

наклона шкворня в процессе движения автомобиля. Это открывает перспективы улучшения НДС деталей и агрегатов передней оси, а также ряда эксплуатационных характеристик автомобиля, таких как управляемость, устойчивость, комфортабельность и т.п. Очевидно, что только в этом случае возможен выбор углов наклона плоскости вращения управляемых колес, обеспечивающих оптимальное качество колес автомобиля при различных режимах его движения. Тем более что необходимые углы наклона  $\alpha$ , как показывают расчеты, технически вполне реализуемы.

### **Механические характеристики автомобильных шин**

Воронин В.В., Кондрашов В.Н., Тимаев Д.М.  
Московский государственный технический университет «МАМИ»  
(495) 223-05-23, доб. 1587

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются механические характеристики автомобильных шин. В условиях движения автомобиля шины деформируются в трех направлениях: в нормальном, тангенциальном и боковом. Все три деформации взаимосвязаны между собой. Воздействие на колесо боковой силы не только вызывает боковую деформацию шины, но и увеличивает ее нормальный прогиб.

*Ключевые слова:* шина, колесо, деформация шины.

Современные автомобильные шины представляют собой резинокордную оболочку, заполненную сжатым воздухом, которая обладает эластичностью во всех направлениях.

Обычно различают нормальную, тангенциальную и боковую эластичность шины.

В реальных условиях движения автомобиля шины деформируются одновременно в трех направлениях: в нормальном, тангенциальном и боковом. Все три вида деформации органически взаимосвязаны. Например, воздействие на колесо боковой силы не только вызывает боковую деформацию шины, но и увеличивает ее нормальный прогиб.

Эластичность шин во всех направлениях делает более сложными физические явления, происходящие при взаимодействии колеса с грунтом, сильно усложняя процесс рассмотрения закономерностей движения автомобиля. В целях упрощения принято рассматривать отдельно нормальный прогиб шин только от воздействия нормальных сил, боковую деформацию только от действия боковых сил. Для большинства современных шин приложение крутящего момента к колесу оказывает малое влияние на нормальный прогиб шин несколько больше, однако во многих случаях им также можно пренебречь. Влияние нормальной силы на боковую эластичность шины велико, и пренебрегать им нельзя.

Пройодимость автомобиля в основном определяет нормальная эластичность шины, характеризующаяся величиной нормального прогиба. Экспериментально нормальный прогиб шины определяют измерением расстояния по нормам от оси колеса до опорной поверхности при нагружении колеса нормальной силой:

$$h_z = r_c - r_{cm}, \quad (1)$$

где:  $h_z$  - нормальный прогиб;

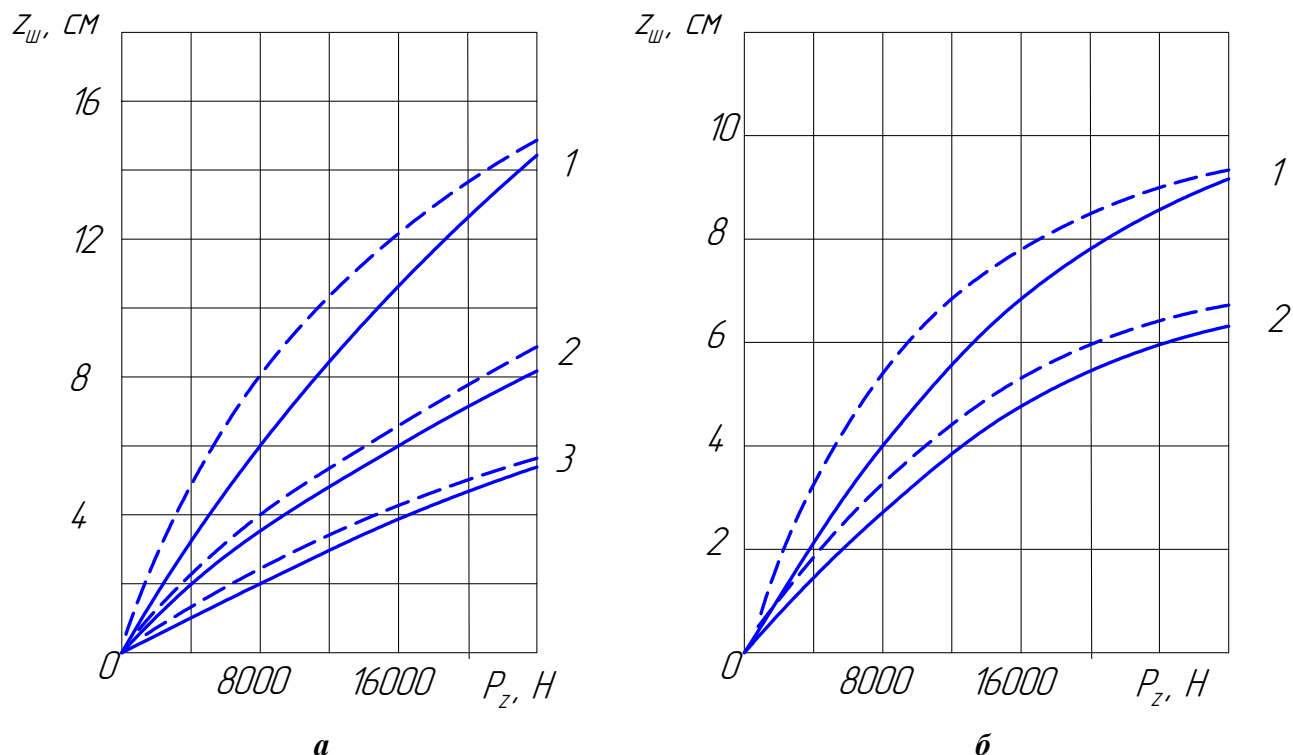
$r_c$  - свободный радиус колеса (наружный радиус шины в свободном состоянии);

$r_{cm}$  - статический радиус колеса (расстояние по нормам от центра колеса до опорной поверхности).

Зависимости нормального пробега шины 12-00-18 «И111» от нагрузки (рисунок 1а) показывают, что кривые нагружения и разгружения шины не совпадают; это объясняется наличием внутреннего трения в резинокордной оболочке шины (явление гистерезиса). При снижении давления в шине площадь петли гистерезиса увеличивается.

Характер зависимости  $P_z(h_z)$  явно нелинейный при малых нагрузках (прогибах шины) и приближается к линейному при их увеличении. Нелинейность характеристики увеличивает

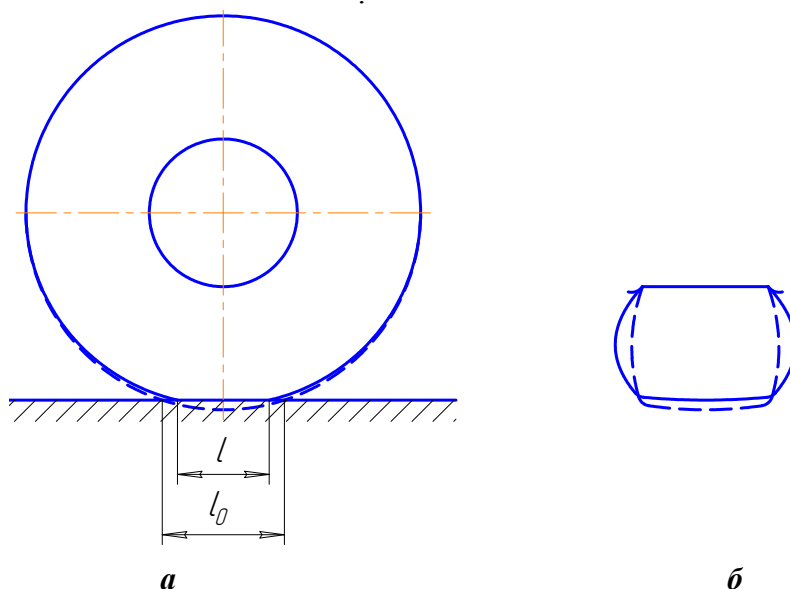
ется при снижении отношения высоты к ширине профиля шины.



**Рисунок 1 - Характеристики нормальной деформации шин на плоской твердой поверхности: а – шина 12.00-18, б – шина 11.40-700, 1 -  $p_w = 0,05 \text{ МПа}$ , 2 -  $p_w = 0,15 \text{ МПа}$ , 3 -  $p_w = 0,3 \text{ МПа}$**

Для продольных шин упругая (нагрузочная характеристика) принимается линейной и жесткость шины определяется по формуле:

$$c_{ш} = \frac{\Delta p_z}{\Delta h_z} \quad (2)$$



**Рисунок 2 - Изменение формы шины при нормальном прогибе: а – в продольной плоскости, б – в поперечной плоскости**

При нормальном прогибе шины происходят как деформация профиля шины (кривизна беговой части уменьшается до нуля, а кривизна боковых увеличивается) так и деформация продольного сечения шины, которая существенно зависит от конструкции каркаса, но во всех случаях наблюдается и за пределами зоны контакта (рисунок 2).

Длина контакта  $l$  шины с твердой плоскостью поверхности составляет 0,75-0,85 от хорды  $l_0$ . Чем больше жесткость оболочки, тем больше различие между  $l$  и  $l_0$ . Ширина контакта при нагрузках, близких к номинальной, у большинства шин равна ширине протектора.

Я.С. Агейкиным для теоретического определения нормального прогиба шины на твердой поверхности предложены следующие формулы, полученные методом аппроксимации:

$$p = \frac{\pi h_z}{2b_{np}} \left( \frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right) (p_w + p_0) \left( 1 - \frac{h_z}{B} \right) \quad (3)$$

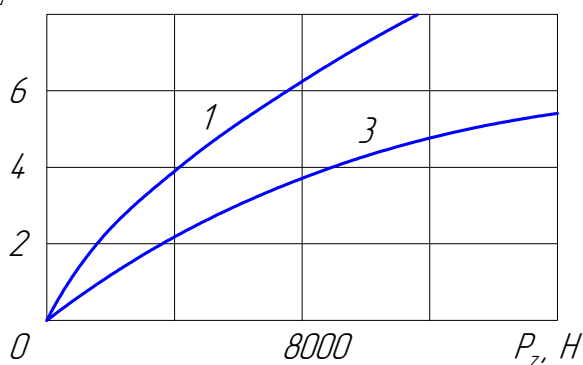
$$p_z = \frac{\pi^2}{4} h_z (p_w + p_0) \left( \frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right) \left( 1 - \frac{h_z}{B} \right) \sqrt{Dh_z - h_z^2} \quad (4)$$

где:  $b_{np}$  - ширина протектора;

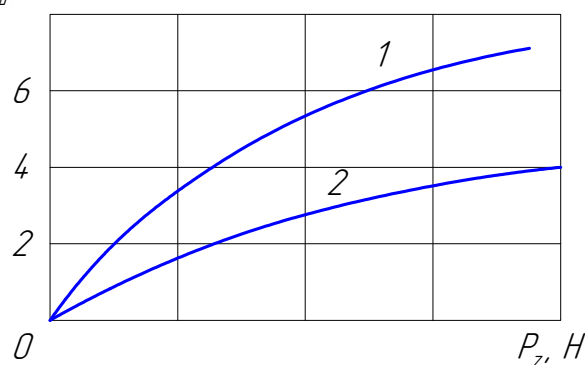
$D$  - наружный диаметр шины;

$p_0$  - давление в контакте при  $p_w = 0$ .

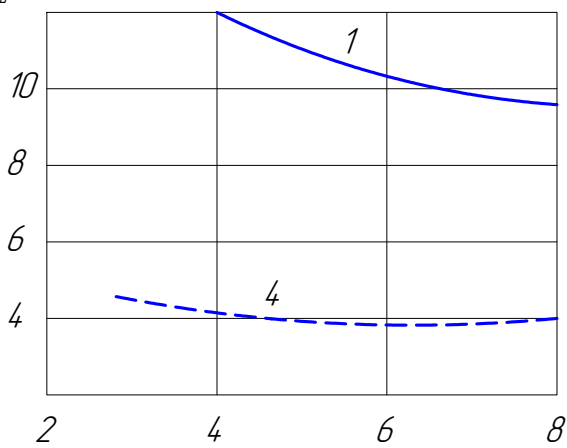
$Z_w, \text{CM}$



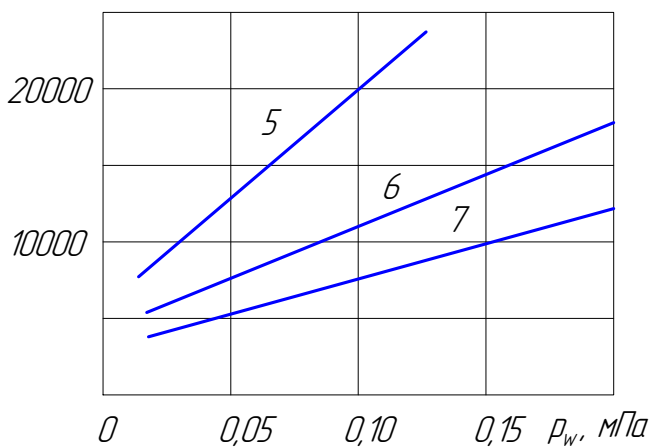
$Z_w, \text{CM}$



$Z_w, \text{CM}$



$P_z, \text{H}$



Число слоев корда

**Рисунок 3 - Характеристики шин:**

**а** – шина с регулируемым давлением 12.00-18, **б** – пневмокоток 1200x1200-500,

**в** – шина с регулируемым давлением 14.00-18 при  $P_z = 15000\text{H}$ , **г** – тракторные шины,

**1** -  $p_w = 0,05\text{МПа}$ , **2** -  $p_w = 0,01\text{МПа}$ , **3** -  $p_w = 0,15\text{МПа}$ , **4** -  $p_w = 0,2\text{МПа}$ ,

**5** – шина 15.00-30, **6** – шина 11.00-38, **7** – шина 9.00-42

Величины боковой и тангенциальной деформаций шины определяются, как правило, экспериментально. Достаточно простых и надежных аналитических выражений для этой цели еще не получено, что объясняется сложностью математического описания процессов, происходящих в шине при ее нагружении нормальной, боковой и продольной силами.

Боковая (тангенциальная) жесткость шин не является постоянной, а увеличивается с ростом боковой (тангенциальной) силы. Однако в диапазоне эксплуатационных значений  $P_y$ ,  $P_x$  это изменение невелико, им можно пренебречь и считать зависимости  $P_y(h_y)$  и  $P_x(h_x)$  линейными.

При изменении нормальной нагрузки на колесо существенно изменяются боковая и тангенциальная деформация шин.

Более стабильными являются относительные характеристики:

$$\frac{h_y}{h_z} = \lambda_{шy} \frac{P_y}{P_z}, \quad \frac{h_x}{h_z} = \lambda_{шx} \frac{P_x}{P_z},$$

где:  $\lambda_{шy}$  и  $\lambda_{шx}$  - коэффициенты относительной боковой и тангенциальной эластичности шины.

Однако и эти характеристики справедливы лишь при ограниченных значениях нормального прогиба шины.

### **Моделирование процесса пуска при питании стартера от емкостного накопителя энергии**

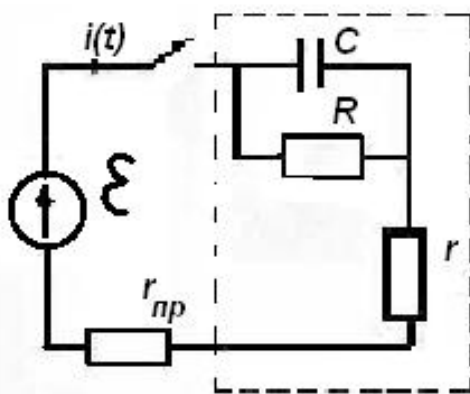
к.т.н. доц. Гармаш Ю.В.

Рязанский военный автомобильный институт

*Аннотация.* В данной статье приведена разработанная математическая модель работы системы пуска двигателя при питании стартера от емкостного накопителя энергии.

*Ключевые слова:* стартерный пуск двигателя, математическое моделирование, емкостные накопители энергии.

В работе [1] определена эквивалентная электрическая схема замещения, моделирующая электромеханическую систему пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Ее подключение к аккумуляторной батарее показано на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения системы стартер коленчатый вал ДВС**

На рисунке 1:  $\varepsilon$  - ЭДС аккумуляторной батареи;  $r_{пр}$  - сопротивление проводов;  $r$  и  $R$  - сопротивления эквивалентной схемы замещения;  $C$  - емкость эквивалентной схемы. Как следует из [1], параметры  $r$ ,  $R$ ,  $C$  схемы замещения зависят от установившейся частоты прокручивания  $\omega_{уст}$ , которая, в свою очередь, зависит от напряжения, подаваемого на стартер. При питании стартера от накопителя энергии напряжение в процессе пуска уменьшается, что существенно усложняет расчет. В работе [1] мы определяли реакцию эквивалентной схемы на напряжение произвольной величины. Попробуем распространить полученный результат на