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]:

$$I = \frac{K_u \cdot p_{cp} \cdot \mu_{mp} \cdot a \cdot \delta_i}{2 \cdot \pi \cdot r_к}, \qquad (1)$$

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.;

$r_к$ – радиус качения колеса, м;

α – 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]:

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

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]:

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

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:

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

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:

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

где $в_к$ – 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]:

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

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 $p_{ср}$, 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:

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

– составляющая нормальной силы правого заднего колеса, H:

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

– составляющая нормальной силы левого переднего колеса, H:

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

– составляющая нормальной силы левого заднего колеса, H:

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

где h – высота центра тяжести трактора, м;

B – ширина колеи колёс, м.

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

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

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 $r_к$, являются справочными данными для каждой конкретной модели шины. Тогда можно утверждать, что интенсивность износа шин при качении с боковым уводом адекватно описывается выражением:

$$I = \frac{2 \cdot K_{и} \cdot N_i \cdot \mu_{тр} \cdot G \cdot \sin\alpha}{r_к в_к \cdot \pi^2 (C_1 + C_2 \cdot p_\omega \cdot G \cdot \cos\alpha)}. \qquad (12)$$

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: $p_{w1} = [0{,}08;\ 0{,}2$ МПа], $p_{w2} = [0{,}08;\ 0{,}18$ МПа], $\alpha = [0°;\ 20°]$, $G = 3150$ кг, $C_1^{пер.к} = 24{,}8$, $C_2^{пер.к} = 10{,}3$, $D^{пер.к} = 985$ мм, $в_к^{пер.} = 284$ мм, $r_к^{пер.к} = 460$ мм, $C_1^{задн.к.} = 25{,}5$, $C_2^{задн.к.} = 17{,}7$, $D^{задн.к.} = 1540$ мм, $в_к^{задн.} = 394$ мм, $r_к^{задн.к.} = 730$ мм, $\mu_{тр} = 0{,}07$. 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

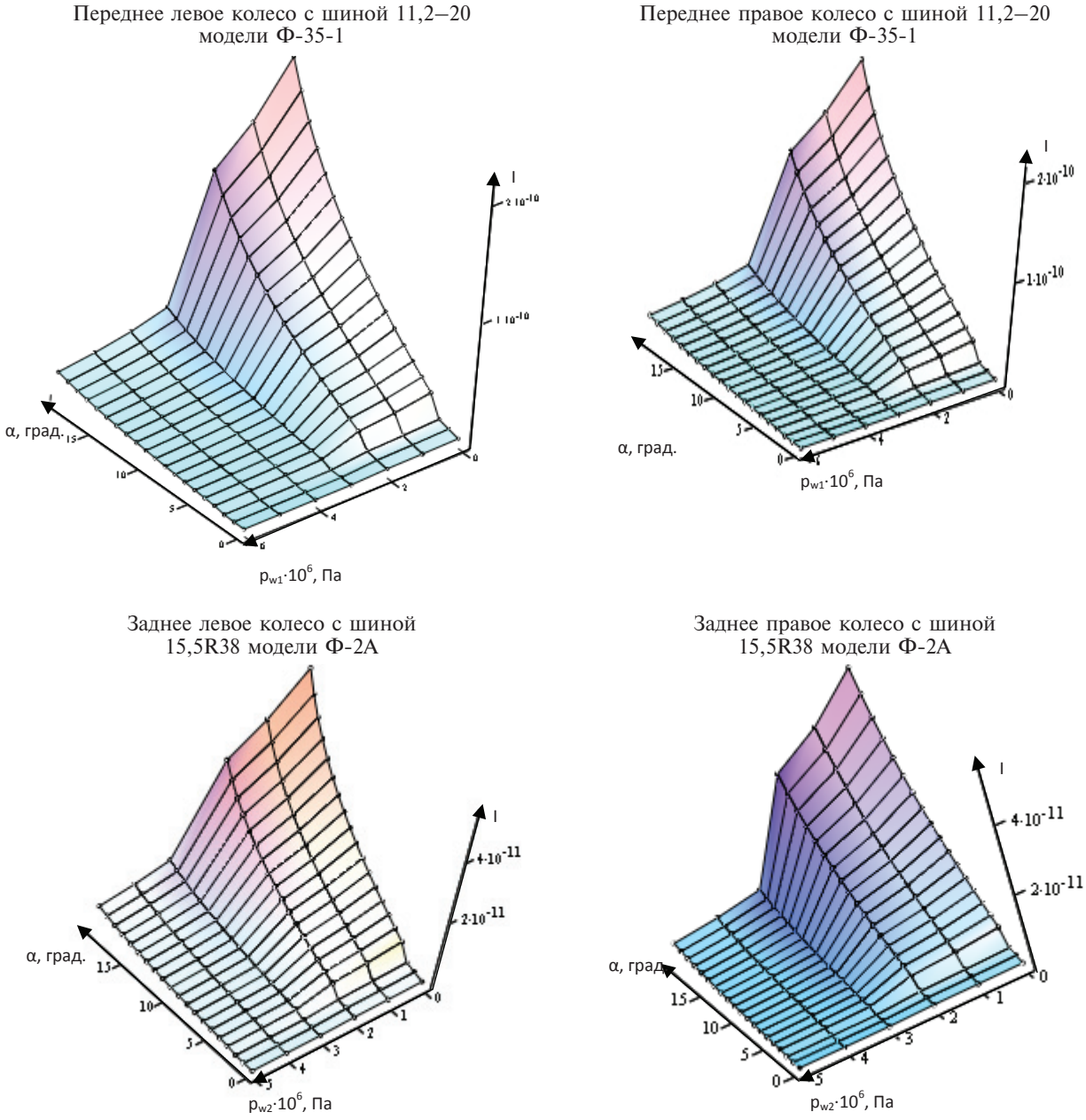


Рис. – Функция интенсивности износа шин от внутришинного давления на различных склонах (правые колёса располагаются ниже по склону)

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°; 15°], 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 внутришиннного 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.