

поршня и кпд вспомогательных устройств общий кпд двигателя может ориентировочно достигать  $\eta = 0,68 - 0,72$ . Полученный кпд электрогидродинамического двигателя выше кпд ДВС и может с ним конкурировать на транспортных средствах. Электрогидродинамический двигатель, используемый совместно с ДВС (гибридный двигатель) может широко применяться на транспортных средствах как в городских, так и в полевых условиях. Он является экологически чистым, поэтому его эксплуатация предпочтительнее, чем ДВС. Дальнейшие работы по электрогидродинамическому двигателю должны еще больше повысить его экономические показатели и технические возможности.

#### Литература

1. Соколов В.К., Строков П.И. и др. Поршневой электрогидравлический двигатель. Патент на изобретение № 2278297, бюл. № 17 от 20.06.2006г.
2. Электротехнический справочник. Под общей редакцией профессоров МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского и др. М., Энергоатомиздат, 1988, с. 616.
3. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. / Г.А. Голый, П.П. Малышевский, Е.В. Кривицкий и др. М.: Машиностроение, 1977, 320с.
4. Об оценке полного гидродинамического кпд электрического разряда в воде. / Г.Н. Гаврилов, А.Г. Рябинин, Г.А. Рябинин и др. // Журн. техн. Физики. 1977, т. 47, вып. 7, с. 1506-1509.
5. Богоявленский К.Н., Вагин В.А., Кобышев А.Н. и др. Гидропластическая обработка металлов. Ленинград «Машиностроение» Ленинградское отделение 1988г., София Техника 1988, 256с.
6. Соколов В.К. Электрогидродинамический двигатель. Автомобильная промышленность № 5, 2008г., с. 11-14.

#### **Форма контакта эластичного колеса с деформируемым грунтом и расчет глубины колеи**

к.т.н. Соловьев В.И., д.т.н. проф. Шухман С.Б., Капралова М.А.

ОАО «НАМИ-сервис»

8(499)153-75-16, ns-engineer@yandex.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается влияние расчетной формы контакта эластичного колеса при взаимодействии с деформируемым грунтом на глубину колеи. Решаются проблемы адекватности принятых теоретических моделей, приводятся расчетные уравнения и графики.

**Ключевые слова:** эластичное колесо, форма контакта, глубина колеи, грунт.

Для эксплуатации автомобилей в тяжелых условиях бездорожья все большее распространение получает использование шин большого диаметра и сверхнизкого давления, имеющих значительную деформацию. Для расчетного определения глубины колеи, образуемой такими шинами, нередко используют формулы для определения глубины колеи при проходе жесткого колеса, радиус которого равен так называемому «эквивалентному радиусу»  $r_{\text{экв}}$ . Напомним, что в подавляющем большинстве случаев при выводе этих формул предполагается следующая взаимосвязь между вертикальной составляющей давления  $dF_z$  в произвольной точке контакта и глубиной ее погружения в грунт  $h$ :

$$dF_z = c \cdot h^\mu \cdot \cos \alpha \cdot dS, \quad (1)$$

где:  $c$  и  $\mu$  - параметры деформации грунта;

$dS$  и  $\alpha$  - длина элементарной площадки колеса в контакте с грунтом и угол ее наклона к горизонтали.

Поскольку для жесткого колеса угол  $\theta$  между радиусом  $r$ , проведенным в данную

точку, и вертикалью равен углу  $\alpha$ , после преобразований имеем:

$$dF_z = c \cdot r^{\mu+1} \cdot (\cos \theta - \cos \theta_2) \cdot \cos \theta \cdot d\theta, \quad (2)$$

где:  $\theta_2$  - угол между радиусом, проведенным в начало контакта, и вертикалью.

Тогда вертикальная нагрузка на колесо равна:

$$G_k = B \cdot \int_0^{\theta_2} dF_z = c \cdot B \cdot r^{\mu+1} \cdot \int_0^{\theta_2} (\cos \theta - \cos \theta_2)^{\mu} \cdot \cos \theta \cdot d\theta, \quad (3)$$

где:  $B$  - ширина колеса.

При заданной нагрузке на колесо  $G_k$ , решая это интегральное уравнение, находим верхний предел интеграла  $\theta_2$ , после чего глубину колеи  $H$  определяем по формуле:

$$H = r \cdot (1 - \cos \theta_2). \quad (4)$$

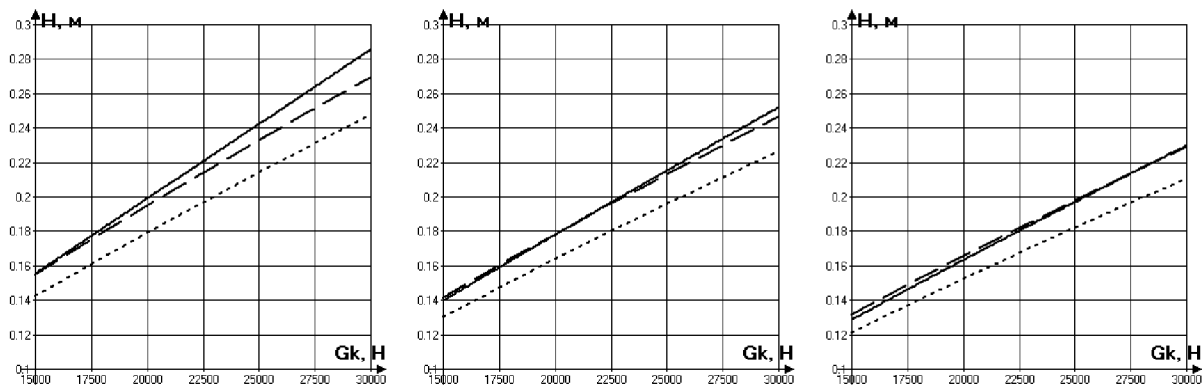
С целью получения зависимости  $H = f(G_k)$  в виде алгебраической формулы Полетаев А.Ф. разложил подинтегральное выражение в ряд и, удерживая два первых члена этого ряда, после преобразований получил приближенное решение системы уравнений (3), (4):

$$H = \left( \frac{3 \cdot G_k}{c \cdot B \cdot (3 - \mu) \cdot \sqrt{2 \cdot r}} \right)^{\frac{1}{\mu+0,5}}. \quad (5)$$

Пирковский Ю.В. исходил из предположения, что работа по деформированию грунта происходит не по нормали к его поверхности, а по дуге обыкновенной циклоиды. В результате им было получено следующее выражение:

$$H = \left( \frac{2 \cdot G_k}{c \cdot B \cdot (2 - 0,87 \cdot \mu) \cdot \sqrt{2 \cdot r}} \right)^{\frac{1}{\mu+0,5}}. \quad (6)$$

Сравним между собой результаты, получаемые по зависимостям (3), (4), (5) и (6) при прочих равных условиях (рисунок 1).

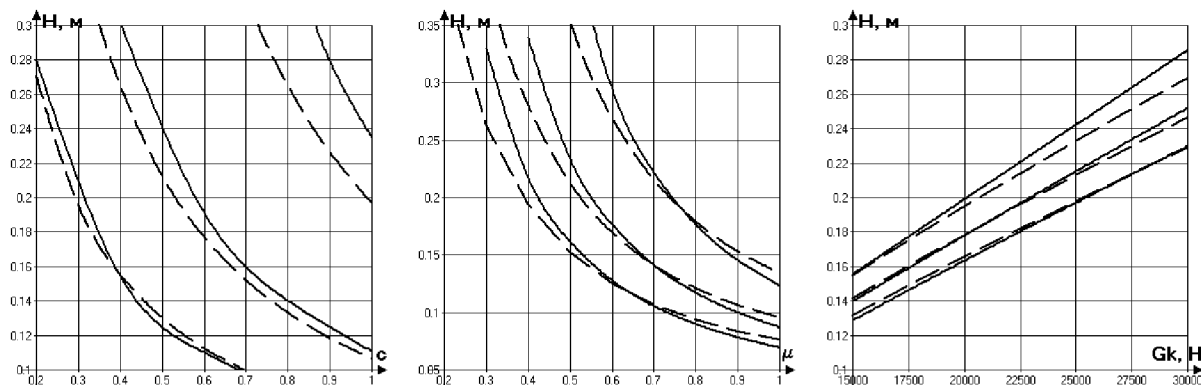


**Рисунок 1 – Сравнение результатов расчетов по различным формулам при определении глубины колеи ( $c = 0,27$ ;  $B = 0,3$  м;  $\mu = 0,75$ ) при разных значениях радиуса колеса:  $r = 0,4$  м - левый график;  $r = 0,5$  м - средний график;  $r = 0,6$  м - правый график; сплошная линия – формулы (3), (4); штриховая линия (мелкий штрих) – формула (5); штриховая линия (крупный штрих) – формула (6)**

Результаты сравнения показывают, что глубина колеи, определяемая при точном вычислении интеграла (3), (4) и по формуле (6), практически одинаковы. Глубина колеи, определяемая по формуле (5), меньше, чем по формуле (6).

Опираясь формулами определения глубины колеи (3), (4) и (6), можно проиллюстрировать ( $G_k = 25000$  Н;  $r = 0,5$  м;  $B = 0,3$  м), как скажется на величине глубины колеи

изменение параметра деформации грунта  $c$  (рисунок 2 левый график; нижний пучок кривых – при  $\mu = 0,75$ ; средний пучок кривых – при  $\mu = 0,5$ ; верхний пучок кривых – при  $\mu = 0,25$ ).



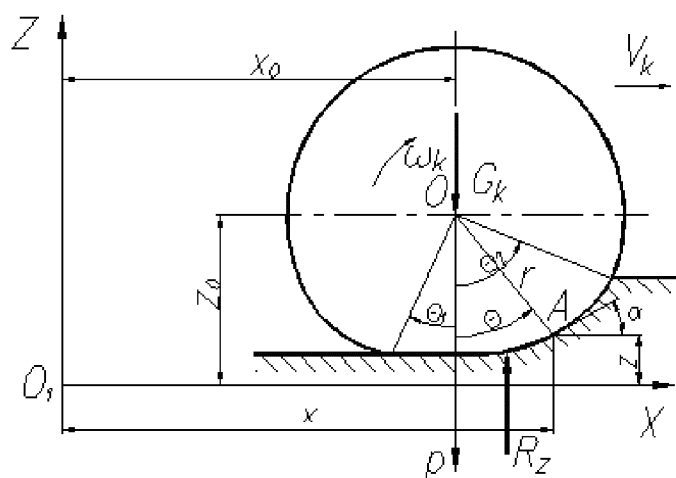
**Рисунок 2 – Влияние различных параметров на изменение глубины колеи: сплошная линия – формулы (3), (4); штриховая линия – формула (6)**

На среднем графике (рисунок 2) показано, как сказывается изменение параметра деформации грунта  $\mu$  на глубину колеи  $H$  (нижний пучок кривых – при  $c = 0,7$ ; средний пучок кривых – при  $c = 0,5$ ; верхний пучок кривых – при  $c = 0,3$ ).

На правом графике (рисунок 2) показано, как скажется изменение радиуса колеса  $r$  (нижний пучок кривых – при  $r = 0,6$  м; средний пучок кривых – при  $r = 0,5$  м; верхний пучок кривых – при  $r = 0,4$  м) на величину глубины колеи ( $c = 0,27$ ;  $\mu = 0,75$ ).

Корректность использования вышеприведенных формул определения глубины колеи применительно к эластичному колесу решающим образом зависит от величины принимаемого «эквивалентного радиуса» колеса. Каких-либо общепризнанных рекомендаций по этому поводу пока не выработано. Поэтому на практике для расчетных исследований нередко принимают различные упрощенные формы поверхности эластичного колеса в зоне контакта с грунтом, в той или иной мере отвечающие действительности.

Рассмотрим расчетную схему взаимодействия эластичного колеса с грунтом (рисунок 3), полагая, что линия контакта описывается зависимостью  $r = f(\theta)$ , где:  $r$  – длина радиус-вектора, проведенного из точки  $O$  к некоторой точке поверхности колеса, а  $\theta$  – полярный угол.



**Рисунок 3 – Расчетная схема качения эластичного колеса по деформируемому грунту**

Если в прямоугольной системе координат  $XO_1Z$  (рисунок 3) обозначить координаты центра колеса  $O$  как  $x_0$  и  $z_0$ , то можно установить зависимость между координатами произвольно выбранной точки  $A$  поверхности колеса в полярной и прямоугольной системах коор-

динат:

$$x = x_0 + r \cdot \sin \theta, \quad (7)$$

$$z = z_0 - r \cdot \cos \theta. \quad (8)$$

Длина элементарного участка  $dS$ , середина которого имеет координаты  $r$  и  $\theta$ , равна:

$$dS^2 = dx^2 + dz^2. \quad (9)$$

Определяя дифференциалы  $dx$  и  $dz$  из уравнений (7), (8), после преобразований получим выражения для длины элементарного участка и угла его наклона к горизонтали в виде:

$$dS = d\theta \cdot \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{dx} = \frac{r \cdot \sin \theta - \frac{dr}{d\theta} \cdot \cos \theta}{\frac{dr}{d\theta} \cdot \sin \theta + r \cdot \cos \theta}. \quad (10)$$

Тогда угол  $\varepsilon$  между нормалью к поверхности колеса и радиус-вектором будет равен:

$$\varepsilon = \theta - \alpha = \operatorname{arctg} \frac{dr}{r \cdot d\theta}. \quad (11)$$

Из рисунка 3 находим угол погружения колеса в грунт  $\theta_2$ :

$$\theta_2 = \arccos \left( \frac{r_0 - h_z - H}{r_0} \right), \quad (12)$$

где:  $h_z$  – прогиб шины;

$r_0$  – радиус колеса вне зоны контакта с грунтом.

Заднюю часть контакта колеса с грунтом обычно считают плоской. Из рисунка 3 находим длину плоской зоны контакта и угол ее границы:

$$l_0 = \sqrt{r_0^2 - (r_0 - h_z)^2} \approx \sqrt{2 \cdot r_0 \cdot h_z}, \quad \theta_1 = -\arccos \left( \frac{r_0 - h_z}{r_0} \right). \quad (13)$$

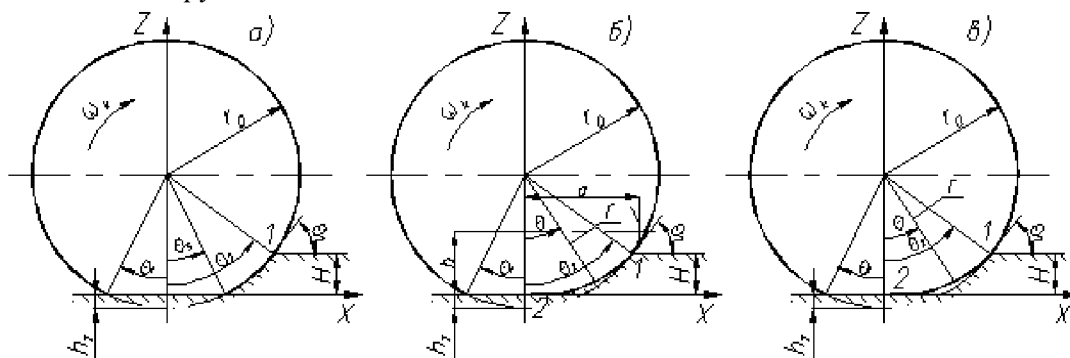
Радиальная жесткость шины, согласно ее определению, равна:

$$c_r = G_k / h_z. \quad (14)$$

Экспериментально установлено, что основным фактором, оказывающим влияние на ее изменение, является внутреннее давление воздуха в шине и эта зависимость с достаточной для практических целей точностью аппроксимируется уравнением регрессии:

$$c_r = K_1 \cdot \operatorname{th} [K_2 \cdot (K_3 + p_w)]. \quad (15)$$

Коэффициенты уравнения регрессии  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  по отечественным шинам регулируемого давления берутся из таблиц.



**Рисунок 4 – Расчетные формы контакта эластичного колеса с грунтом**

Рассмотрим некоторые из предлагаемых наиболее распространенных зависимостей для описания передней части линии контакта колеса с грунтом, полагая, что конфигурация шины не зависит от режима качения колеса, а вне зоны контакта с грунтом радиус колеса постоя-

нен и равен  $r_0$  (рисунок 4).

Для математического описания формы линии контакта необходимо найти зависимость  $r = f(\theta)$ , а для определения глубины колеи необходимо также знание зависимости  $\varepsilon = f(\theta)$ .

А. Форма колеса, взаимодействующего с грунтом, отображается в виде усеченного круга (рисунок 4а).

В этом случае длина плоской зоны контакта равна  $2 \cdot l_0$ , а ее передняя граница имеет координату  $\theta_3$ , равную:

$$\theta_3 = |\theta_1| = \arccos\left(\frac{r_0 - h_z}{r_0}\right). \quad (16)$$

Нетрудно видеть (рисунок 4а), что в пределах границ плоской зоны контакта, т.е. от  $\theta_1$  до  $\theta_3$  имеем:

$$r = \frac{r_0 - h_z}{\cos \theta}, \quad \frac{dr}{d\theta} = \frac{(r_0 - h_z) \cdot \sin \theta}{\cos^2 \theta}; \quad \varepsilon = \theta. \quad (17)$$

В интервале от  $\theta_3$  до  $\theta_2$  зависимости  $r = f(\theta)$  и  $\frac{dr}{d\theta} = f(\theta)$  будут такими же, как для жесткого колеса, а именно:

$$r = r_0; \quad \frac{dr}{d\theta} = 0; \quad \varepsilon = 0 \quad (18)$$

При подкупающей простоте подобной расчетной схемы приходится отметить, что симметричная относительно вертикали форма колеса реально не может иметь места, поскольку сопротивление грунта воздействует на колесо только с одной (передней) стороны, т.е. силовое нагружение колеса несимметрично.

Б. Форма линии контакта колеса с грунтом между точками 1 и 2 описывается уравнением эллипса (рисунок 4б).

Определим параметры уравнения эллипса, вписанного в контур деформированного колеса, исходя из того, что в точке начала контакта колеса с грунтом 1 касательные к окружности колеса и эллипсу совпадают, а в точке 2 касательная к эллипсу горизонтальна. Запишем общее уравнение такого эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(z - b)^2}{b^2} = 1. \quad (19)$$

Определим полуоси эллипса  $a$  и  $b$ , используя значения углов наклона касательных в точках 1 и 2. Опуская математические преобразования, приводим конечные формулы:

$$a = \sqrt{r_0 \cdot \cos \theta_2} \cdot \frac{(r_0 \cdot \sin \theta_2 \cdot \operatorname{tg} \theta_2 - H)}{\sqrt{(r_0 \cdot \sin \theta_2 \cdot \operatorname{tg} \theta_2 - 2 \cdot H)}}, \quad (20)$$

$$b = H \cdot \frac{r_0 \cdot \sin \theta_2 - H \cdot \cos \theta_2}{r_0 \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot H \cdot \cos \theta_2}. \quad (21)$$

Соединив произвольную точку на линии контакта с центром колеса, получим из очевидных геометрических построений зависимость  $r = f(\theta)$  в виде:

$$r = a \cdot \frac{a \cdot (r_0 - h_z - b) + b \cdot \sqrt{a^2 - \operatorname{tg}^2 \theta \cdot (r_0 - h_z)(r_0 - h_z - 2 \cdot b)}}{(a^2 \cdot \cos \theta + b^2 \cdot \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \theta)}. \quad (22)$$

После преобразований получаем выражение для угла  $\varepsilon$  между касательной к поверхности колеса и перпендикуляром к радиусу, проведенному в точку касания:

$$\varepsilon = \arctg \left( \frac{a \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot \sqrt{a^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta} - b \cdot r \cdot \sin \theta}{a \cdot \sqrt{a^2 - r^2 \cdot \sin^2 \theta} + b \cdot r \cdot \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \theta} \right). \quad (23)$$

В плоской зоне контакта с границами  $\theta_3 = 0$  и  $\theta_1$  зависимости  $r = f(\theta)$  и  $\varepsilon = f(\theta)$  описываются выражениями (17).

В. Форма линии контакта колеса с грунтом между точками 1 и 2 описывается полиномом третьей степени (рисунок 4в).

Линию контакта колеса с грунтом в зоне от  $\theta = 0$  до  $\theta = \theta_2$  аппроксимируем полиномом третьей степени:

$$r = a \cdot \theta^3 + b \cdot \theta^2 + d \cdot \theta + e, \quad (24)$$

где коэффициенты  $a, b, d, e$  определим из начальных условий:

$$\text{при } \theta = 0 \quad r = r_0 - h_z; \quad \frac{dr}{d\theta} = 0; \quad \text{при } \theta = \theta_2 \quad r = r_0; \quad \frac{dr}{d\theta} = 0.$$

После проведения математических преобразований получаем зависимость  $r = f(\theta)$  в виде:

$$r = r_0 - h_z \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\theta}{\theta_2} \right)^2 \cdot \left( 3 - 2 \cdot \frac{\theta}{\theta_2} \right) \right] = r_0 \cdot \left[ 1 - \frac{h_z}{r_0} + \frac{h_z}{r_0} \cdot \left( \frac{\theta}{\theta_2} \right)^2 \cdot \left( 3 - 2 \cdot \frac{\theta}{\theta_2} \right) \right], \quad (25)$$

а выражение для зависимости  $\varepsilon = f(\theta)$  будет следующим:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \arctg \left\{ \frac{6 \cdot \frac{h_z}{r_0} \cdot \left( \frac{\theta}{\theta_2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\theta}{\theta_2} \right)}{\theta_2 \cdot \left[ 1 - \frac{h_z}{r_0} + \frac{h_z}{r_0} \cdot \left( \frac{\theta}{\theta_2} \right)^2 \cdot \left( 3 - 2 \cdot \frac{\theta}{\theta_2} \right) \right]} \right\}. \quad (26)$$

В плоской зоне контакта с границами  $\theta_3 = 0$  и  $\theta_1$  зависимости  $r = f(\theta)$  и  $\varepsilon = f(\theta)$  описываются выражениями (17).

Определение глубины колеи после прохода эластичного колеса при заданной вертикальной нагрузке на колесо.

Полагая, что давление в плоской зоне контакта колеса с опорной поверхностью одинаково по всей его площади, и используя соотношения (13), (14), получаем зависимость давления в плоской зоне контакта колеса с опорной поверхностью от прогиба шины:

$$q_k = \frac{P_z}{l_0 \cdot B} = \frac{c_r}{B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{h_z}{r_0}}. \quad (27)$$

Тогда вертикальная составляющая элементарной силы  $dF$ , воспринимаемая элементарной площадкой  $dS_{пл}$  шириной  $dB$  в плоской зоне контакта, определяется из выражения:

$$dF_{z \text{ пл}} = q_k \cdot dS_{пл} = \frac{c_r}{B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{h_z}{r_0}} \cdot \frac{r_0 - h_z}{\cos^2 \theta} \cdot d\theta. \quad (28)$$

Определяя вертикальную составляющую элементарной силы  $dF$ , воспринимаемую элементарной площадкой  $dS$  шириной  $dB$  на криволинейном участке контакта колеса с грунтом и наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонтали, принимаем во внимание, что глубина погружения этой площадки в грунт равна:

$$h = r \cdot \cos \theta - r_0 \cdot \cos \theta_2. \quad (29)$$

Тогда, с учетом выражений (2), получаем:

$$dF_{z \text{ кр}} = c \cdot r \cdot (r \cdot \cos \theta - r_0 \cdot \cos \theta_2)^\mu \cdot \frac{\cos(\theta - \varepsilon)}{\cos \varepsilon} \cdot d\theta. \quad (30)$$

Таким образом, вертикальная реакция со стороны грунта, действующая на эластичное колесо элементарной шириной  $dB$ , будет равна:

$$R_z = \int_{\theta_1}^{\theta_3} dF_{z \text{ пл}} + \int_{\theta_3}^{\theta_2} dF_{z \text{ кр}}, \quad (31)$$

или:

$$R_z = \frac{c_r}{B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_3} \sqrt{\frac{h_z}{r_0}} \cdot \frac{r_0 - h_z}{\cos^2 \theta} \cdot d\theta + c \cdot \int_{\theta_3}^{\theta_2} r \cdot (r \cdot \cos \theta - r_0 \cdot \cos \theta_2)^\mu \cdot \frac{\cos(\theta - \varepsilon)}{\cos \varepsilon} \cdot d\theta. \quad (32)$$

Предел интегрирования  $\theta_1$  определится из зависимости:

$$dS_{\text{пл}} = \frac{r_0 - h_z}{\cos^2 \theta} \cdot d\theta. \quad (33)$$

Предел интегрирования  $\theta_3$ , обозначающий угловую границу между плоским и криволинейным участками контакта колеса с грунтом, для всех расчетных форм погруженной в грунт части колеса принимаем равным  $\theta_3 = 0$ . Исключением является расчетная схема колеса в виде усеченного круга, для которой  $\theta_3 = -\theta_1$ . Кроме того, для этой формы колеса  $r = r_0$  и  $\varepsilon = 0$ . Следовательно, для расчетной схемы колеса в виде усеченного круга выражение (26) примет вид:

$$R_z = \frac{c_r}{B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \int_{\theta_1}^{-\theta_1} \sqrt{\frac{h_z}{r_0}} \cdot \frac{r_0 - h_z}{\cos^2 \theta} \cdot d\theta + c \cdot r_0^{\mu+1} \cdot \int_{-\theta_1}^{\theta_2} (\cos \theta - \cos \theta_2)^\mu \cdot \cos \theta \cdot d\theta. \quad (34)$$

Предел интегрирования  $\theta_2$  находим, используя связь между деформационными характеристиками колеса и грунта в плоской зоне контакта, которая вытекает из равенства  $q_k = q$ , где  $q_k$  определяется из соотношения (23), а  $q$  определяется по выражению (14).

На основании вышеизложенного  $\theta_2$  равен:

$$\frac{c_r}{B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{h_z}{r_0}} = c \cdot H^\mu. \quad (35)$$

Отсюда зависимость глубины колеи  $H$  от относительного прогиба шины  $h_z/r_0$  будет следующей:

$$H = \left( \frac{c_r}{c \cdot B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{h_z}{r_0}} \right)^{\frac{1}{\mu}}. \quad (36)$$

Учитывая выражение (1), находим предел интегрирования  $\theta_2$  как функцию от  $h_z$ :

$$\theta_2 = \arccos \left[ 1 - \frac{h_z}{r_0} - \frac{1}{r_0} \cdot \left( \frac{c_r}{c \cdot B \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{h_z}{r_0}} \right)^{\frac{1}{\mu}} \right]. \quad (37)$$

Таким образом, выражения (28), (29) в завуалированном виде представляют собой зависимость  $R_z = f(h_z)$ . Поскольку вертикальная нагрузка на колесо  $G_k$  предполагается за-

данной и равной  $R_z$ , то путем решения интегрального уравнения (28) или (29), в зависимости от формы погруженной в грунт части колеса, определяется прогиб шины  $h_z$  и, следовательно, все остальные параметры качения колеса, включая глубину колеи  $H$  по выражению (36).

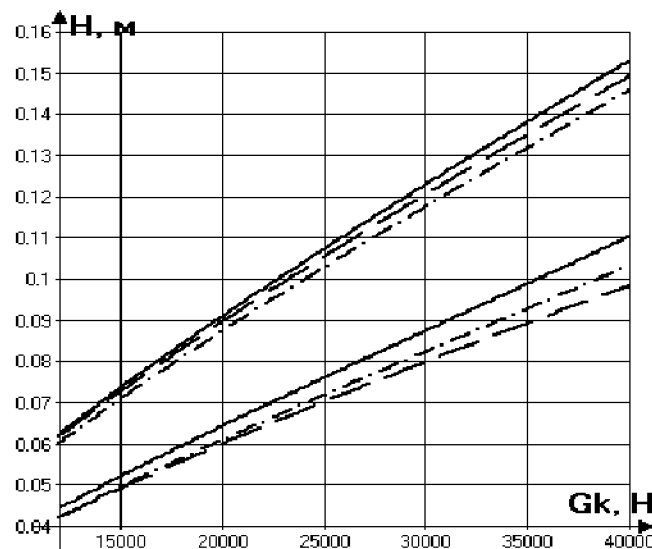
На рисунке 5 представлено изменение расчетной глубины колеи от нагрузки на колесо при различной форме контакта колеса с грунтом.

Верхний пучок кривых соответствует радиальной жесткости шины  $c_r = 4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ , а нижний -  $c_r = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ .

Из рассмотрения рисунка 5 для приближенной оценки глубины колеи достаточно ограничиться какой-либо одной расчетной схемой формы колеса.

#### Выводы

Таким образом, решение задачи определения величины глубины колеи для шин с низким давлением достаточно корректно описывается формой контакта в виде усеченного круга и является наиболее приемлемой для аналитических расчетов.



**Рисунок 5 – Расчетная зависимость глубины колеи  $H$  от нагрузки на колесо  $G_k$  ( $c = 0,27$ ;  $\mu = 0,75$ ;  $r_0 = 0,5 \text{ м}$ ;  $B = 0,3 \text{ м}$ ) при различной форме погруженной в грунт части колеса: эллипс (сплошная линия); полином (штриховая линия); усеченный круг (штрихпунктирная линия)**

#### Литература

1. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля. Прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси. М., 2001.-230 с.
2. Соловьев В.И. К вопросу об определении потерь мощности при качении эластичного колеса. Труды НАМИ «Автомобили и двигатели», вып. 230, М., 2002, с. 128-137.

#### **Прогнозирование остаточного ресурса конструкций и деталей машин**

к.т.н. Стародубцева С.А., д.т.н. Гусев А.С.  
 Университет машиностроения, МГТУ им. Н.Э.Баумана

**Аннотация.** Предложены эффективные методы решения задачи о прогнозировании остаточного ресурса по статистической информации об отказах и по расчетным моделям накопления повреждений.

**Ключевые слова:** методы прогнозирования остаточного ресурса, статистическая информация об отказах, расчетным моделям накопления повреждений