плотных грунтов:

$$\tau_{\text{пр } ix} = k_{\text{пр}} k_{f_{\text{ски}}} q_i \left( 1 + \frac{f_{\text{пр}i}}{\operatorname{ch} \frac{\Delta_{ix}}{k_{\tau i}}} \right) \operatorname{th} \frac{\Delta_{ix}}{k_{\tau i}} ; \quad (6)$$

$$\tau_{\text{пр } iy} = k_{\text{пр}} k_{f_{\text{ски}}} q_i \left( 1 + \frac{f_{\text{пр}i}}{\operatorname{ch} \frac{\Delta_{iy}}{k_{\tau i}}} \right) \operatorname{th} \frac{\Delta_{iy}}{k_{\tau i}} ; \quad (7)$$

для пластичных грунтов

$$\tau_{\text{пр } ix} = k_{\text{пр}} k_{f_{\text{ски}}} q_i \operatorname{th} \frac{\Delta_{ix}}{k_{\tau i}} ; \quad (8)$$

$$\tau_{\text{пр } iy} = k_{\text{пр}} k_{f_{\text{ски}}} q_i \operatorname{th} \frac{\Delta_{iy}}{k_{\tau i}} , \quad (9)$$

здесь и в дальнейшем  $i = 1, 2$  - индекс, соответствующий отстающей и забегающей гусеницам.

Допустим, что во время движения центры вращения (мгновенные центры скоростей) опорной поверхности гусениц находятся в точках  $C_1, C_2$ , а угловая скорость машины равна  $\omega$ . Тогда каждая точка поверхности грунта, расположенная под опорной площадью гусениц, сдвигается с некоторой скоростью вместе с гусеницей по опорной плоскости. По закону кинематики скорость тангенциальной деформации грунта под опорными поверхностями гусениц можно выразить

$$\frac{d\Delta_i}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{\rho}_i, \quad (10)$$

откуда, составляющие скорости для произвольно выбранной точки под опорной площадью гусениц

$$\frac{d\Delta_{ix}}{dt} = -\omega (y - e_y); \quad (11)$$

$$\frac{d\Delta_{iy}}{dt} = -\omega e_{ix}, \quad (12)$$

где  $e_{ix}$ ,  $e_y$  – поперечный и продольный эксцентриситеты полюсов вращения гусениц.

В течение бесконечно малого промежутка времени

$$dt = \frac{dy}{u_i}, \quad (13)$$

где  $u_i$  – заданная начальная скорость отстающей или забегающей гусеницы.

Подставив выражение (13) в уравнения (11) и (12), получим

$$\Delta_{ix} = - \int_{\frac{a}{2}}^y \frac{\omega}{u_i} (y - e_y) dy = - \frac{\omega}{u_i} \left[ \frac{1}{2} (y^2 - \frac{a^2}{4}) - e_y (y - \frac{a}{2}) \right] \quad (14)$$

$$\Delta_{iy} = - \int_{\frac{a}{2}}^y \frac{\omega}{u_i} e_{ix} dy = - \frac{\omega e_{ix}}{u_i} (y - \frac{a}{2}) \quad (15)$$

Из расчетной схемы (рис. 1) можно получить уравнения расчета функций трения отстающей и забегающей гусениц в виде

$$T_{ix} = \iint_F \tau_{пр ix} dF = \int_{\frac{d-b}{2}}^{\frac{d+b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \tau_{пр ix} dx dy \quad (16)$$

$$T_{iy} = \iint_F \tau_{пр iy} dF = \int_{\frac{d-b}{2}}^{\frac{d+b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \tau_{пр iy} dx dy; \quad (17)$$

$$L_i = \iint_F [\tau_{пр ix} (y - e_y) + \tau_{пр iy} e_{ix}] dF = \int_{\frac{d-b}{2}}^{\frac{d+b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} [\tau_{пр ix} (y - e_y) + \tau_{пр iy} e_{ix}] dx dy, \quad (18)$$

где  $T_{ix}, T_{iy}, L_i$  – соответственно поперечная, продольная сила и момент трения отстающей или забегающей гусениц.

Подсчитаем функции трения при условии плотных грунтов. Исходя из уравнений (6), (7), (14), (15) и (17), (18), находим

$$T_{iy} = k_{\text{пр}} k_{\text{ф}} q_i \frac{k_{\tau_i} u_i}{\omega_{e_{ix}}} \left[ \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega_{e_{ix}}}{k_{\tau_i} u_i} \right) + f_{\text{при}} \left( 1 - \frac{1}{\text{ch} \frac{a \omega_{e_{ix}}}{k_{\tau_i} u_i}} \right) \right]; \quad (19)$$

$$L_i = k_{\text{пр}} k_{\text{ф}} q_i \frac{k_{\tau_i} u_i}{\omega} \left[ \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega_y}{k_{\tau_i} u_i} \right) + \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega_{e_{ix}}}{k_{\tau_i} u_i} \right) + f_{\text{при}} \left( 2 - \frac{1}{\text{ch} \frac{a \omega_y}{k_{\tau_i} u_i}} - \frac{1}{\text{ch} \frac{a \omega_{e_{ix}}}{k_{\tau_i} u_i}} \right) \right]. \quad (20)$$

Решение уравнения (16) может быть получено непосредственным интегрированием. Однако результат этого метода получается сложным и громоздким. Проще из расчетной схемы можно записать

$$T_{ix} e_y + T_{iy} e_{ix} = L_i, \quad (21)$$

подставив выражения (19), (20) в уравнение (21), после преобразования получим

$$T_{ix} = k_{\text{пр}} k_{\text{ф}} q_i \frac{k_{\tau_i} u_i}{\omega_{e_y}} \left[ \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega_y}{k_{\tau_i} u_i} \right) + f_{\text{при}} \left( 1 - \frac{1}{\text{ch} \frac{a \omega_{e_y}}{k_{\tau_i} u_i}} \right) \right]. \quad (22)$$

В случае, когда гусеничный самоход сдвигается в плоскости пластичных грунтов, аналогично находим

$$T_{ix} = k_{\text{пр}} k_{\text{ф}} k_{\text{ски}} q_i \frac{k_{\tau_i} U_i}{\omega e_y} \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega e_y}{k_{\tau_i} u_i} \right); \quad (23)$$

$$T_{iy} = k_{\text{пр}} k_{\text{ф}} k_{\text{ски}} q_i \frac{k_{\tau_i} u_i}{\omega e_{ix}} \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega e_{ix}}{k_{\tau_i} u_i} \right); \quad (24)$$

$$L_i = k_{\text{пр}} k_{\text{ф}} k_{\text{ски}} q_i \frac{k_{\tau_i} u_i}{\omega} \left[ \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega e_y}{k_{\tau_i} u_i} \right) + \ln \left( \text{ch} \frac{a \omega e_{ix}}{k_{\tau_i} u_i} \right) \right]. \quad (25)$$

Таким образом, по предложенной методике можно определить с большей точностью значение сил и моментов трения. Силы и моменты трения между гусеницами и грунтом зависят от скоростей движения гусениц, эксцентриситетов центра вращения гусениц, физико-механических свойств и неровности, нагрузок, действующих на гусеницы, конструктивных параметров гусениц и других факторов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Кацыгин В.В. Вопросы сельскохозяйственной механики. - Минск, 1964, т. III. 2. Опейко Ф.А. Колесный и гусеничный ход. - Минск, 1960.