УДК 629.114.3 – 0,73

**П.В.Зеленый**, ст. науч. сотр.
(БПИ)

# К ВОПРОСУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА СО СКЛОНОМ

Основные задачи, которые приходится решать в процессе разработки конструкции специальных горных тракторов и агрегатируемых с ними машин, заключаются в том, чтобы приблизить к равнинным тягово-сцепные свойства и курсовое движение колеса на склоне, существенно зависящее от ширины образуемого на сминаемой поверхности последнего следа.

В качестве графической зависимости для описания профиля поперечного сечения протектора по беговой дорожке и впадинам примем квадратную параболу, как наиболее простую и вместе с тем дающую удовлетворительное совпадение с действительным по всей его ширине (расхождение, например, для шин задних колес тракторов "Беларусь" не превышает 1% (рис. 1 и 2 ).

$$y_1 = \frac{4d}{B^2} x^2, \tag{1}$$

где d и B – соответственно ордината крайней точки и ширина профиля беговой дорожки протектора.

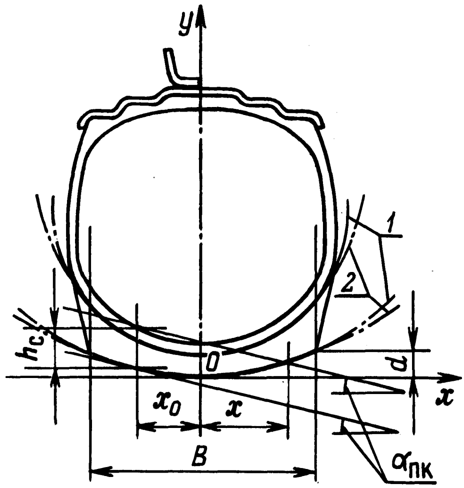


Рис. 1. К описанию профиля поперечного сечения протектора:
1 – окружность; 2 – парабола.

Уравнение профиля поперечного сечения поверхности склона

$$y_2 = -\operatorname{tg}\alpha_{пк} X + b'', \tag{2}$$

где $\alpha_{пк}$ – угол склона.

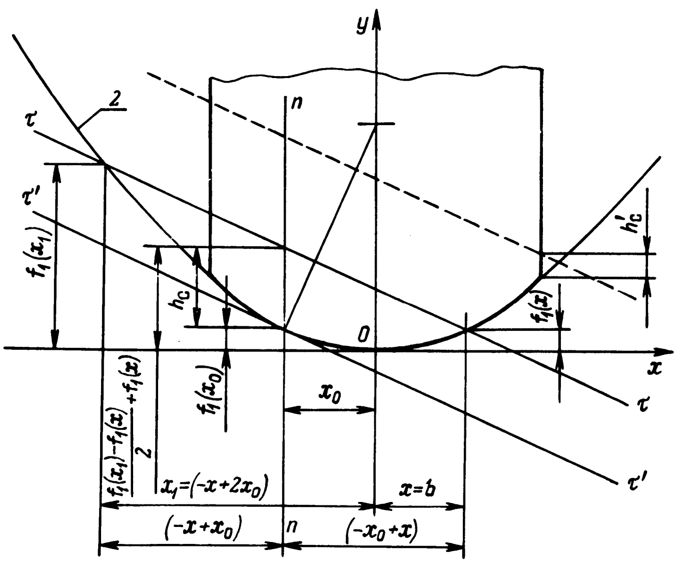


Рис. 2. К определению суммарной деформации шины и грунта: $\tau' - \tau'$ – касательная к параболе в точке соприкасания шины с поверхностью склона, совпадающая с профилем последнего до деформации; $\tau - \tau$ – хорда, параллельная касательной, совпадающая с профилем склона по окончании деформации; n–n – диаметр параболы.

В момент соприкасания беговой дорожки с поверхностью склона свободный член

$$b'' = \frac{4d}{B^2} x^2 + tg\alpha_{пк} x_o. \tag{3}$$

Абсциссу точки $x_o$ соприкасания рассматриваемых профилей получим, дифференцируя уравнение (1).

$$x_o = -\frac{B^2 tg\alpha_{пк}}{8d}. \tag{4}$$

Так как оси декартовой системы координат неподвижны относительно колеса, уравнение профиля беговой дорожки протектора без учета деформации останется прежним и после взаимного перемещения колеса и поверхности склона по вертикали в процессе совместной деформации шины и грунта. Уравнение же профиля поверхности склона в новом положении системы координат отличается от уравнения (2) на некоторую величину $h_c$, равную максимальной суммарной деформации шины и грунта:

$$h_c = \frac{4d}{B^2} (b - x_o)^2, \tag{5}$$

где b — абсцисса точки пересечения профилей.

Вычитая (1) из (2) с учетом выражений (3) — (5), получим уравнение для суммарной деформации шины и грунта по ширине следа в рассматриваемом сечении:

$$h_c^x = \frac{4d}{B^2}(b^2 - x^2) + (b-x)\,tg\,\alpha_{пк} + h_c', \tag{6}$$

где $h_c'$ — минимальная суммарная деформация шины и грунта, равная нулю при $B_\alpha \leqslant B$; $B_\alpha$ — ширина следа.

Экспериментально установлено, что наклон опорной плоскости увеличивает длину пятна контакта шины [1]. Это свидетельствует о возрастании ее радиальной деформации. Принимая во внимание также зависимость от угла склона ширины пятна контакта, можно предположить существование функциональной зависимости между коэффициентом нормальной жесткости и шириной пятна контакта шины.

Коэффициент нормальной жесткости на основании формулы Хейдекеля

$$C = \pi\, p_W \sqrt{KBD}, \tag{7}$$

где $p_W$ — внутришинное давление; D — свободный диаметр колеса; KB — произведение, заменяющее в формуле Хейдекеля ширину профиля шины; K — коэффициент, устанавливающий взаимосвязь между ширинами беговой дорожки протектора (следа) и профиля шины.

Коэффициент нормальной жесткости шины на наклонной плоскости

$$C_\alpha = \pi\, p_W \sqrt{K_\alpha B_\alpha D_\alpha}, \tag{8}$$

где $K_\alpha$ и $D_\alpha$ — коэффициент пропорциональности, аналогичный K, и свободный диаметр колеса на склоне.

Различие между D и $D_\alpha$ не превышает 2–3% [2], что дает основание считать их практически равными. Приняв такое допущение и в отношении коэффициентов K и $K_\alpha$ и вычислив отношение $C/C_\alpha$, выразим из него

$$C_\alpha = C\sqrt{\frac{B_\alpha}{B}}. \tag{9}$$

Расчленив участок ab зоны суммарных деформаций шины и грунта на n равных интервалов, вычислим элементарную результирующую опорных реакций для h-го сечения в функции радиальной деформации шины $h_ш^x$ (рис. 3)

$$dY = h_ш^x \frac{C_\alpha}{B}\,dx. \tag{10}$$

Элементарная результирующая опорных реакций для k-го сечения в функции, вертикальной деформации грунта $h_п^x$ по В.В.Гуськову [3]

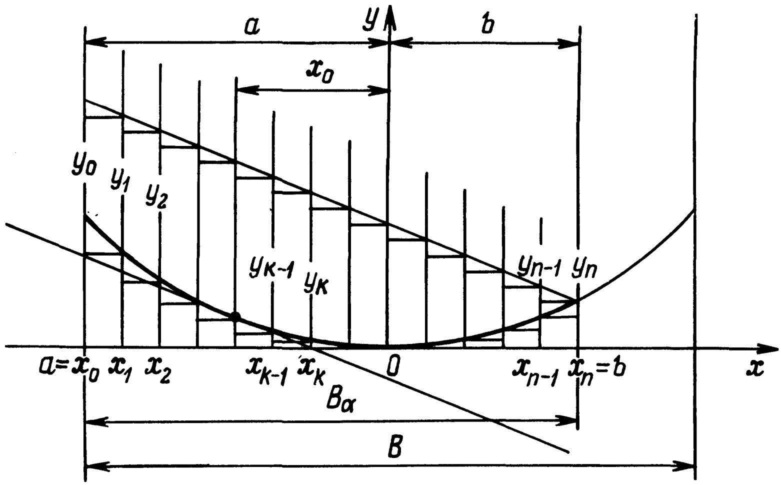


Рис. 3. К определению радиальной деформации шины.

$$dY = k_К h_П^X \sqrt{2r_П^X h_П^X}\, dx, \tag{11}$$

где $k_К$ – коэффициент объемного смятия грунта; $r_П^X$ – приведенный к эластичному радиус жесткого колеса в k-м сечении.

Проинтегрируем выражения (10) и (11) в конечном интервале с учетом (9).

$$Y = \int_a^b \frac{C h_Ш^X}{\sqrt{B_\alpha B}}\, dx; \tag{12}$$

$$Y = \int_a^b k_К h_П^X \sqrt{2r_П^X h_П^X}\, dx. \tag{13}$$

Очевидно, что с учетом наличия на шине грунтозацепов выражение (13) примет вид

$$Y=k_К \int_a^b [f h_П^X \sqrt{2r_П^X h_П^X} + (1-f)\,(h_П^X - h_з)\sqrt{2\,(r_П^X - h_з)\,(h_П^X - h_з)}\,]\, dx, \tag{14}$$

где f – коэффициент насыщенности пятна контакта грунтозацепами; $h_з$ – высота грунтозацепа.

Известно, что [3]

$$2r_П^X = D\,(1 + \frac{h_Ш^X}{h_П^X}). \tag{15}$$

Приравнивая правые части уравнений (10) и (14), убеждаемся в равенстве их подынтегральных функций, из которого, учитывая, что $h_п^x = h_c^x - h_ш^x$,

$$h_ш^x = \frac{k_к[f\sqrt{D(h_c^x)^3} + (1-f)\sqrt{(D-2h_з)(h_c^x - h_з)^3}]\sqrt{B_\alpha B}}{C + k_к[f\sqrt{Dh_c^x} + (1-f)\sqrt{(D-2h_з)(h_c^x - h_з)}]\sqrt{B_\alpha B}} . \qquad (16)$$

Если в рассматриваемом сечении $h_з \geqslant h_п^x$, т.е. смятие грунта по вертикали во впадинах отсутствует,

$$h_ш^x = \frac{fk_к\sqrt{DBB_\alpha(h_c^x)^3}}{C + fk_к\sqrt{DBB_\alpha h_c^x}} . \qquad (17)$$

Для вычисления верхнего и нижнего пределов определенного интеграла (12) воспользуемся свойством диаметра параболы делить пополам хорду, параллельную касательной, проведенной в конце диаметра (рис. 3). Возможны 3 случая:

$$b = \frac{B_\alpha}{2} + x_o \quad и \quad a = -\frac{B_\alpha}{2} + x_o \quad при\ x_o > -\frac{B}{2} + \frac{B_\alpha}{2};$$

$$b = B_\alpha - \frac{B}{2} \quad и \quad a = -\frac{B}{2} \quad при\ x_o \leqslant -\frac{B}{2} + \frac{B_\alpha}{2};$$

$$b = +\frac{B}{2} \quad и \quad a = -\frac{B}{2} \quad при\ B_\alpha = B.$$

Применить формулу Ньютона–Лейбница для вычисления интеграла (12) не представляется возможным в виду сложности подынтегральной функции, а следовательно, и отыскания ее первообразной, что вынуждает обратиться к методам численного интегрирования на ЭВМ. При этом ширина пятна контакта (следа) $B_\alpha$ или минимальная суммарная деформация шины и грунта $h_c'$, когда $B_\alpha = B$, будет определена непосредственно как функция нагрузки на колесо, нормальной жесткости шины, насыщенности пятна контакта грунтозацепами, коэффициента объемного смятия грунта, конструктивных параметров протектора.

## Литература

1. Я к у б о в и ч А.И. Исследование тягово-сцепных качеств крутосклонного трактора кл. 14 тс со всеми ведущими стабилизируемыми колесами: Автореф.дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1974 – 21 с. 2. Х у х у н и Т.В., Г о г е л и д з е Г.Д., Ш а и ш м е л а ш в и л и Г.И. Некоторые вопросы качения колеса склонохода. – Тбилиси, 1976. – 98 с. 3. Г у с ь к о в В.В. Тракторы: Теория, – Минск, 1977, ч. II. – 384 с.