

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН ДЛЯ ТРАКТОРОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

ANALYTICAL JUSTIFICATION OF THE LOAD CAPACITY OF PNEUMATIC TIRES FOR TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINERY

В.Н. ТАРАСОВ¹, д.т.н.
И.В. БОЯРКИНА¹, д.т.н.
В.Р. ЭДИГАРОВ², к.т.н.
В.В. МАЛЫЙ², к.т.н.

¹ Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия

² Омский автобронетанковый инженерный институт, Омск, Россия tarasov_vladimir07@mail.ru

V.N. TARASOV¹, DSc in Engineering
I.V. BOYARKINA¹, DSc in Engineering
V.R. EDIGAROV², PhD in Engineering
V.V. MALYY², PhD in Engineering

¹ Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

² Omsk Automobile Armored Engineering Institute, Omsk, Russia, tarasov_vladimir07@mail.ru

Информация о параметрах и режимах работы пневматических шин для тракторов и сельхозмашин содержится в ГОСТах в виде таблиц в цифровой форме. Многообразие типов, размеров и конструкций шин затрудняет проблему выбора параметров шины с учетом условий и режимов работы. Информация о параметрах шин оказывается недостаточной вследствие отсутствия сведений о площади контакта шины с твердой опорной поверхностью. В статье предложены зависимости грузоподъемности шины от обобщенного геометрического параметра, равного произведению наружного диаметра и ширины профиля шины. Площадь контакта является важным параметром, который влияет на тяговые характеристики трактора, глубину колеи при движении по вспаханному полю и сопротивление движению трактора.

Введены новые понятия – теоретическая и действительная площади контакта пневматической шины. Получена зависимость теоретической площади контакта от обобщенного параметра, равного произведению наружного диаметра и ширины профиля шины для диагональных и радиальных шин. Использован метод сечений, с помощью которого контакт шины отсекается от оболочки. При этом внутренние силы каркаса пневматической шины превращаются в реальные внешние силы. Получена аналитическая зависимость грузоподъемности пневматической шины, представляющая алгебраическую сумму подъемной силы оболочки и вертикальной силы каркаса. Предложена универсальная формула для определения действительной контурной площади контакта шины, в которой используются длина и ширина контакта. Значения длины и ширины контакта, а также соотношение этих величин определяются экспериментально для разных нагрузок и давлений, при этом длина контакта определяется предложенным аналитическим методом.

Ключевые слова: площадь контакта, норма слойности, давление, номинальная грузоподъемность, подъемная сила.

Information on the parameters and operating modes of pneumatic tires for tractors and agricultural machinery is contained in state standards in the form of tables in digital form. The variety of types, sizes and designs of tires makes it difficult to determine the tire parameters taking into account conditions and operating modes. The information on the tire parameters is insufficient due to the lack of information about the contact area of the tire with a solid support surface. The article suggests the dependences of the load-carrying capacity of a tire on the generalized geometric parameter equal to the product of the outer diameter and width of the tire profile. The area of contact is an important parameter that affects the traction characteristics of the tractor, the depth of the track when driving on a plowed field and the resistance to movement of the tractor.

New terms have been introduced – the theoretical and actual contact areas of the pneumatic tire. The dependence of the theoretical contact area on the generalized parameter equal to the product of the outer diameter and width of the tire profile for diagonal and radial tires is obtained. The cross-section method is used, by means of which the bus contact is cut off from the shell. In this case, the internal forces of the pneumatic tire framework are transformed into real external forces. The analytical dependence of the load capacity of a pneumatic tire is obtained, representing the algebraic sum of the lifting force of the shell and the vertical force of the frame. The universal formula is proposed for determining the actual contour area of the tire contact, in which the contact length and width are used. The values of the length and width of the contact, as well as the ratio of these quantities, are determined experimentally for different loads and pressures, the contact length being determined by the proposed analytical method.

Keywords: contact area, layer norm, pressure, nominal load capacity, lifting force.

Введение

Современные ГОСТы на пневмошины для тракторов и сельхозмашин содержат обширную информацию о геометрических параметрах, грузоподъемностях пневмошин, режимах работы. Основными характеристиками пневмоколеса являются: грузоподъемность; скорость движения; гарантийная наработка в тыс. часов и тыс. км; срок эксплуатации в месяцах и др. Согласно ГОСТу [1], параметрами пневмошины являются: n_c – норма слойности; D – наружный диаметр; B – ширина профиля; d – посадочный диаметр обода; R_c – статический радиус; p_w – давление воздуха; Q – вертикальная нагрузка на колесо; V – скорость движения и др.

В современных ГОСТах по тракторным шинам отсутствует информация о площади контакта A_k на твердой опорной поверхности при номинальной нагрузке и заданном давлении воздуха в шине, отсутствует информация о соотношении длины и ширины площади контакта для диагональных и радиальных шин.

Массовое применение на тракторах и сельхозмашинах получили шины с диагональным и радиальным расположением нитей в каркасе [2, 3]. Шины с радиальным расположением нитей корда в каркасе унаследовали все достоинства диагональных шин и имеют ряд преимуществ по сравнению с ними. Выбор типа и размеров пневматической шины для трактора и сельхозмашины в заданных условиях эксплу-

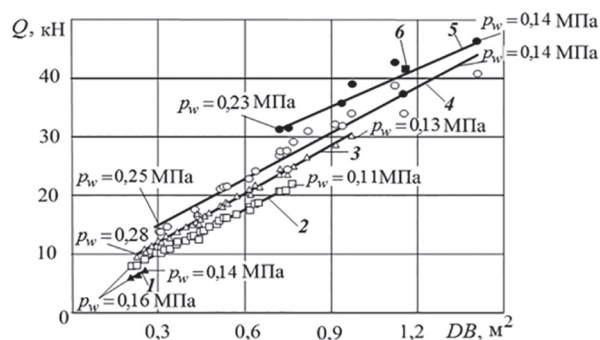


Рис. 1. Зависимости грузоподъемности Q диагональных шин тракторов и сельхозмашин от произведения DB :

1 – $n_c = 4$, уравнение регрессии $Q = 26,76DB + 0,4276$, коэффициент $R^2 = 0,9544$; 2 – $n_c = 6$, уравнение регрессии $Q = 24,742DB + 2,7556$, коэффициент $R^2 = 0,9926$; 3 – $n_c = 8$, уравнение регрессии $Q = 27,721DB + 3,7514$, коэффициент $R^2 = 0,9913$; 4 – $n_c = 10$, уравнение регрессии $Q = 26,221DB + 6,9989$, коэффициент $R^2 = 0,9508$; 5 – $n_c = 12$, уравнение регрессии $Q = 21,722DB + 15,7$, коэффициент $R^2 = 0,8506$; 6 – $n_c = 14$, шина 28L-26

атации с учетом прочности и долговечности шины является весьма сложной технической проблемой, так как большой объем информации о шинах представляется в ГОСТе [1] в табличной цифровой форме.

Цель исследования

В данной статье предложено грузоподъемность и площадь контакта шин для тракторов и сельхозмашин представлять в виде аналитических зависимостей от обобщенного параметра, равного произведению (DB) – диаметра шины D и ширины профиля шины B . Для диагональных и радиальных шин установлено соотношение длины и ширины контакта как фактора, влияющего на сопротивление качению.

Материалы и методы исследования

Для диагональных шин на рис. 1 зависимость $Q = f(DB)$ является линейной функцией для шин разной нормы слойности n_c , которая изменяется дискретно в диапазоне четных чисел $n_c = 4...14$.

Под рис. 1 для каждой нормы слойности приведены линейные уравнения регрессии с высокими коэффициентами корреляции R^2 .

На рис. 2 для радиальных пневмошин тракторов и сельхозмашин получены зависимости

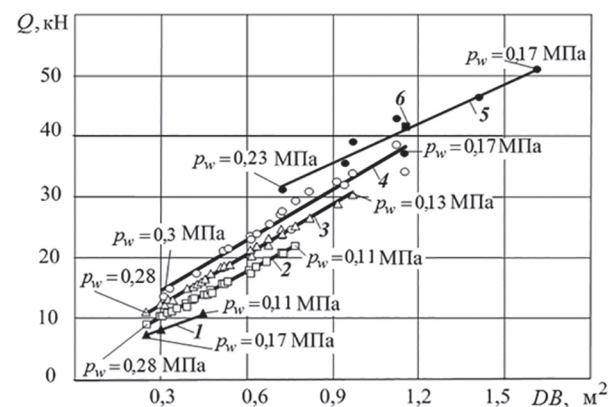


Рис. 2. Зависимости грузоподъемности Q радиальных шин тракторов и сельхозмашин от произведения DB :

1 – $n_c = 4$, уравнение регрессии $Q = 17,863DB + 2,8242$, коэффициент $R^2 = 0,9942$; 2 – $n_c = 6$, уравнение регрессии $Q = 25,054DB + 2,7158$, коэффициент $R^2 = 0,9926$; 3 – $n_c = 8$, уравнение регрессии $Q = 27,611DB + 3,734$, коэффициент $R^2 = 0,994$; 4 – $n_c = 10$, уравнение регрессии $Q = 27,432DB + 6,5221$, коэффициент $R^2 = 0,9478$; 5 – $n_c = 12$, уравнение регрессии $Q = 21,371DB + 16,257$, коэффициент $R^2 = 0,8962$; 6 – $n_c = 14$, шина 28,1R26

грузоподъемности Q от обобщенного параметра, равного произведению наружного диаметра шины D и ширины профиля B .

Зависимости $Q = f(DB)$ на рис. 1 и 2 показывают, что с увеличением произведения DB грузоподъемность шины увеличивается. Причем, диапазон изменения геометрических размеров соответствует диапазону изменения обобщенного параметра $DB = 0,2...1,65$.

На рис. 1 для диагональных шин по зависимости 3 для нормы слойности $n_c = 8$ имеем грузоподъемность $Q = 20$ кН при $DB = 0,6$. Для нормы слойности $n_c = 10$ по зависимости 4 можно получить грузоподъемность $Q = 30$ кН, увеличивая геометрические размеры шины до величины произведения $DB = 0,9$. По зависимости 4 видно, что для увеличения грузоподъемности с $Q = 15$ кН до $Q = 30$ кН, т.е. в два раза, необходимо увеличить геометрические размеры шины, изменяя произведение DB от $DB = 0,3$ до $DB = 0,9$, т.е. в три раза.

Аналогично для радиальных тракторных шин по рис. 2, например, для грузоподъемности $Q = 20$ кН имеем три возможных варианта выбора шины по геометрическим размерам для трех разных норм слойности (табл. 1).

Возникает возможность выбора грузоподъемности шины из семейства возможных вариантов по критерию грузоподъемности, давлению, скорости и другим условиям и ограничениям.

При увеличении геометрических размеров шины возрастают напряжения в нитях корда каркаса шины, поэтому при увеличении геометрических размеров шины уменьшают расчетное давление воздуха в шине. Например, для зависимости 4 (см. рис. 2) в начале давление $p_w = 0,3$ МПа, а в конце зависимости давление $p_w = 0,17$ МПа.

Площадь контакта шины с опорной поверхностью является важным параметром, который влияет на тяговые качества трактора, об-

разование колеи, износ шины, сопротивление качению и другие характеристики. В работе Бидермана В.Л. и др. [4] предложено принимать форму площади контакта шины в виде эллипса. В ряде других работ [5–10] предложено определять контурную площадь контакта путем выполнения статических отпечатков контакта шины на листах бумаги. В ГОСТе [11] предлагается определять контурную площадь контакта без указания способа ее вычисления.

На рис. 3 показаны возможные формы контурной площади контакта для пневматических шин.

Для обычных пневматических шин при номинальной грузоподъемности и давлении длина a_k площади отпечатка шины обычно больше ширины b_k площади контакта, т.е. $a_k > b_k$. При определенном сочетании нагрузки Q и давления p_w возможна форма площади контакта в виде круга, когда $a_k = b_k$. При этом для широкопрофильных шин при номинальной нагрузке Q и номинальном давлении p_w ширина контакта b_k больше длины контакта $b_k > a_k$ (рис. 3, в).

Длина отпечатка шины a_k пропорциональна плечу сопротивления качению пневматической [12], поэтому при уменьшении соотношения длин a_k/b_k сопротивление качению шины снижается.

Авторы статьи предложили моделировать форму контурной площади отпечатка шины в виде овала по универсальной формуле, которая учитывает все возможные формы реальных площадей контакта пневматической шины. Если $a_k > b_k$, то действительную площадь контакта можно определять по формуле из работы Тарасова В.Н., Бояркина И.В. и Дегтяря В.В. [8]:

$$A_{кл} = (a_k - b_k)b_k + \frac{\pi b_k^2}{4}.$$

Если $a_k < b_k$, то действительная контурная площадь $A_{кл}$ определяется по формуле:

$$A_{кл} = (b_k - a_k)a_k + \frac{\pi a_k^2}{4}.$$

Таблица 1

Значения геометрического параметра DB и давления воздуха в шине p_w для обеспечения грузоподъемности шины $Q = 20$ кН для разных норм слойности

Размер шины	Норма слойности пневматической шины	Грузоподъемность $Q = 20$ кН	
		Геометрический параметр, м ²	Давление в пневматической шине, МПа
16.9-38	$n_c = 6$	$DB = 0,722$	$p_w = 0,13$
16.9-24	$n_c = 8$	$DB = 0,592$	$p_w = 0,17$
13.6-36	$n_c = 10$	$DB = 0,522$	$p_w = 0,280$

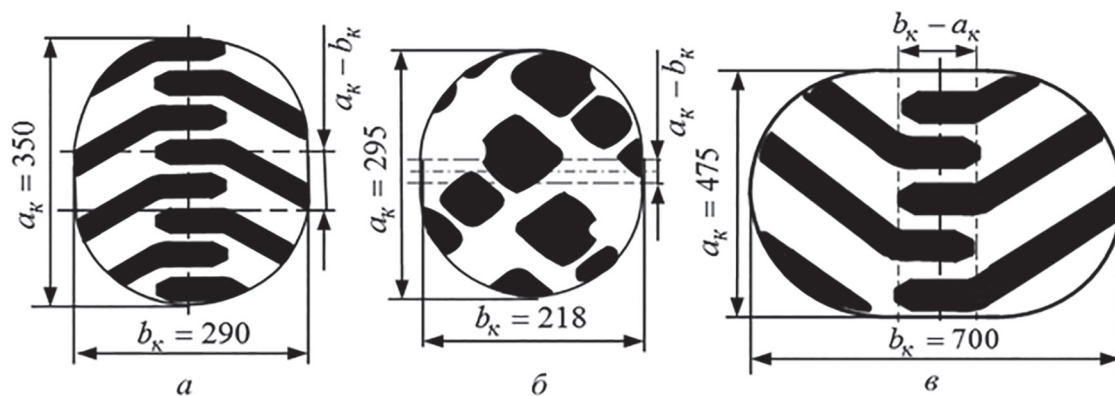


Рис. 3. Формы контурной площади контакта:
 а – шина 13.6-24, $a_k/b_k = 1,207$; б – шина 12.00-20, $a_k/b_k = 1,353$;
 в – широкопрофильная шина 28,1R26, $a_k/b_k = 0,679$

В работах [6, 7] предложено определять грузоподъемность пневмошин по физическому закону Паскаля, путем отсечения контактного тела от оболочки замкнутой поверхностью, нормальной к твердой опорной поверхности шины (рис. 4).

Результаты и обсуждения

В результате использования метода сечения внутренние силы взаимодействия контактного тела и каркаса шины показаны в явном виде и определена грузоподъемность шины по формуле из работ [6, 7]:

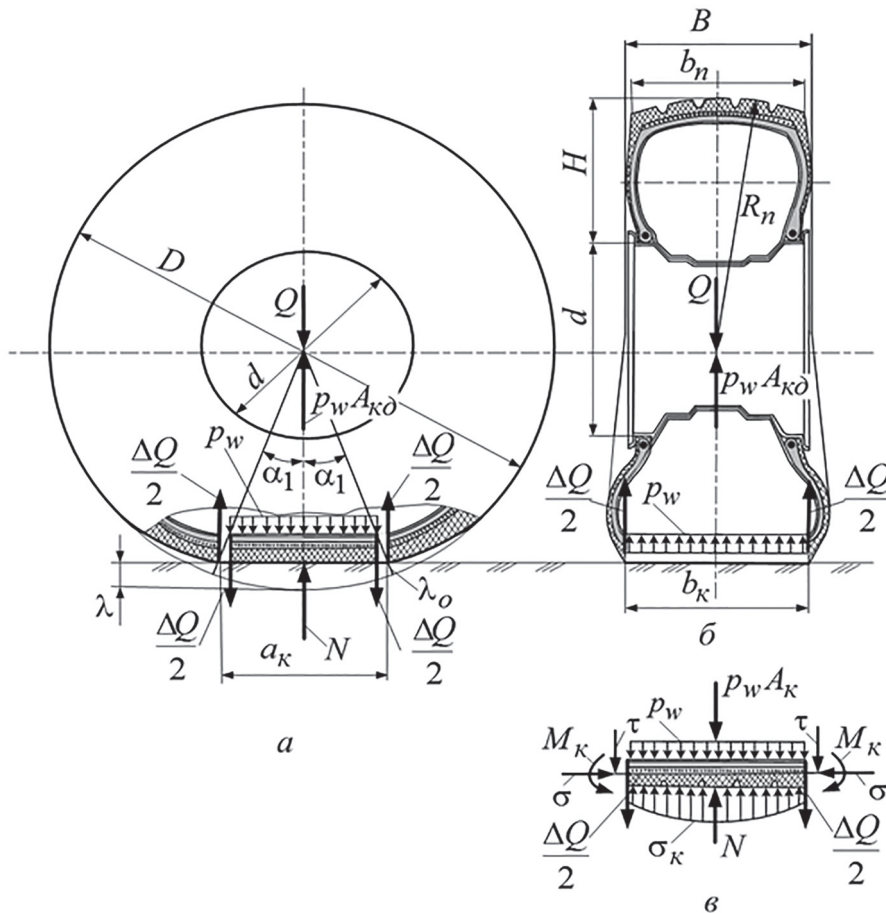


Рис. 4. Схемы расчета грузоподъемности шины по физическому закону Паскаля для широкопрофильной тракторной шины 28,1R26:
 а – схема нагружения и деформации шины; б – равновесие оболочки с отсеченным контактом; в – равновесие отсеченного контакта

$$Q = p_w A_{\text{кд}} + \Delta Q, \quad (1)$$

где $A_{\text{кд}}$ – действительная контурная площадь контакта шины с твердой опорной поверхностью; $p_w A_{\text{кд}}$ – подъемная сила оболочки каркаса шины.

Составляющие формулы (1) представлены на рис. 4 как реальные действующие силы. Нормальная внешняя сила реакции N в площади контакта (рис. 4, а) воспринимает нагрузку Q , приведенную к оси колеса $Q = N$.

На рис. 4 равнодействующая сила ΔQ условно показана для наглядности в виде половинок сосредоточенных сил $0,5\Delta Q$. Неуравновешенной является только вертикальная равнодействующая сила, которая вычисляется при помощи интеграла:

$$\Delta Q = \int_S \tau dS,$$

где S – площадь вертикальной поверхности, отсекающей контактное тело от оболочки шины; τ – касательные напряжения в секущей поверхности.

По рис. 4, б видно, что ширина контакта $b_{\text{к}}$ зависит от размера протектора $b_{\text{п}}$, т.е. является конкретным конструктивным параметром. Длина контакта $a_{\text{к}}$ на рис. 4, а является технологическим параметром, который можно определить аналитически.

Начальный прогиб шины λ_0 связан с нормальным прогибом λ коэффициентом k начального прогиба [5, 8]:

$$k = \lambda_0 / \lambda, \quad (2)$$

где k – коэффициент начального прогиба.

Диагональные шины имеют коэффициент $k = 0,33$; для радиальных шин $k = 0,5$.

Половину угла α_1 контакта шины можно определить по формуле из работ [5, 8]:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{0,5D - \lambda}{0,5D - k\lambda}. \quad (3)$$

Длину контакта можно вычислить по формуле из работ ряда авторов [5, 8]:

$$a_{\text{к}} = 2(0,5D - k\lambda) \sin \alpha_1. \quad (4)$$

Коэффициент k начального прогиба шины в формулах (2–4) является важным кинематическим параметром. Если $k = 0$, то шина обладает

идеальной эластичностью, т.е. входит в контакт без предварительного прогиба ($\lambda_0 = 0$), и шина имеет максимальную длину контакта $a_{\text{к}} = a_{\text{кmax}}$. Такая шина обладает большим сопротивлением перекачиванию по сравнению с шиной, у которой $k < 1$. Если условно для шины задать $k = 1$, это будет соответствовать шине, у которой длина контакта $a_{\text{к}} = 0$, т.е. вся нагрузка Q в этом случае воспринимается каркасом шины. Сопротивление качению такой шины будет минимальным. Вследствие этого радиальные шины, для которых $k = 0,5$, имеют меньшее сопротивление перекачиванию по сравнению с диагональными шинами, у которых $k = 0,33$.

В связи с тем, что в ГОСТе [1] отсутствует информация о площади контакта тракторных шин, предлагается ввести понятие «теоретическая площадь контакта шины с твердой поверхностью», которая определяется по закону Паскаля:

$$A_{\text{к}} = \frac{Q}{p_w}. \quad (5)$$

На рис. 5 для диагональных тракторных шин по ГОСТ [1] получены зависимости теоретической площади контакта пневмошины $A_{\text{к}}$ по формуле (5) от обобщенного параметра DB , представляющего собой произведение величин D и B для разных норм слоистости $n_c = 4...14$.

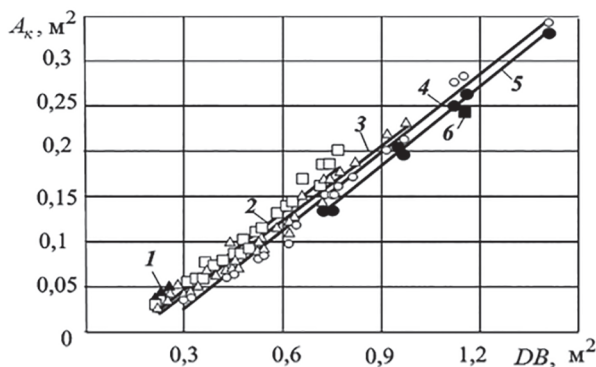


Рис. 5. Зависимости теоретической площади контакта $A_{\text{к}}$ диагональных шин тракторов и сельхозмашин от произведения DB :

- 1 – $n_c = 4$, уравнение регрессии $A_{\text{к}} = 0,3096DB - 0,026$, коэффициент $R^2 = 0,9807$;
- 2 – $n_c = 6$, уравнение регрессии $A_{\text{к}} = 0,2921DB - 0,0404$, коэффициент $R^2 = 0,9469$;
- 3 – $n_c = 8$, уравнение регрессии $A_{\text{к}} = 0,27DB - 0,0363$, коэффициент $R^2 = 0,9652$;
- 4 – $n_c = 10$, уравнение регрессии $A_{\text{к}} = 0,2862DB - 0,0587$, коэффициент $R^2 = 0,9874$;
- 5 – $n_c = 12$, уравнение регрессии $A_{\text{к}} = 0,2922DB - 0,0774$, коэффициент $R^2 = 0,99$;
- 6 – $n_c = 14$, шина 28L-26

На рис. 6 для радиальных шин показаны зависимости площади контакта A_k от произведения DB . Для разных норм слойности под рис. 5 и 6 приводятся уравнения регрессии $A_k = f(DB)$, которые характеризуются высокими коэффициентами корреляции R^2 .

Нагрузка Q на оси колеса воспринимается подъемной силой контакта $p_w A_k$. При качении колеса элементы протектора шины входят в контакт с опорной поверхностью периодически – один раз за один оборот колеса. Поэтому при увеличении скорости движения в элементах каркаса шины кроме касательных τ и нормальных σ напряжений присутствуют силы вязкого сопротивления, зависящие от скорости движения трактора [2, 12]. Отмеченные особенности являются наблюдаемыми и реальными [3], но незначительными при реальных рабочих скоростях движения тракторов. В данной статье эти явления не рассматриваются.

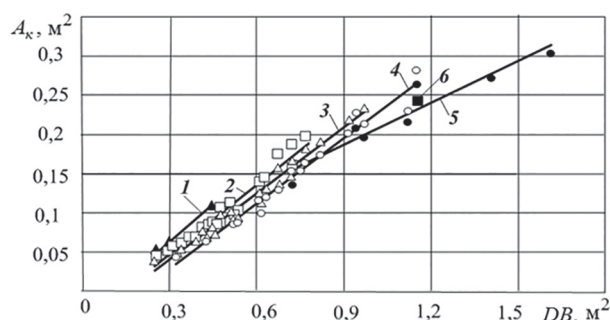


Рис. 6. Зависимость площади контакта A_k радиальных шин тракторов и сельхозмашин от произведения DB :

- 1 – $n_c = 4$, уравнение регрессии $A_k = 0,2969DB - 0,0258$, коэффициент $R^2 = 0,9833$; 2 – $n_c = 6$, уравнение регрессии $A_k = 0,3017DB - 0,0448$, коэффициент $R^2 = 0,9498$; 3 – $n_c = 8$, уравнение регрессии $A_k = 0,2824DB - 0,0448$, коэффициент $R^2 = 0,9767$; 4 – $n_c = 10$, уравнение регрессии $A_k = 0,2741DB - 0,0522$, коэффициент $R^2 = 0,9702$; 5 – $n_c = 12$, уравнение регрессии $A_k = 0,1751DB + 0,0291$, коэффициент $R^2 = 0,8911$; 6 – $n_c = 14$, шина 28,1R26

Результаты измерения размеров контакта, площадей контакта, вертикальные силы в каркасе для разных грузоподъемностей Q и давлений p_w

Размер шины	Q , Н	p_w , МПа	Соотношение длины и ширины контакта, a_k/b_k	Площадь контакта		Вертикальная сила каркаса ΔQ , Н	Разница площадей, %
				Теоретическая A_k , м²	Действительная A_{kd} , м²		
13,6-24	15450	0,200	1,207	0,075705	0,08345	-1549	10,2
12.00-20	37500	0,77	1,353	0,047775	0,0541	-4851	13,1
28,1R26	35500	0,130	0,679	0,267615	0,284080	-2141	6,07

Теоретическая площадь контакта A_k отличается от действительной площади контакта A_{kd} . Поэтому появляется возможность определять вертикальные силы ΔQ каркаса шины на твердой опорной поверхности по формуле:

$$\Delta Q = (A_k - A_{kd})p_w.$$

При обычных рабочих скоростях движения вертикальная сила каркаса шины ΔQ имеет отрицательный знак при номинальной грузоподъемности и расчетном давлении в шине.

В табл. 2 для трех шин (см. рис. 3) приведены результаты выполненных исследований, показаны действительные и теоретические площади контакта, значения сил каркаса для номинальной грузоподъемности при соответствующем давлении воздуха в шинах.

Вертикальная сила в каркасе ΔQ имеет отрицательные значения. Это означает, что в пневмошине при расчетной нагрузке и давлении соблюдается условие, необходимое для нормальной работы шины, когда между телом отсеченного контакта шины и оболочкой в результате деформации шины появляется дополнительная отрицательная сила:

$$\Delta Q = Q - p_w A_k.$$

Заключение

Грузоподъемность Q и контурную площадь контакта A_k для тракторных шин удобно представлять в виде зависимостей от обобщенной координаты, равной произведению наружного диаметра и ширины профиля шины $Q = f_1(DB)$; $A_k = f_2(DB)$. Метод отсечения контактного тела от оболочки шины позволяет определить подъемную силу контакта $p_w A$ и вертикальную силу каркаса шины ΔQ , которая при номинальной грузоподъемности имеет отрицательное значение, составляющее примерно 10–15 % от грузоподъемности шины.

Таблица 2

Литература

- ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 26 с.
- Гуськов В.В. Велев Н.Н., Атамонов Ю.Е. и др. Тракторы (теория) / Под общ. ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
- Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. 224 с.
- Бидерман В.Л. и др. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация) / Под ред. В.Л. Бидермана. М.: Госхимиздат, 1963. 384 с.
- Тарасов В.Н. Теоретический радиус качения эластичного колеса // Автомобильная промышленность. 1965. № 1. С. 5–6.
- Тарасов В. Н. Грузоподъемность шины с жидким балластом // Тракторы и сельхозмашины. 1965. № 8. С. 10–12.
- Бояркина И.В. Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков. Омск: Изд-во СибАДИ, 2011. 336 с.
- Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Физическое и математическое моделирование грузоподъемности пневмоколес // Омский научный вестник (ОМГТУ). Серия: приборы, машины и технологии. 2015. № 1 (137). С. 222–226.
- Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Метод расчета грузоподъемности пневмоколеса и прочности каркаса автошины транспортного средства // Строительные и дорожные машины. 2015. № 5. С. 47–52.
- Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Аналитическое и экспериментальное определение объема тора пневматической шины // Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ» Архитектура. Строительство. Транспорт: СибАДИ, 2015. С. 238–242.
- ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1973. 25 с.
- Тарасов В.Н., Ягодкин Л.Г., Голубев Э.Н.. Экспериментальное исследование качения ведомого колеса по барабану и плоской поверхности. Омск: СибАДИ, 1970. С. 5–48.
- Gus'kov V.V. Velev N.N., Atamonov Yu.E. i dr. Traktory (teoriya) [Tractors (theory)]. Pod obshch. red. V.V. Gus'kova. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 376 p.
- Bukhin B.L. Vvedenie v mekhaniku pnevmaticheskikh shin [Introduction to the mechanics of pneumatic tires]. Moscow: Khimiya Publ., 1988. 224 p.
- Biderman V.L. i dr. Avtomobil'nye shiny (konstruktsiya, raschet, ispytaniya, ekspluatatsiya) [Automobile tires (design, calculation, testing, operation)]. Pod red. V. L. Bidermana. Moscow: Goskhimizdat Publ., 1963. 384 p.
- Tarasov V.N. The theoretical rolling radius of an elastic wheel. Avtomobil'naya promyshlennost'. 1965. No 1, pp. 5–6 (in Russ.).
- Tarasov V. N. Carrying capacity of the tire with liquid ballast. Traktory i sel'khoz mashiny. 1965. No 8, pp. 10–12 (in Russ.).
- Boyarkina I.V. Tekhnologicheskaya mekhanika odnokovshovykh frontal'nykh pogruzchikov [Technological mechanics of single-bucket front loaders]. Omsk: Izd-vo SibADI Publ., 2011. 336 p.
- Tarasov V. N., Boyarkina I. V., Degtyar' V. V. Physical and mathematical modeling of the load capacity of pneumatic wheels. Omskiy nauchnyy vestnik (OMGTU). Seriya: pribory, mashiny i tekhnologii [Omsk Scientific Bulletin (OMGTU). Series: instruments, machines and technologies]. 2015. No 1(137), pp. 222–226 (in Russ.).
- Tarasov V.N., Boyarkina I.V., Degtyar' V.V. Method for calculating the carrying capacity of a pneumatic wheel and the strength of the tire frame of a vehicle. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2015. No 5, pp. 47–52 (in Russ.).
- Boyarkina I.V., Degtyar' V.V. Analytical and experimental determination of the volume of the pneumatic tire torus. Materialy Mezhdunarodnogo kongressa FGBOU VPO «Si-bADI» Arkhitektura. Stroitel'stvo. Transport [Proceedings of the International Congress of the SibAI «SibADI» Architecture. Building. Transport]: SibADI Publ., 2015, pp. 238–242 (in Russ.).
- GOST 17697-72. Automobiles. Wheel rolling. Terms and Definitions. Moscow: IPK Izd-vo standartov Publ., 1973. 25 p.
- Tarasov V.N., Yagodkin L.G., Golubev E.N.. Eksperimental'noe issledovanie kacheniya vedomogo kolosa po barabanu i ploskoy poverkhnosti [Experimental study of the rolling of a driven wheel on a drum and a flat surface]. Omsk: SibADI Publ., 1970, pp. 5–48 (in Russ.).

References

- GOST 7463-2003. Pneumatic tires for tractors and agricultural machinery. Moscow: IPK Izd-vo standartov Publ., 2003. 26 p.