

УДК 631.372

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УВОДУ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 5

Кравченко Владимир Алексеевич
доктор технических наук, профессор
РИНЦ SPIN-код = 9983-4293

E-mail: a3v2017@yandex.ru*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия*

Меликов Иззет Мелукович

канд. техн. наук, доцент

РИНЦ SPIN-код=3194-9952

E-mail: izmelikov@yandex.ru*ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет», г. Махачкала, Республика Дагестан, Россия*

Цель исследования: оценка сопротивляемости уводу крупногабаритных шин движителей колёсных тракторов тягового класса 5. Метод исследования – теоретико-экспериментальный с использованием измерительного комплекса «шинный тестер», который позволял получить данные, способствующие оценить сопротивляемость уводу различных шин, предназначенных для комплектации ходовых систем тракторов тягового класса 5. Для сельскохозяйственных агрегатов неперемным условием является движение по заданной траектории (траекторное движение), в котором первостепенное значение для достижения необходимых качеств принадлежит пневматической шине. Её свойства являются определяющими для создания необходимых тяговых показателей, плавности хода и уплотняющего воздействия на почву мобильной сельскохозяйственной техники, а также характеристик траекторного движения агрегатов. Для исследований были приняты следующие имеющиеся в наличии варианты шин служащих для комплектации ходовых систем трактора пятого тягового класса: Ф-81, ФД-12 и Ф-85. Анализ проведённых экспериментальных исследований показал, что внутришинное давление воздуха практически не влияет на значение коэффициента сопротивления боковому уводу у всех шин, задействованных при испытаниях; при повышении на колесо вертикальной нагрузки с 40 до 45 кН значение коэффициента сопротивления боковому уводу увеличивается от 15 до 25 %; главной причиной уменьшения показателей сопротивляемости уводу шин на почвенных фонах является буксование движителей в связи со сдвигом почвы: чем выше буксование, тем существен-

UDC 631.372

05.20.01-Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

ASSESSING THE SKID RESISTANCE OF THE PROPULSIVE UNIT LARGE TIRES IN A 5 TRACTION CLASS TRACTOR

Kravchenko Vladimir Alekseevich
Doctor of Technical Sciences, professor
RSCI SPIN – code 9983-4293

E-mail: a3v2017@yandex.ru*FSBEI HE «Don state technical university», Rostov-on-Don, Russia*

Melikov Izzet Melukovich

Cand.Tech.Sci., associate professor

RSCI SPIN – code=3194-9952

E-mail: izmelikov@yandex.ru*FSBEI HE Dagestan state agrarian University named after M.M. Dzhabulatov, Makhachkala, Russia*

The purpose of the study: assessing the skid resistance of large tires of propulsive units in the wheeled tractors of traction class 5. The research method using the “tire tester” measuring complex, which makes possible to obtain data that help to assess the skid resistance of various tires intended for completing the undercarriage systems of tractors of traction class 5, is theoretical and experimental. The movement along a given trajectory (trajectory movement), in which the pneumatic tire is of paramount importance to achieve the required qualities, is a prerequisite for agricultural aggregates. Its properties are decisive for creating the necessary traction parameters, smoothness of movement and compactive effect of mobile agricultural machinery on the soil, as well as the characteristics of the trajectory movement of aggregates. The following available versions of tires: F-81, FD-12, and F-85 intended for completing the undercarriage systems of the tractor of traction class 5 have been taken for the study. The analysis of the experimental studies has showed that for all tires involved in the tests the in-tire air pressure has little or no impact on the value of the lateral skid resistance coefficient; when the vertical load on the wheel rises from 40 to 45 kN, the value of the lateral skid resistance coefficient increases from 15 to 25%; the main reason for the decrease in tire skid resistance parameters on the soil backgrounds is the skidding of propulsive units due to the soil shift: the higher the skidding, the more significant decrease in the lateral skid resistance coefficient; with the increase in the lateral force, the traction effort, developed by the propulsive unit, decreases, and the skid increases. Therefore, all the methods aimed at reducing the skidding of the propulsive units are also the

ней уменьшение коэффициента сопротивления боковому уводу; с увеличением боковой силы тяговое усилие, развиваемое двигателем, снижается, а буксование растёт. Поэтому все способы, направленные на уменьшение буксования двигателей, являются и способами увеличения сопротивляемости шин боковому уводу

Ключевые слова: ДВИЖИТЕЛЬ, КОЛЕСО, ШИНА, СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ УВОДУ, КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ БОКОВОМУ УВОДУ, СДВИГ ПОЧВЕННОГО ФОНА

ways to increase the tire lateral skid resistance

Keywords: PROPULSIVE UNIT, WHEEL, TIRE, SKID RESISTANCE, LATERAL SKID RESISTANCE COEFFICIENT, SOIL SHIFT

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-169-014>

Введение. Повышение эксплуатационной эффективности мобильной сельскохозяйственной техники является одним из основных факторов, способствующим увеличению продукции растениеводства при существенном уменьшении на её получение энергозатрат. Среди энергосберегающих технологий в отраслях полеводства немаловажное значение приобретают те разработки, которые связаны с совершенствованием конструкции двигателей колёсных сельскохозяйственных машин [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Для сельскохозяйственных агрегатов непременным условием является движение по заданной траектории (траекторное движение). Достижение требуемых характеристик двигателя определяются свойствами шины, а также взаимодействием связанных с ней систем, к которой относится шина.

В принципе, для подавляющего большинства мобильной сельскохозяйственной техники таких систем две: система управляемых колёс, характерную для пропашных тракторов и самоходных шасси, и система ведущих колёс для всех типов мобильных сельскохозяйственных средств.

Кроме того, общее для обеих систем звено (общая часть систем) – это опорное основание, характеристики которого оказывают существенное и зачастую первостепенное влияние на динамические свойства системы в целом.

Для любой из рассматриваемых систем колёсного двигателя мо-

бильной машины первостепенное значение для достижения необходимых качеств системы принадлежит пневматической шине. Более того, её свойства являются определяющими для создания необходимых тяговых показателей, плавности хода и уплотняющего воздействия на почву мобильной сельскохозяйственной техники, а также характеристик тракторного движения агрегатов.

Вообще требования, предъявляемые к пневматической шине, настолько многообразны, что выполнить их возможно лишь на основе комплекса качеств, которые должны быть ей присущи. Главной из них является та, ради которой и создана шина – это её способность к деформированию. Причём деформирование должно быть в нужном направлении и таким, чтобы соответствующие показатели эксплуатационных качеств мобильной сельскохозяйственной техники получились наилучшими.

Исходя из вышеизложенного, **целью** представленных в статье исследований было установление конструктивного совершенства существующих шин для движителей тракторов пятого класса тяги по сопротивляемости боковому уводу, определяющей характеристику тракторного движения МТА.

Для исследований были приняты следующие имеющиеся в наличии варианты шин служащих для комплектации ходовых систем трактора пятого тягового класса: Ф-81, ФД-12 и Ф-85.

Методы исследований. При проведении полевых испытаний основной задачей было определение показателей, характеризующих сопротивляемость шин движителей энергетических средств пятого тягового класса боковому уводу при различных вариантах комплектации ходовых систем.

Нами принят для достижения поставленной цели теоретико - экспериментальный метод, для которого были разработаны и созданы оригинальные технические средства.

Испытания шин проведены с использованием измерительного ком-

плекса типа «шинный тестер» [7, 8 и др.], которые позволяли получить данные, как по тягово-сцепным свойствам испытываемых шин, так и по их способности сохранять заданную курсовую устойчивость на различных опорных основаниях.

Условия испытаний для определения основных тяговых показателей трактора К-701М удовлетворяли требованиям ГОСТ 7057-2001.

Результаты исследования. Для оценки показателей шин, характеризующих их сопротивляемости боковому уводу обычно используется, так называемый коэффициент сопротивления уводу K_o , который по определению равен отношению величины боковой силы R_y , действующей на пневматик, к углу Θ_o отклонения действительного направления вектора скорости перемещения колеса от желаемого:

$$K_o = \frac{R_y}{\Theta_o}. \quad (1)$$

Исследование динамических процессов, возникающих при движении колёсной мобильной машины, и связанное с ними решение инженерных задач обусловили создание ряда моделей качения колеса с эластичной шиной, которые учитывают и силовое воздействие, и кинематические связи [9, 10, 11, 12, 13]. Среди них основополагающей является модель М.В. Келдыша, который представил увод шины как процесс неустановившегося движения колеса (рисунок 1), при котором точка O , являющейся центром контактного отпечатка с опорной поверхностью, описывает траекторию, называемой линией качения.

Боковая деформация шины определяется величиной y , а угловая – углом γ , образующимся между касательной, проведённой к линии качения и плоскостью колеса. Если нет бокового скольжения шины, то проскальзывание окрестности точки O отсутствует [9]:

$$V_o = 0, \omega_A = 0, \tag{2}$$

где V_o – скорость (абсолютная) точки O ;

ω_A – скорость (угловая) окрестности точки O .

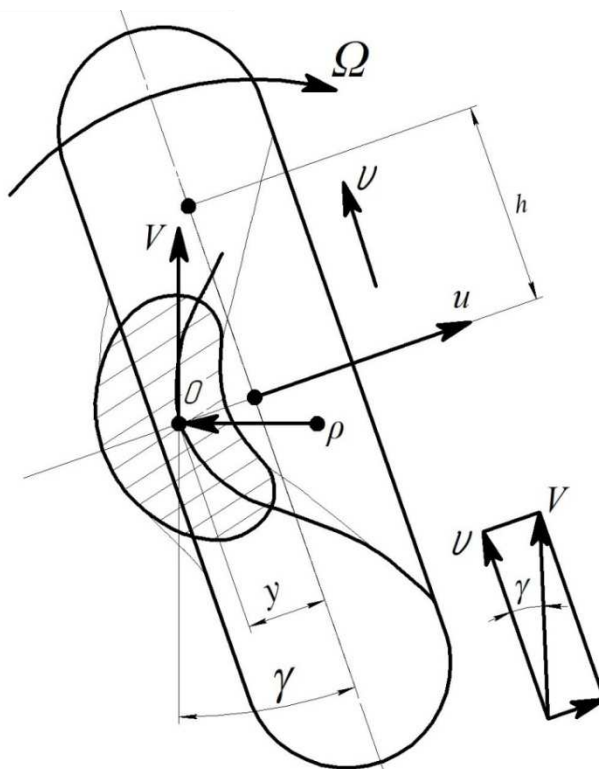


Рисунок 1 – Схема движения шины при боковом уводе

Условия (2) для вертикально расположенного колеса М.В. Келдыш в своей модели представил уравнениями, характеризующими кинематические связи [9]:

$$\begin{cases} u - \dot{y} - V \cdot \gamma = 0 \\ \Omega - \dot{\gamma} + V \cdot k = 0 \end{cases} \tag{3}$$

где u – скорость перемещения оси колеса в поперечном направлении;

V – продольная скорость перемещения оси колеса;

k – кривизна линии качения в точке O контактного отпечатка.

Кривизну k можно выразить как функцию в зависимости от боковой и угловой γ деформаций:

$$k = a_1 \cdot y - a_2 \cdot \gamma, \quad (4)$$

где a_1, a_2 – экспериментальные коэффициенты кривизны k .

Реакции R_y и M_γ , возникающие в пятне контакта шины с почвенным основанием обычно определяются как силы упругости:

$$R_y = c_y \cdot y, \quad M_\gamma = c_\gamma \cdot \gamma, \quad (5)$$

где c_y, c_γ – коэффициенты, характеризующие жёсткости шины в боковом и угловом направлении.

В работах [12, 13] уравнения (3) были расширены с учётом сдвиговых деформаций почвы [12] для качения со скольжением колеса и самой контактной площадки. В работах были введены в условие (2) скорости скольжения ($V_{ск}$ и $\omega_{ск}$) окрестностей около точки O :

$$V_o = V_{ск}, \quad \omega_o = \omega_{ск}. \quad (6)$$

Скорости $V_{ск}$, $\omega_{ск}$ были представлены как функции скольжения контактного отпечатка от возникающих режимов качения, а также деформационных характеристик почвенного основания. Так, для движителя $V_{ск}$ представлена как скорость буксования V_δ , которую можно определить по величине коэффициента буксования колеса в зависимости от его силы тяги. При описании работы ведомого колеса в указанных выше работах предлагается учитывать характеристики почвы при её сдвиге [12]. Авторы предположили, что колесо может катиться без проскальзывания по тонкому слою почвы, расположенному по её поверхности, а он сам проскальзывает по неподвижному почвенному основанию.

При анализе устойчивости курсового движения машинно-тракторного агрегата запаздыванием y по отношению к u можно пренебречь, что исходя из физической сущности бокового увода, как явления, означает прямолинейность линии качения в центре контактной площадки O , то есть

$$k = a_1 \cdot y - a_2 \cdot \gamma = 0.$$

Значит

$$\gamma = \frac{a_1}{a_2} \cdot y. \quad (7)$$

С учётом этого, уравнение кинематических связей будет иметь вид:

$$u - \dot{y} - V_T \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot y = V_{ск}^y, \quad (8)$$

где $V_{ск}^y$ – боковая составляющая $V_{ск}$ скорости скольжения центра контактной площадки O ;

V_T – теоретическая скорость колеса в направлении его движения.

Боковую составляющую скорости скольжения центра контактной площадки $V_{ск}^y$ считают, как и $V_{ск}$, функцией скольжения, зависящей от режимов качения. Для буксующего ведущего колеса скорость $V_{ск}^y$ может быть определена из пропорции, в которой соотношения сил P_x , P_y и скоростей скольжения $V_{ск}^x$, $V_{ск}^y$ в продольной плоскости колеса и перпендикулярно ей (рисунок 2) равны между собой [13]:

$$\frac{V_{ск}^y}{V_{ск}^x} = \frac{P_y}{P_x}. \quad (9)$$

Из уравнения (8) можно установить зависимости и для установившегося увода шины в боковом направлении

$$\dot{y} = 0, \quad \frac{a_1}{a_2} \cdot y = \gamma = \Theta_0, \quad (10)$$

где Θ_0 – угол увода шины, который определяется только боковой эластичностью шины.

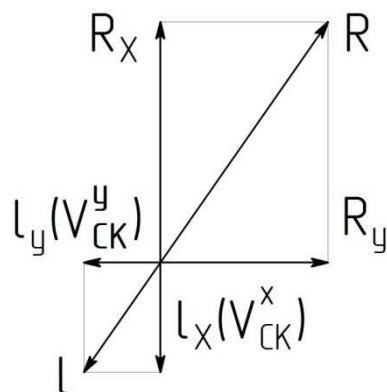


Рисунок 2 – Графики сил и скорости скольжения шины при качении движителя машинно-тракторного агрегата

Тогда скорость движения колеса в боковом направлении V_y будет равна

$$V_y = u = V_T \cdot \Theta_0 + V_{ck}^y \quad (11)$$

Суммарный угол бокового увода λ_y можно выразить в зависимости от эластичности шины и скольжением контактной площадки в боковом направлении так

$$\Theta_y = \frac{V_y}{V_x} = \frac{V_T \cdot \Theta_0 + V_{ck}^y}{V_x}, \quad (12)$$

где V_x – скорость движения колеса в продольной плоскости.

В реальности угол увода, зависящий от эластичности шины в боковом направлении, имеет величину не более $3...4^0$, поэтому теоретическую скорость движения колеса в его продольной плоскости, можно принять с достаточной степенью точности одинаковой с теоретической скоростью движения в получаемом направлении движения.

Поэтому можно записать

$$V_x = V_T \cdot (1 - \delta), \text{ т.е. } V_{ck}^x = V_\delta = V_T \cdot \delta, \quad (13)$$

Так как из (1) следует, что

$$\Theta_0 = \frac{P_y}{K_0},$$

то после обычных подстановок и преобразований, получим выражение, по которому можно определить значение коэффициента сопротивления боковому уводу K_y движителя при буксовании:

$$K_y = \frac{1 - \delta}{\frac{1}{K_0} + \frac{\delta}{P_x}} \quad (14)$$

Формула (14) с учётом принятых допущений является универсальной при соизмеримости сил P_y и P_x . Расчёты, выполненные по зависимости (14), дают значения K_y близкие с результатами проведённых экспериментальных опытов (рисунок 3).

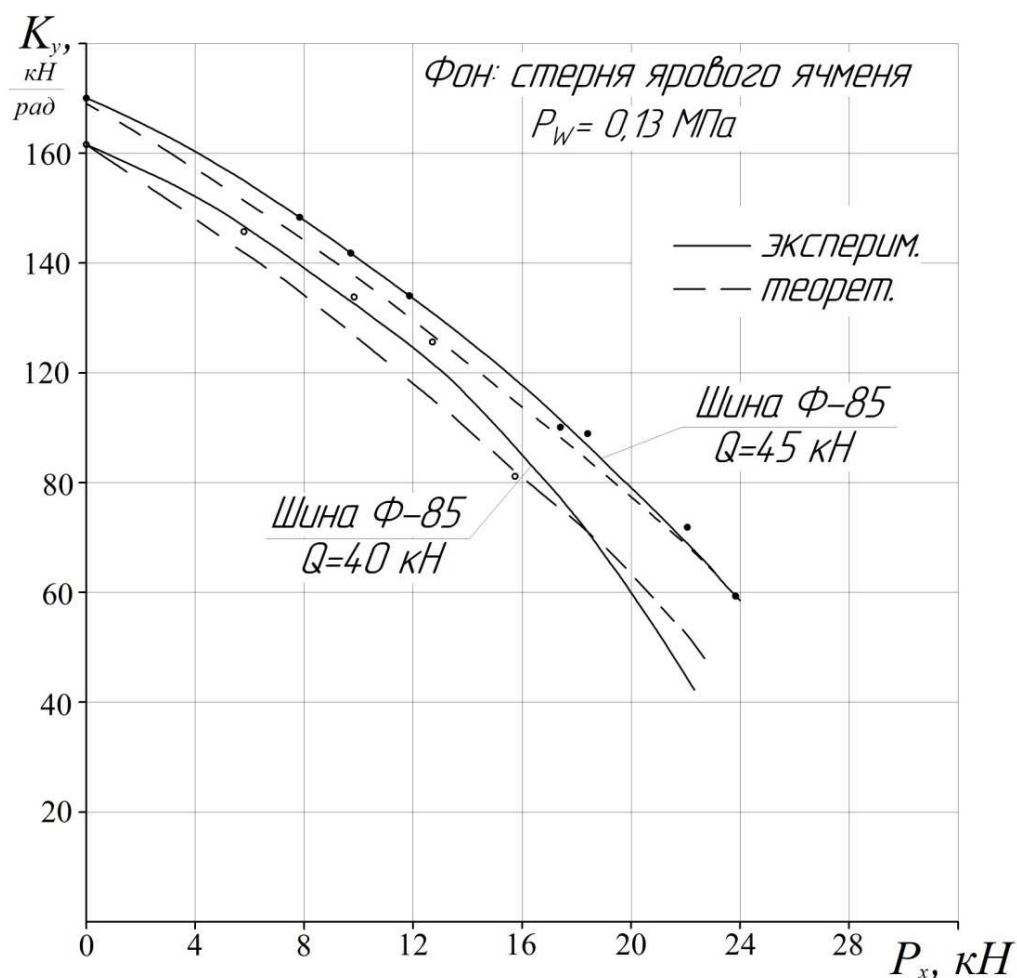


Рисунок 3 – Графики изменения коэффициента, характеризующего сопротивление шин Ф-81 и Ф-85 боковому уводу в зависимости от тягового усилия на колесе (фон – стерня зерновых колосовых)

Анализ зависимости (14) показывает, что буксование движителя оказывает значительное влияние на его сопротивляемость боковому уводу. Так, например, для шины Ф-81 значение коэффициента, характеризующего сопротивление уводу, полученной на стерне после уборки ярового ячменя в сравнении со свободным режимом движения уменьшается для различных углов увода от 35 % до 50 % при буксовании ведущего колеса 8 %, то есть мероприятия, направленные на улучшение тягово-сцепных свойств пневматических шин, будут способствовать росту показателей курсовой устойчивости мобильных средств.

Рассчитанные по экспериментальным данным величины коэффициентов K_y , при вертикальной нагрузке на колесе $Q=40$ кН и угле увода шин $\Theta=3^\circ$ показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов, характеризующих сопротивляемость уводу испытываемых шин

Модель испытываемых шин	Внутришинное давление, кПа	
	160	130
Стерня зерновых колосовых		
ФД-12	<u>2,15</u>	<u>1,90</u>
	2,50	2,45
Ф-81	<u>2,15</u>	<u>1,85</u>
	2,50	2,45
Ф-85	<u>2,55</u>	<u>2,45</u>
	3,05	2,95
Поле, подготовленное под посев		
ФД-12	<u>1,55</u>	<u>1,60</u>
	2,20	1,90
Ф-81	<u>1,55</u>	<u>1,70</u>
	2,20	1,90
Ф-85	<u>1,70</u>	<u>1,60</u>
	2,65	2,40

Примечание: в числителе приведены данные испытаний шин при тяговом усилии $P_{кр}=12,5$ кН; в знаменателе – при качении колеса в свободном режиме.

Анализ результатов испытаний шин (таблица 1) показал, что сопротивляемость боковому уводу шин при их свободном режиме качения меньше на стерне в 2,7...2,8 раз, а на пару в 3,4...4,0 раз, чем на бетоне.

При движении колеса в ведущем режиме при номинальном значении тягового усилия значения сопротивляемости уводу испытываемых шин ещё ниже (на 14...20%).

На различных почвенных фонах значения коэффициентов K_y , показанные при испытаниях шин ФД-12 и Ф-81, практически не отличаются по величине, в то время как значение K_y , полученное при испытаниях шины Ф-85, хотя и незначительно, выше за счёт создаваемой ею более глубокой колеи.

Внутришинное давление воздуха практически не влияет на значение коэффициента K_y у всех шин, задействованных при испытаниях, в то время как увеличение нормальной нагрузки на колесо с 40 до 45 кН приводит к росту величины K_y на 15...25%.

Одним из основных факторов снижения сопротивляемости уводу шин на почвенных фонах является буксование движителей в связи со сдвигом почвы δ_x^n : чем выше значение δ_x^n , тем существенней уменьшение коэффициента K_y . При свободном режиме качения колеса обусловленное сдвигом почвы буксование δ_x^n имеет небольшую величину, поэтому при нём сопротивляемость шин уводу более высокое, чем при работе их в ведущем режиме на предельных тяговых усилиях, при которых буксование движителя происходит по всему пятну контакта [14]. Скольжение пятна контакта происходит одновременно в продольном и боковом направлениях, что определяет существенное снижение сопротивляемости уводу шины. То есть все способы и мероприятия, которые обеспечивают снижение буксования движителей, способствуют увеличению сопротивляемости шин боковому уводу. Например, увеличение эластичности оболочки пневматика приводит к снижению на мягких почвенных основаниях буксование движителя, что может привести к увеличению коэффициента K_y . Это подтверждается результатами испытаний шин Ф-81, имеющих нормы слойности

разной величины, то есть имеющих различную жёсткость в боковом направлении: на асфальтобетонном опорном основании шины показали практически одинаковую сопротивляемость боковому уводу.

Результаты сравнительных испытаний движителей с шинами ФД-12 и Ф-81 на стерне и пару с боковым уводом, несмотря на разную их боковую жёсткость, подтверждают выше обозначенные выводы.

Анализ данных испытаний также показывает, что при балластировании колёс мобильного энергетического средства сопротивляемость шин уводу на рыхлых почвенных фонах увеличивается на 20...30%.

Проведённые исследования позволяют сделать такие **выводы**:

– на почвенных основаниях шины Ф-81 и ФД-12 показали практически одинаковые значения показателей сопротивляемости уводу, а шина Ф-85 – несколько выше в связи с образованием более глубокой колеи после её прохода;

– внутришинное давление воздуха практически не влияет на значение коэффициента K_y у всех шин, задействованных при испытаниях;

– увеличение нормальной нагрузки на колесо с 40 до 45 кН приводит к росту величины K_y на 15...25 %

– одним из основных факторов снижения сопротивляемости уводу шин на почвенных фонах является буксование движителей в связи со сдвигом почвы δ_x^n : чем выше значение δ_x^n , тем существенней уменьшение коэффициента K_y ;

– с увеличением боковой силы P_y тяговое усилие P_x , развиваемое движителем, снижается, а буксование растёт;

– все способы и мероприятия, которые обеспечивают снижение буксования движителей, способствуют увеличению сопротивляемости шин боковому уводу.

Литература

1. Кравченко, В.А. Оптимизация параметров армирования шин движителей колёсных тракторов / В.А. Кравченко, В.А. Оберемок, И.М. Меликов // Проблемы развития АПК региона. – 2017. – № 4 (32). – С. 126-132.
2. Патент 2677817 Российская Федерация, МПК В60С 9/07; В60С 9/09. Пневматическая шина для мобильного энергетического средства / В.Г. Яровой, В.А. Кравченко, И.М. Меликов, Ф.М. Магомедов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Дагестанский ГАУ. – № 2017135896; заявл. 09.10.2017; опубл. 21.01.2019, Бюл. № 14. // Изобретения. Полезные модели. – 2019. – № 3.
3. Кравченко, В.А. Закономерности деформирования диагональных и радиальных шин движителей зерноуборочных комбайнов / Кравченко В.А., Меликов И.М. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2017. – № 134. – С. 164-173.
4. Traction and energy efficiency tests of oligomeric tires for category 3 tractors / Melikov I., Hasanova E., Kravchenko V., Kravchenko L., Senkevich S. // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, 2019.–P. 012126.
5. Кравченко, В.А. Характер деформирования крупногабаритных шин низкого давления движителей тракторов класса 5 / Кравченко В.А., Яровой В.Г., Меликов И.М. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2017. – №132. – С. 1230-1241.
6. Кравченко, В.А. Оценка тягово-сцепных свойств мощных тракторов и комбайнов в комплектации с шинами различного исполнения / В.А. Кравченко, Л.В. Кравченко, И.М. Меликов // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 8. – С. 83-88.
7. Кравченко, В. А. Повышение эксплуатационных показателей движителей сельскохозяйственных колёсных тракторов: монография / В.А. Кравченко, В.А. Оберемок, В.Г. Яровой. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 213 с.
8. Сергеев, Н.В. Мобильная установка «шинный тестер» для проведения экспериментальных исследований пневматических шин / Н.В. Сергеев // Евразийское Научное Объединение, 2015. – Т. 1. – № 2 (24). – С. 33-37.
9. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А.А. Хачатурова. – Москва: Машиностроение, 1976. – 535 с.
10. Гячев, Л.В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / Л.В. Гячев. – Ростов-на-Дону: Из-во Ростовского государственного университета, 1976. – 192 с.
11. Левин, М.А. Теория качения деформируемого колеса / М.А. Левин, Н.А. Фуфаев. – Москва: Наука: Гл.ред. физ.-мат. Лит., 1989. – 272 с.
12. Ганькин, Ю.А. Динамика управляемого движения мобильных машин / Ю.А. Ганькин. – Самара: Самар. Дом печати, 1997. – 184 с.
13. Яровой, В.Г. Совершенствование сельскохозяйственного колёсного движителя: монография / В.Г. Яровой. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 158 с.
14. Ульянов, Н.А. Колёсные движители строительных и дорожных машин / Н.А. Ульянов. – Москва: Машиностроение, 1982. – 280 с.

References

1. Kravchenko, V.A. Optimizaciya parametrov armirovaniya shin dvizhitelej ko-

lyosny`x traktorov / V.A. Kravchenko, V.A. Oberemok, I.M. Melikov // Problemy` razvi-tiya APK regiona. – 2017. – № 4 (32). – S. 126-132.

2. Patent 2677817 Rossijskaya Federaciya, MPK V60S 9/07; V60S 9/09. Pnevmaticheskaya shina dlya mobil`nogo e`nergeticheskogo sredstva / V.G. Yarovoj, V.A. Kravchenko, I.M. Melikov, F.M. Magomedov; zayavitel` i patentoobladatel` FGOU VO Dagestan-skij GAU. – № 2017135896; zayavl. 09.10.2017; opubl. 21.01.2019, Byul. № 14. // Izobre-teniya. Polezny`e modeli. – 2019. – № 3.

3. Kravchenko, V.A. Zakonomernosti deformirovaniya diagonal`ny`x i radial`ny`x shin dvizhitelej zernouborochny`x kombajnov / Kravchenko V.A., Melikov I.M. // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2017. – № 134. – S. 164-173.

4. Traction and energy efficiency tests of oligomeric tires for category 3 tractors / Melikov I., Hasanova E., Kravchenko V., Kravchenko L., Senkevich S. //V sbornike: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, 2019.–R. 012126.

5. Kravchenko, V.A. Xarakter deformirovaniya krupnogabaritny`x shin nizkogo davleniya dvizhitelej traktorov klassa 5 / Kravchenko V.A., Yarovoj V.G., Melikov I.M. // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2017. –№132. – S. 1230-1241.

6. Kravchenko, V.A. Ocenka tyagovo-scepnny`x svojstv moshhny`x traktorov i kombajnov v komplektacii s shinami razlichnogo ispolneniya / V.A. Kravchenko, L.V. Kravchenko, I.M. Melikov // Agrarny`j nauchny`j zhurnal. – 2020. – № 8. – S. 83-88.

7. Kravchenko, V. A. Povy`shenie e`kspluatacionny`x pokazatelej dvizhitelej sel`skoxozyajstvenny`x kolyosny`x traktorov: monografiya / V.A. Kravchenko, V.A. Oberemok, V.G. Yarovoj. – Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenerny`j institut FGBOU VPO DGAU, 2015. – 213 s.

8. Sergeev, N.V. Mobil`naya ustanovka «shinny`j tester» dlya provedeniya e`ksperimental`ny`x issledovanij pnevmaticheskix shin / N.V. Sergeev // Evrazijskoe Nauchnoe Ob`edinenie, 2015. – T. 1. – № 2 (24). – S. 33-37.

9. Dinamika sistemy` doroga – shina – avtomobil` – voditel` / pod red. A.A. Xachaturova. – Moskva: Mashinostroenie, 1976. – 535 s.

10. Gyachev, L.V. Dinamika mashinno-traktorny`x i avtomobil`ny`x agregatov / L.V. Gyachev. – Rostov-na-Donu: Iz-vo Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta, 1976. – 192 s.

11. Levin, M.A. Teoriya kacheniya deformiruемого kolesa / M.A. Levin, N.A. Fu-faev. – Moskva: Nauka: Gl.red. fiz.-mat. Lit., 1989. – 272 s.

12. Gan`kin, Yu.A. Dinamika upravlyaemogo dvizheniya mobil`ny`x mashin / Yu.A. Gan`kin. – Samara: Samar. Dom pečati, 1997. – 184 s.

13. Yarovoj, V.G. Sovershenstvovanie sel`skoxozyajstvennogo kolyosnogo dvizhitelya: monografiya / V.G. Yarovoj. – Zernograd: FGOU VPO AChGAA, 2008. – 158 s.

14. Ul`yanov, N.A. Kolyosny`e dvizhiteli stroitel`ny`x i dorozhny`x mashin / N.A. Ul`yanov. – Moskva: Mashinostroenie, 1982. – 280 s.