

Методика исследования результатов взаимодействия протектора с наклонной опорной поверхностью в режиме варьирования углами увода пневматических шин

С.В. Тарасова, ст. преподаватель,
ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ

Исследование динамики износа шин неразрывно связано с изучением процесса качения пневматического колеса по грунту, являющегося составляющим элементом системы «дорога — шина — машина».

В настоящее время существуют методические, математические и процедурные наработки, позволяющие значительно снизить затраты на проведение лабораторных и производственных экспериментов, основанных на использовании дорогостоящих опытных образцов испытуемой техники и значительных капиталовложений в комплектование технического обеспечения в закладываемых экспериментах [1–3]. Однако, оценивая уровень релевантности при реализации поисковых и исследовательских процедур, можно прийти к выводу о недостаточности использования какой-то одной из существующих методик для анализа исследуемого процесса.

В связи с этим можно сделать вывод о необходимости формирования метода комплексного исследования влияния углов увода колёс на износ шин, который позволит создать информационную лабораторную базу данных экспериментальных процедур, тем самым сократить затраты денежных средств.

Теоретические и экспериментальные исследования процесса качения колеса с пневматической шиной описаны в ряде работ [3, 4]. Однако в научных изысканиях не акцентировалось внимание на вопросе влияния бокового увода на интенсивность изнашивания шин. Методика определения интенсивности изнашивания шин на единицу

длины пути описана В.П. Бойковым, при этом предложена функция [5]:

$$I = \frac{K_u \cdot P_{cp} \cdot \mu_{mp} \cdot a \cdot \delta_i}{2 \cdot \pi \cdot r_k}, \quad (1)$$

где K_u — коэффициент истирающей способности грунта;

P_{cp} — среднее номинальное давление в контакте, МПа;

μ_{mp} — коэффициент трения резины о грунт;

δ_i — угол увода i -го колеса, рад.;

r_k — радиус качения колеса, м;

a — длина пятна контакта колеса, м.

Данная методика определения интенсивности износа устанавливает взаимосвязь между конструктивными и эксплуатационными параметрами шины, которые являются как опытными данными, так и математическими зависимостями. Для решения предлагаемого уравнения необходимо знать функции определения углов увода, длины области контакта и среднего номинального давления в контакте, также функции входящих в них параметров. Однако автор не формализовал параметры, входящие в данную функцию, что привело к ограничению исследовательского диапазона предложенной методики.

Чтобы методика представляла собой математическую процедуру, реализующую наиболее адекватную модель исследуемого процесса, необходимо установить теоретические, формальные связи и математические выражения эмпирических составляющих в указанной методике В.П. Бойкова. Для этого были проведены научные изыскания, в результате реализации которых было установлено, что деформированное пятно контакта колеса

оказывает значительное влияние на управляемость трактора. Площадь пятна контакта тракторных шин, непосредственно связанную с нормальной деформацией, определяют за счёт эллиптического отпечатка контакта шины. Большая полуось эллипса является половиной длины пятна контакта шины, входящей в математическое описание процесса износа, которую можно определить приближённо, рассматривая схему колеса, находящегося под действием нагрузки [5]:

$$a = 2 \cdot \sqrt{r_c^2 - r_{cm}^2}, \quad (2)$$

где r_{cm} — статический радиус колеса, м;
 r_c — свободный радиус колеса, м.

Методический подход установления длины пятна контакта локализован системой погрешностей при оценке эмпирических составляющих. В связи с этим в результате разработки новых методов и использования современного инженерного обеспечения на базе ОАО «Научно-исследовательский тракторный институт» были внесены коррективы и разработаны достоверные способы определения конструктивно-режимных параметров движителя, в том числе длины пятна контакта. В уравнение (2) внесён уточняющий коэффициент, находящийся в диапазоне от 0,7 до 0,75 [5]:

$$a = (0,7 - 0,75) \cdot 2 \cdot \sqrt{r_c^2 - r_{cm}^2}. \quad (3)$$

В полученном выражении исследовательский интерес представляет разность между свободным и статическим радиусом, характеризующая нормальный прогиб шины h_z [6]. Таким образом, выражение длины контакта шины можно преобразовать в формулу, удобную для дальнейших математических процедур определения износа шин:

$$a = 2 \cdot (0,7 - 0,75) \cdot \sqrt{h_z^2} = (1,4 - 1,5) \cdot h_z, \quad (4)$$

где h_z — нормальный прогиб шин колеса, м.

Как известно, для нахождения нормального прогиба существует ряд эмпирических выражений, позволяющих оценить нормальный прогиб в зависимости от нормальной нагрузки, давления воздуха и размеров шин [6]. По мнению ведущих специалистов, достоверной является методика, предложенная Р. Хедекелем, учитывающая как внутришинное давление, так и угол опорной поверхности:

$$h_z = \frac{G \cdot \cos \alpha}{\Pi \cdot p_{\omega} \cdot \sqrt{D \cdot \epsilon_k}}, \quad (5)$$

где ϵ_k — ширина колеса, м;

D — диаметр колеса, м.

В методике В.П. Бойкова предусмотрено, что при работе колеса на наклонной опорной поверхности износ шины имеет специфический характер, связанный с влиянием углов увода на деформацию шины. Однако автор не установил математическую зависимость определения угла увода, а обозначил её как эмпирический параметр.

Нами предложено использовать функцию [7]:

$$\delta_2 = \frac{G \cdot \sin \alpha}{C_1 + C_2 \cdot p_{\omega,2} \cdot G \cdot \cos \alpha}, \quad (6)$$

где δ_1 — угол увода переднего колеса, рад;

δ_2 — угол увода заднего колеса, рад;

G — вес трактора, Н;

α — угол склона, рад;

C_1 — коэффициент аппроксимации характеристик бокового увода шин, Н;

C_2 — коэффициент аппроксимации характеристик бокового увода шин, Н;

p_{ω} — давление воздуха в шине, Па.

В дальнейшем пришли к необходимости определения величины среднего номинального давления в пятне контакта шины с опорной поверхностью p_{cp} , которая выражается отношением составляющей нормальной силы N к площади пятна контакта $F_{п.к.}$.

Значения составляющих нормальной силы отличаются в зависимости от расположения колёс относительно продольной и поперечной осей трактора, так:

— составляющая нормальной силы правого переднего колеса равна, H :

$$N_{п.п.к.} = 0,4 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} + \frac{h}{B} \sin \alpha \right); \quad (7)$$

— составляющая нормальной силы правого заднего колеса, H :

$$N_{п.з.к.} = 0,6 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} + \frac{h}{B} \sin \alpha \right); \quad (8)$$

— составляющая нормальной силы левого переднего колеса, H :

$$N_{л.п.к.} = 0,4 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} + \frac{h}{B} \sin \alpha \right); \quad (9)$$

— составляющая нормальной силы левого заднего колеса, H :

$$N_{л.з.к.} = 0,6 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} + \frac{h}{B} \sin \alpha \right); \quad (10)$$

где h — высота центра тяжести трактора, м;

B — ширина колеи колёс, м.

Площадь пятна контакта $F_{п.к.}$ выражается как, $м^2$:

$$F_{п.к.} = \frac{\pi \cdot b_{п.к.} \cdot a}{4}, \quad (11)$$

где $b_{п.к.}$ — ширина пятна контакта колеса, м.

По методике В.П. Бойкова, необходимые для определения интенсивности износа параметры такие, как коэффициент истирающей способности грунта $K_{и}$, коэффициент трения резины о грунт $\mu_{тр}$, радиус качения колеса r_k , являются справочными данными для каждой конкретной модели шины. Тогда можно утверждать, что интенсивность износа шин при качении с боковым уводом адекватно описывается выражением:

$$I = \frac{2 \cdot K_{\text{ш}} \cdot N_i \cdot \mu_{\text{тр}} \cdot G \cdot \sin \alpha}{r_{\text{к}} \beta_{\text{к}} \cdot \pi^2 (C_1 + C_2 \cdot p_{\text{ш}} \cdot G \cdot \cos \alpha)} \quad (12)$$

Внесённые в методику В.П. Бойкова дополнения позволили проанализировать величину силового взаимодействия шины с опорной поверхностью при её деформации и проскальзывании в пятне контакта, что в условиях бокового увода является характеристикой интенсивности износа. Учитывая возможность численного решения анализируемой системы уравнений, наиболее целесообразно дальнейшую формализацию поисковых процедур проводить в формате математического эксперимента, с учётом его машинной интерпретации в программе MathCAD 14 и с использованием эксплуатационных и конструктивных параметров трактора модели

МТЗ-82.1 укомплектованного шинами 11,2–20 Ф-35-1 и 15,5R38 Ф-2А соответственно передних и задних колёс. Моделирование функции интенсивности износа от углов склона и внутришинного давления представлено на рисунке, которое проводилось при следующих принятых условиях: $p_{w1} = [0,08; 0,2 \text{ МПа}]$, $p_{w2} = [0,08; 0,18 \text{ МПа}]$, $\alpha = [0^\circ; 20^\circ]$, $G = 3150 \text{ кг}$, $C_{1\text{пер.к.}} = 24,8$, $C_{2\text{пер.к.}} = 10,3$, $D_{\text{пер.к.}} = 985 \text{ мм}$, $b_{\text{к.пер.}} = 284 \text{ мм}$, $r_{\text{к.пер.к.}} = 460 \text{ мм}$, $C_{1\text{задн.к.}} = 25,5$, $C_{2\text{задн.к.}} = 17,7$, $D_{\text{задн.к.}} = 1540 \text{ мм}$, $b_{\text{к.задн.}} = 394 \text{ мм}$, $r_{\text{к.задн.к.}} = 730 \text{ мм}$, $\mu_{\text{тр}} = 0,07$. Полученные поверхности показали взаимосвязь трёх параметров, необходимых для удобства дальнейшего использования при анализе износа шин.

Как показал анализ массива значений интенсивности износа на единицу длины, с увеличением

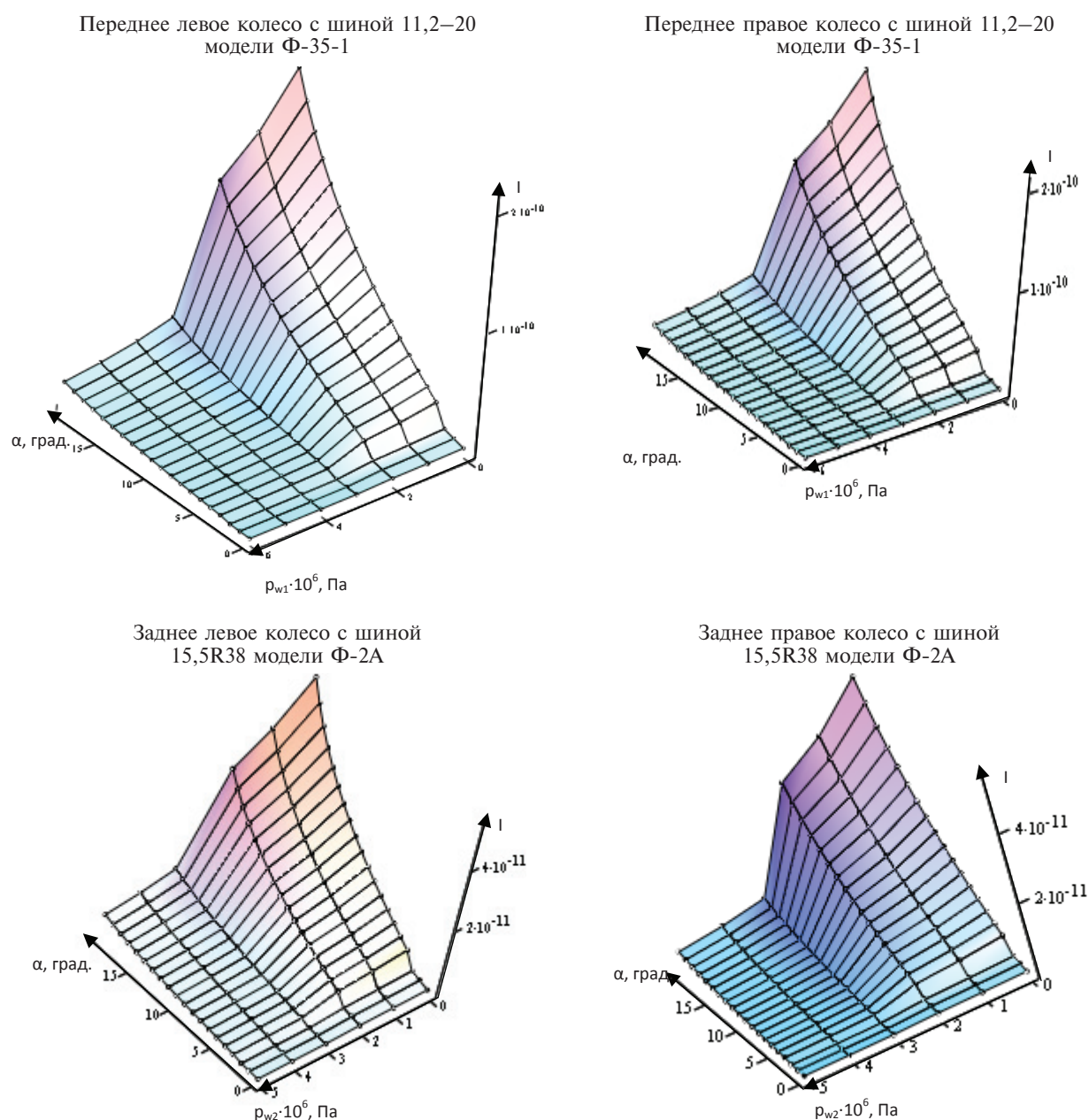


Рис. – Функция интенсивности износа шин от внутришинного давления на различных склонах (правые колёса располагаются ниже по склону)

угла склона возрастает величина износа для шины 11,2–20 до $2 \cdot 10^{-10}$, а для шины 15,5R38 до $4 \cdot 10^{-11}$ относительно роста давления воздуха от 0,08 до 0,2 МПа. Угол увода передних колёс должен варьироваться в пределах $[0^\circ; 15^\circ]$, в данном интервале интенсивность износа шин 11,2–20 лежит в пределах допустимых значений. В результате решения физических задач, связанных с поиском функций длины области контакта, среднего номинального давления в контакте и углов увода шин от внутришинного давления и углов склона, были установлены аналитические зависимости, имеющие прикладную инженерную направленность на модернизацию параметров и определения режимов работы машины при движении по негоризонтальной опорной поверхности. Рекомендованные оптимальные значения углов увода и склона сужают диапазон производственных экспериментов, из этого следуют материальные затраты на их проведение.

Литература

1. Асманкин Е.М., Реймер В.В., Стеновский В.С. и др. Специфика концептуального развития технического обеспечения курсовой устойчивости колёсных машин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 4 (28). С. 73–76.
2. Маргвелашвили О.В. Исследование явления бокового увода эластичных тракторных колёс: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Тбилиси, 1959. 15 с.
3. Яровой В.Г. Исследование бокового увода тракторных шин и его влияния на некоторые показатели криволинейного движения агрегата: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Харьков, 1970. 21 с.
4. Войтиков А.В., Войтиков А.В. Исследование курсовой устойчивости колёсного трактора класса 14 кН на склоне: дисс. ... канд. техн. наук. Минск, 1979. 188 с.
5. Бойков В.П., Белковский В.Н. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: Агропромиздат, 1988.
6. Петрушов В.А. Зависимость нормального прогиба пневматической шины от нормальной нагрузки и внутреннего давления воздуха. М.: Труды НАМИ. Вып. 158. 1976. С. 3–11.
7. Асманкин Е.М., Тарасова С.В. К вопросу определения компенсационного радиуса траектории движения тягового средства на наклонной поверхности // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: матер. Междунар. науч.-практич. конф. Оренбург, 2014. С. 50–54.