

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ САМООЧИЩАЕМОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

В статье предлагается метод расчета центробежной и удерживающей сил при самоочищаемости пневматических шин в процессе движения технологических и транспортных машин.

Ключевые слова: пневматическая шина, центробежная и удерживающая сила, самоочищаемость шин.

Yu.G. Gorshkov, Yu.B. Chetyrkin

SUBSTANTIATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PNEUMATIC TIRE SELF-PURIFICATION

The technique for calculating the centrifugal and holding forces in the process of the pneumatic tire self-purification in the process of technological and transport vehicle motion is offered in the article.

Key words: pneumatic tire, centrifugal and holding force, tire self-purification.

Введение. В сельскохозяйственном производстве более 94 % тяговых и транспортных средств снабжены шинами с универсальным рисунком протектора, а легковые машины – шинами с мелким насыщенным рисунком типа «дорожный».

Указанные рисунки беговых дорожек протекторов шин в условиях поверхностей с высокой несущей способностью весьма эффективны с точки зрения тягово-сцепных и тормозных свойств, а также экономичности по расходу топлива. Однако в условиях размытых и увлажненных полевых и грунтовых дорог колесные движители с такими и подобными им рисунками протекторов становятся причиной буксования машин, потери скорости движения, большого перерасхода топлива, снижения производительности, нарушения технологического процесса и утомления операторов. Кроме того, нарушается устойчивость колесной машины против заноса, «держание дороги», интенсивность торможения и др.

При движении грузовой машины по размытой грунтовой дороге в глубокой колее очень часто между сдвоенными шинами колес заклиниваются посторонние предметы (камни, булыжники, засохшие комья земли и др.). При этом образуются инерционные силы неуравновешенной массы, которые создают дополнительную нагрузку на трансмиссию, силовую передачу и ходовую часть колесной машины. Кроме этого, нарушается её курсовая и боковая устойчивость.

К одним из свойств пневматических шин следует отнести способность шин к самоочищению и отводу почвы по канавкам рисунка протектора, так как от этого зависят величины продольного и бокового сцепления шины с поверхностью качения.

Цель исследований. Теоретически исследовать зависимость самоочищаемости рисунка протектора пневматических шин от центробежной и удерживающей сил в процессе качения пневматического колеса по опорной поверхности с малой несущей способностью.

Задачи исследований: исследовать момент сопротивления колеса с массой, сосредоточенной на ободе; обосновать математическую модель самоочищаемости пневматических шин.

Методы результатов исследований. Применение математического аппарата с данными физико-механических свойств грунтов, теории качения пневматического колеса, теории теоретической механики.

Самоочищаемость шин как фактор, влияющий на динамику колесных машин, целесообразно рассматривать с определения момента сопротивления колеса переменной массы. Вследствие прилипания к колесу грунта или отрыва его частиц, заклинивания постороннего предмета между сдвоенными шинами изменяется масса колеса. Момент инерции его относительно собственной оси найдем из уравнения [2]:

$$M_u = J_k + M \cdot h^2, \quad (1)$$

где J_k – момент инерции колеса; M – масса постороннего тела ($M = G_1 / g$, где G_1 – вес постороннего тела; g – ускорение свободного падения); h – расстояние от центра массы колеса до центра массы постороннего тела.

Момент инерции колеса, если его представить в виде тора или диска, можно найти по формуле:

$$J_k = M_T \left(R_T^2 + \frac{3}{4} r_T^2 \right) + \frac{1}{2} M_D \cdot r_D^2 = \frac{G_T}{g} \left(R_T^2 + \frac{3}{4} r_T^2 \right) + \frac{1}{2} \frac{G_D}{g} \cdot r_D^2, \quad (2)$$

где M_T – масса тора; M_D – масса диска; G_T – вес тора; G_D – вес диска; R_T – расстояние от оси колеса до центра тора; r_T – радиус тора; r_D – радиус диска; g – ускорение свободного падения тел.

Момент сопротивления колеса с массой, сосредоточенной на ободке, находим из выражения:

$$M_c = \varepsilon_k J_k + Mh^2, \quad (3)$$

где ε_k – угловое ускорение колеса.

Зная суммарный угол поворота колеса $\alpha = \frac{\ell}{r_k}$ (радиан) и угловые скорости (начальную ω_0 и конечную ω_1), находим, что

$$\varepsilon_k = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} = \frac{\alpha}{t^2}, \quad (4)$$

где ℓ – путь, пройденный автомобилем; t – время, затраченное автомобилем на прохождение участка пути.

Подставив в уравнение (3) вместо J_k и ε_k их значения из формул (2) и (4), получим, что

$$M_c = \left[\frac{G_T}{g} \left(R_T^2 + \frac{3}{4} r_T^2 \right) + \frac{1}{2} \frac{G_D}{g} \cdot r_D^2 + \frac{G_T}{g} R_T^2 \right] \frac{\alpha}{t^2}. \quad (5)$$

Уравнение (5) показывает, что момент сопротивления колеса с массой, сосредоточенной на ободке, прямо пропорционален этой массе. Следует отметить, что чем больше создаваемый такой массой момент сопротивления, тем больше затрат энергии на перекачивание колесной машины. Кроме этого, заметно ухудшаются её тягово-сцепные свойства. Обычно наличие такой массы на колесе также ухудшает управляемость машины, появляются неравномерные толчки (вибрация). В таких случаях необходимо срочно удалить подобную массу.

При движении транспортных машин по размокшим грунтовым дорогам и бездорожью рисунок протектора (пространство между почвозацепами) шины забивается грунтом, образуя обыкновенное колесо с протектором из земли. Как следствие этого, происходит интенсивное раздельное или совместное буксование ведущих колес и частичное скольжение направляющих относительно неподвижного грунта. Таким образом, действие почвозацепа заменяется земляным блоком, движущимся по грунту, вследствие чего протектор не участвует в работе; пневматическая шина практически превращается в колесо из земли, и мы имеем дело с качением подвижного грунта по неподвижному [1].

Одним из условий зацепления почвозацепов протектора за грунт является отсутствие грунта в пространстве между ними. Для этого необходимо, чтобы сопротивление на разрыв превышало силы, удерживающие грунт в пространстве между выступами; последние должны быть меньше центробежной силы, действующей на грунт при качении колеса. Только в этом случае прилипший к шине грунт отбрасывается, очищая рисунок протектора (самоочищаемость шин).

Под давлением колеса грунт запрессовывается в узкое пространство между выступами протектора. При этом происходит его уплотнение с увеличением сил трения и прилипания влажного грунта к поверхностям выступов протектора и дну впадины.

Согласно работе В.Ф. Бабкова [1], сила, удерживающая грунт между выступами протектора,

$$F_y = S_0 \cdot \varepsilon + P_0 \cdot h \cdot \xi + q \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

где S_0 – площадь дна впадины; ε – сцепление грунта с резиной; P_0 – периметр впадины; h – высота впадины; q – максимальное удельное давление колеса на дно колеи; φ – угол внутреннего трения грунта; ζ – коэффициент бокового распора грунта.

Расчет удерживающей силы F_y по уравнению (6) можно произвести по средним данным для глины [3] и значениям: $S=0,25 \text{ см}^2$; $\varepsilon=1,0 \text{ кг/см}^2$; $P=2,0 \text{ см}$; $h=1,0 \text{ см}$; $\varphi=20$ градусов; $\xi=0,3$; $q=2,0 \text{ кг/см}^2$.

Тогда $F_y=S \cdot \varepsilon + P \cdot h \cdot (\varepsilon + q \cdot \xi \cdot \tan (20 \cdot 3,14/180))=2,7 \text{ кгс}$. Если высоту впадины h взять равной $h=0,5 \text{ см}$, то $F_y=1,47 \text{ кгс}$ (для глины).

Если сопротивление грунта на разрыв составляет $S_0 \cdot C$ (C – сцепление грунта), то условие, при котором грунт не будет прилипнуть к шине, должно быть следующим:

$$C < F_y; \\ C < S_0 \cdot \varepsilon + P_0 \cdot h \cdot \xi + g \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

Для самоочистения шины необходимо, чтобы центробежная сила P_y

$$P_y = \frac{mv^2}{R} = \frac{h \cdot S_0 \cdot j \cdot v^2}{g \cdot R}$$

была равна или превышала удерживающую F_y , т.е.

$$\frac{h \cdot S_0 \cdot j \cdot v^2}{g \cdot R} \geq S_0 \cdot \varepsilon + P_0 \cdot h \cdot \xi + g \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где m – масса грунта, запрессованного во впадину между выступами протектора; j – удельный вес грунта; v – линейная скорость беговой дорожки шины, равная скорости движения автомобиля; R – расстояние от центра колеса до центра впадины; g – ускорение свободного падения тел.

Следует отметить, что самоочистение шины будет происходить при условии, если глубина впадины рисунка протектора h

$$h \leq \frac{S_0 \cdot \varepsilon \cdot g \cdot R}{S_0 \cdot j \cdot v^2 - [P_0 \cdot \xi + q \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi] \cdot g \cdot R}, \quad (9)$$

или после преобразования

$$h \leq \frac{S_0 \cdot \varepsilon \cdot g}{S_0 \cdot j \cdot v^2 / g \cdot R - [P_0 \cdot \xi + q \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi] \cdot g \cdot R}. \quad (10)$$

Используя формулу (8), определим зависимость P_y (R , v , h). Для этого по таблице находим данные некоторых средних значений механических показателей связных грунтов при различном их состоянии (например, для глины) [3].

Средние значения механических показателей связных грунтов при различном их состоянии

Вид связных грунтов	Несущая способность грунтов, кг/см ²	Внутреннее сцепление грунта, кг/см ² (ε)	Угол внутреннего трения, град	Модуль деформации грунта, кг/см ²
Влажность ниже пластичности				
Легкий суглинок	3,5...7	0,5...1,0	24...25	Свыше 250
Суглинок	4,5...9	0,6...1,2	21...23	Свыше 350
Глина	5...10	0,75...1,5	15...20	Свыше 500

На основании данных таблицы строим графики зависимости $P_{ц}$ (R, v, h). Из графика на рис. 1 видно, что с увеличением расстояния центра постороннего тела R до центра колеса центробежная сила $P_{ц}$ снижается.

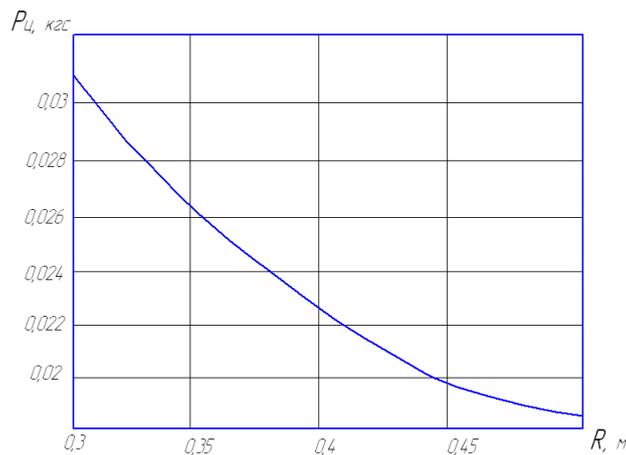


Рис. 1. Зависимость величины центробежной силы $P_{ц}$ от расстояния центра постороннего тела до центра колеса R ($h=0,8$ см; $S=0,25$ см²; $v=70$ км/ч; $g=9,8$ м/с²; $j=1,2$ г/см³)

Кривая графика рис. 2 показывает, что интенсивное увеличение центробежной силы $P_{ц}$ происходит при скоростях движения от 60 до 100 км/ч. Следовательно, в интервале этих скоростей будет происходить и интенсивное самоочищение шин.

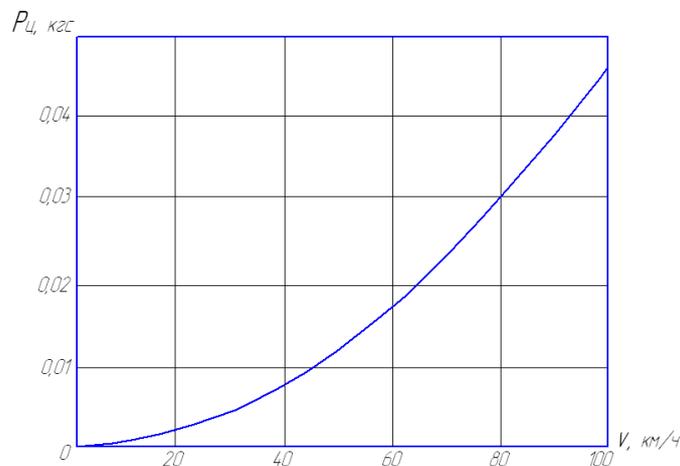


Рис. 2. Зависимость величины центробежной силы $P_{ц}$ от поступательной скорости движения беговой дорожки шины, равной скорости движения транспортного средства ($h=0,8$ см; $S=0,25$ см²; $v=70$ км/ч; $g=9,8$ м/с²; $j=1,2$ г/см³; $R=0,4$ м)

Из графика рис. 3 видно, что с увеличением глубины впадины h рисунка протектора требуется большее значение центробежной силы $P_{ц}$.

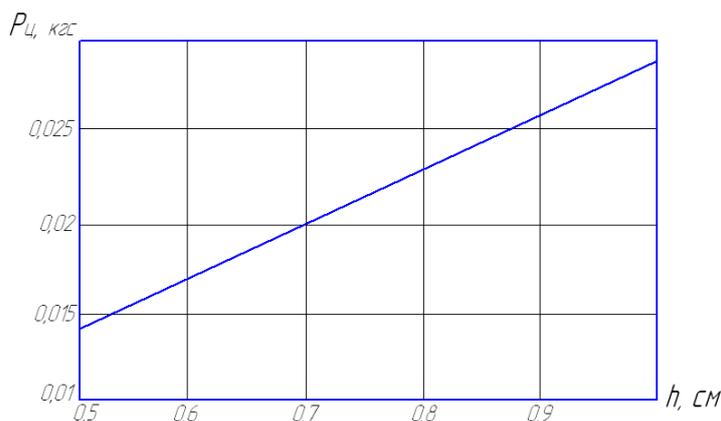


Рис. 3. Зависимость величины центробежной силы $P_{ц}$ от глубины впадины h ($h=0,8$ см; $S=0,25$ см²; $v=70$ км/ч; $g=9,8$ м/с²; $j=1,2$ г/см³; $R=0,4$ м)

Выводы

1. Чем больше создаваемый момент сопротивления колеса с массой, сосредоточенной на ободу, тем больше затрат энергии на перекачивание колесной машины.

2. Самоочищаемость пневматических шин зависит от величины центробежной и удерживающей сил, состояния грунта, скорости движения колесной машины и параметров рисунка протектора.

3. Предложенный метод оценки самоочищаемости пневматических шин колесных тяговых и транспортных средств может быть использован как на стадии создания новых конструкций колесных движителей, так и существующих для выявления их соответствий условиям эксплуатации.

Литература

1. Горшков Ю.Г. Самоочищаемость пневматических шин транспортных средств – фактор активной безопасности движения // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1977. – Вып. 122.
2. Бабков В.Ф. Качение автомобильного колеса по грунтовой поверхности // Тр. МАДИ. – М.: Дориздат, 1953. – Вып. 15. – С. 89.
3. Механика грунтов / С.С. Григорьев [и др.]. – М.: Наука, 1972.

